

**Hubert K. Hilsdorf / Klaus Schönlin / Franka Tauscher**

# **Dauerhaftigkeit von Betonen**

Schlußbericht zum Forschungsauftrag 3114  
der Forschungsgemeinschaft Transportbeton e.V. (FTB)  
sowie IfBt IV-1-5-427/85  
des Instituts für Bautechnik, Berlin  
(gestraffte Fassung)

Erarbeitet am  
Institut für Massivbau und Baustofftechnologie  
Universität Karlsruhe

Schriftenreihe des Bundesverbandes  
der Deutschen Transportbetonindustrie e. V., Duisburg  
Heft 8

**Beton-Verlag**<sup>GmbH</sup>

# Inhalt

1	Einleitung	15
2	Stand der Kenntnisse – Literatursichtung	16
2.1	Prüfung des Korrosionswiderstands von Beton	16
2.1.1	Karbonatisierung	16
2.1.2	Frostwiderstand	16
2.1.3	Frost-Tausalzwiderstand	17
2.1.3.1	Eintauchverfahren	17
2.1.3.2	Aufstreuverfahren	18
2.1.4	Widerstand gegen Chlorideindringen	18
2.1.5	Widerstand gegen Sulfattreiben	19
2.2	Kenngößen der Dauerhaftigkeit	20
2.2.1	Zusammensetzung des Betons und Nachbehandlung	20
2.2.1.1	Wasserm-zementwert und Nachbehandlung	20
2.2.1.2	Zementart und Zementgehalt	20
2.2.1.3	Zusatzmittel	23
2.2.1.4	Anforderungen in den Normen	23
2.2.2	Druckfestigkeit	23
2.2.2.1	Druckfestigkeit und Karbonatisierung	23
2.2.2.2	Druckfestigkeit und andere Korrosionsformen	28
2.2.3	Durchlässigkeit	28
2.2.4	Porenstruktur	31
2.3	Transportmechanismen	32
2.3.1	Diffusion	32
2.3.1.1	Allgemeine Formulierung	32
2.3.1.2	Diffusion von CO <sub>2</sub> – Karbonatisierung	34
2.3.1.3	Diffusion von Chloridionen	35
2.3.2	Permeation	36
2.3.2.1	Meßverfahren	36
2.3.2.2	Permeation von Gasen	37
2.3.2.3	Permeation von Flüssigkeiten	38
2.3.2.4	Einflüsse auf die Permeabilität von Beton	40
2.3.3	Kapillare Wasseraufnahme	42
2.3.3.1	Allgemeine Formulierung	42
2.3.3.2	Meßverfahren	43
2.3.3.3	Einflüsse auf die kapillare Wasseraufnahme von Beton	44
2.3.4	Zusammenhang zwischen Diffusion, Permeation und Absorption	45
2.4	Folgerungen aus der Literatursichtung und Ziele der weiteren Untersuchungen	46

3	Entwicklung geeigneter Prüfverfahren	48
3.1	Bestimmung des Permeabilitätskoeffizienten von Beton gegenüber Luft	48
3.1.1	Allgemeines	48
3.1.2	Prüfeinrichtung	49
3.1.3	Meßvorgang	50
3.1.4	Versuchsauswertung	51
3.1.5	Einfluß der Probekörperabmessungen	53
3.2	Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten an Betonoberflächen	54
3.2.1	Allgemeines	54
3.2.2	Prüfeinrichtung	55
3.2.3	Meßvorgang	56
3.2.4	Versuchsauswertung	56
4	Experimentelle Untersuchungen	58
4.1	Zielsetzung	58
4.2	Versuchsprogramm und Zusammensetzung der Betone	58
4.3	Permeabilitätskoeffizient	59
4.4	Wasseraufnahmekoeffizient von Betonoberflächen	61
4.5	Korrosionsversuche	62
4.5.1	Karbonatisierung	62
4.5.2	Frostwiderstand	62
4.5.3	Eindringen von Chloriden	63
4.5.4	Wasseraufnahme von Betonscheiben	64
4.5.5	Wassereindringtiefe	64
5	Versuchsergebnisse	66
5.1	Frischbetoneigenschaften und Druckfestigkeiten	66
5.2	Permeabilitätskoeffizienten	66
5.3	Reproduzierbarkeit der Permeabilitätsmessungen	70
5.4	Wasseraufnahmekoeffizienten von Betonoberflächen	70
5.5	Korrosionsversuche	73
5.5.1	Karbonatisierung	73
5.5.2	Frostwiderstand von Betonen ohne LP-Bildner	73
5.5.3	Eindringen von Chloriden	75
5.5.4	Wasseraufnahme von Betonscheiben	75
5.5.5	Wassereindringtiefe	77
6	Diskussion der Versuchsergebnisse	78
6.1	Zusammenhang zwischen Permeabilitätskoeffizient und Wasseraufnahmekoeffizient	78
6.2	Zusammenhang zwischen Permeabilitätskoeffizient und Druckfestigkeit	79
6.3	Reproduzierbarkeit der Permeabilitätsmessungen	80
6.4	Zusammenhang zwischen Kenngrößen der Dauerhaftigkeit und Korrosionswiderständen	81
6.4.1	Zusammensetzung der Betone und Korrosionswiderstände	81

6.4.2	Karbonatisierung .....	81
6.4.2.1	Theoretische Ansätze .....	81
6.4.2.2	Karbonatisierung und Permeabilitätskoeffizient .....	84
6.4.2.3	Karbonatisierung und Wasseraufnahmekoeffizient .....	87
6.4.3	Frostwiderstand .....	89
6.4.3.1	Allgemeine Überlegungen .....	89
6.4.3.2	Frostwiderstand und Permeabilitätskoeffizient .....	89
6.4.3.3	Frostwiderstand und Wasseraufnahmekoeffizient .....	90
6.4.4	Eindringen von Chloriden .....	91
6.4.4.1	Allgemeine Überlegungen .....	91
6.4.4.2	Eindringen von Chloriden und Permeabilitätskoeffizient .....	91
6.4.5	Wasseraufnahme von Betonscheiben durch kapillares Saugen .....	92
6.4.5.1	Allgemeine Überlegungen .....	92
6.4.5.2	Kapillares Saugen und Permeabilitätskoeffizient .....	92
6.4.5.3	Kapillares Saugen und Wasseraufnahmekoeffizient .....	94
6.4.6	Wassereindringtiefe .....	95
6.4.6.1	Wassereindringtiefe und Permeabilität .....	95
6.4.6.2	Wassereindringtiefe und Wasseraufnahmekoeffizient .....	96
6.5	Folgerungen aus experimentellen Untersuchungen .....	96
7	Anwendungsbeispiele zur Vorhersage der Dauerhaftigkeit von Stahlbetonkonstruktionen .....	98
7.1	Allgemeines .....	98
7.2	Grenzwerte der Permeabilität .....	99
7.2.1	Grenzwerte, die sich aus den Korrosionsversuchen ergeben .....	99
7.2.2	Grenzwerte, die sich aus den Festlegungen der Normen ergeben .....	103
8	Zusammenfassung .....	109
9	Schrifttum .....	111
Anlagen	.....	119