

INHALTSVERZEICHNIS

I	EINLEITUNG	
1	PROBLEMSTELLUNG	3
2	ZIEL DER ARBEIT	5
II	GRUNDLAGEN & STAND DER FORSCHUNG	
3	GRUNDLAGEN DES ZEMENTSTEINS	9
	3.1 Zement – Definition und Zusammensetzung	9
	3.2 Die Hydratation von Portlandzement	10
	3.3 Gefügestruktur, Porenraum und Porenwasser	12
	3.4 Zementsteinmodelle	15
	3.4.1 Zementsteinmodell nach Powers und Brownyard	15
	3.4.2 Zementsteinmodell nach Feldman und Sereda	16
	3.4.3 Zementsteinmodell nach Kondo und Daimon	16
	3.4.4 Zementsteinmodell nach Wittmann und Setzer	17
	3.4.5 Zementsteinmodell nach Jennings	18
	3.4.6 Strukturausbildung nach Stark und Möser	18
4	SORPTION UND KAPILLARKONDENSATION	21
	4.1 Adsorption	21
	4.2 Kapillarkondensation	22
	4.3 Füllung der Mikroporen	24
	4.4 Sorptionsisotherme	25
	4.4.1 Oberflächenbestimmung nach BET	26
	4.4.2 Oberflächenbestimmung nach GIM2	27
5	SCHWINDEN VON ZEMENTSTEIN UND BETON	31
	5.1 Grundlagen zum Schwinden	31
	5.2 Kapillarschwinden	33
	5.3 Chemisches Schwinden	34
	5.4 Autogenes Schwinden	34
	5.5 Karbonatisierungsschwinden	34
	5.6 Trocknungsschwinden	35

6	SCHWINDMECHANISMEN	39
6.1	Oberflächenenergie.....	39
6.2	Spaltdruck.....	42
6.2.1	Grundlagen der Spaltdrucktheorie.....	42
6.2.2	Die molekulare (dispersive) Komponente.....	43
6.2.3	Die elektrostatische Komponente.....	45
6.2.4	Die Struktur-Komponente.....	45
6.2.5	Die Isotherme des Spaltdrucks.....	46
6.2.6	Der Spaltdruck im Zementstein.....	46
6.3	Kapillarspannungen.....	48
III	EXPERIMENTE	
7	LASERMESSUNG DES TROCKNUNGSSCHWINDENS	55
7.1	Ausgangssituation und Anforderungen.....	55
7.1.1	Feuchtigkeitsgradient.....	55
7.1.2	Messmethode.....	59
7.1.3	Klimasteuerung.....	60
7.1.4	Nebeneffekte.....	62
7.1.5	Fazit.....	63
7.2	Messprinzip.....	63
7.3	Komponenten des Messaufbaus.....	68
7.3.1	Laser und Optik.....	69
7.3.2	Positionssensible Detektoren.....	70
7.3.3	Messkammer und Messeinsatz.....	72
7.3.4	Feuchtgeneratoren.....	74
7.3.5	Gasversorgung.....	77
7.3.6	Datenerfassung.....	78
7.4	Durchführung und Auswertung einer Messung.....	78
7.5	Kalibrierung und Messungenauigkeit.....	81
7.5.1	Kalibrierung des Hebelarms.....	81
7.5.2	Kalibrierung der PSD.....	82
7.5.3	Messungenauigkeit.....	84
7.5.4	Kalibrierung des Feuchtgenerators aCCU-3.....	90
7.5.5	Kalibrierung der Feuchtigkeitssonden.....	91
8	WEITERE UNTERSUCHUNGSMETHODEN	93
8.1	Wegaufnehmermessung des Schwindens.....	93
8.2	Messung der Sorptionsisothermen.....	95
8.2.1	Dynamische Messung mit der Magnetschwebewaage.....	95
8.2.2	Dynamische und stationäre Einzelmessung.....	97
8.3	Reindichtebestimmung (Heliumpyknometrie).....	97
8.4	Statischer E-Modul (DMA).....	99
8.5	Schmelzenthalpie der Porenlösung (DSC).....	102

9	PROBENMATERIAL	105
	9.1 Ausgangsmaterialien.....	105
	9.2 Probenherstellung und -präparation.....	105
IV	ERGEBNISSE & INTERPRETATION	
10	DIE MESSUNGEN IM ÜBERBLICK	109
11	ERGEBNISSE DES TROCKNUNGSSCHWINDENS	111
	11.1 Verformungsverlauf und erste Analyse.....	111
	11.2 Dynamik der Verformung.....	117
	11.3 Trocknungsschwinden und Wassergehalt	118
	11.4 Trocknungsschwinden und Oberflächenenergie.....	121
	11.5 Trocknungsschwinden und Spaltdruck	123
	11.6 Trocknungsschwinden und Kapillarwirkung.....	124
12	SORPTIONSISOTHERME UND INNERE OBERFLÄCHE	127
	12.1 Verlauf der Sorptionsisothermen	127
	12.2 Spezifische Oberfläche des Zementsteins.....	129
13	ERGEBNISSE DER DICHEMESSUNG	133
	13.1 Hygrische Änderung der Reindichte	133
	13.2 Abschätzung der Porenwasserdichte	136
14	KOMBINATION DER MESSDATEN	139
	14.1 Hygrische Änderung der inneren Volumina.....	139
	14.2 Hygrische Änderung der Rohdichte	143
15	ERGEBNISSE DER SCHMELZENTHALPIE-MESSUNG	145
16	ERGEBNISSE DER E-MODUL-MESSUNG	147
V	RESÜMEE	
17	SCHLUSSFOLGERUNGEN	155
18	ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT	163
19	AUSBLICK	167
VI	ANHANG	
A	HAMAKERKONSTANTEN	171
B	KALIBRIERDATEN UND -DIAGRAMME	173
C	DATENBLÄTTER	177
VII	LITERATUR	
	LITERATURVERZEICHNIS	207