

# **Thermomechanik hydratisierenden Betons** **– Theorie, Numerik und Anwendung –**

von

**Jens Huckfeldt**

**Bericht Nr. 93-77**

aus dem Institut für Statik  
der Technischen Universität Braunschweig  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Heinz Duddeck  
Prof. Dr.-Ing. Hermann Ahrens

**Braunschweig 1993**

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>I</b>
<b>Bezeichnungen</b>	<b>III</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Problemstellung . . . . .	1
1.2 Annahmen und Voraussetzungen . . . . .	2
1.3 Stand des Wissens . . . . .	5
1.4 Ziele der Arbeit . . . . .	7
<b>2 Reaktionskinetik des hydratisierenden Betons</b>	<b>9</b>
2.1 Chemische und physikalische Grundlagen . . . . .	9
2.2 Phänomenologische Beschreibung . . . . .	16
<b>3 Thermomechanik des hydratisierenden Betons</b>	<b>25</b>
3.1 Geometrische Linearisierung . . . . .	25
3.2 Bilanzgleichungen . . . . .	26
3.3 Hauptsätze der Thermodynamik . . . . .	27
<b>4 Materialgleichungen des hydratisierenden Betons</b>	<b>37</b>
4.1 Zugfestigkeit . . . . .	37
4.2 Ribbildung . . . . .	43
4.3 Hypoelastizität . . . . .	51
4.4 Viskosität . . . . .	56
<b>5 Übergang zur finiten Formulierung</b>	<b>67</b>
5.1 Problembeschreibung . . . . .	68
5.2 Konsistente Linearisierung . . . . .	71
5.3 Navier'sche Formulierung . . . . .	74
5.4 Integrale Formulierung . . . . .	76
5.5 Finite Raum-Zeit-Übersetzung . . . . .	79
5.6 Wahl der Wichtungsfunktionen . . . . .	83

<b>6</b>	<b>Zeitschrittsteuerung</b>	<b>87</b>
6.1	Stabilität und Genauigkeit . . . . .	87
6.2	Alternative zur p-h-Adaption . . . . .	89
6.3	Testbeispiel . . . . .	94
<b>7</b>	<b>Verifikation von Theorie und Berechnungsmodell</b>	<b>101</b>
7.1	Stoffgesetzvariation . . . . .	101
7.2	Kriechen und Relaxation . . . . .	105
7.3	Weggesteuerter Bruch . . . . .	111
7.4	Langandauernder Zwang im Zugbereich . . . . .	116
<b>8</b>	<b>Anwendungen</b>	<b>119</b>
8.1	Zeitvariante thermische Parameter . . . . .	119
8.2	Betonierfortschritt . . . . .	121
8.3	Rohrinnenkühlung . . . . .	127
8.4	Wandausschnitt . . . . .	135
8.5	Wand auf Fundament . . . . .	143
8.6	Fundamentplatte . . . . .	149
8.7	Maßnahmen zur Rißvermeidung . . . . .	160
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>177</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>181</b>
<b>A</b>	<b>Beschreibung der betrachteten Betone</b>	<b>193</b>
A.1	Betonzusammensetzung . . . . .	193
A.2	Zementzusammensetzung . . . . .	194
A.3	Modellparameter . . . . .	195
<b>B</b>	<b>Linearisierung der Evolutionsgleichungen</b>	<b>197</b>
B.1	Temperaturgradienten . . . . .	197
B.2	Spannungsgradienten . . . . .	202
<b>C</b>	<b>Numerische Aspekte des Rißöffnungsverhaltens</b>	<b>205</b>
C.1	Existenz und Eindeutigkeit . . . . .	205
C.2	Stabilität . . . . .	206
<b>D</b>	<b>Mathematische Grundlagen</b>	<b>209</b>
D.1	Tensoralgebra . . . . .	209
D.2	Invarianten . . . . .	212
D.3	Differentialoperatoren . . . . .	214
D.4	Integraloperatoren . . . . .	216

---