

Heft 64

**Berechnung von  
Temperatur und Spannung  
in Massenbeton  
infolge Hydratation**

**von Dr.-Ing.  
Walter Marx**

**Bibliothek des Fachgebietes  
Hydraulik und Hydrologie**

**Technische Hochschule Darmstadt  
D-6100 Darmstadt/Petersenstraße**

**Eigenverlag des Instituts für Wasserbau der Universität Stuttgart**

Literaturverzeichnis

Bezeichnungen und Abkürzungen

1. Einführung in die Problemstellung	1
2. Die Erfassung von Temperaturfeld, Hydratation und Reifegrad im Betonierblock	6
2.1 Die Fourier'sche Differentialgleichung und die Randbedingungen des Wärmeleitproblems	6
2.2 Hydratation und Reifegrad	8
2.2.1 Der exotherme Prozeß der Zementhydratation	
2.2.2 Die Definition von Hydratations- bzw. Reifegrad	
2.2.3 Die empirische Erfassung des Hydratationsfortschrittes	
2.2.4 Die analytische Beschreibung empirischer Wärmeentwicklungs- und Reifegradgesetze	
2.2.4.1 Zweck, Anforderungen und Voraussetzungen	
2.2.4.2 Ableitung aus Druckfestigkeitsversuchen bei isothermen Randbedingungen	
2.2.4.3 Ableitung aus adiabatischen Temperaturmessungen	
2.2.4.4 Zusammengesetzte Funktionen für definierte adiabatische oder isotherme Randbedingungen	
2.3 Die Kopplung zwischen Hydratationsprozeß und Prozeßtemperatur	26
2.3.1 Problemstellung und Vorgehensweise	
2.3.2 Prozeßgeschwindigkeiten und Prozeßtransformationen	
2.3.3 Reifefunktionen	
2.3.4 Vergleich der Reifefunktionen	
2.3.5 Weitere Verwendung der Reifefunktionen	
2.4 Bereitstellung geeigneter Formulierungen von Wärmeentwicklungsgesetzen für die gekoppelte numerische Berechnung	35
2.4.1 Grundlagen der numerischen gekoppelten Berechnung	
2.4.2 Ermittlung der inneren Ableitung für die Prozeßzeiten	
2.4.3 Die Darstellung des Wärmeentwicklungstermes	
2.5 Zur Berechnung von Temperaturen und Reifegraden im Betonierblock und deren weitere Anwendung	39

	Seite
3. Die Berechnung von Spannungen und Dehnungen im Betonierblock	41
3.1 Der Übergang von Frisch- zu Festbeton	41
3.2 Grundlagen der Spannungs-Dehnungs-Berechnung	42
3.3 Verwendete Lösungsmethodik	44
3.4 Der Ansatz eines zeitvariablen Elastizitätsmodules	45
3.4.1 Physikalische Grundlagen	
3.4.2 Das hypoelastische Verhalten (Mehrfachfedermodell)	
3.4.3 Inkrementelle Darstellung der verallgemeinerten Spannungs-Dehnungs-Beziehungen für zeitvariable Elastizitätsmodule	
3.5 Spannungs-Dehnungs-Beziehungen unter Einschluß des Kriechens	49
3.5.1 Kriechen und Schwinden bei Betonierblöcken großer Talsperren	
3.5.2 Eindimensionale Ansätze mit wirksamen Modulen	
3.5.3 Das Superpositionsprinzip bei veränderlichen Spannungen und Dehnungen	
3.5.4 Formulierung für mehrachsige Spannungszustände	
3.5.5 Bereitstellung inkrementeller Formulierungen für den ebenen Spannungs- und Verzerrungszustand	
3.6 Stoffparameter des Betons bei der Spannungs-Dehnungs-Berechnung	61
3.6.1 Untersuchte Abhängigkeiten	
3.6.2 Festigkeitsentwicklung	
3.6.3 Elastizitätsmodul und Elastizitätsmodulentwicklung	
3.6.4 Die Kriechfunktion nach DIN 4227	
3.6.5 Temperaturausdehnungskoeffizient und Querkontraktionszahl	
3.6.6 Zum Einfluß des Spannungszustandes und des Spannungsniveaus auf Elastizitätsmodul, Querkontraktionszahl, Zug- und Druckfestigkeit	

	Seite
4. Das numerische Modell zur Untersuchung von Temperaturen, Reifegraden, Verformungen und Spannungen	72
4.1 Grundlagen	72
4.1.2 Zur Wahl des verwendeten numerischen Verfahrens	
4.1.2 Die für die vorgegebene Thematik verwendete Darstellung	
4.1.3 Der Datenfluß des Berechnungsablaufs	
4.2 Ergebnisse von Testrechenläufen und Vergleich mit Daten aus der Literatur	77
4.2.1 Zur Temperaturberechnung mit FETE	
4.2.2 Zur Berechnung elastischer Spannungen mit FESD	
4.2.3 Vergleichsberechnungen mit FESD für die Abbildung des Betonkriechens	
4.2.4 Zur Modellierung der Hypoelastizität mit FESD	
5. Parameter-Fallstudie am Scheibenmodell eines Vorläuferbetonierblockes	83
5.1 Untersuchungsumfang	83
5.2 Modellkonfiguration	83
5.3 Parameter	86
5.4. Die untersuchten Wärmeentwicklungsgesetze	89
5.5 Fallbeispielsergebnisse	93
5.5.1 Zur Darstellungsweise in den Ergebnisdiagrammen	
5.5.2 Allgemeiner Verlauf von Temperaturen, Reifegraden, Spannungen	
5.5.3 Auswirkungen einer Rückkoppelung zwischen Wärmeabgabe und Prozeßtemperatur	
5.6 Abschließende Wertung und Ausblick	110
6. Zusammenfassung	113
Anhang	