

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. EINLEITUNG	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Stand der Kenntnisse	4
1.3 Übersicht	8
2. STRUKTUR, WASSERGEHALT UND GEFRIERVERHALTEN DES PORÖSEN ZEMENTSTEINS	10
2.1 Makroskopische und mikroskopische Struktur	10
2.1.1 Grobstruktur des Betons	10
2.1.2 Struktur des Zementsteins	11
2.1.2.1 Hydratation	11
2.1.2.2 Porosität	12
2.1.2.3 Porenradienverteilung	17
2.1.2.4 Einflußgrößen der Porenradienverteilung	23
2.2 Wasser im Festbeton	24
2.2.1 Die Bindungsformen des Wassers	24
2.2.2 Grundsätzliches zum Wassertransport in Poren	27
2.2.3 Feuchteverteilung in dickwandigen Betonbauteilen	29
2.3 Zum Gefrieren des Porenwassers	38
2.3.1 Allgemeines	38
2.3.2 Entstehung makroskopischer Frostschäden	41
2.3.3 Entstehung mikroskopischer Frostschäden	45
2.3.3.1 Vorbemerkungen	45
2.3.3.2 Hydrodynamischer Effekt	46
2.3.3.3 Kapillarer Effekt	47
2.3.3.4 Das thermodynamische Modell von Setzer	48
2.3.3.5 Porenstruktur und Phasenumwandlungen beim Gefrieren	49
2.3.3.6 Wasserwanderungen beim Phasenübergang	52
2.3.3.7 Die Definition des Frost-Tausalz-Widerstands	54
3. UMFANG DER EIGENEN VERSUCHE	56
3.1 Versuchsprogramm	56
3.2 Untersuchte Baustoffe	59
3.3 Herstellung und Lagerung der Probekörper	60
4. PRÜFEN UND MESSEN BEI TIEFTEMPERATUR	62
4.1 Allgemeines	62
4.2 Aufbringen der Temperaturbeanspruchung	62
4.3 Bestimmung des Festigkeits- und Verformungsverhaltens bei Tiefemperatur	64
4.4 Messung der thermischen Dehnung	67
4.5 Strukturuntersuchungen	69
4.5.1 Porositätsmessungen	69
4.5.2 Ultraschallmessungen	70

	Seite
5. VERSUCHSERGEBNISSE	72
5.1 Thermisches Dehnverhalten	72
5.1.1 Grundsätzliches zum thermischen Dehnverhalten von Stahl und Beton	72
5.1.2 Versuchsbedingte Einflüsse auf die Meßergebnisse	73
5.1.2.1 Vorbemerkungen	73
5.1.2.2 Stationäre und instationäre Temperaturverläufe	73
5.1.2.3 Abkühlgeschwindigkeit und Probekörpergröße	75
5.1.2.4 Einfluß der Dauer der Temperatureinwirkung	78
5.1.2.5 Einfluß einer Vorlast	78
5.1.3 Materialbedingte Einflüsse auf die Meßergebnisse	78
5.1.3.1 Einfluß des Feuchtigkeitsgehalts	78
5.1.3.2 Einfluß des Wasserzementwerts	86
5.1.3.3 Einfluß der Zementart	88
5.1.3.4 Einfluß der Art und Menge des natürlichen Zuschlags	88
5.1.3.5 Betonzusatzmittel und Armierungsfasern	89
5.1.4 Thermische Dehnungen bei Temperaturzyklen	89
5.1.5 Temperaturdehnzahl	92
5.2 Festigkeit und Verformung bei Tieftemperatur	94
5.2.1 Zum grundsätzlichen Verhalten	94
5.2.2 Einfluß der Tieftemperatur	95
5.2.3 Einfluß des Feuchtigkeitsgehalts	102
5.2.4 Einfluß des Wasserzementwerts	104
5.2.5 Einfluß von Betonzusatzmitteln und Armierungsfasern	105
5.2.6 Spannungsabhängige Längs-, Quer- und Volumendehnung	106
5.3 Festigkeit, Verformung und Strukturuntersuchungen nach Tieftemperaturzyklen	109
5.3.1 Festigkeit und Verformung nach Tieftemperaturzyklen	109
5.3.1.1 Zum grundsätzlichen Verhalten	109
5.3.1.2 Einfluß der Zyklenanzahl und der Tieftemperatur	109
5.3.1.3 Einfluß des Feuchtigkeitsgehalts	112
5.3.1.4 Einfluß der Abkühlgeschwindigkeit	115
5.3.1.5 Einfluß des Wasserzementwerts	115
5.3.1.6 Einfluß von Betonzusatzmitteln und Armierungs- fasern	116
5.3.1.7 Einfluß einer Nachlagerung im Anschluß an die Temperaturzyklen	116
5.3.2 Strukturuntersuchungen nach Tieftemperaturzyklen	119
5.3.2.1 Porositätsmessungen	119
5.3.2.2 Ultraschalluntersuchungen	123
6. OFFENE PROBLEME	125
7. FOLGERUNGEN FÜR DIE BAUPRAXIS	129
8. ZUSAMMENFASSUNG	131
9. LITERATURVERZEICHNIS	139