

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation und Zielsetzung .....	1
1.2 Aufbau und Methodik der Arbeit .....	1
<b>2 Typisierung von Holzbau-Verbindungen nach Belastungsart.....</b>	<b>5</b>
<b>3 Druckbeanspruchte Verbindungen.....</b>	<b>9</b>
3.1 Überblick.....	9
3.2 hybriden Druckverbindung von Blaß und Enders-Comberg .....	10
3.3 Zusammenfassung.....	11
<b>4 Zugbeanspruchte Verbindung mit GFK-Schlaufe.....</b>	<b>13</b>
4.1 Überblick.....	13
4.2 Holzeigenschaften.....	13
4.2.1 Struktur des Holzes.....	14
4.2.2 Mechanische Eigenschaften.....	15
4.2.3 Bruchverhalten .....	17
4.2.4 nichtmechanische Eigenschaften .....	19
4.3 Eigenschaften von Epoxidharz.....	20
4.3.1 Chemischer Aufbau .....	21
4.3.2 Grundlegende Eigenschaften von Klebungen mit Epoxidharz .....	23
4.3.3 Mechanische Eigenschaften.....	25
4.3.4 Bruchverhalten .....	26
4.4 Eigenschaften von faserverstärkten Kunststoffen .....	27
4.4.1 Aufbau unidirektional glasfaserverstärkter Epoxidharze.....	28
4.4.2 Mechanische Eigenschaften unidirektional glasfaserverstärkter Epoxidharze .....	28
4.4.3 Bruchverhalten .....	31
4.5 Theoretische Betrachtungen und Vorbemessung der Zugverbindung.....	34

4.5.1	Lastübertragung vom Holz zum GFK-Streifen .....	34
4.5.2	Lastübertragung vom GFK-Streifen zum Stahlbolzen .....	36
4.5.3	Einfluss der Bolzenverformung auf das Gesamttragverhalten .....	39
4.5.4	Lochleibverbindung zwischen Bolzen und Stahlblech .....	43
4.6	Holz und GFK im Verbund .....	43
4.6.1	Überblick .....	43
4.6.2	Theoretische Betrachtungen .....	43
4.6.3	Versuche zum Verbundverhalten .....	53
4.7	Versuchsgestützte Untersuchungen .....	56
4.7.1	Versuchsprogramm .....	56
4.7.2	Versuchsaufbau und Messeinrichtung .....	57
4.7.3	Versuchsergebnisse .....	59
4.8	Zusammenfassung und Bewertung des Tragverhaltens .....	62
<b>5</b>	<b>Lösbare biegebeanspruchte Verbindung unter Verwendung von Polymerbeton ...</b>	<b>65</b>
5.1	Überblick .....	65
5.2	Eigenschaften des verwendeten Polymerbetons .....	67
5.2.1	Aufbau des Polymerbetons .....	67
5.2.2	mechanische Eigenschaften .....	69
5.3	Tragverhalten von GFK-bewehrtem Polymerbeton .....	74
5.3.1	GFK-bewehrter Polymerbeton unter Biegebeanspruchung .....	74
5.3.2	GFK-bewehrter Polymerbeton unter Zugbeanspruchung .....	80
5.3.3	Verankerung der GFK-Bewehrung im Polymerbeton .....	82
5.4	Holz und Polymerbeton im Verbund .....	86
5.4.1	Überblick .....	86
5.4.2	theoretische Betrachtungen .....	86
5.4.3	Verbundversuche .....	92
5.4.4	Zusammenfassung des Tragverhaltens und Bewertung .....	93

5.5	Theoretische Herleitung der biegebeanspruchten Verbindungsgeometrie.....	95
5.5.1	Vorstellung der entwickelten lösbaren Verbindungsgeometrie .....	96
5.5.2	Bestimmung der notwendigen Kontaktflächengeometrie.....	97
5.5.3	Voraussetzungen für die Herleitung der vorgestellten Stabwerkmodelle	101
5.5.4	Herleitung eines Stabwerkmodells für eine Momentenbelastung um die Y- Achse.....	104
5.5.5	Herleitung eines Stabwerkmodells für eine Momentenbelastung um die Z- Achse.....	110
5.5.6	Bewehrungskonzept .....	115
5.5.7	Zusammenfassung der theoretisch erwartbaren Tragfähigkeit hinsichtlich unterschiedlicher Einwirkungen .....	119
5.6	Versuchsgestützte Untersuchungen der biegebeanspruchten Verbindung.....	120
5.7	Vergleich der Versuchsergebnisse mit den theoretischen Betrachtungen der Stabwerkmodelle .....	122
5.7.1	Match-Cast, unbewehrt, vertikale ausgerichtete Verzahnung.....	123
5.7.2	Match-Cast, unbewehrt, horizontal ausgerichtete Verzahnung.....	126
5.7.3	Match-Cast, GFK-bewehrt, vertikal ausgerichtete Verzahnung .....	129
5.7.4	Match-Cast, GFK-bewehrt, horizontal ausgerichtete Verzahnung .....	130
<b>6</b>	<b>Vorschlag eines neuen mechanischen Materialmodells zur Steifigkeitsermittlung von Polymerbetonen.....</b>	<b>133</b>
6.1	Materialmodell nach Hirsch.....	133
6.2	Materialmodell nach Rehm .....	137
6.3	eigener Vorschlag eines mechanischen Materialmodells .....	140
6.4	Vergleich der vorgestellten Materialmodelle .....	145
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>153</b>
	<b>Bezeichnungen.....</b>	<b>157</b>
	<b>Literatur- und Normenverzeichnis.....</b>	<b>163</b>
<b>Anhang A</b>	<b>Stochastische Grundlagen .....</b>	<b>173</b>

A.1	Wahrscheinlichkeit .....	173
A.2	Verteilungsfunktionen und Verteilungsdichte .....	175
A.2.1	Gauß-Normalverteilung .....	176
A.2.2	Logarithmische Normalverteilung .....	178
A.2.3	T-Verteilung.....	181
A.3	Empirische Kenngrößen einer Stichprobe .....	182
A.3.1	Erwartungswert und Median.....	182
A.3.2	Schiefe und Exzess .....	183
A.4	Schluss von einer Stichprobe auf die Grundgesamtheit .....	184
A.4.1	Quantil .....	184
A.4.2	Standardabweichung, Varianz und Variationskoeffizient.....	185
A.4.3	Konfidenzintervall .....	187
A.5	Stochastische Auswertung in dieser Arbeit.....	189
<b>Anhang B</b>	<b>Versuche zum Verbundverhalten von Holz und GFK.....</b>	<b>191</b>
B.1	Versuchsprogramm .....	191
B.2	Biegeversuche an ein- und zweilagigen Holzquerschnitten .....	196
B.2.1	Versuchsaufbau und Messeinrichtung .....	196
B.2.2	Referenzversuche.....	197
B.2.3	Versuche mit Verstärkung auf der Biegezugseite .....	198
B.2.4	Versuche mit Verstärkung auf der Biegedruckseite .....	203
B.2.5	Versuche mit mittig angeordneter Verstärkung.....	208
B.2.6	Zusammenfassung des Tragverhaltens und Bewertung .....	210
B.3	Druck- und Zugversuche an dreilagigen Holzquerschnitten.....	212
B.3.1	Druckversuche.....	213
B.3.2	Versuchsaufbau und Messeinrichtung der Zugversuche.....	214
B.3.3	Referenzversuche.....	217

B.3.4	Zugversuche an unverstärkten Holzquerschnitten mit definierter Störstelle	220
B.3.5	Zugversuche an verstärkten Holzquerschnitten mit definierter Störstelle	222
<b>Anhang C</b>	<b>Versuche zur zugbeanspruchten Verbindung mit GFK-Schlaufe</b>	<b>225</b>
C.1	Versuchsprogramm	225
C.2	Versuchsaufbau und Messeinrichtung	225
C.3	Versuchsergebnisse	227
<b>Anhang D</b>	<b>Versuche zum Materialverhalten von Polymerbeton</b>	<b>233</b>
D.1	Versuchsmaterial	233
D.2	Versuchsprogramm	236
D.3	Druckversuche	241
D.3.1	Versuchsaufbau und Messeinrichtung	241
D.3.2	Versuchsergebnisse unbewehrter Druckproben aus Polymerbeton	242
D.3.3	Versuchsergebnisse GFK-bewehrter Druckproben aus Polymerbeton	251
D.3.4	Zusammenfassung des Tragverhaltens	259
D.4	Vierpunkt-Biegeversuche	260
D.4.1	Versuchsaufbau und Messeinrichtung	260
D.4.2	Versuchsergebnisse	261
D.4.3	Zusammenfassung des Tragverhaltens	275
D.5	Zugversuche	276
D.5.1	Versuchsaufbau und Messeinrichtung	276
D.5.2	Versuchsergebnisse	278
D.5.3	Zusammenfassung des Tragverhaltens	295
<b>Anhang E</b>	<b>Versuche zur Verankerungslänge von GFK-Bewehrung in Polymerbeton</b>	<b>297</b>
E.1	Versuchsmaterial	297
E.2	Versuchsprogramm	297

E.3	Versuchsaufbau und Messeinrichtung.....	298
E.4	Versuchsergebnisse.....	299
E.5	Zusammenfassung des Tragverhaltens.....	305
<b>Anhang F</b>	<b>Versuche zum Verbundverhalten von Polymerbeton und Holz.....</b>	<b>307</b>
F.1	Versuchsmaterial.....	307
F.2	Versuchsprogramm.....	307
F.3	Versuchsaufbau und Messeinrichtung.....	312
F.4	Versuchsergebnisse.....	313
<b>Anhang G</b>	<b>Versuche zum Tragverhalten von einem biegebeanspruchten Verbindungsknoten unter Verwendung von Polymerbeton.....</b>	<b>329</b>
G.1	Versuchsmaterial.....	329
G.2	Versuchsprogramm.....	329
G.3	Versuchsaufbau und Messeinrichtung.....	331
G.4	Versuchsergebnisse.....	334
G.4.1	Ergebnisse mit horizontal ausgerichteter Verzahnung und 0,5 mm Toleranzmaß.....	334
G.4.2	Ergebnisse mit vertikal ausgerichteter Verzahnung und 0,5 mm Toleranzmaß.....	336
G.4.3	Ergebnisse mit horizontal ausgerichteter Verzahnung ohne Toleranzmaß .....	339
G.4.4	Ergebnisse mit vertikal ausgerichteter Verzahnung ohne Toleranzmaß (Match-Cast).....	343
G.4.5	Ergebnisse mit horizontal ausgerichteter Verzahnung, mit GFK- Bewehrung und ohne Toleranzmaß.....	345
G.4.6	Ergebnisse mit vertikal ausgerichteter Verzahnung, mit GFK-Bewehrung und ohne Toleranzmaß.....	348
<b>Anhang H</b>	<b>Computergestützte Berechnung der in Kapitel 5.5 vorgestellten Stabwerkmodelle.....</b>	<b>353</b>
H.1	Berechnungsparameter.....	353

H.2	Materialparameter .....	354
H.3	Querschnittswerte .....	354
H.3.1	Querschnitt 5/5 .....	354
H.3.2	Querschnitt 2/5 .....	354
H.3.3	Querschnitt 5/5 .....	355
H.4	Schnittgrößen der Stabwerkmodelle.....	355
H.4.1	Erstes Teilsystem des Stabwerkmodells für eine Belastung um die Y- Achse.....	356
H.4.2	zweites Teilsystem des Stabwerkmodells für eine Belastung um die Y- Achse.....	357
H.4.3	Gesamtsystem des Stabwerkmodells für eine Belastung um die Y-Achse .....	358
H.4.4	Erstes Teilsystem des Stabwerkmodells für eine Belastung um die Z- Achse.....	359
H.4.5	Zweites Teilsystem des Stabwerkmodells für eine Belastung um die Z- Achse.....	360
H.4.6	Gesamtsystem des Stabwerkmodells für eine Belastung um die Z-Achse .....	361