

INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort	02
1 Einleitung	11
1.1 Problemstellung und Ziel	11
1.2 Gliederung der Arbeit	12
2 Stand der Kenntnisse zum Zeitstandverhalten von ud-FVW	14
2.1 Bisherige Versuche und Modelle	14
2.2 Diskussion existierender Modelle zur Beschreibung des Schädigungsmechanismus und zur Vorhersage des Zeitstandverhaltens	25
2.3 Defizite experimenteller und theoretischer Untersuchungen zum Zeitstandverhalten von AFVW-Stäben	32
3 Eigene Versuche zum Zeitstandverhalten von AFVW-Stäben in verschiedenen Umgebungsbedingungen	34
3.1 Ziel und Vorgehen	34
3.2 Versuchsmaterial	34
3.3 Versuchseinrichtung	36
3.4 Versuchsablauf	41
3.5 Versuchsergebnisse	41
3.5.1 Versagensbild	41
3.5.2 Zeitstandverhalten von AFVW an Luft und in alkalischer Lösung bei 20°C	42
3.5.3 Zeitstandverhalten von AFVW in alkalischer Lösung bei erhöhten Temperaturen	44
3.5.4 Nachweis eingedrungener wasserlöslicher Bestandteile	46
3.6 Zeitstandverhalten von AFVW in Beton	48
3.7 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse zum Zeitstandverhalten	51

4	Untersuchungen zum Transport von Wasser und Lösungen in AFVW-Stäbe bei freier und behinderter Zugänglichkeit	54
4.1	Ziel und Vorgehen	54
4.2	Transportverhalten von Wasser und Lösungen in FVW	55
4.2.1	Grundlagen des Transportverhaltens - Ficksche Gesetze	55
4.2.2	Anwendbarkeit der Fickschen Gesetze auf FVW	56
4.2.3	Bisherige Versuche zu Transportvorgängen in ud-FVW bei freier Zugänglichkeit von Wasser und Lösungen	57
4.2.4	Transportvorgänge in FVW bei behinderter Zugänglichkeit von Wasser und Lösungen	63
4.3	Eigene Versuche zur Bestimmung des Transportverhaltens von Wasser und Lösungen in AFVW	64
4.3.1	Zielstellung und Überblick über das Versuchsprogramm	64
4.3.2	Versuchskörper	65
4.3.3	Versuchseinrichtung zur Bestimmung der Lösungsaufnahme	66
4.3.3.1	Bestimmung der Wasser- und Lösungsaufnahme bei 20°C bzw. 60°C und freier Zugänglichkeit des AFVW-Stabes	66
4.3.3.2	Bestimmung der Wasser- und Lösungsaufnahme bei 20°C unter Berücksichtigung einer Betondeckung des AFVW	67
4.3.4	Versuchsablauf	68
4.3.5	Versuchsergebnisse	68
4.3.5.1	Vergleich der Lösungsaufnahme bei verschiedenen Temperaturen in Abhängigkeit von der Oberflächenbeschaffenheit des Stabmaterials und der Vorbelastung	69
4.3.5.2	Vergleich der Wasseraufnahme bei verschiedenen Temperaturen in Abhängigkeit von der Oberflächenbeschaffenheit des Stabmaterials	72
4.3.5.3	Qualitativer Vergleich der Wasser- und Lösungsaufnahme einbetonierter, unbesandeter AFVW	73
4.3.6	Erstellung eines Modells zu Transportvorgängen in AFVW bei freier Zugänglichkeit	75
4.3.6.1	Vorbemerkung	75
4.3.6.2	Bestimmung der Diffusionskoeffizienten	75
4.3.6.3	Bestimmung der Eindringtiefe der Lösungen in AFVW	79
4.3.6.4	Temperaturabhängigkeit des Diffusionsprozesses	81
4.3.7	Numerische Untersuchung des Transports von Wasser und Lösungen in der Betondeckung von AFVW-Stäben	83
4.3.7.1	Vorbemerkungen	83
4.3.7.2	Diskretisierung, Eingangsparameter und Voraussetzungen	83
4.3.7.3	Ergebnisse der Simulationsberechnungen	86
4.3.7.4	Schlußfolgerungen	98
4.4	Zusammenfassung der Versuchs- und Berechnungsergebnisse zum Transport von Wasser und Lösungen in AFVW	102

5	Versuche zum kraftabhängigen Schädigungsverlauf und zur Lösungsaufnahme des gespannten AFVW-Stabes	104
5.1	Untersuchung des Schädigungsverlaufes im AFVW im Kurzzeit-zugversuch	104
5.2	Elektronenstrahl-Mikrosondenuntersuchung des Schädigungsbildes des AFVW-Stabes nach Lösungsaufnahme unter Zeitstandkraft	106
5.3	Schlußfolgerungen zum kraftabhängigen Schädigungsverlauf	108
5.4	Diffusionsverhalten des AFVW-Stabes unter Dauerzugkraft	109
6	Zeitstandverhalten vorgespannter AFVW-Stäbe in biegebelasteten Betonplatten	112
6.1	Ziel und Vorgehen	112
6.2	Vergleich der Standzeiten von be- und unbesandetem Stabmaterial in alkalischer Lösung bei 20°C und 60°C	113
6.3	Versuchseinrichtung und -durchführung	114
6.3.1	Abmessungen der Versuchskörper	114
6.3.2	Herstellung der Versuchskörper	114
6.3.2.1	Vorspanneinrichtung	114
6.3.2.2	Spannbettvorspannung	115
6.3.2.3	Herstellung der Plattenstreifen	116
6.3.2.4	Lagerung	117
6.4	Untersuchung des Biegetragverhaltens vorgespannter Plattenstreifen im statischen Bruchversuch	118
6.5	Zeitstandversuche an mit AFVW-vorgespannten Plattenstreifen	119
6.5.1	Versuchseinrichtung zum Aufbringen der Dauerbiegekraft	119
6.5.2	Zeitlicher Ablauf der Versuche	120
6.5.3	Auslagerung der Plattenstreifen	120
6.5.4	Beobachtungen während der Auslagerung	121
6.5.4.1	Auslagerung unter zusätzlicher Tausalzbeanspruchung	121
6.5.4.2	Rißbilder und -breiten	122
6.5.4.3	Vergleichende Beobachtungen während der Auslagerung	124
6.6	Ergebnisse der Zeitstandversuche	124
6.7	Untersuchungen nach der Auslagerung	124
6.7.1	Bestimmung der Resttragkraft der Plattenstreifen	124
6.7.2	Untersuchungen zum Zustand der AFVW-Spannelemente	133

6.7.2.1	Restfestigkeiten der AFVW-Stäbe im statischen Bruchversuch nach Zeitstandbelastung in Beton	134
6.7.2.2	Zeitstandverhalten von AFVW-Stäben in alkalischer Lösung nach Auslagerung unter Dauerbiegekraft in Beton	134
6.8	Zusammenfassung	136
7	Vorhersage des Zeitstandverhaltens von AFVW	137
7.1	Ziel und Vorgehen	137
7.2	Thermodynamischer Ansatz	138
7.3	Bruchmechanischer Ansatz	139
7.3.1	Masterkurven und Zeitraffung	140
7.3.1.1	Masterkurven	140
7.3.1.2	Zeitraffung bei Lagerung in alkalischer Lösung erhöhter Temperatur	141
7.3.1.3	Lebensdauerextrapolation für Lagerung an Luft/20°C durch Versuche in alkalischer Lösung	142
7.3.1.4	Zeitstandvorhersage bei konsekutiven aber unterschiedlichen Umgebungsbedingungen	143
7.3.2	Zeitstandmodell für gespannte AFVW-Stäbe in Beton unter unterschiedlichen inneren und äußeren Umgebungsbedingungen	147
7.3.2.1	Zeitstandverhalten in Betonzylindern	147
7.3.2.2	Zeitstandverhalten in vorgespannten Platten	149
7.4	Verknüpfung der last- und umgebungsabhängigen Schädigung des AFVW im Zeitstandversuch	152
7.5	Zusammenfassung	155
8	Zusammenfassung	156
9	Literatur	160
10	Anhang	
	Konstruktive Durchbildung von Plattenstreifen mit AFVW-Stäben als Spannelemente	170
	Versuchsergebnisse zu Kap. 3 - 6	193