

Inhaltsverzeichnis

1	Geschichtliche Entwicklung der Faserbewehrung	23
2	Aufgabenstellung	26
3	Übersicht der Normen über äquivalente Biegezugfestigkeitsprüfungen und Platten-Biege-Versuche.....	28
3.1	Überblick über ASTM C 1018 - 96 b	28
3.2	Überblick über JSCE-SF4 Standard	31
3.3	Überblick über DBV - Merkblatt Faserbeton 1996	32
3.4	Überblick über NBP No.7	34
3.5	Überblick über RILEM-Recommendation.....	35
3.6	Überblick über EFNARC	36
3.7	Überblick über Österreichische Richtlinie Spritzbeton 1998	37
3.8	Überblick über Platten-Biege-Versuch nach SNCF	37
3.9	Überblick über Platten-Biege-Versuch nach EFNARC	38
3.10	Diskussion.....	38
4	Versuche im Labor an nachgestellten Spritzbetonrezepturen und an Rezepturen von SCC-HPC	41
4.1	Ausgangsmaterialien	41
4.1.1	<i>Bindemittel</i>	41
4.1.2	<i>Betonzusatzmittel</i>	41
4.1.3	<i>Zuschlagstoffe</i>	41
4.1.4	<i>Bestimmung der Eigenfeuchte und Rohdichte vom Zuschlag</i>	43
4.1.5	<i>Stahlfasern und Kunststofffasern</i>	44
4.1.6	<i>Bewehrungsstahl</i>	46
4.1.7	<i>Rezepturen der Betonmischung</i>	46
4.2	Versuchsprogramm.....	48
4.3	Herstellung der Prüfkörper	48

4.3.1	<i>Allgemeines</i>	48
4.3.2	<i>Würfel für die Druckfestigkeitsprüfung</i>	48
4.3.3	<i>Prismen für Schwind - und Kriechprüfung</i>	49
4.3.4	<i>Prismen für E-Modulprüfung</i>	49
4.3.5	<i>Balken für die äquivalente Biegezugfestigkeitsprüfung</i>	49
4.3.6	<i>Platten für die Platten-Biege-Versuche</i>	49
5	Fasereigenschaften und Faserorientierung im Beton.....	50
5.1	Einfluss des Länge/Durchmesser Verhältnisses l/d	50
5.2	Kritischen Faserlänge l_{krit}	50
5.3	Verbundeigenschaften	51
5.4	Faserorientierung	52
5.4.1	<i>Dreidimensionale Faserorientierung</i>	52
5.4.2	<i>Zweidimensionale Faserorientierung</i>	54
6	Fasereinfluss auf die Frischbetoneigenschaften und auf die Verarbeitbarkeit	55
6.1	Fasereinfluss auf die Mischung der Beton- und Spritzbetonproben.....	55
6.2	Fasereinfluss auf die Verarbeitbarkeit von SCC-HPC	56
6.2.1	<i>Fließvermögen von frischem Beton mit Mikrofasern</i>	57
6.2.2	<i>Fließvermögen von frischem Beton mit Makrofasern</i>	62
6.3	Diskussion.....	67
7	Druckeigenschaften und E-Modulentwicklung von Null- und Faserbeton.....	69
7.1	Druckfestigkeitsentwicklung	69
7.1.1	<i>Druckfestigkeit des Stahlfaserspritzbetons</i>	69
7.1.2	<i>Druckfestigkeit von faserverstärktem SCC-HPC</i>	70
7.2	Druckzähigkeit von Faserbeton und Faserspritzbeton im jungen Alter	71
7.3	E-Modulentwicklung.....	73

7.4	Diskussion.....	76
8	Fasereinfluss auf das Verformungsverhalten des Betons im jungen Alter.....	77
8.1	Dehnungsmessung	77
8.1.1	<i>Messungen der Kriechverformung mit Setzdehnungsmesser.....</i>	<i>77</i>
8.1.2	<i>Messungen der Schwindverformungen mit mechanischen Messuhren</i>	<i>78</i>
8.2	Verformungseigenschaft und Auslastungsgrad	78
8.2.1	<i>Verformungskomponenten.....</i>	<i>79</i>
8.2.2	<i>Kriecheigenschaften und Kriechverlauf.....</i>	<i>80</i>
8.2.3	<i>Auslastungsgrad</i>	<i>80</i>
8.3	Versuchsdurchführung.....	82
8.4	Versuchsergebnisse	83
8.4.1	<i>Schwindverformung</i>	<i>85</i>
8.4.2	<i>Kriechverformung.....</i>	<i>86</i>
8.5	Diskussion.....	87
9	Fasereinfluss auf die Wasserundurchlässigkeit des Betons im jungen Alter.....	88
9.1	Versuchsergebnisse	88
9.2	Diskussion.....	90
10	Die äquivalenten Biegezugversuche an Faser- und Stahlbetonproben	92
10.1	Arbeitsvermögen.....	92
10.2	Festigkeitseigenschaften	92
10.3	Durchführung der Versuche.....	93
10.4	Vergleich von Faserbeton und Stahlbeton im jungen Alter (von 10 Std. bis 72 Std.)	93
10.4.1	<i>Auswertung nach ASTM C 1018 - 96b.....</i>	<i>93</i>
10.4.1.1	<i>Prüfungen im Alter von 10 Stunden.....</i>	<i>94</i>

10.4.1.2	<i>Prüfungen im Alter von 18 Stunden</i>	98
10.4.1.3	<i>Prüfungen im Alter von 30 Stunden</i>	101
10.4.1.4	<i>Prüfungen im Alter von 48 Stunden</i>	104
10.4.1.5	<i>Prüfungen im Alter von 72 Stunden</i>	107
10.4.1.6	<i>Bewertung über Zähigkeitsindices und Restfestigkeitsfaktoren</i>	108
10.4.2	<i>Auswertung nach DBV-Merkblatt</i>	114
10.4.3	<i>Auswertung nach Österreichischer Richtlinie Spritzbeton</i>	120
10.5	<i>Biegefähigkeit von faserverstärktem SCC-HPC mit unterschiedlichen Fasertypen im Alter von 28 Tagen</i>	122
10.6	<i>Vergleich unterschiedlicher Stahlfaserbetonsorten mit verschiedenen Fasergehalten im Alter von 28 Tagen</i>	126
10.6.1	<i>Vergleich von faserbewehrten Betonen nach ASTM C 1018-96b</i>	126
10.6.2	<i>Vergleich von faserbewehrten Betonen laut DBV-Merkblatt</i>	132
10.6.3	<i>Vergleich von faserbewehrten Betonen laut Österreichischer Richtlinie Spritzbeton</i>	138
10.7	<i>Diskussion</i>	139
10.7.1	<i>Auswertung laut ASTM im jungen Alter</i>	139
10.7.2	<i>Auswertung laut ASTM im Alter von 28 Tagen</i>	140
10.7.3	<i>Auswertung laut DBV-Merkblatt im jungen Alter</i>	140
10.7.4	<i>Auswertung von faserbewehrtem SCC-HPC im Alter von 28 Tagen gemäß DBV-Merkblatt</i>	141
10.7.5	<i>Auswertung laut DBV-Merkblatt im Alter von 28 Tagen</i>	142
10.7.6	<i>Auswertung laut Österreichischer Richtlinie Spritzbeton von jungen Alter bis zu 28 Tagen</i>	143
10.7.7	<i>Schlussfolgerung</i>	143
11	<i>Faserverteilung, Rissöffnung und Statistische Analyse der Versuchsergebnisse</i>	145
11.1	<i>Die Biegefähigkeitsversuch nach RILEM und EFNARC</i>	145
11.1.1	<i>Versuchsergebnisse</i>	146
11.1.2	<i>Darstellung der Faseranzahl/Faserverteilung im Versagensquerschnitt</i>	151

11.2	Analyse der Beziehung zwischen dem Fasergehalt und der Faserverteilung	154
11.3	Analyse der Beziehung zwischen Durchbiegung und der Rissöffnung des Biegebalkens.....	156
11.4	Statistische Analyse der Versuchsergebnisse nach DBV-Merkblatt	160
11.4.1	<i>Mittelwert und Standardabweichung der Prüfungsergebnisse der Biegezugversuche</i>	<i>160</i>
11.4.2	<i>Analyse der Prüfungsergebnisse nach der Student-Verteilung.....</i>	<i>161</i>
11.5	Diskussion.....	164
11.5.1	<i>Untersuchung der Faseranzahl und Faserverteilung.....</i>	<i>164</i>
11.5.2	<i>Untersuchung der Faseranzahl und Faserverteilung.....</i>	<i>164</i>
11.5.3	<i>Statistische Analyse</i>	<i>165</i>
12	Bemessungskonzept nach dem Biegezugversuch.....	166
12.1	Rissbildung	166
12.2	Tragsicherheit und maximale Rissöffnung.....	169
12.3	Dauerhaftigkeit.....	171
12.4	Gebrauchsfähigkeit.....	171
12.5	Spannungs- und Verformungszustand.....	172
12.5.1	<i>Spannungszustand von Stahlbetonprobe</i>	<i>172</i>
12.5.2	<i>Spannungszustand von Stahlfaserbetonproben</i>	<i>173</i>
12.5.2.1	<i>Hypothese 1</i>	<i>174</i>
12.5.2.2	<i>Hypothese 2: vereinfachte Beschreibung des Spannungszustandes in der Zug- und Druckzone</i>	<i>177</i>
12.6	Diskussion.....	181
13	Die Platten-Biege-Versuche von Stahlfaser- und Stahlbetonproben nach EFNARC.....	183
13.1	Die Energieaufnahmeklasse	183
13.2	Durchführung des Versuches	183

13.3	Auswertung des Versuches	184
13.3.1	<i>Theoretische Grundlage</i>	184
13.3.1.1	<i>Die Plattentheorie mit kleiner Durchbiegung</i>	184
13.3.1.2	<i>Energieprinzip</i>	185
13.3.2	<i>Prüfungen im Alter von 10 Stunden</i>	186
13.3.3	<i>Prüfungen im Alter von 18 Stunden</i>	192
13.3.4	<i>Prüfungen im Alter von 30 Stunden</i>	196
13.3.5	<i>Prüfungen im Alter von 48 Stunden</i>	200
13.4	Analyse der Untersuchungsergebnisse	203
13.5	Diskussion.....	208
14	Untersuchungen von Stahlfaserspritzbeton von 10 Stunden bis 28 Tage im Tunnel.....	210
14.1	Sieblinie und Mischungsverhältnis	210
14.2	Faserorientierung und Fasergehalt der Proben	211
14.3	Versuchsprogramm.....	212
14.4	Druckfestigkeitsentwicklung von Null- und SFSpB	213
14.5	E-Modulentwicklung.....	214
14.6	Spannung/Verformungsverhalten	215
14.6.1	<i>Verformungskomponenten</i>	216
14.6.2	<i>Auslastungsgrad</i>	217
14.6.3	<i>Diskussion der Versuchsergebnisse</i>	218
14.6.3.1	<i>Kriechverformung</i>	219
14.6.3.2	<i>Schwindverformung</i>	220
14.7	Vergleich von NSpB und SFSpB bezüglich der äquivalenten Biegezugfestigkeit nach dem DBV-Merkblatt.....	220
14.7.1	<i>Auswertung des Versuches</i>	220
14.7.2	<i>Statistische Analyse der Versuchsergebnisse nach DBV- Merkblatt</i>	225
14.7.2.1	<i>Mittelwert und Standardabweichung der Versuchsergebnisse der Biegezugversuche</i>	225
14.7.2.2	<i>Analyse der Prüfergebnisse nach der Student-Verteilung</i>	226

14.8	Vergleich von NSpB und SFSpB nach dem Platten-Biege-Versuch laut „European Specification for Sprayed Concrete“	227
14.8.1	<i>Durchführung des Versuches</i>	227
14.8.2	<i>Auswertung des Versuches</i>	229
14.9	Diskussion.....	232
15	Zusammenfassung	235
15.1	Einfluss der Fasern auf Verarbeitbarkeit.....	235
15.2	Einfluss der Fasern auf Druckfestigkeit und E-Modul	236
15.3	Fasereinfluss auf die Kriech- und Schwindverformung	237
15.4	Einfluss auf die Wasserundurchlässigkeit.....	238
15.5	Einfluss der Fasern auf die äquivalente Biegezugfestigkeit.....	238
15.6	Beziehung zwischen der Faserdosierung und der Faserverteilung im Versagensquerschnitt.....	239
15.7	Beziehung der Durchbiegung – Rissöffnung des Biegebalkens	240
15.8	Bemessungsansätze.....	240
15.9	Einfluss der Fasern in den Platten-Biege-Versuchen	241
15.10	Schlussfolgerung	242
16	Literaturverzeichnis	243