

# Fortschritt-Berichte VDI

Reihe 4

Bauingenieurwesen

Dipl.-Ing. Rainer Wiesner,  
Hameln

Nr. 184

**Beanspruchungen von  
massigen Betonsohlen  
unter frühem  
Temperaturzwang**

*HLuHB Darmstadt*



15396407

**VDI Verlag**

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>V</b>
<b>Bezeichnungen</b> .....	<b>X</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Problemstellung.....	1
1.2 Stand der Forschung.....	3
1.2.1 Experimentelle Methoden zur Ermittlung der Beanspruchungen.....	4
1.2.2 Mechanische Modelle zur Beschreibung des Werkstoffverhaltens .....	5
1.2.3 Numerische Rechenverfahren.....	6
1.3 Zielsetzung und Inhalt der Arbeit .....	6
<b>2 Hydratation des Betons</b> .....	<b>9</b>
2.1 Allgemeines.....	9
2.2 Ablauf der Hydratation.....	10
2.3 Verfahren zur Ermittlung der Hydratationswärme.....	12
2.4 Wirksames Betonalter – Reifefunktion.....	14
2.5 Hydratationsgrad.....	17
2.6 Zusammenfassung .....	19
<b>3 Werkstoffeigenschaften des jungen Betons</b> .....	<b>20</b>
3.1 Allgemeines.....	20
3.2 Thermische Eigenschaften des Betons.....	21
3.2.1 Spezifische Wärmekapazität .....	21
3.2.2 Wärmeleitfähigkeit.....	21

---

3.3	Mechanische Eigenschaften des Betons .....	22
3.3.1	Spannungs-Dehnungs-Beziehungen .....	22
3.3.2	Zugbruchdehnung .....	24
3.3.3	Druckfestigkeit .....	25
3.3.4	Zugfestigkeit .....	28
3.3.5	Elastizitätsmodul .....	30
3.3.6	Querdehnzahl .....	31
3.3.7	Wärmedehnzahl .....	32
3.4	Schwinden und Quellen .....	35
3.5	Viskoelastisches Verhalten .....	37
3.6	Zusammenfassung .....	40
<b>4</b>	<b>Messtechnik und Ergebnisse eigener Versuche .....</b>	<b>42</b>
4.1	Allgemeines .....	42
4.2	Eigenschaften des Bauwerksbetons .....	43
4.2.1	Betonzusammensetzung .....	43
4.2.2	Adiabatische Wärmeentwicklung .....	44
4.2.3	Betondruckfestigkeit .....	46
4.2.4	Betonzugfestigkeit .....	48
4.2.5	Elastizitätsmodul .....	50
4.3	Messtechnik der in-situ Untersuchungen .....	51
4.3.1	Temperaturmesselemente .....	51
4.3.2	Betondehnungsmesselemente .....	54
4.3.3	Berechnung von Betonspannungen aus gemessenen Dehnungen .....	60
4.4	Berechnung von Rissbreiten aus gemessenen Dehnungen .....	64
4.5	Durchgeführte in-situ Untersuchungen .....	66
4.5.1	Baubeschreibung der Schifffahrtsschleuse .....	66
4.5.2	Planung der in-situ Untersuchungen .....	67
4.5.3	Ablauf der in-situ Untersuchungen .....	72

---

4.6	Ergebnisse der in-situ Untersuchungen .....	74
4.6.1	Temperaturmessungen.....	74
4.6.2	Messung der Betondehnungen .....	80
4.7	Zusammenfassung .....	88
<b>5</b>	<b>Berechnung der Temperatur- und Erhärtungsfelder während der Hydratation .....</b>	<b>89</b>
5.1	Allgemeines.....	89
5.2	Berechnung von Temperaturfeldern .....	91
5.2.1	Wärmeleitungsgleichung .....	92
5.2.2	Wärmeübergangsbedingungen .....	93
5.2.3	Hydratationswärmeentwicklung .....	94
5.3	Berechnung von Erhärtungsfeldern.....	95
5.4	Verifikation des Berechnungsmodells .....	96
5.4.1	System- und Materialeigenschaften .....	96
5.4.2	Randbedingungen.....	100
5.4.2.1	Anfangstemperaturen.....	100
5.4.2.2	Wärmeübergangszahlen.....	101
5.4.2.3	Umgebungstemperatur .....	102
5.4.3	Ergebnisse.....	103
5.5	Zusammenfassung .....	109
<b>6</b>	<b>Berechnung der Verschiebungs- und Spannungsfelder während der Hydratation .....</b>	<b>110</b>
6.1	Allgemeines.....	110
6.2	Erhärtung des Betons.....	110
6.3	Viskoelastisches Verhalten .....	113
6.4	Berechnungsmodell.....	114

---

6.5	Verifikation des Berechnungsmodells .....	114
6.5.1	Elementierung und Randbedingungen .....	115
6.5.2	Einwirkungen .....	117
6.5.3	Ergebnisse .....	117
6.5.3.1	Unbehinderte Temperaturdehnungen.....	117
6.5.3.2	Elastische Dehnungen.....	118
6.5.3.3	Gesamtdehnungen .....	121
6.5.3.4	Betonspannungen im Bauteil.....	123
6.5.3.5	Risszeitpunkt.....	128
6.6	Spannungsentwicklung in der Schleusensole .....	131
6.7	Zusammenfassung .....	135
<b>7</b>	<b>Ermittlung von Beanspruchungen in massigen Fundamenten während der Hydratation.....</b>	<b>136</b>
7.1	Allgemeines .....	136
7.2	Berechnung der Zwangsschnittgrößen.....	136
7.3	Schnittgrößenverläufe an der Schifffahrtsschleuse .....	137
7.4	Variation der Berechnungsparameter .....	140
7.4.1	Frischbetontemperatur.....	141
7.4.2	Herstellzeitabstand des letzten Bauabschnitts.....	144
7.4.3	Entfernen der Wärmedämmung .....	144
7.4.4	Bauteildicke .....	146
7.4.5	Bauteilbreite.....	150
7.4.6	Jahreszeit beim Betonieren .....	151
7.5	Zusammenfassung .....	155

---

<b>8</b>	<b>Bemessungsmodell für die Rissbreitenbegrenzung .....</b>	<b>156</b>
8.1	Allgemeines .....	156
8.2	Aktuelle normative Anforderungen.....	156
8.2.1	Begrenzung der Rissbreiten durch direkte Berechnung.....	157
8.2.2	Vergleich der Bemessungsergebnisse.....	163
8.3	Bemessung nach DIN 1045-1 .....	166
8.3.1	Erforderliche Bewehrung aus den beobachteten Risszeitpunkten.....	166
8.3.2	Erforderliche Bewehrung aus der Spannungsberechnung .....	168
8.3.3	Berücksichtigung der weiteren Sohlenabkühlung .....	170
8.4	Bemessungsvorschlag für massige Betonsohlen bei Temperaturzwang- beanspruchungen durch abfließende Hydratationswärme .....	171
8.5	Zusammenfassung .....	174
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>175</b>
	<b>Anlagen.....</b>	<b>179</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>245</b>