

INSTITUT FÜR  
BAUSTOFF  
FORSCHUNG

FEHS

**Frost- & Frost-Tausalz-Widerstand –  
Wie praxisnah sind die aktuellen Laborprüfverfahren?**

Projekt 3 (IGF 21835) + IGF 18183



DAfStb-Fachkolloquium 2025, Berlin, 21.05.2025



V. Feldrappe-2022

### ▪ Pont du Gard

- Mitte 1. Jahrhundert n. Chr.
- Bis 4. Jahrhundert n. Chr.  
ca. 20.000 m<sup>3</sup><sub>Wasser</sub>/d
- Bis Mitte 9. Jahrhundert n. Chr.  
In Benutzung



Beton-Informationen 6 -2012



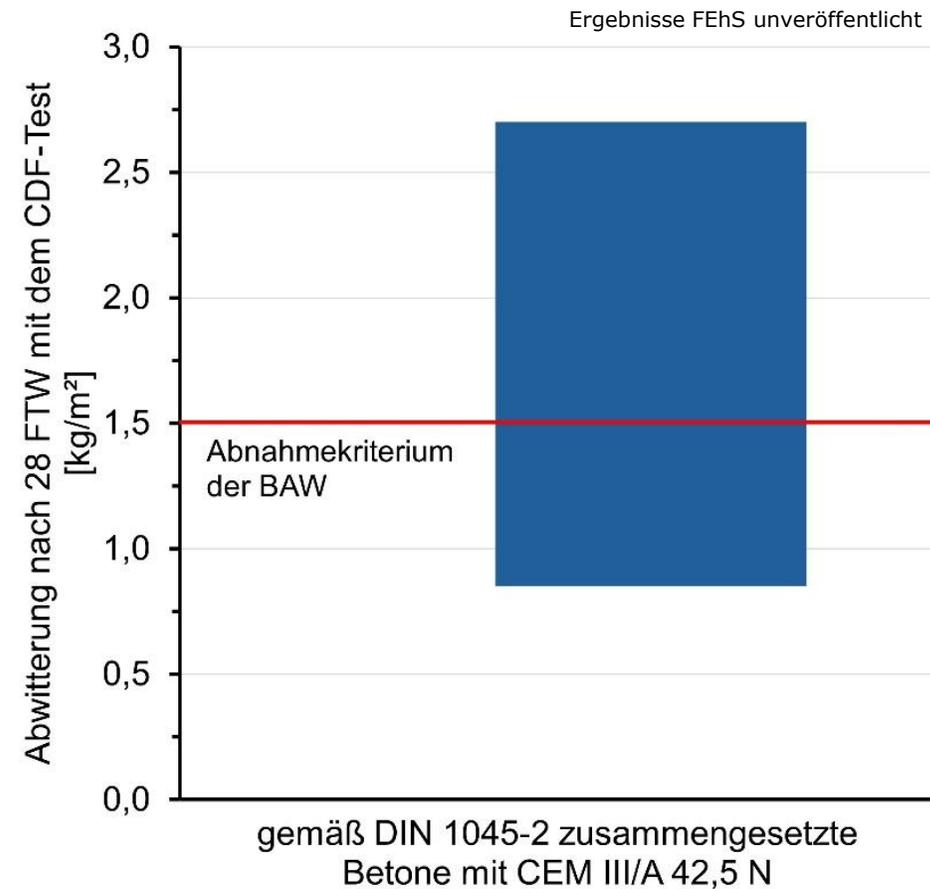
Beton-Informationen 6 -2012

### ▪ **Autobahnbrücken in NRW**

- Kappe aus HOZ 275 Bj. 1978
- Ca. 47 Jahre in Nutzung
- Tadelloser Zustand



Beton-Informationen 6 -2012



- Bemessung der Dauerhaftigkeit
- Neu Betone / Zemente

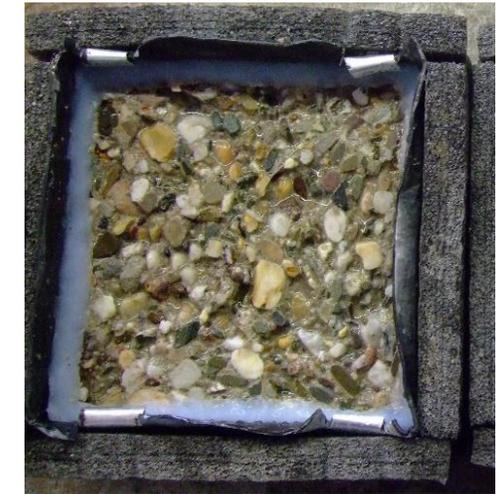
## Gliederung

- 1 **Motivation**
- 2 **Bewertung der Prüfverfahren zum Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand**
- 3 **Bewertung der Vorlagerung der Betone bis zur Prüfung**
- 4 **Modifikation der Vorlagerung und Auswirkungen auf die Prüfergebnisse**
- 5 **Zusammenfassung und Ausblick**

## Bewertung der Prüfverfahren zum Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand



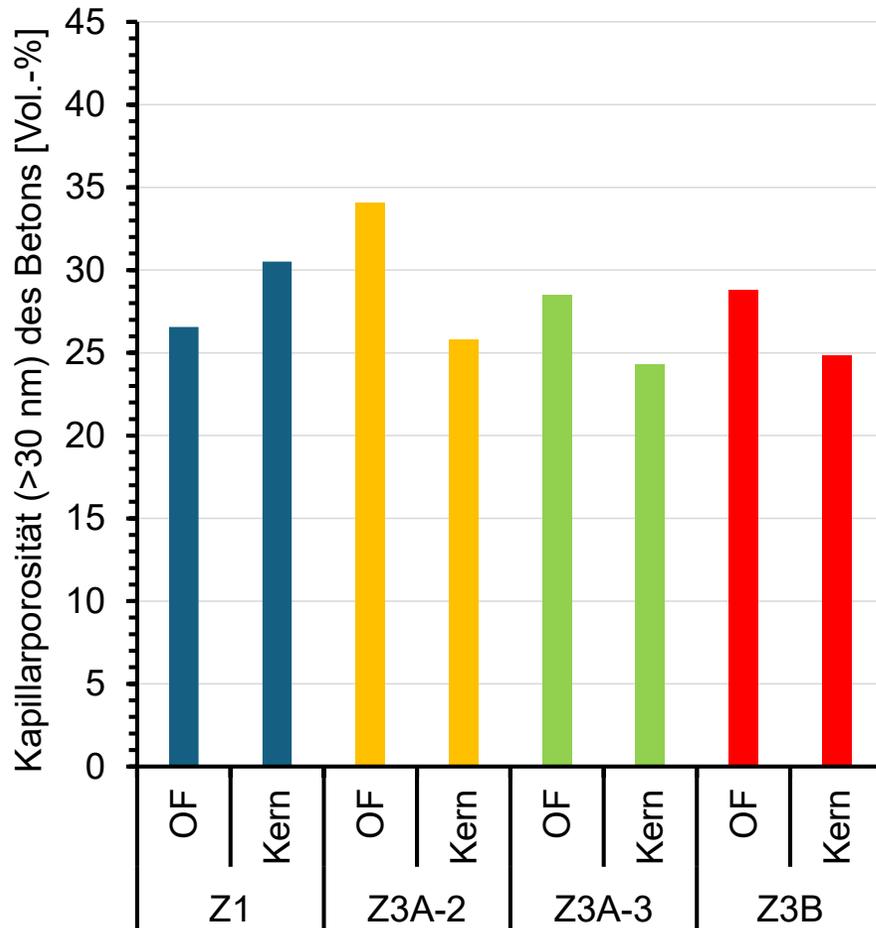
	CDF / CIF	Plattenverfahren
Norm	CEN/TS 12390-9 / CEN/TR 15177	CEN/TS 12390-9
Prüfdauer zeitnah?	21 d +	59 d -
Praxisnähe der Prüffläche	Oberfläche ++	gesägten Kernfläche --
Charakterisierung des Betons?	-	++
Praxisnähe Temperatur und Temperaturänderung	+20/-20°C - -10 K/h --	+20/-20°C - -5,4 K/h -
Angriff / Prüfung reproduzierbar?	++	+
Fehleranfällig?	+	o



Insbesondere das CIF/CDF Prüfverfahren ist allgemein anerkannt

↳ Keine Modifikation nötig

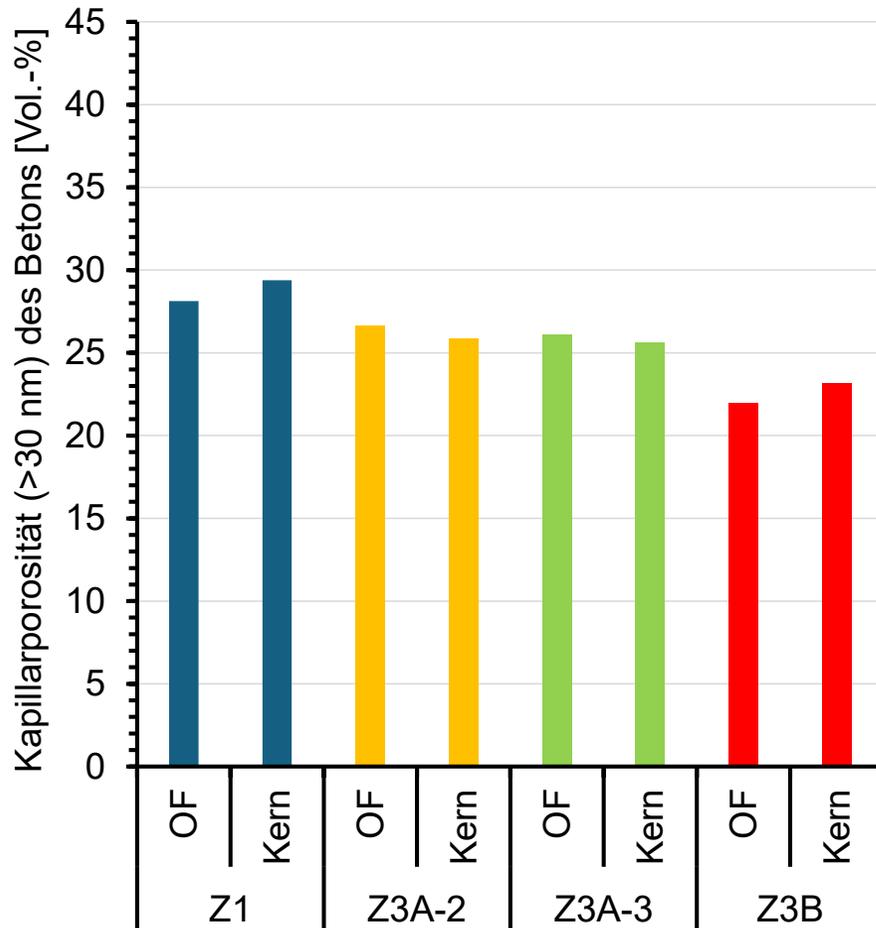
## Bewertung der Vorlagerung der Betone bis zur Prüfung



### Lagerung nach Norm

- 1 d in Form, 6d unter Wasser bei 20°C, 21 d Klimaraum 20°C/65% r.F.
- Signifikante Differenzen der Gefügestruktur zwischen Oberfläche und Kern

## Bewertung der Vorlagerung der Betone bis zur Prüfung



### Typische Bauwerkslagerung

- 1d Schalung, 5 d unter Folie abgedeckt (Prüfung vor erster Frostperiode)
- Gefügestruktur in Oberfläche und Kern annähernd vergleichbar
- Gefügestruktur im Kern bei beiden Lagerungen vergleichbar

- Gefügestruktur im Vergleich zur Baupraxis praxisfremd
- Betonperformance ist an einer repräsentativen Gefügestruktur (Kernbereich) zu testen.

↪ **Modifikation der Vorlagerung nötig!**

## Ausgangsstoffe

Ausgangsstoff		Norm	Untersuchungen
Z1	CEM I 42,5 R	DIN EN 197-1	Haupt- und Nebenbestandteile, mineralogische Zusammensetzung, physikalische Eigenschaften, zementtechnische Untersuchungen
Z2	CEM II/A-LL 42,5 N		
Z3	CEM II/B-S 42,5 N		
Z4	CEM III/A 42,5 N		
Z5	CEM III/B 42,5 N		
Z6	CEM II/C (S-LL) 42,5 N	DIN EN 197-5	
FA1	Betonzusatzstoff SFA	DIN EN 450	
	Gesteinskörnungen	DIN EN 12620	Siebanalyse, Rohdichte
	Luftporenmittel	DIN EN 934	Feststoffgehalt

### Mischung aus

- etablierten Zementen (= Anbindung Erfahrungen) und
- "neuem" Zement (= Beispiel für Performancetests, ggf. auch bei neuen Zementbestandteilen)

## Betone

Expositionsklasse		XF3		XF4	
Beton		B1	B2	B3	B4
Zementgehalt	[kg/m <sup>3</sup> ]	320	320	320	320
w/z-Wert	[-]	0,50	0,60	0,50	0,50
Luftgehalt	[Vol.-%]	0,0	0,0	5,0	3,0
Gesteinskörnung	[-]	A16/B16			

- B1 und B3 Beton gemäß Grenzrezepturen von DIN 1045-2
- B2 und B4 abweichende Rezepturen, bei denen **kein** hoher Frost- bzw. Frost-Tausalz-Widerstand erwartet wird

⇒ Referenzbeton

⇒ Variationsbeton

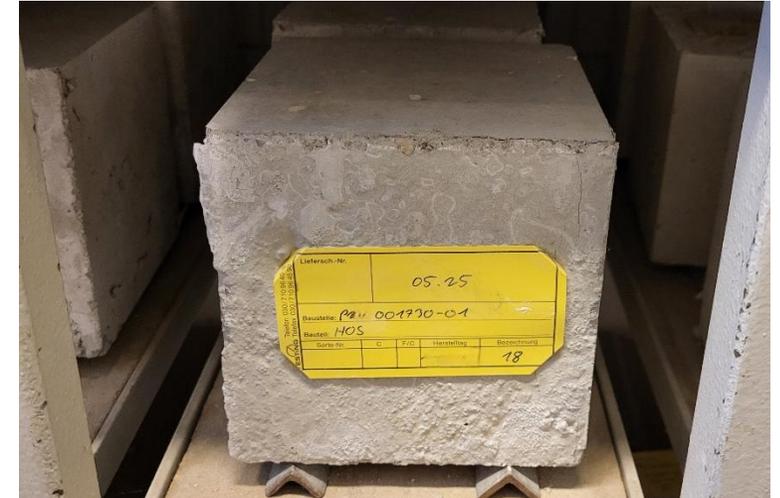
## Modifizierte Nachlagerung Ergebnis IGF 18183



7 d in Form bei 20°C  
mit Folie abgedeckt



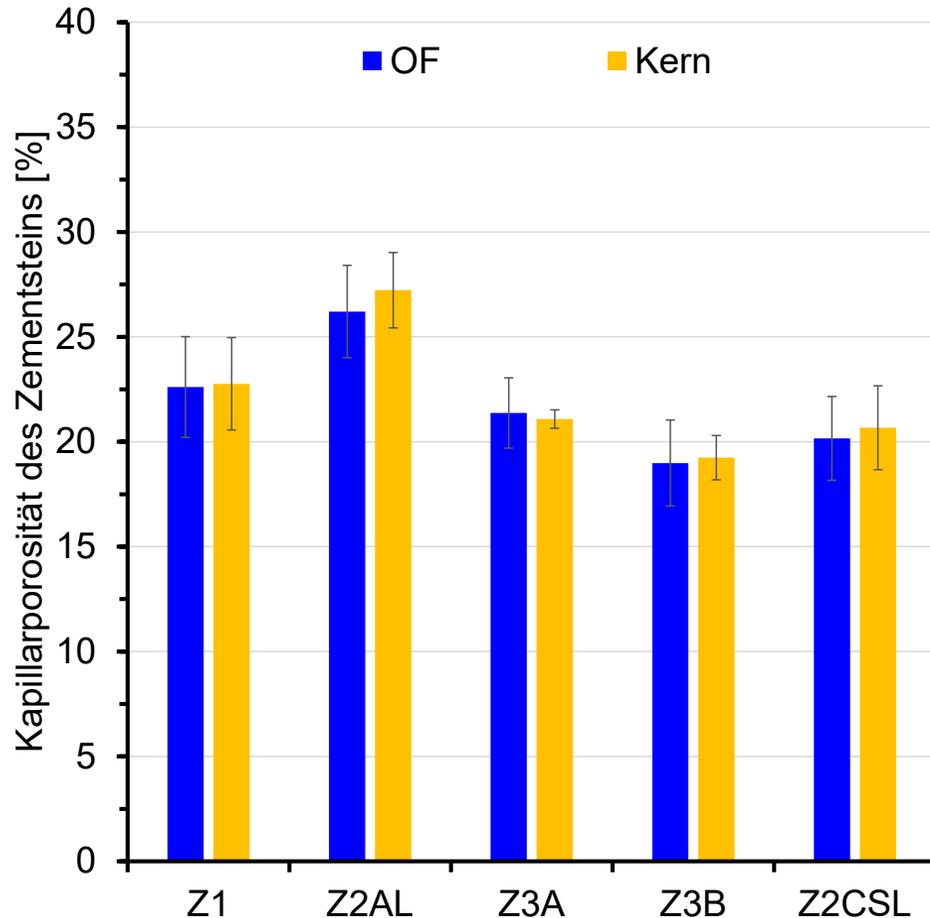
14 d unter Wasser bei 20°C



7 d Klimaraum 20°C / 65% r.F

28 d Nachlagerung

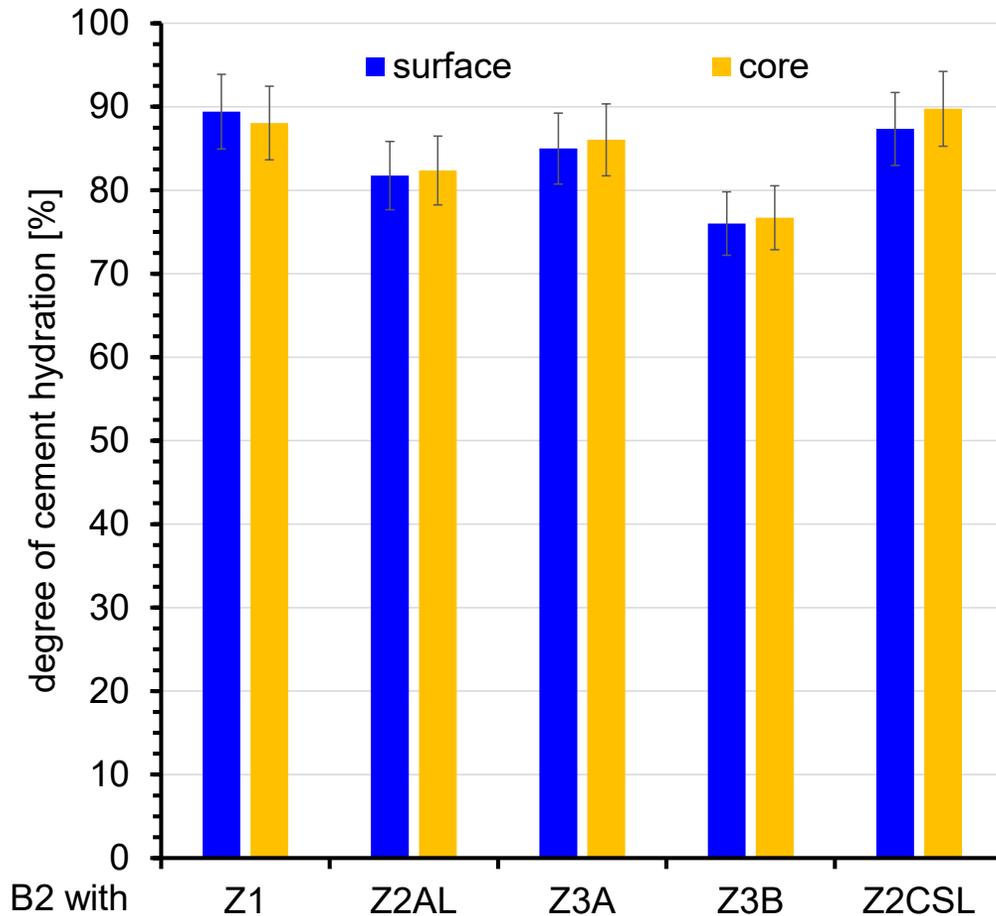
## Einfluss der modifizierte Vorlagerung auf die Gefügestruktur



### Hg-Hochdruckporosimetrie

- Kapillarporosität = Poranteil  $\geq 0,03$  nm
- Kapillarporosität in Oberfläche und Kern annähernd vergleichbar

## Einfluss der modifizierte Vorlagerung auf die Gefügestruktur



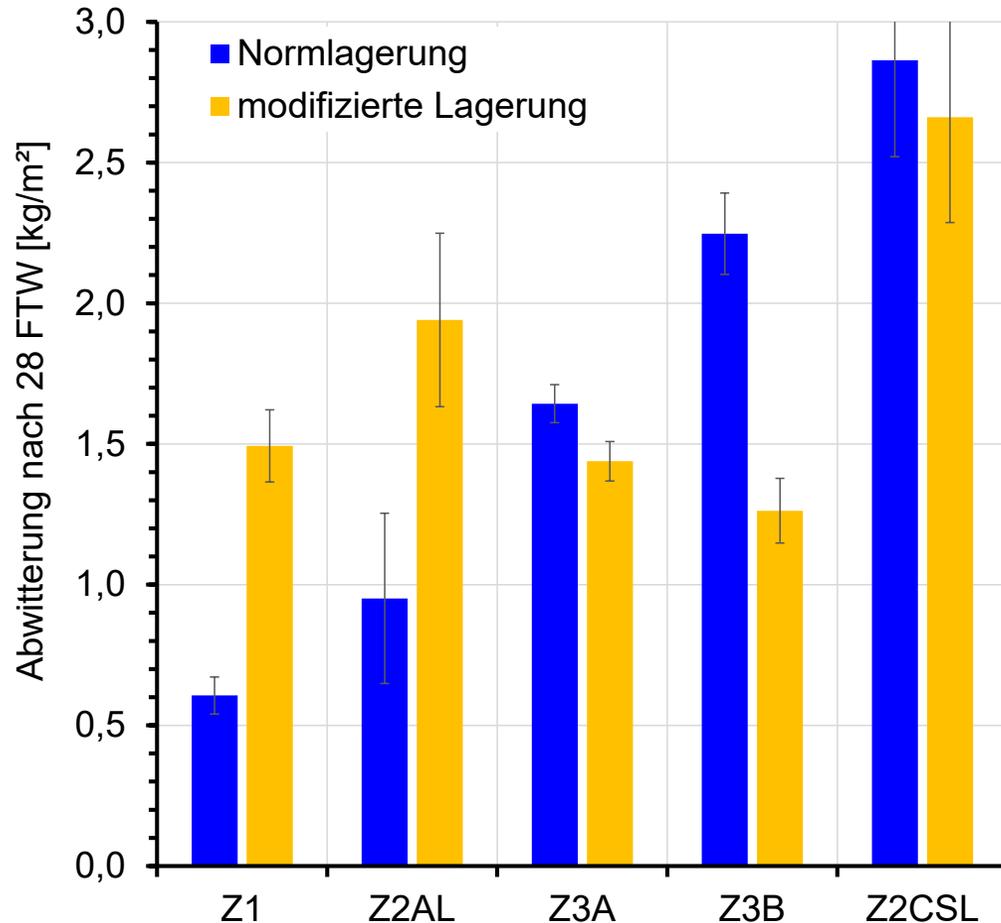
### Hydratationsgrad

- Hydratationsgrad =  $H_2O_{\text{chem,ist}} / H_2O_{\text{chem,max}}$
- Hydratationsgrad in Oberfläche und Kern annähernd vergleichbar

- Keine Verlängerung der Nachlagerung
- Keine Zonierung durch Nachlagerung
- zu Bauwerksbetonen vergleichbare Gefügestruktur

↪ **Oberflächennaher Bereich repräsentiert Betonqualität und ist praxisnah**

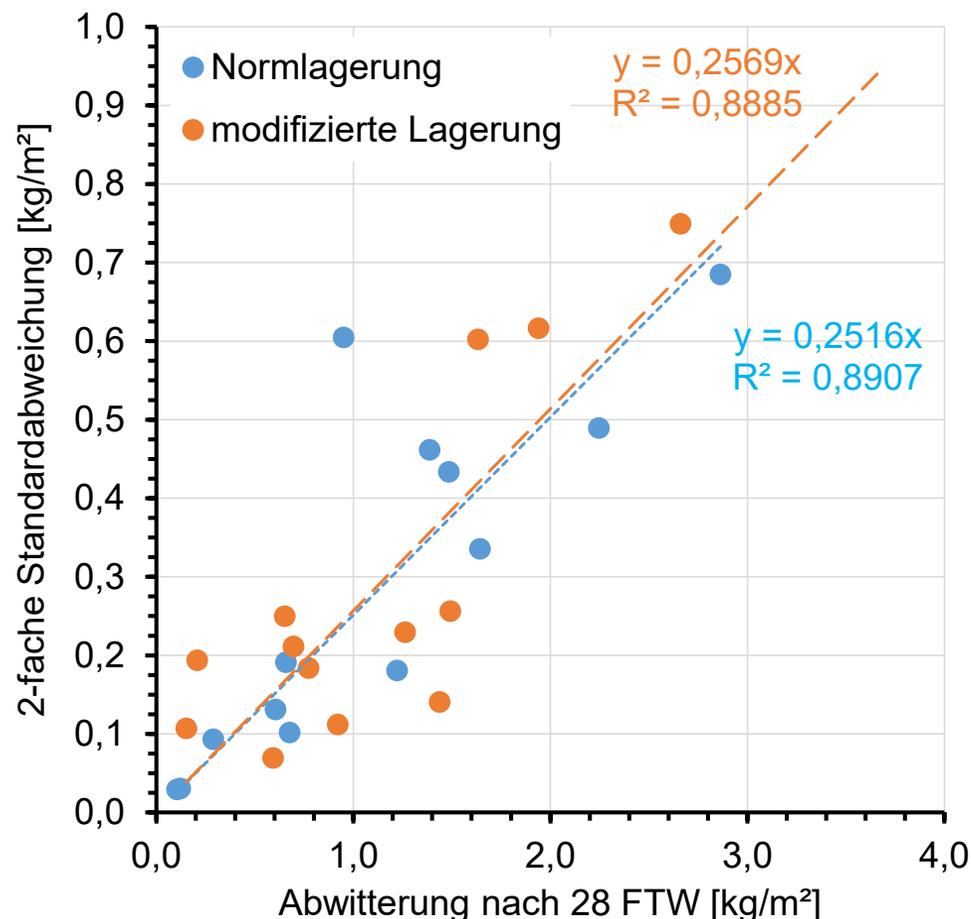
## Auswirkung der modifizierte Vorlagerung auf die Abwitterung (CDF / CIF)



### Abwitterung

- Abnahme bei langsamer erhärtenden Betonen
- Zunahme bei schneller erhärtenden Betonen
- Unabhängig von der Betonzusammensetzung
- Unabhängig vom Prüfmedium (Wasser / 3% NaCl)

## Auswirkung der modifizierte Vorlagerung auf die Abwitterung (CDF / CIF)



### Abwitterung

- Abnahme bei langsamer erhärtenden Betonen
- Zunahme bei schneller erhärtenden Betonen
- Unabhängig von der Betonzusammensetzung
- Unabhängig vom Prüfmedium (Wasser / 3% NaCl)

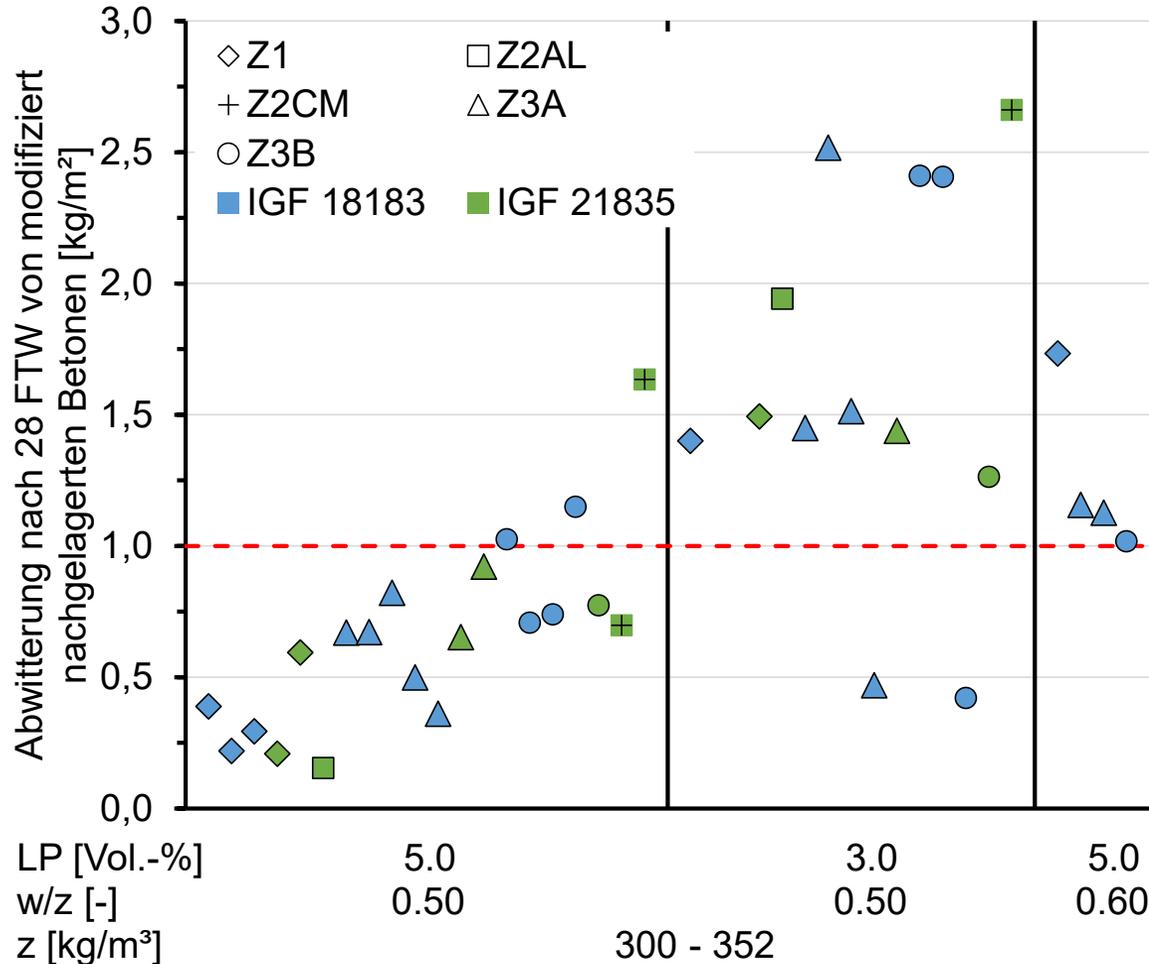
### Signifikanz der Ergebnisse

- Kein signifikant anderes Abwitterungsverhalten
- Mit steigender Abwitterung, Zunahme der Streuung

Das von der BAW für definierte Abnahmekriterium

- ↪ **CDF:** ist zu modifizieren.
- ↪ **CIF:** muss nicht modifiziert werden, da hinsichtlich der Beurteilung nicht kritisch.

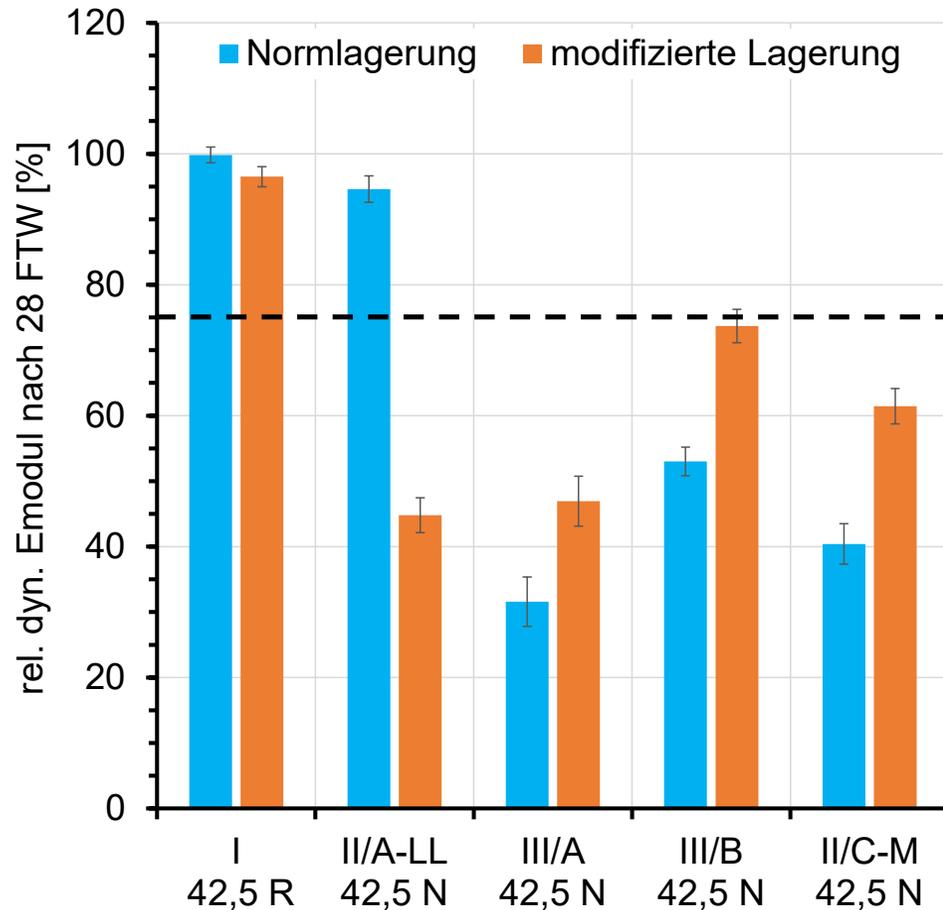
## Bewertung des Frost-Tausalz-Widerstands (CDF) - Abnahmekriterium



### Abnahmekriterium

- Basierend auf Praxiserfahrungen könnte ein Abnahmekriterium bei 1,0 kg/m<sup>2</sup> liegen
- Zielsichere Unterscheidung möglich.
- Falsch positive Ergebnisse mit der Standardnachlagerung (Beton mit CEM I bzw. CEM III/A-LL, w/z = 0,50 und 3% LP) wurden erkannt

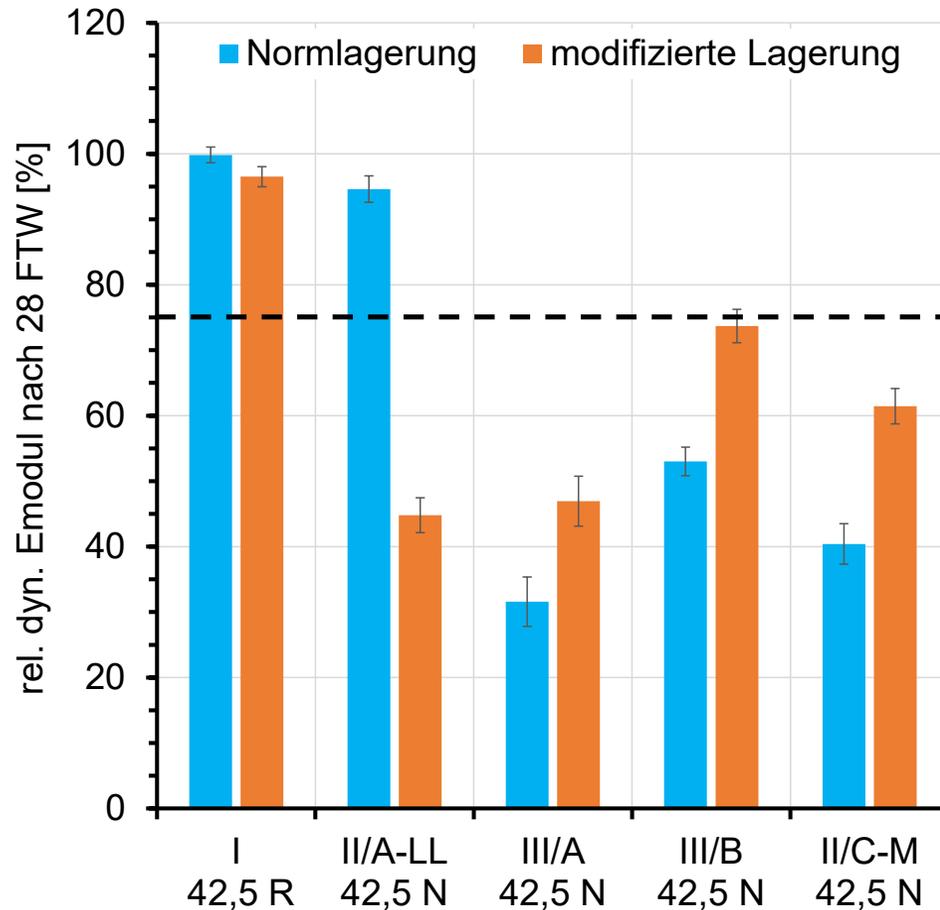
## Auswirkung der modifizierte Vorlagerung auf den RDM (CDF / CIF)



### Rel. dyn. E-Modul (RDM)

- Tendenziell vergleichbares Verhalten wie bei der Abwitterung
- Zunahme bei langsamer bzw. Abnahme bei schneller erhärtenden Betonen

## Auswirkung der modifizierte Vorlagerung auf den RDM (CDF / CIF)



### Rel. dyn. E-Modul (RDM)

- Tendenziell vergleichbares Verhalten wie bei der Abwitterung
- Zunahme bei langsamer bzw. Abnahme bei schneller erhärtenden Betonen

### Signifikanz der Ergebnisse

- Kein signifikant anderes Abwitterungsverhalten
- Mit steigender Abwitterung, Zunahme der Streuung

↪ **CDF/CIF:** Das von der BAW für definierte Abnahmekriterium muss nicht modifiziert werden, da hinsichtlich der Beurteilung nicht kritisch

## Zusammenfassung

- Praxisnähe, Zeitraffer und Reproduzierbarkeit bei CDF- / CIF-Test) in Summe in Ordnung
- Modifizierte Vorlagerung führt zu einer Betonrandzone, deren Struktur
  - vergleichbar zu der des Kernbetons ist
  - vergleichbar zu der von Praxisbetonen ist
- Auswirkung auf die Prüfung: Ergebnisse (Abwitterung, RDM) nehmen
  - bei langsamer erhärtender Betone ab
  - bei schneller erhärtenden Betonen zu
  - Streuung der Ergebnisse unverändert

↪ **etablierte Prüfverfahren keine Modifikation nötig**

↪ **Prüfung der Betonqualität sichergestellt**

↪ **Bewertung des Frost- bzw. Frost-Tausalz-Widerstands praxisnah möglich**



Betonperformance lässt sich praxisnäher prüfen, **aber** Einflüsse aus

- überlagerten Angriffen
- Herstellung
- Unterhaltung und Wartung

werden nicht erfasst!

Überlegungen zur Berücksichtigung der Karbonatisierung /

Nachbehandlungsempfindlichkeit

existieren ⇒ **Forschungsbedarf nötig!**

**Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit !**