

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Dauerhaftigkeit von Beton nach dem Performance-Prinzip – Projekt 5 (AiF-Nr.: 21823 N)

„Annahmeprüfungen auf der Baustelle / Abnahmeprüfungen am Bauwerk“

Online-Kick-off, Projektausschuss 5
9. Juli 2021

Ruhr-Universität Bochum

Lehrstuhl für Baustofftechnik

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rolf Breitenbücher

David Ov



Technische Universität München

Centrum Baustoffe und Materialprüfung

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christoph Gehlen

Benedikt Grimm



Bundesverband der Deutschen Transportbetonindustrie e.V.

Forschungsgemeinschaft Transportbeton e.V.

Hannes Krüger

Andreas Tuan Phan



Dauerhaftigkeit von Beton

Einleitung

Aktuelle Regelungen zur Dauerhaftigkeit

- Rein deskriptives Vorgehen auf empirischer Basis
(Vorgaben max w/z, min z, Zemente)
- Relevanten Betoneigenschaften (Karbonatisierungswiderstand, Chlorideindringwiderstand, Frostwiderstand, Säurewiderstand etc.) werden nicht direkt erfasst
- Entkoppelte Regelungen bzgl.
 - Betoneigenschaft und
 - Betondeckung



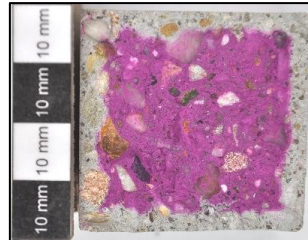
Dauerhaftigkeit von Beton

Einleitung – Vergleich Dauerhaftigkeit – Tragfähigkeit

Exposition: Widerstandsklassen
(Chlorid / Carbonatisierung)



RSD 45



RC 20

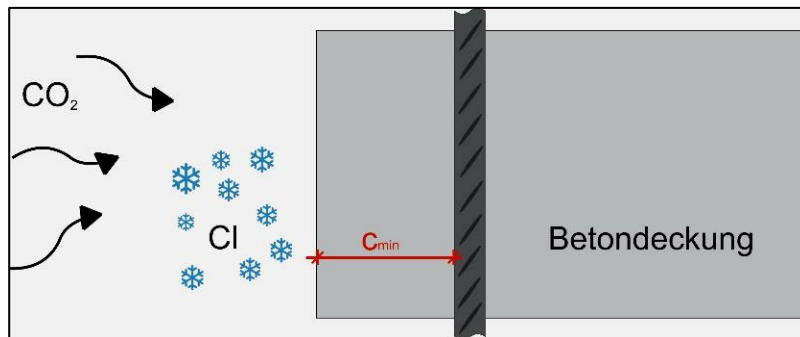
*Übereinstimmung
nachweisen
(Verhalten unter
Standardbedingungen)*

Betonfestigkeitsklasse



C 35/45

Einwirkungen aus der Umgebung
(Expositionsklasse XD3, XC4)



*(Verhalten unter realen
Umgebungsbedingung)
Konkrete Dimensionierung,
Bemessung*

Lasten (Eigengew., Verkehrslast)



Ziel eines Performance-Konzepts auf voll-probabilistischer Basis

- Festlegung von Widerstandsklassen des Betons für die jeweilige Einwirkung
- Basis: probabilistische Bewertung der Klassen
- Kombination von Widerstandsklasse und Betondeckung
- Alle dauerhaftigkeitsrelevanten Betoneigenschaften sollten direkt bewertbar sein, und
- Klassifizierungen auf probabilistischer Basis vorgenommen werden (analog zu Betonfestigkeitsklassen etc.)

Dauerhaftigkeit von Beton

Einleitung

Erste Pilotprojekte mit Vorgaben zur Dauerhaftigkeit

Ausschreibung sowohl deskriptiv als auch performance-basiert

Bewehrten Beton einschließlich Schalung nach Unterlagen des AG herstellen.

Bauteil = Überbau.

Art der Verwendung = Spannbeton.

Druckfestigkeitsklasse ' C 40/50 '

Expositionsklasse XF2, XC4 und XD2.

Zusätzliche Anforderungen:

- Feuchtigkeitsklasse WA

- Anforderungen nach Baubeschreibung Abschnitt 3.5.7

- Massiges Bauteil

- Chloridmigrationskoeffizient nach 56 Tagen:

Bei $SFA < 60 \text{ kg/m}^3$: $\leq 2,5 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ (Mittelwert) / $\leq 3,0 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ (größter Einzelwert)

Bei $SFA \geq 60 \text{ kg/m}^3$: $\leq 3,5 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ (Mittelwert) / $\leq 4,5 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ (größter Einzelwert)

Verbundvorhaben „Dauerhaftigkeit von Beton nach dem Performance-Prinzip“

Vorstellung

<u>Projekt</u>	<u>Inhalt</u>	<u>Forschungspartner</u>
P1	<i>Objektsammlung, Zustandserfassung eines repräsentativen Bauwerksbestandes (XC, XD, XS und XF)</i>	vdz 
P2	<i>Grenzzustände / erforderliche Zuverlässigkeiten</i>	  
P3	<i>Bewertung von Laborprüfverfahren</i>	FEhs  
P4	<i>Klassifikation Materialwiderstände, Produktionskontrolle, Konformitätskriterien und -kontrolle</i>	  vdz hcu 
P5	<i>Annahmeprüfungen auf der Baustelle / Abnahmeprüfungen am Bauwerk</i>	  

Projekt 5

Vorstellung und Ziel

„Projekt 5 – Annahmeprüfungen auf der Baustelle / Abnahmegprüfungen am Bauwerk“

- Projektlaufzeit: 01.05.2021 bis 30.04.2023
- AiF-Forschungsvereinigung: Forschungsgemeinschaft Transportbeton e.V. (FTB)
- Forschungseinrichtung 1: Ruhr-Universität Bochum (RUB)
- Forschungseinrichtung 2: Technische Universität München (TUM)

- Ziel:

Performance-orientierte Annahmekriterien auf der Baustelle / Abnahmekriterien am Bauwerk definieren,

- ➡ die über die Druckfestigkeitsprüfung hinausgehen und schnell sowie zuverlässig überprüft werden können,
- ➡ um die Dauerhaftigkeit des Betons über die angestrebte Nutzungsdauer des Bauwerks zu verifizieren.

Dazu auch Einbeziehung von Schnellprüfverfahren



Projekt 5

Fragestellungen

- Kann der **Karbonatisierungswiderstand** eines angelieferten Transportbetons im Zuge der Annahmeprüfung hinreichend genau anhand der **Druckfestigkeit** desselben Betons bewertet werden?
- Welche Abhängigkeiten (Zementart, w/z-Wert-Bereiche o.ä.) ergeben sich für diese Korrelation (**Karbonatisierungswiderstand – Druckfestigkeit**)?
- Kann der **Chlorideindringwiderstand / Chloridmigrationswiderstand** hinreichend genau mit dem mit der **Wenner-Sonde** ermittelten Elektrolytwiderstand bewertet werden?
- Welche Abhängigkeiten (Zementart, w/z-Wert-Bereiche o.ä.) ergeben sich für diese Korrelation (**Chlorideindringwiderstand – Elektrolytwiderstand**)?

➡ Kooperation mit Projekt P 4

Projekt 5

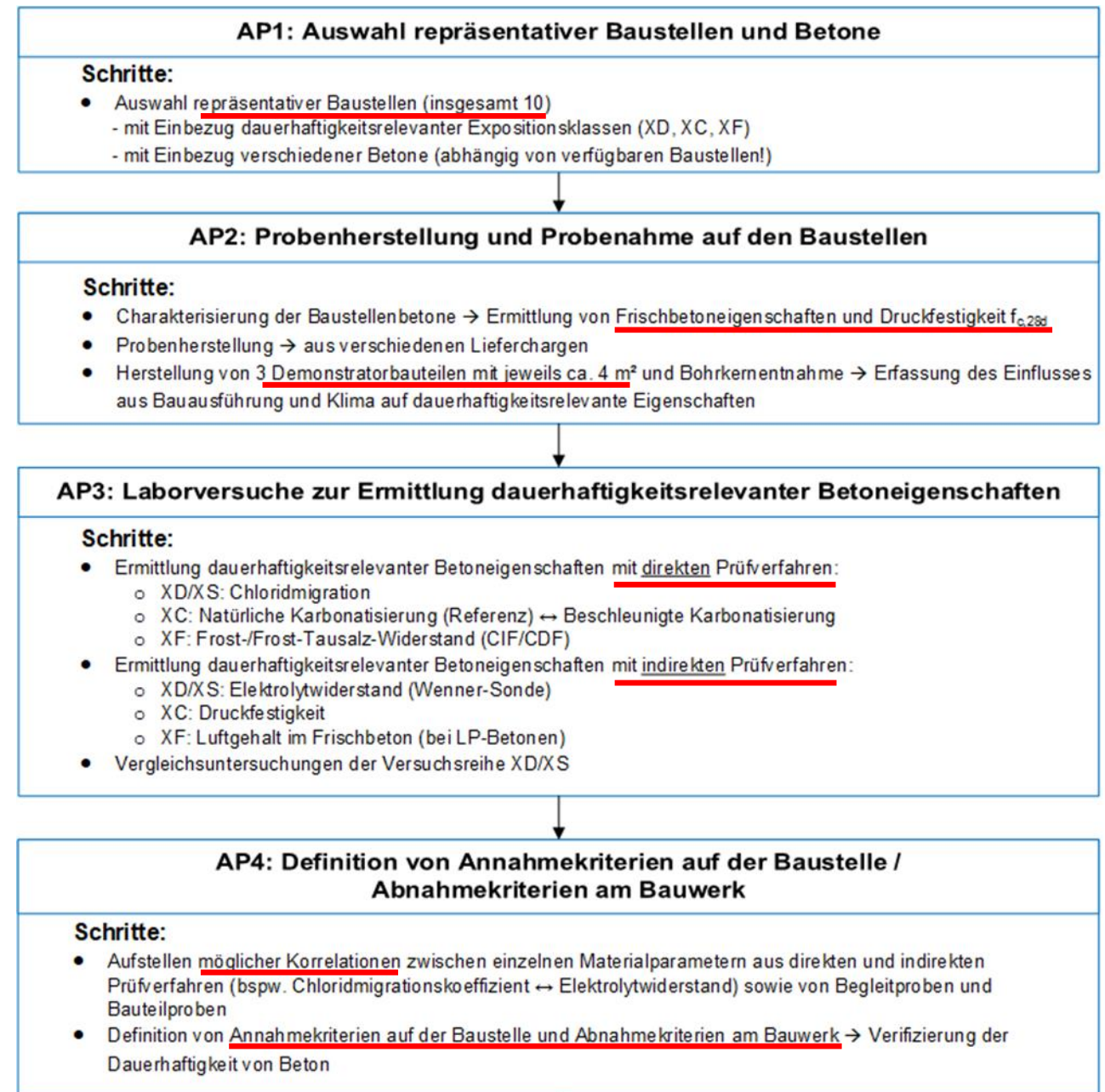
Vorgehensweise

- Verfahren / Kriterien für performance-orientierte Dauerhaftigkeit

a) Annahmeprüfung auf Baustelle

b) Abnahmeprüfung am Bauwerk

- Dazu auch Einbeziehung von Schnellprüfverfahren



Arbeitspaket 1:

Auswahl repräsentativer Baustellen und Betone

- Auswahl erfolgt gemeinsam mit Partnern aus dem Projektbegleitenden Ausschusses
- Einbezug der dauerhaftigkeitsrelevanten Expositionsklassen XC, XD und XF
- RUB wählt 5 Baustellen in der Nordhälfte von Deutschland
- TUM wählt 5 Baustellen in der Südhälfte von Deutschland
- Bereiche aus Hochbau, Straßen- und Tiefbau sowie Ingenieurbauwerke abdecken
- Baustellenbetone sollen sich u.a. in Zementart und Festigkeitsklasse unterscheiden



Arbeitspaket 2:

Probenherstellung und Probennahme auf den Baustellen

Laboruntersuchungen ausschließlich an auf Baustellen gewonnenen Proben

Charakterisierung der Baustellenbetone durch

- Frischbetoneigenschaften (Konsistenz, Rohdichte, Frischbetontemperatur, LP-Gehalt (bei LP-Betonen))
- Druckfestigkeit im Alter von 28 d

1. Annahmeprüfung

- Probekörperherstellung aus gelieferten Transportbetonen (verschiedene Lieferchargen)
→ Karbonatisierung / Chloridmigration / Frost- bzw. Frost-Tausalzprüfungen im Labor

2. Abnahmeprüfung am Bauwerk

- Demonstratorbauteile (4 m²)
- Einflüsse aus Bauausführung und Klima auf dauerhaftigkeitsrelevante Eigenschaften XC, XD, XF
- Bohrkernentnahme (ca. 7 d nach Herstellung), für XC ergänzend Bohrkern im Alter von 90 d

Arbeitspaket 3:

Laborversuche zur Ermittlung dauerhaftigkeitsrelevanter Betoneigenschaften

1) Ermittlung dauerhaftigkeitsrelevanter Betoneigenschaften mit direkten Prüfverfahren:

- **XC**: Natürliche Karbonatisierung (Referenz) ↔ Beschleunigte Karbonatisierung
- **XD**: Chloridmigration
- **XF**: Frost-/Frost-Tausalz-Widerstand (CIF/CDF)

2) Ermittlung dauerhaftigkeitsrelevanter Betoneigenschaften mit indirekten Prüfverfahren:

- **XC**: Druckfestigkeit
- **XD**: Elektrolytwiderstand (Wenner-Sonde)
- **XF**: Luftgehalt im Frischbeton / LP-Kennwerte am Festbeton

Arbeitspaket 3:

Laborversuche zur Ermittlung dauerhaftigkeitsrelevanter

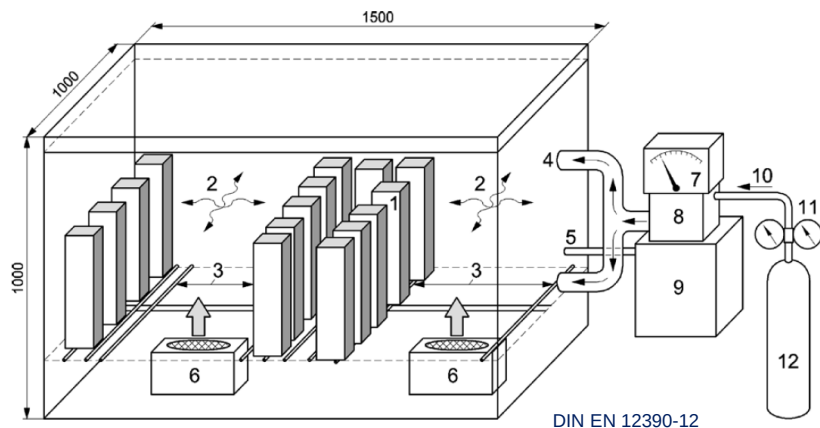
Bestimmung des **Karbonatisierungswiderstandes (XC)**

5 Baustellenbetone (B1 bis B5)

- Natürliche Karbonatisierungsverfahren nach DIN EN 12390-10
- Beschleunigte Karbonatisierungsverfahren nach DIN EN 12390-12
- Druckfestigkeitsprüfung

Baustellen	Expositionsklasse XC				
Betone ¹⁾	B1	B2	B3	B4	B5
Zementarten	CEM II/A-LL, CEM II/B-S, CEM III/A, CEM III/B, (CEM I)				
Festigkeitsklassen	C30/37 bis ca. C70/85				

Prüfprozedere	direkt		indirekt
Frischbetoneigenschaften	Konsistenz, Rohdichte, Frischbetontemperatur		
Prüfverfahren	natürliches Karbonatisierungsverfahren	beschleunigtes Karbonatisierungsverfahren	Druckfestigkeitsprüfung
Regelwerk	EN 12390-10	EN 12390-12	EN 12390-3 / EN 12504-1
Vorlagerung Wasser/Trockenklima	28 d 27 d / 16 h	42 d 27 d / 14 d	28 d 28 d
CO ₂ -Konz.	0,04 Vol.-%	3 Vol.-%	-
Prüfdauer	3, 6, 12 m	7, 28, 70 d	7, 28, 70, 90 d
Auswertung	Phenolphthalein		Druckfestigkeit



6 Messung nach 28 Tagen

© HolcimPartner

Arbeitspaket 3:

Laborversuche zur Ermittlung dauerhaftigkeitsrelevanter

Bestimmung des Chlorideindringwiderstands (XD)

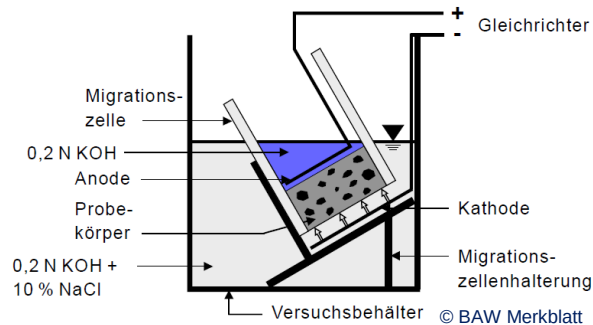
3 Baustellenbetone (B1 bis B3)

- Schnelllaborprüfverfahren „Rapid Chloride Migration Test“ (RCM)
- Elektrolytwiderstandsmessung nach Wenner
- Druckfestigkeitsprüfung

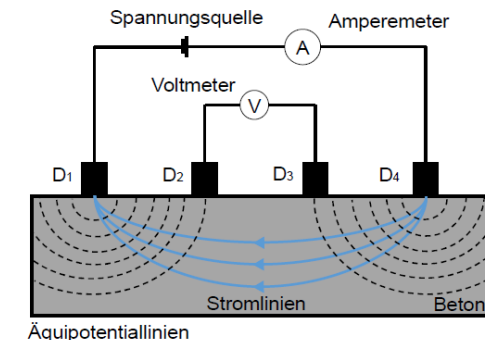
Baustellen	Expositionsklasse XD		
	B1	B2	B3
Betone ¹⁾	B1	B2	B3
Zementarten	CEM II/A-LL, CEM II/B-S, CEM III/A, CEM III/B, (CEM I)		
Festigkeitsklassen	C30/37 bis ca. C70/85		

Prüfprozedere	direkt		indirekt
	Konsistenz, Rohdichte, Frischbetontemperatur		
Prüfverfahren	RCM-Test	Wenner-Sonde	Druckfestigkeitsprüfung
Regelwerk	BAW MDCC	-	EN 12390-3 EN 12504-1
Vorlagerung Wasser	28 d		
Prüflösung	10 % NaCl	-	-
Prüfspannung	≤ 30 V	-	-
Auswertung	Indikatorlösung	Elektrolytwiderstand	Druckfestigkeit

„Rapid Chloride Migration Test“ (RCM):



Wenner-Sonde:



Arbeitspaket 3:

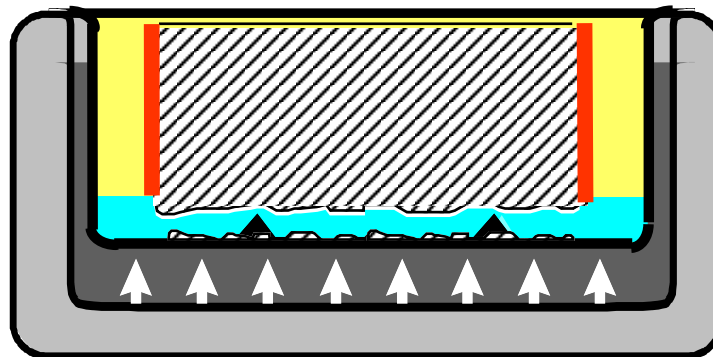
Laborversuche zur Ermittlung dauerhaftigkeitsrelevanter

Bestimmung des Frost-/Frost-Tausalz-Widerstandes (XF)

2 Baustellenbetone (B1 bis B2)

- CIF / CDF
- Frischbeton Luftgehalt / Festbeton LP-Kennwerte
- Druckfestigkeitsprüfung

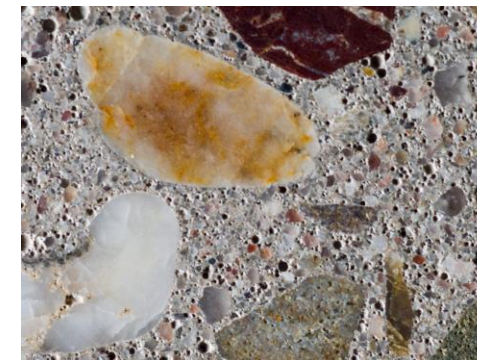
CIF / CDF:



Baustellen		Expositionsklasse XF	
Betone ¹⁾		B1	B2
Zementarten	CEM II/A-LL, CEM II/B-S, CEM III/A, CEM III/B, (CEM I)		
Festigkeitsklassen	C30/37 bis ca. C70/85		

Prüfprozedere	direkt		indirekt
Frischbetoneigenschaften	Konsistenz, Rohdichte, Frischbetontemperatur, Luftgehalt		
Prüfverfahren	CIF/CDF	Luftgehalt im Frischbeton / LP-Kennwerte am Festbeton	Druckfestigkeitsprüfung
Regelwerk	CEN/TS 12390-9	EN 12350-7 / EN 480-11	EN 12390-3
Vorlagerung Wasser/Trockenklima	28 d ²⁾ 6 d / 21 d	bei Anlieferung / 28 d 6 d / 21 d	28 d 27 d / -
Prüflösung	entionisiertes Wasser / 3 % NaCl	-	-
Prüfdauer	56 FTW / 28 FTW	-	-
Auswertung	Abwitterung	Mindestluftgehalt ³⁾ / LP-Kennwerte ⁴⁾	Druckfestigkeit

LP-Kennwerte:



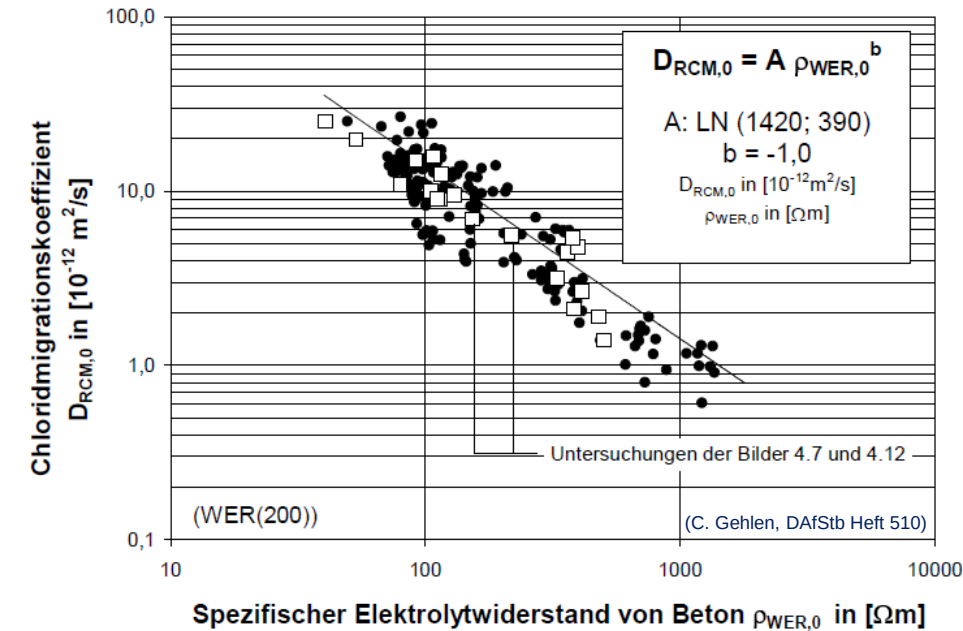
Arbeitspaket 4:

Definition von Annahmekriterien auf der Baustelle / Abnahmekriterien am Bauwerk

Gegenüberstellung der generierten Ergebnisse,
um Korrelationen zwischen

- direkten und indirekten Prüfverfahren
(bspw. Chloridmigrationskoeffizient
versus spez. Elektrolytwiderstand)
- separat hergestellten Proben (Begleitproben)
und Bohrkernen aus Demonstratoren (Bauteilproben)

zu eruieren.



➡ Ableitung von performance-orientierten Annahmekriterien auf der Baustelle / Abnahmekriterien am Bauwerk

Arbeitspaket 5:

Berichterstattung und Ergebnistransfer

- Fortlaufende Begleitung durch den Projektbegleitenden Ausschuss (PA)



- Dokumentation aller Studien, Ergebnisse und Analysen im Abschlussbericht
- Wissenstransfer in die Praxis
- Konferenzen und Tagungen (BTB, DAfStb Fachveranstaltungen...)
- Fachpublikationen
- Gremien und Arbeitskreise (DAfStb, NA Beton...)

Arbeitsdiagramm

Laufzeit: 01.05.2021 bis 30.04.2023

Arbeitsschritte		2021												2022												2023			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4
AP 1	Auswahl repräsentativer Baustellen und Betone					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
AP 1.1	Auswahl repräsentativer Baustellen gemeinsam mit Partnern																												
AP 1.2	Organisation und Koordination der Probenahmen / Herstellung der Demonstratorbauteile																												
AP 2	Probenherstellung und Probenahme					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
AP 2.1	Charakterisierung der Baustellenbetone (Ermittlung der Frischbetoneigenschaften)																												
AP 2.2	Herstellung von Begleitproben																												
AP 2.3	Herstellung der Demonstratorbauteile / Bohrkernentnahme aus Demonstratorbauteile																												
AP 3	Laborversuche zur Ermittlung dauerhaftigkeitsrelevanter Betoneigenschaften					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
AP 3.1	Ermittlung der dauerhaftigkeitsrelevanten Betoneigenschaften mit direkten Prüfverfahren																												
AP 3.2	Ermittlung der dauerhaftigkeitsrelevanten Betoneigenschaften mit indirekten Prüfverfahren																												
AP 3.3	Vergleichsversuche (XD/XS) zur Beurteilung der Reproduzierbarkeit der ermittelten Laborergebnisse																												

Arbeitsdiagramm

Laufzeit: 01.05.2021 bis 30.04.2023

Arbeitsschritte		2021												2022												2023			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4
AP 4	Definition von Annahmekriterien auf der Baustelle / Abnahmekriterien am Bauwerk					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
AP 4.1	Aufstellen von Korrelationen zwischen direkten und indirekten Prüfverfahren sowie zwischen Begleit- und Bauteilproben																												
AP 4.2	Definition von Annahmekriterien auf der Baustelle / Abnahmekriterien am Bauwerk																												
AP 5	Berichterstattung und Ergebnistransfer					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
AP 5.1	Information über Ergebnisse, Diskussion und Planung weiterer Arbeitsschritte (Projektbegleitender Ausschuss)																												
AP 5.2	Vorstellung der Projektergebnisse auf Fachtagungen, Zielgruppe: Bauausführende Firmen																												
AP 5.3	Berichterstattung																												
AP 5.4	Übernahme der Ergebnisse in die wissenschaftliche Lehre, Einarbeitung in die Vorlesungsreihen																												

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Ansprechpartner:

Bochum:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rolf Breitenbücher
E-Mail: Rolf.Breitenbuecher@rub.de

David Ov
E-Mail: David.Ov@rub.de



München:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christoph Gehlen
E-Mail: Gehlen@tum.de

Benedikt Grimm
E-Mail: Benedikt.Grimm@tum.de



Berlin:

Hannes Krüger
E-Mail: krueger@transportbeton.org

Andreas Tuan Phan
E-Mail: phan@transportbeton.org

