



Alexander Liebrecht (Autor)
**Phasenübergänge, Frostschwinden und
Schrumpfvorgänge im Zementstein**
- Phasenübergänge und Transportmechanismen -

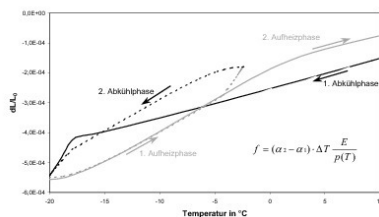
UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Mitteilungen
aus dem Institut für
Bauphysik und
Materialwissenschaft

**Phasenübergänge, Frostschwinden und
Schrumpfvorgänge im Zementstein**

Phasenübergänge und
Transportmechanismen

von
Alexander Liebrecht



Heft 11

Herausgeber: Prof. Dr. rer. nat. Dr.-Ing. habil. Max J. Setzer
Universität Duisburg-Essen

Cuvillier Verlag Göttingen

<https://cuvillier.de/de/shop/publications/2225>

Copyright:
Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentzsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,
Germany
Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG	1
2	THEORETISCHE GRUNDLAGEN	3
2.1	Zementstein und Porenraum	3
2.1.1	Zement	3
2.1.2	Hydratationsprozess	4
2.1.3	Zementsteinmodelle	6
2.1.4	Porenraum	8
2.2	Wasser und Eis	10
2.2.1	Allgemeines	10
2.2.2	Eigenschaften des Porenwassers	12
2.3	Thermodynamik	14
2.3.1	Grundsätze der Thermodynamik	14
2.3.2	Mechanisches Potential	16
2.3.3	Chemische Stabilität / Potential	17
2.3.4	Mechanische Stabilität	17
2.4	Unterkühlung und Nukleationsprozesse	18
2.4.1	Unterkühlung	18
2.4.2	Homogene Nukleation	20
2.4.3	Heterogene Nukleation	21
2.4.4	Kristallisation	23
2.4.5	Gefrierpunktserniedrigung	24
2.5	Transportvorgänge	27
2.5.1	Temperaturgradient	27
2.5.2	Unterschiedliche thermische Ausdehnung	27
2.5.3	Mikroislinsen	28
2.5.4	Osmose	29
2.5.5	Perkolationstheorie nach Scherer	30
2.6	Schadenmechanismen	31
2.6.1	Makroskopische Schadensmechanismen	31
2.6.2	Mikroskopische Schadensmechanismen	34
2.7	Mikroislinsenmodell	35
2.8	Chemisches Schrumpfen	37

3	MESSMETHODEN	42
3.1	<i>Dynamische Differenzkalorimetrie (DSC)</i>	42
3.2	<i>Längenänderung</i>	43
3.2.1	Allgemeines.....	43
3.2.2	Messmethode.....	44
3.3	<i>Quecksilberdruckporosimetrie</i>	45
4	MATERIALIEN UND LAGERUNG	47
4.1	<i>Materialien</i>	47
4.2	<i>Herstellung und Lagerung</i>	49
5	ERGEBNISSE UND DISKUSSION	51
5.1	<i>Phasenübergänge im Zementstein</i>	51
5.1.1	Eisbildung im Zementstein	51
5.1.2	Einfluss der Zusammensetzung der Porenlösung.....	55
5.1.3	Einfluss der Fremdoberflächen auf die Eisbildung	58
5.2	<i>Thermische Dehnung, Schädigungsmechanismen und Transportvorgänge im Zementstein</i>	60
5.2.1	Messbedingungen und Versuchsdurchführung.....	60
5.2.2	Dehnungsverhalten der Zementsteinproben mit unterschiedlichem Feuchtegehalt	62
5.2.3	Einfluss unterschiedlicher Porensysteme auf das Dehnungsverhalten des Zementsteins.....	68
5.2.4	Einfluss des Probenalters auf die Transportvorgänge.....	73
5.2.5	Einfluss der Zementzusammensetzung	77
5.2.6	Auswirkungen der Eisbildung im Zementstein.....	85
5.2.7	Frostschwinden und die Höhe des alpha-Wertes.....	88
5.2.8	Dehnungsverhalten der feinporösen Zementsteinproben	93
5.3	<i>Chemisches Schrumpfen</i>	96
5.3.1	Selbstaustrocknung.....	96
5.3.2	Ausbildung von Hohlräumen	108
6	ZUSAMMENFASSUNG	111
7	AUSBLICK	116
8	LITERATUR	117
	ANHANG	124