

Universität Duisburg-Essen
Fachbereich 10 – Bauwissenschaften
Fachgebiet Bauphysik und Materialwissenschaft

Gesteinskörnungen im Beton unter Frost-Tau-Belastung - Auswirkung auf Prüfung und Anwendung -

Dem Fachbereich Bauwissenschaften an der
Universität Duisburg-Essen
vorgelegte

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur

von
Dipl.-Ing. Peer Heine
aus Wuppertal

Essen 2004

Tag der mündlichen Prüfung	26.10.04
Referent	Prof. Dr. rer. nat. Dr.-Ing. habil. Max J. Setzer
Koreferent	Prof. Dr.-Ing. Rolf Breitenbücher
Vorsitzender	Prof. Dr.-Ing. Renatus Widmann

Mitteilungen aus dem Institut für Bauphysik
und Materialwissenschaft

Band 7

Peer Heine

**Gesteinskörnungen im Beton
unter Frost-Tau-Belastung**

- Auswirkung auf Prüfung und Anwendung -

Shaker Verlag
Aachen 2004

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Zugl.: Duisburg-Essen, Univ., Diss., 2004

Copyright Shaker Verlag 2004

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-3510-8

ISSN 1435-7275

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Bauphysik und Materialwissenschaft im Fachbereich Bauwissenschaften an der Universität Duisburg-Essen.

In besonderem Maße danke ich Herrn Prof. Dr. rer. nat. Dr.-Ing. habil. Max J. Setzer für die Anregungen zu diesem Thema, die Diskussionsbereitschaft und für das entgegengebrachte und dauerhafte Vertrauen.

Ich danke sehr herzlich Herrn Prof. Dr.-Ing. Rolf Breitenbücher für die Übernahme des Koreferats, die wichtigen Anmerkungen und die kritische Durchsicht meiner Arbeit.

Mein weiterer Dank gilt Prof. Dr.-Ing. Renuat Widmann als Vorsitzenden der Prüfungskommission.

Allen wissenschaftlichen und nichtwissenschaftlichen Mitarbeitern des Instituts möchte ich für die ausgesprochen gute Zusammenarbeit und die große Hilfsbereitschaft danken. Ohne dieses Team wäre die Verwirklichung dieser Arbeit nicht möglich gewesen.

Mein Dank gilt auch den Diplomanden und den zahlreichen studentischen Hilfskräften, insbesondere Frau Aslantas, die alle mit Ihrer Tätigkeit zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben.

Ich danke schließlich auch dem Förderverein des Instituts für Bauphysik und Materialwissenschaft FBPM für die finanzielle Unterstützung bei der Veröffentlichung dieser Arbeit.

Essen, November 2004

Peer Heine

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zielstellung	1
2	Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand von Beton.....	3
2.1	Gefrierpunktniedrigung, Unterkühlung und Eisbildung	3
2.1.1	Gefrierpunktniedrigung.....	3
2.1.2	Unterkühlungseffekte	6
2.2	Schädigungsmechanismen.....	6
2.2.1	Makroskopische Schädigungen.....	6
2.2.2	Mikroskopische Schädigungen	8
2.2.3	Thermodynamische Beschreibung	10
2.2.4	Sonstige Schädigungsprozesse.....	14
2.3	Einflussgrößen	15
3	Gesteinskörnungen für Beton	18
3.1	Klassifizierung.....	18
3.1.1	Natürliche Gesteinskörnungen	18
3.1.2	Rezyklierte Gesteinskörnungen	19
3.2	Gesteinskörnungen unter Frost-Tau-Belastung.....	23
3.2.1	Reine Gesteinskörnungen.....	23
3.2.2	In die Matrix eingebundene Gesteinskörnung	26
3.2.3	Gesteinskörnungsbedingte Schäden bei Beton unter Frostbelastung	29
3.2.4	Stand der Normung	31
4	Die Kontaktzone	34
5	Bewertung der Prüfung an reinen Gesteinskörnungen.....	39
6	Ausgangssituation und methodisches Vorgehen	41
7	Untersuchungsmethoden	42
7.1	CDF-/CIF-Test.....	42
7.1.1	Durchführung	42
7.2	Bildanalytische Untersuchungen	44
7.2.1	Probenpräparation	45
7.2.2	Mikroskopaufnahmen und EDV-gestützte Bildverarbeitung	47
7.2.3	Beurteilung und Auswertung	49
7.3	Begleitende Untersuchungen	50
8	Ausgangsstoffe	52
8.1	Voruntersuchungen.....	52
8.2	Prüfung der reinen Gesteinskörnung	56

9	Betonprüfung von Gesteinskörnungen nach DIN 4226	59
9.1	Prüfung mit demineralisiertem Wasser im Standardbeton	59
9.2	Prüfung mit NaCl-Lösung im Luftporenbeton	60
9.3	Bewertung der Betonprüfung	62
9.4	Folgerung	64
10	Einfluss der Gesteinskörnung auf den Frostwiderstand von Beton	67
10.1	Voraussetzungen	67
10.2	Variation der Gesteinskörnungen	71
10.3	Folgerung	77
11	Betontechnologische Parameter	79
11.1	w/z-Wert	79
11.2	Sieblinie	84
11.3	Luftporengehalt	87
11.4	Feinanteile	90
11.5	Größtkorn	92
11.6	Folgerung	95
12	Rezyklierte Gesteinskörnungen	97
12.1	Einfluss des RC-Anteils	97
12.2	100% RC-Material 2-32mm	100
12.3	Folgerung	102
13	Schadenscharakteristik	104
13.1	Schädigungsarten	105
13.2	Materialspezifische Schadenscharakteristik	107
14	Erkenntnisse zum CIF-Test	112
15	Grenzwertdiskussion	115
16	Zusammenfassung und Ausblick	117
17	Literatur	121
	Anhang	134

Verwendete Abkürzungen:

ASR	Alkali-Silika-Reaktion
CDF	Capillary Suction, De-Icing-Salt and Freeze-Thaw-Test
CIF	Capillary Suction, Internal Damage and Freeze-Thaw-Test
FTW	Frost-Tau-Wechsel
ITZ	Interfacial Transition Zone (Kontaktzone / wörtl.: Übergangszone)
LP	Luftporen (LP-Gehalt, LP-Mittel)
MIP	Mercury Intrusion Porosimetry (Quecksilberdruck-Porosimetrie)
RC	Recycling- / rezykliert
RDM	Relativer dynamischer E-Modul
RDM ₈₀	Relativer dynamischer E-Modul von 80%
TM	Taumittel