

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	v
Abstract	viii
Formelzeichen und Abkürzungen	x
1 Einleitung und Zielsetzung	1
1.1 Einführung und Systemaufbau	1
1.2 Ziel der Arbeit	3
1.3 Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit	4
2 Holz-Beton-Verbundbauweise	7
2.1 Allgemein	7
2.2 Verbindungsmittel im Holz-Beton-Verbundbau	8
2.3 Besonderheiten bei der Bemessung	9
2.3.1 Kurzzeittragverhalten	9
2.3.2 Langzeittragverhalten	13
3 Einflussfaktoren auf die Tragfähigkeit des Verbundsystems	19
3.1 Allgemeines	19
3.2 Stabdübelverbindung	19
3.3 Schubtragfähigkeit von Plattenelementen	20
3.4 Längsschubtragfähigkeit der Verbunddübelleiste	23
3.4.1 Einführung	23
3.4.2 Stahlversagen	23
3.4.3 Ausstanzen	24
3.4.4 Abscheren	27
3.4.5 Teilflächenpressung	30
3.4.6 Spalten	30
3.4.7 Verdübelungsbewehrung	31
3.5 Zugtragfähigkeit des Verbundmittels	33
3.6 Tragverhalten unter kombinierter Zug-Schub-Beanspruchung . .	35
3.7 Tragverhalten eines Verbundträgers	36
3.7.1 Einführung	36
3.7.2 γ -Verfahren	37
3.7.3 Modellierung als Stabwerk	38
3.7.4 Differentialgleichung des nachgiebigen Verbundes	39
3.7.5 Segment-Lamellen-Verfahren	40

4	Finite-Elemente-Methode	43
4.1	Kontinuumsmechanik	43
4.2	Einführung in die Methode der finiten Elemente	44
4.3	Lösungsverfahren nichtlinearer Problemstellungen	45
4.3.1	Nichtlinearitäten	45
4.3.2	Iterationsverfahren	47
4.4	Allgemeines zur Materialmodellierung	49
4.4.1	Elastisches Materialverhalten	49
4.4.2	Plastisches Materialverhalten	51
4.5	Materialmodell des Stahls	53
4.5.1	Elastische Stahlparameter	53
4.5.2	Plastische Stahlparameter bzw. Materialmodelle	53
4.6	Materialmodell des Betons	56
4.6.1	Allgemeines	56
4.6.2	Betonmodelle in ABAQUS	57
4.6.3	CDP - Elastische Betonparameter	58
4.6.4	CDP - Uniaxiales Zugtragverhalten	59
4.6.5	CDP - Uniaxiales Drucktragverhalten	62
4.6.6	CDP - Rissmodellierung	65
4.6.7	CDP - Fließfläche bzw. multiaxiale Beanspruchung	68
4.6.8	CDP - Plastisches Potential	72
4.7	Materialmodell des Holzes	73
4.8	Elementwahl und Diskretisierung	75
4.9	Modellierung der äußeren Randbedingungen	77
4.10	Interaktionsmodellierung	77
4.10.1	Allgemein	77
4.10.2	Interaktionseigenschaften	79
5	Problemstellungen bei der FE-Simulation von hybriden Kon-	
	struktionen	83
5.1	Allgemeines	83
5.2	Tragverhalten von Kopfbolzendübeln	83
5.3	Einflussfaktoren auf das Tragverhalten von Verbundmitteln	85
5.3.1	Hydrostatische Spannungszustände	85
5.3.2	Rissbildung im Beton	86
5.3.3	Kraftübertragung durch Reibung	86
5.4	FE-Modelle von hybriden Konstruktionen	87
5.4.1	Einführung	87
5.4.2	Kopfbolzendübel	87
5.4.3	Verbunddübelleisten	90
5.5	Empfehlungen zur FE-Modellierung von hybriden Konstruktionen	95
6	Experimentelle Untersuchungen zum Tragverhalten des mul-	
	tifunktionalen Holz-Beton-Verbundsystems	97
6.1	Allgemeines	97
6.2	Werkstoffeigenschaften	97
6.3	Experimentelle Untersuchungen - Längsschubbelastung	100
6.3.1	Versuchsprogramm	100

6.3.2	Versuchskörperherstellung	101
6.3.3	Versuchsserie 1 - einteilige Ausgangsgeometrie	102
6.3.3.1	Vorbemessung der Versuchskörper	102
6.3.3.2	Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung	104
6.3.3.3	Versuchsergebnisse	105
6.3.4	Versuchsserie 2 - zweiteilige Geometrie	108
6.3.4.1	Vorbemessung der Versuchskörper	108
6.3.4.2	Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung	109
6.3.4.3	Versuchsergebnisse	110
6.3.5	Vergleich und Bewertung	120
6.4	Experimentelle Untersuchungen - Zugbelastung	126
6.4.1	Versuchsprogramm	126
6.4.2	Versuchskörperherstellung	127
6.4.3	Versuchsserie 1 - einteilige Ausgangsgeometrie	127
6.4.3.1	Vorbemessung der Versuchskörper	127
6.4.3.2	Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung	129
6.4.3.3	Versuchsergebnisse	131
6.4.4	Versuchsserie 2 - zweiteilige Geometrie	133
6.4.4.1	Vorbemessung der Versuchskörper	133
6.4.4.2	Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung	134
6.4.4.3	Versuchsergebnisse	134
6.4.5	Vergleich und Bewertung	136
6.5	Experimentelle Untersuchung des Verbundträgers	144
6.5.1	Vorbemessung der Versuchskörper	144
6.5.2	Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung	149
6.5.3	Versuchsergebnisse	151
6.5.4	Vergleich und Bewertung	159
6.5.4.1	Auswertung des Verformungsbildes des inneren Verbundblechs	159
6.5.4.2	Schnittgrößenberechnung der Einzelquerschnitte	161
6.5.4.3	Vergleich der Schubkraft-Schlupfbeziehung	164

7 Numerische Untersuchungen zum Tragverhalten des multi-funktionalen Holz-Beton-Verbundsystems **169**

7.1	Einführung	169
7.2	FE-Modell - Längsschubbeanspruchung	170
7.2.1	Materialmodellierung	170
7.2.2	Strukturmodellierung	174
7.2.3	Vergleich der numerischen und experimentellen Ergebnisse	175
7.3	FE-Modell - Zugbeanspruchung	182
7.3.1	Allgemeines	182
7.3.2	Vergleich des CDP-Betonmodells und des Sprödbruchmodells	182
7.3.3	Strukturmodellierung	183
7.3.4	Vergleich der numerischen und experimentellen Ergebnisse	185
7.4	FE-Modell - kombinierte Schub- und Zugbeanspruchung	187

7.4.1	Modellierung	187
7.4.2	Vergleich der numerischen und experimentellen Ergebnisse	189
8	Ingenieurmodell zur Bemessung des multifunktionalen Holz-Beton-Verbundsystems	191
8.1	Modell zur Längsschubbeanspruchung	191
8.1.1	Versagensmechanismen unter Längsschub	191
8.1.1.1	Stabdübelverbindung	191
8.1.1.2	Schubbeulen	192
8.1.1.3	Stahlversagen der Verbunddübelleiste des inneren Verbundblechs	193
8.1.1.4	Abscheren des Mörtels	194
8.1.1.5	Lokale Mörtelpressung	195
8.1.1.6	Spaltriss in der inneren Mörtelfuge	195
8.1.1.7	Betondeckung des äußeren Verbundblechs	198
8.1.1.8	Gegenüberstellung der Versagensmechanismen	199
8.1.2	Überführung in ein Bemessungsmodell	203
8.2	Modell zur Zugbeanspruchung	207
8.2.1	Entwicklung des Ingenieurmodells	207
8.2.2	Überführung in ein Bemessungsmodell	211
8.3	Zusammenfassung des Bemessungsmodells zur Ermittlung der Schub- und Zugtragfähigkeit	214
8.4	Modell zur kombinierten Schub- und Zugbeanspruchung	216
8.5	Modell zur Bemessung des Verbundträgers	217
8.5.1	Vergleich der experimentellen Ergebnisse und der Ergebnisse des Stabwerkmodells	217
8.5.2	Vergleich der experimentellen Ergebnisse mit dem Segment-Lamellen-Verfahren	219
8.5.3	Entwicklung Stabwerkmodell - Verbundträger	221
8.5.4	Berücksichtigung des Langzeittragverhaltens	222
9	Zusammenfassung und Ausblick	227
	Literatur	231
	Studentische Arbeiten	243
	Anhang	
A	Verbundblechabmessungen	245
B	Versuche zum Längsschubtragverhalten	247
B.1	Serie 1 - Ausgangsgeometrie	247
B.1.1	Aufbau der Versuchskörper	247
B.1.2	Materialkennwerte	249
B.1.3	Versuchsergebnisse	250
B.2	Serie 2 - optimierte Geometrie	255
B.2.1	Aufbau der Versuchskörper	255

B.2.2	Materialkennwerte . . . . .	.258
B.2.3	Versuchsergebnisse . . . . .	.259
C	Versuche zum Zugtragverhalten	283
C.1	Serie 1 - Ausgangsgeometrie . . . . .	.283
C.1.1	Aufbau der Versuchskörper . . . . .	.283
C.1.2	Materialkennwerte . . . . .	.285
C.1.3	Versuchsergebnisse . . . . .	.286
C.2	Serie 2 - optimierte Geometrie . . . . .	.294
C.2.1	Aufbau der Versuchskörper . . . . .	.294
C.2.2	Materialkennwerte . . . . .	.296
C.2.3	Versuchsergebnisse . . . . .	.298
D	Versuch zum Tragverhalten eines Verbundträgers	323
D.1	Aufbau des Versuchskörpers . . . . .	.323
D.2	Materialkennwerte . . . . .	.326
D.3	Versuchsergebnisse . . . . .	.327
E	Dokumentation der FE-Modelle	333
E.1	FE-Modell Längsschub - Serie 1 . . . . .	.333
E.2	FE-Modell Längsschub - Serie 2 . . . . .	.335
E.3	FE-Modell Zug . . . . .	.338
E.4	FE-Modell Zug-Schub-Interaktion . . . . .	.340
Lebenslauf		343