

Inhalt

1	Einleitung.....	1
1.1	Problemstellung.....	1
1.2	Zielsetzung.....	2
1.3	Inhaltliche Übersicht.....	3
2	Stützenverstärkung mit TRC.....	4
2.1	Motivation.....	4
2.2	Stand des Wissens zu Verstärkungsmethoden für Stützen.....	5
2.2.1	Spritzbetonverstärkung.....	5
2.2.1.1	Verstärkungssystem.....	5
2.2.1.2	Ergebnisse experimenteller Untersuchungen.....	7
2.2.2	Verstärkung durch FVK-Sheets.....	9
2.2.2.1	Verstärkungssystem.....	9
2.2.2.2	Ergebnisse experimenteller Untersuchungen.....	11
2.2.3	Verstärkung mit textildbewehrtem Mörtel (TRM) / Textilbeton (TRC).....	12
2.2.3.1	Verstärkungssystem.....	12
2.2.3.2	Ergebnisse experimenteller Untersuchungen.....	13
2.3	Stand des Wissens zu Ingenieurmodellen für verstärkte Stützen.....	16
2.3.1	Modell für Spritzbeton.....	16
2.3.1.1	Modell von EIBL, BACHMANN & FATH [49].....	16
2.3.1.2	Modell von WÖRNER [164].....	17
2.3.1.3	Modell von SCHÄFER & BÄÄTJER [136].....	19
2.3.1.4	Modell von KRAUSE [75].....	21
2.3.1.5	Modell von KERKENI & HEGGER [73].....	24
2.3.1.6	Weitere Modelle für Spritzbeton.....	25
2.3.2	Umschnürungsmodelle für FVK-Sheets.....	27
2.3.2.1	Allgemeines.....	27
2.3.2.2	Modell von WANG [156].....	27
2.3.2.3	Modell nach FIB-BULLETIN 14 [54].....	29
2.3.2.4	Modell nach NIEDERMEIER [103] bzw. DAfSTB-RiLi VBGB [24].....	32
2.3.3	Modelle für textildbewehrten Mörtel (TRM) / Textilbeton (TRC).....	33
2.3.3.1	Modell von TRIANTAFILLOU ET AL. [150].....	33
2.3.3.2	Modell von OMBRES [106].....	34
2.3.3.3	Modell von ORTLEPP & CURBACH [110].....	35
2.3.3.4	Modell von ORTLEPP, LORENZ & CURBACH [112].....	37
2.3.3.5	Modell von ORTLEPP, SCHLADITZ & CURBACH [113].....	39
2.4	Stand des Wissens zu mehraxialer Festigkeit von Beton.....	41

2.4.1	Grundbegriffe zur Beschreibung der mehraxialen Festigkeit	41
2.4.2	Bruchkriterien	47
2.4.2.1	1-Parameter-Modelle	47
2.4.2.2	2-Parameter-Modelle	48
2.4.2.3	3-Parameter-Modelle	48
2.4.2.4	4-Parameter-Modelle	49
2.4.2.5	5-Parameter-Modelle	51
2.4.2.6	Weitere Modelle.....	52
2.4.2.7	Untersuchungen zu Spannungs-Dehnungs-Beziehungen	52
2.4.3	Anwendungsbereich für umschnürte Stützen	53
2.5	Modellvorschläge.....	54
2.5.1	Additiver Ansatz	54
2.5.2	Modell zur Beschreibung des Normalkraftanteils der Verstärkungsschicht.....	55
2.5.3	Modell zur Beschreibung der Umschnürungswirkung der Verstärkungsschicht basierend auf mehraxialen Bruchkriterien	57
2.5.3.1	Formulierungen zur Ermittlung der Umschnürungsspannung.....	57
2.5.3.2	Beton unter mehraxialer Druckbeanspruchung nach DIN EN 1992-1-1	64
2.5.3.3	Mathematische Beschreibung des Druckmeridians	66
2.5.3.4	Umschnürungsmodell basierend auf dem Mehraxial-Ansatz von SPECK & CURBACH [146].....	69
2.5.3.5	Umschnürungsmodell basierend auf dem Mehraxial-Ansatz aus dem MC2010 [55].....	70
2.6	Experimentelle Untersuchungen	70
2.6.1	Allgemeines	70
2.6.2	Einfluss der Stützengeometrie im Lasteinleitungsbereich	71
2.6.2.1	Materialien	71
2.6.2.2	Probekörpergeometrien und Untersuchungsparameter	74
2.6.2.3	Versuchsaufbau.....	76
2.6.2.4	V Versuchsergebnisse.....	77
2.6.3	Einfluss der Altbetonfestigkeit.....	86
2.6.3.1	Hintergrund der Untersuchungen.....	86
2.6.3.2	Versuchsprogramm	87
2.6.3.3	Ergebnisse	87
2.6.4	Tragfähigkeit der Feinbetonschicht unter Druckbeanspruchung	89
2.6.4.1	Allgemeines	89
2.6.4.2	Materialien und Probekörpergeometrien	89
2.6.4.3	Ergebnisse	90
2.6.5	Möglichkeiten des Einsatzes von Hochmodulfasern	91
2.6.5.1	Hintergrund der Untersuchungen.....	91
2.6.5.2	Materialien und Versuchsprogramm.....	92

2.6.5.3	Ergebnisse.....	94
2.6.6	Effizienzsteigerung durch Kurzfasern in der Feinbetonmatrix	96
2.6.6.1	Hintergrund der Untersuchungen	96
2.6.6.2	Materialien und Versuchsprogramm	98
2.6.6.3	Ergebnisse.....	102
2.6.7	Großmaßstäbliche Versuche an Stützen ohne Knickgefährdung	110
2.6.7.1	Allgemeines	110
2.6.7.2	Materialien und Probekörpergeometrien	110
2.6.7.3	Versuchsaufbau.....	112
2.6.7.4	Ergebnisse.....	113
2.7	Validierung der Modelle.....	119
2.7.1	Allgemeines	119
2.7.2	Additiver Ansatz mit Umschnürungsmodell basierend auf DIN EN 1992-1-1 [35].....	119
2.7.3	Additiver Ansatz mit Umschnürungsmodell basierend auf SPECK & CURBACH [146].....	123
2.7.4	Additiver Ansatz mit Umschnürungsmodell basierend auf MODEL CODE MC2010 [55]	126
2.7.5	Resümee.....	128
2.8	Zur Frage der Lastpfadabhängigkeit.....	129
2.9	Zur Frage der Textiltragfähigkeit	135
2.10	Modellvorschlag zur Beschreibung der Umschnürungswirkung der Verstärkungsschicht.....	136
2.10.1	Allgemeines	136
2.10.2	Kalibrierung der Modellparameter des Umschnürungsmodells	137
2.11	Validierung des additiver Ansatzes mit neuem Umschnürungsmodell	141
2.12	Schlussfolgerungen.....	146
2.13	Hinweise für zukünftige Zulassungsverfahren	148
3	Oberflächengeometrie und Kraftübertragung über raue Betonoberflächen	150
3.1	Motivation.....	150
3.2	Stand des Wissens und Problemstellung	151
3.2.1	Allgemeines	151
3.2.2	Was ist Rauigkeit?	156
3.2.3	Methoden zur Oberflächenmessung	166
3.2.3.1	Allgemeines	166
3.2.3.2	Mechanische Messverfahren – berührend	167
3.2.3.3	Optische Messverfahren – berührungslos.....	169
3.2.3.4	Weitere Messverfahren	171
3.2.3.5	Verfahrensvergleich.....	171
3.2.4	Experimentelle Untersuchungen.....	172

3.2.4.1	Allgemeines	172
3.2.4.2	Einfluss der Fug Rauheit auf die Kraftübertragung.....	173
3.2.4.3	Einfluss der Betonzusammensetzung auf die Kraftübertragung.....	185
3.2.4.4	Einfluss des Messverfahrens auf die gemessenen Rauheitswerte.....	187
3.2.5	Theoretische Untersuchungen.....	193
3.3	Aussagekraft und Vergleichbarkeit von Rauheitsparametern bezügl. der Oberflächenrauheit.....	197
3.3.1	Weitere Auswertungen zum Einfluss des Messverfahrens auf die gemessenen Rauheitswerte	197
3.3.1.1	Messdaten aus MELLMANN, MEINHOLD & MAULTZSCH [93], [94].....	197
3.3.1.2	Messdaten aus SCHÄFER, BLOCK & DRELL [138]	197
3.3.1.3	Messdaten aus ZILCH & MAINZ [167].....	199
3.3.1.4	Messdaten aus REINECKE [130]	201
3.3.1.5	Vergleichende Analyse der Messdaten	201
3.3.2	Vergleiche verschiedener Rauheitsparameter aus der Laser- bzw. Tastschnittmessung	204
3.3.2.1	Allgemeine Überlegungen zu Parameterbeziehungen	204
3.3.2.2	Messdaten aus SCHÄFER, BLOCK & DRELL [138]	205
3.3.2.3	Messdaten aus SANTOS, JÚLIO & SILVA [134]	207
3.3.2.4	Messdaten aus MÜLLER [102].....	208
3.3.2.5	Messdaten aus ZILCH & MAINZ [167].....	209
3.3.2.6	Vergleichende Analyse der Messdaten	210
3.4	Modellierung.....	211
3.4.1	Zielstellung.....	211
3.4.2	Voraussetzungen und Annahmen.....	212
3.4.2.1	Allgemeines zur Modellierung.....	212
3.4.2.2	Bestimmung repräsentativer Kornvolumina	213
3.4.3	Erzeugung der Kornverteilungen für die verschiedenen Sieblinien	220
3.4.4	Abtragtiefen	225
3.4.5	Auszuwertende Kenngrößen und modelltechnische Umsetzung.....	228
3.4.5.1	Allgemeines	228
3.4.5.2	Bestimmung der Ausgleichsebene t_a	229
3.4.5.3	Parameter Profilkuppenhöhe R_p	231
3.4.5.4	Parameter Rautiefe R	232
3.4.5.5	Parameter Rauheitsfaktor r (wahre Oberfläche).....	232
3.4.5.6	Parameter Schubrauheitsfaktor r_s	235
3.4.5.7	Parameter schubinduzierter bezogener Normalzug rh	238
3.4.6	Einfluss gebrochener Zuschlagkörner.....	239
3.5	Ergebnisse der Modellierung	244
3.5.1	Auswirkungen der stochastischen Verteilung der Zuschlagkörner.....	244
3.5.2	Auswirkungen der Ausgleichsebene	245

3.5.3	Auswirkungen der abgestuften Sieblinien	246
3.5.4	Einfluss des Größtkorns.....	248
3.5.4.1	Parameter Profilkuppenhöhe R_p bzw. Rautiefe R	248
3.5.4.2	Parameter Rauheitsfaktor r (wahre Oberfläche).....	249
3.5.4.3	Parameter Schubrauheitsfaktor r_s	252
3.5.4.4	Parameter schubinduzierter bezogener Normalzug rh	253
3.5.4.5	Zusammenhänge zwischen den Parametern	254
3.5.5	Einfluss der Feinkörnigkeit der Sieblinie	258
3.5.5.1	Parameter Profilkuppenhöhe R_p bzw. Rautiefe R	258
3.5.5.2	Parameter Rauheitsfaktor r (wahre Oberfläche).....	259
3.5.5.3	Parameter Schubrauheitsfaktor r_s und schubinduzierter bezogener Normalzug rh	260
3.5.5.4	Zusammenhänge zwischen den Parametern	262
3.5.6	Einfluss gebrochener Zuschlagkörner	264
3.5.6.1	Allgemeines	264
3.5.6.2	Parameter Profilkuppenhöhe R_p bzw. Rautiefe R	264
3.5.6.3	Parameter Rauheitsfaktor r (wahre Oberfläche).....	265
3.5.6.4	Parameter Schubrauheitsfaktor r_s	268
3.5.6.5	Parameter schubinduzierter bezogener Normalzug rh	268
3.5.6.6	Zusammenhänge zwischen den Parametern	269
3.6	Resümee.....	271
4	Zusammenfassung und Ausblick.....	273
5	Literatur	275
6	Anhang.....	289
Anhang 1	Stützenverstärkung mit TRC (Kapitel 2).....	291
A 1.1	Geometrieuntersuchungen	291
A 1.2	Einsatzmöglichkeiten von Hochmodulfasern	298
A 1.3	Effizienzsteigerung durch Kurzfasern	299
Anhang 2	Oberflächengeometrie und Kraftübertragung (Kapitel 3)	301
A 2.1	Ausgewertete Messdaten aus der Literatur.....	301
A 2.1.1	Auswertung der Messdaten von SCHÄFER, BLOCK & DRELL [138].....	301
A 2.1.2	Auswertung der Messdaten von MÜLLER [102].....	305
A 2.1.3	Auswertung der Messdaten von ZILCH & MAINZ [167].....	313
A 2.2	Vergleich der Rauheitsparameter R_p und R_z	317

A 2.3	Skripte zur Programmierung der Rauheitssimulation	319
A 2.3.1	Erste Fortran-Routine für die Kornerzeugung	319
A 2.3.2	Optimierte Fortran-Routine für die Kornerzeugung der kleinsten Kornfraktion.....	323
A 2.3.3	Fortran-Routine zur Erzeugung der Schnittebenen (Abtragtiefen).....	329
A 2.3.4	Fortran-Routine zur Ermittlung von Oberflächenparametern.....	332
A 2.4	Übersicht der erzeugten Kornvolumina für alle Sieblinien	335
A 2.4.1	Sieblinie A64.....	335
A 2.4.2	Sieblinie A32.....	338
A 2.4.3	Sieblinie A16.....	341
A 2.4.4	Sieblinie A08.....	344
A 2.4.5	Sieblinie B64.....	347
A 2.4.6	Sieblinie B32.....	348
A 2.4.7	Sieblinie B16.....	349
A 2.4.8	Sieblinie B08.....	350
A 2.4.9	Sieblinie C64.....	351
A 2.4.10	Sieblinie C32.....	352
A 2.4.11	Sieblinie C16.....	353
A 2.4.12	Sieblinie C08.....	354
A 2.5	Ergebnisse der Auswertung	355
A 2.5.1	Sieblinie A64.....	355
A 2.5.2	Sieblinie A32.....	360
A 2.5.3	Sieblinie A16.....	363
A 2.5.4	Sieblinie A08.....	366
A 2.5.5	Sieblinie B64.....	371
A 2.5.6	Sieblinie B32.....	372
A 2.5.7	Sieblinie B16.....	373
A 2.5.8	Sieblinie B08.....	374
A 2.5.9	Sieblinie C64.....	375
A 2.5.10	Sieblinie C32.....	376
A 2.5.11	Sieblinie C16.....	377
A 2.5.12	Sieblinie C08.....	378