

# **Zuverlässige Prüfung des Frost- und Frost-Tausalz-Widerstands von Beton mit dem CDF- und CIF-Test**

Dem Fachbereich Bauwesen  
der Universität Gesamthochschule Essen  
vorgelegte

Dissertation  
zur Erlangung des Grades eines  
Doktor-Ingenieurs

von  
Dipl.-Ing. Rainer Auberg  
aus Mülheim an der Ruhr

Tag der mündlichen Prüfung	30. Juli 1998
Referent	Prof. Dr. rer. nat. Dr.-Ing. habil. Max J. Setzer
Koreferent	Prof. Dr. rer. nat. Dr.-Ing. h.c. Folker Wittmann
Vorsitzender	Prof. Dr.-Ing. Werner Richwien

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Zielsetzung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen und Überblick</b>	<b>4</b>
2.1	Schädigung durch Frostangriff mit und ohne gleichzeitige Belastung durch Taumittel	4
2.2	Resultierende Maßnahmen zur Gewährleistung eines ausreichenden Frost- und Frost-Tausalz-Widerstands	17
2.2.1	Ausgangsstoffe	17
2.2.2	Betontechnologie	23
2.2.3	Gestaltung, Nutzung und Instandhaltung von Bauteilen	24
2.2.4	Resümee	25
2.3	Anforderung an eine Prüfmethode	25
2.4	Beurteilung des Frost- und Frost-Tausalz-Widerstands mittels Laborprüfung	27
2.5	Korrelation zur praktischen Erfahrung	35
2.6	Angewandte Statistik und Präzisionsbetrachtung im Bauwesen	40
2.6.1	Anwendung der Statistik in der Festigkeitsprüfung und anderen Prüfungen des Betons	40
2.6.2	Präzision von Prüfmethode des Frost- und Frost-Tausalz-Widerstands	41
<b>3</b>	<b>Ausgangssituation und Einordnung der eigenen Arbeit</b>	<b>45</b>
<b>4</b>	<b>Einflußfaktoren auf das Abwitterungsverhalten</b>	<b>46</b>
4.1	Materialtechnologische Betrachtung	47
4.1.1	Porosität und Karbonatisierung	47
4.1.2	Unterschiede im Gefrierverhalten	49
4.1.3	Chloridgradient in einer oberflächennahen Schicht	51
4.2	Auswirkung auf das Abwitterungsverhalten	53
4.3	Einfluß von Alterungseffekten auf die Beurteilung des Frost-Tausalz-Widerstands	58
4.4	Einfluß der Wasserqualität auf die Prüfung des Frostwiderstands	61
4.5	Konsequenzen für die Aussagekraft und Reproduzierbarkeit der Prüfung des Frost- und Frost-Tausalz-Widerstands mittels Oberflächenschädigung	66
<b>5</b>	<b>Entwicklung, Optimierung und Kalibrierung des CIF-Tests</b>	<b>68</b>
5.1	Innere Schädigung durch den CIF-Test	68
5.2	Verfahren zur Bestimmung der inneren Schädigung unter praktischen Bedingungen eines Betonlabors	79
5.2.1	Bestimmung des Elastizitätsmoduls als Größe der inneren Schädigung durch Frostangriff	80
5.2.2	Resonanzmessung und Dämpfung	81

5.2.3	Ultraschallprüfung	85
5.2.4	Resümee zu zerstörungsfreien Meßmethoden	91
5.3	CIF-Test - Prüfung der inneren Schädigung	92
5.3.1	Standardisierung des CIF-Tests	92
5.3.2	Erfahrungen mit dem CIF-Test	93
5.3.3	Beurteilung und Kalibrierung der inneren Schädigung mit dem CIF-Test	95
5.3.4	Zusammenhang zwischen der Biegezug- bzw. Druckfestigkeit und der Änderung im dynamischen E-Modul beim CIF-Test	99
5.4	Resümee zum CIF-Test	101
<b>6</b>	<b>Präzisionsbetrachtung</b>	<b>103</b>
6.1	Genauigkeit der Meßmethodik	103
6.2	Fehlerquellen und deren Abschätzung	103
6.2.1	Systematische Meßfehler	103
6.2.2	Zufällige Meßfehler	104
6.2.3	Vertrauensbereich	104
6.2.4	Rechnen mit fehlerbehafteten Zahlen	105
6.2.5	Regressionsanalyse	105
6.3	Präzisionsermittlung nach ISO 5725	105
6.3.1	Definitionen	107
6.3.2	Grundlegende Schritte der statistischen Betrachtung eines Ringversuches in Anlehnung an ISO 5725	108
6.4	Untersuchungen zur Präzision	111
6.5	Präzision des CDF-Tests	112
6.5.1	Wiederholpräzision für konstruktive Betone	112
6.5.2	Präzision unter Zwischenbedingungen für konstruktive Betone	115
6.5.3	Vergleichpräzision für konstruktive Betone	117
6.5.4	Vergleichpräzision für Betonwaren	130
6.5.5	Resümee zur Präzision der Abwitterungsbestimmung mit dem CDF-Test	133
6.5.6	Bekanntgabe der Präzisionsdaten für den CDF-Test nach ISO 5725	137
6.6	Präzision des CIF-Tests	138
6.6.1	Präzision der Messung der inneren Gefügeschädigung mit dem CIF-Test	138
6.6.2	Präzision der Abwitterungsbestimmung mit dem CIF-Test	146
6.6.3	Bekanntgabe der Präzisionsdaten des CIF-Tests	155
6.7	Praktische Anwendung von Präzisionsdaten	156
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und offene Fragen</b>	<b>162</b>
<b>8</b>	<b>Literatur</b>	<b>167</b>
<b>9</b>	<b>Anhang</b>	<b>179</b>