



**Beständigkeit verschiedener Betonarten
in Meerwasser
und
in sulfathaltigem Wasser**

von

BDir a.D. Ottokar Hallauer

HLuHB Darmstadt



15659181

1. Auflage 2003

Herausgeber:

**Deutscher Ausschuss für Stahlbeton DAfStb
Fachbereich 07 des NA Bau im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.**

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1	Versuchsprogramm 7
1.1	Allgemeines 7
1.2	Aufgabenstellung 7
1.3	Auslagerung 8
2	Zwischenergebnisse nach 10 bzw. 15jähriger Auslagerung 9
3	Untersuchungsumfang nach 30jähriger Auslagerung 10
4	Einstufung in Schadensklassen 10
4.1	Allgemeines 10
4.2	Bewertung der Serie 100 12
4.3	Bewertung der Serie 200 13
4.4	Bewertung der Serie 300 13
4.5	Bewertung der Serie 400 14
4.6	Bewertung der Serie 500 14
4.7	Bewertung der Serie 600 15
4.8	Bewertung der Serie 700 16
4.9	Bewertung der Serie 800 16
4.10	Bewertung der Serie 1100 17
4.11	Bewertung der Serie 1200 18
4.12	Bewertung der Serie 1300 18
4.13	Bewertung der Serie 1400 19
4.14	Bewertung der Serie 1500 20
5	Betonfestigkeiten 20
5.1	Allgemeines 20
5.2	Festigkeiten der Serie 100 21
5.2.1	Beton mit 270 kg/m ³ Zement 22
5.2.2	Beton mit 335 kg/m ³ Zement 22
5.2.3	Beton mit 400 kg/m ³ Zement 22
5.3	Festigkeiten der Serie 200 22
5.3.1	Beton mit 270 kg/m ³ Zement 23
5.3.2	Beton mit 335 kg/m ³ Zement 24
5.3.3	Beton mit 400 kg/m ³ Zement 24
5.4	Festigkeiten der Serie 300 24
5.4.1	Beton mit 270 kg/m ³ Zement 25
5.4.2	Beton mit 335 kg/m ³ Zement 26
5.5	Festigkeiten der Serie 400 26
5.5.1	Betone mit 270 kg/m ³ Zement 27
5.5.2	Betone mit 335 kg/m ³ Zement 28
5.6	Festigkeiten der Serie 500 28
5.6.1	Betone mit 270 kg/m ³ Bindemittel 29
5.6.2	Betone mit 335 kg/m ³ Bindemittel 29
5.7	Festigkeiten der Serie 600 29
5.7.1	Betone mit 270 kg/m ³ Bindemittel 30
5.7.2	Betone mit 335 kg/m ³ Bindemittel 31
5.8	Festigkeiten der Serie 700 31
5.8.1	Betone mit 270 kg/m ³ Bindemittel 32
5.8.2	Betone mit 335 kg/m ³ Bindemittel 32

5.9	Festigkeiten der Serie 800	33
5.9.1	Betone mit 270 kg/m ³ Bindemittel	34
5.9.2	Betone mit 335 kg/m ³ Bindemittel	34
5.10	Festigkeiten der Serie 1100	35
5.10.1	Beton mit 270 kg/m ³ Zement	36
5.10.2	Betone mit 335 kg/m ³ Zement	36
5.11	Festigkeiten der Serie 1200	36
5.11.1	Betone mit 270 kg/m ³ Zement	36
5.11.2	Betone mit 335 kg/m ³ Zement	37
5.12	Festigkeiten der Serie 1300	38
5.12.1	Betone mit 270 kg/m ³ Zement	39
5.12.2	Betone mit 335 kg/m ³ Zement	39
5.13	Festigkeiten der Serie 1400	39
5.13.1	Betone mit 270 kg/m ³ Zement	40
5.13.2	Betone mit 335 kg/m ³ Zement	40
5.14	Festigkeiten der Serie 1500	41
5.14.1	Betone mit 270 kg/m ³ Zement	41
5.14.2	Betone mit 335 kg/m ³ Zement	42
6	Sonderuntersuchungen	42
6.1	Allgemeines	42
6.2	Auswahl der Probekörper	43
6.3	Aufteilung der Probekörper	43
7	Ergebnisse der Sonderuntersuchungen	44
7.1	Chemische Untersuchungen	44
7.1.1	Allgemeines	44
7.1.2	Chloridgehalt	44
7.1.2.1	Ständige Lagerung im Süßwasser	44
7.1.2.2	Ständige Lagerung im Meerwasser	45
7.1.2.3	Wechselagerung Meerwasser/Luft	45
7.1.2.4	Sulfatwasserlagerung	46
7.1.3	Sulfatgehalte	46
7.1.3.1	Ständige Lagerung im Süßwasser	46
7.1.3.2	Ständige Lagerung im Meerwasser	47
7.1.3.3	Wechselagerung Meerwasser/Luft	47
7.1.3.4	Sulfatwasserlagerung	48
7.1.4	Magnesiumgehalt	48
7.1.4.1	Ständige Lagerung im Süßwasser	48
7.1.4.2	Ständige Lagerung im Meerwasser	48
7.1.4.3	Wechselagerung Meerwasser/Luft	49
7.1.4.4	Sulfatwasserlagerung	49
7.1.5	Alkaligehalt	49
7.1.5.1	Ständige Lagerung im Süßwasser	49
7.1.5.2	Ständige Lagerung im Meerwasser	49
7.1.5.3	Wechselagerung Meerwasser/Luft	50
7.1.5.4	Sulfatwasser	50
7.2	Röntgenografische Untersuchungen	50
7.2.1	Allgemeines	50
7.2.2	Betone mit Portlandzement	50
7.2.3	Betone mit Hochofenzement	51
7.3	Frostuntersuchungen	52
7.3.1	Allgemeines	52
7.3.2	Frostprüfung im künstlichen Meerwasser	52
7.3.3	Frostprüfung im Süßwasser	53
7.3.4	Frostprüfung in 3 %iger NaCl-Lösung	54

7.4	Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen.....	54
7.4.1	Allgemeines	54
7.4.2	Probenvorbereitung.....	55
7.4.3	Portlandzementbetone der Serie 100 und 1100	55
7.4.4	Hochofenzementbetone der Serien 200 und 1400	55
7.5	Strukturuntersuchungen an Betonrandzonen	58
7.5.1	Allgemeines	58
7.5.2	Karbonatisierungstiefe.....	58
7.5.3	Strukturanalyse mittels Quecksilberdruckporosimetrie	59
7.5.3.1	Allgemeines	59
7.5.3.2	Einfluss der Zementart	59
7.5.3.3	Einfluss der Auslagerungsbedingungen.....	59
7.5.3.4	Differentielle Porenverteilung	60
7.5.4	Beurteilung	60
7.6	Bildanalytische Untersuchungen	60
7.6.1	Allgemeines	60
7.6.2	Versuchsdurchführung	61
7.6.2.1	Präparation	61
7.6.2.2	Bildanalyse	61
7.6.3	Untersuchungsergebnisse.....	61
7.6.3.1	Makroskopische und mikroskopische Beurteilung	61
7.6.3.2	Bildanalytische Beurteilung	63
7.6.3.3	Gesamtbewertung	67
8	Bewertung der Untersuchungsverfahren.....	68
8.1	Einstufung in Schadensklassen	68
8.2	Festigkeiten	69
8.3	Chemische Untersuchungen	69
8.4	Röntgenographische Untersuchungen.....	69
8.5	Frostuntersuchungen	70
8.6	Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen.....	70
8.7	Strukturuntersuchungen an Betonrandzonen	71
8.8	Bildanalytische Untersuchungen	71
9	Zusammenfassende Bewertung	71
9.1	Allgemeines	71
9.2	Lagerung im Süßwasser	72
9.2.1	Allgemeines	72
9.2.2	Einfluss des Bindemittelgehaltes.....	72
9.2.2.1	Betone mit 270 kg/m ³ Bindemittel	72
9.2.2.2	Betone mit 335 kg/m ³ Bindemittel	73
9.2.2.3	Betone mit 400 kg/m ³ Bindemittel	75
9.3	Lagerung im Meerwasser	76
9.3.1	Allgemeines	76
9.3.2	Einfluss des Bindemittelgehaltes.....	76
9.3.2.1	Betone mit 270 kg/m ³ Bindemittel	76
9.3.2.2	Betone mit 335 kg/m ³ Bindemittel	76
9.3.2.3	Betone mit 400 kg/m ³ Bindemittel	78
9.4	Wechselagerung im Meerwasser und an der Luft.....	79
9.4.1	Allgemeines	79
9.4.2	Einfluss des Bindemittelgehaltes.....	79
9.4.2.1	Beton mit 270 kg/m ³ Bindemittel	79
9.4.2.2	Beton mit 335 kg/m ³ Bindemittel	80
9.4.2.3	Beton mit 400 kg/m ³ Bindemittel	83

9.5	Lagerung im Sulfatwasser.....	84
9.5.1	Allgemeines.....	84
9.5.2	Betone mit 270 kg/m ³ Bindemittel.....	84
9.5.3	Betone mit 335 kg/m ³ Bindemittel.....	84
9.5.3.1	Beton mit 400 kg/m ³ Bindemittel.....	87
10	Folgerungen für die Praxis.....	87
10.1	Allgemeines.....	87
10.2	Beton aus Portlandzement.....	88
10.2.1	Allgemeines.....	88
10.2.2	Widerstand gegen den Meerwasser- und Witterungsangriff.....	88
10.2.3	Widerstand gegen den Sulfatangriff.....	89
10.3	Beton aus Hochofenzement.....	89
10.3.1	Allgemeines.....	89
10.3.2	Widerstand gegen den Meerwasser- und Witterungsangriff.....	89
10.3.3	Widerstand gegen den Sulfatangriff.....	90

Anlagen

Anlage 1.0	Fotodokumentation Schadensklassen.....	95
Anlage 1.1 bis 13.1	Einstufung nach Schadensklassen.....	101
Anlage 14.1.1 bis 26.2.1	Betonkenndaten (Prüfwerte nach der Auslagerung und Ausgangswerte).....	110
Anlage 27.1.1 bis 32.1.1	Eindringtiefe von Chlorid (Cl) in M.-%.....	138
Anlage 27.1.2 bis 32.1.2	Eindringtiefe von Sulfat (SO ₃) in M.-%.....	144
Anlage 27.1.3 bis 32.1.3	Eindringtiefe von Magnesium (MgO) in M.-%.....	150
Anlage 27.1.4 bis 32.1.4	Eindringtiefe von Alkalien (Na ₂ O, K ₂ O) in M.-%.....	154
Anlage 33.1 bis 33.2	Anteile der Mineralphasen in Skalenteilen.....	157
Anlage 34.1 bis 34.3	Gewichtsverlust nach Frost-Tau-Wechsel.....	159
Anlage 35.1	Gesamtporenvolumen.....	162
Anlage 35.2	Teilporenvolumen < 1000 nm.....	166
Anlage 36.1 bis 36.4	Mikroskopische Bewertung an Dünnschliffaufnahmen.....	170
Anlage 37.1	Probekörper nach Dauerbeanspruchung im Meerwasser und an der Luft.....	174
Anlage 37.2	Probekörper nach Sulfatbeanspruchung.....	185
Anlage 38.1	Tiefenprofil der Betonzusammensetzung.....	191
Anlage 38.2	Tiefenprofil des Zementsteinporenvolumen.....	192
Anlage 39.1 bis 39.4	Röntgenbeugungsdiagramme.....	193