

Norman Werther, Martin Gräfe,
Veronika Hofmann, Stefan Winter

**Untersuchungen zum
Brandverhalten von querkraft-
beanspruchten Verbindungen
bei Holzbaukonstruktionen,
Neuentwicklung und Optimierung
von Verbindungssystemen und
allgemeinen Konstruktionsregeln**

F 2938

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung -BMVBS- im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2015

ISBN 978-3-8167-9470-7

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00

Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/tauforschung



Schlussbericht zum Forschungsvorhaben

Untersuchungen zum Brandverhalten von querkraftbeanspruchten Verbindungen bei Holzbaukonstruktionen, Neuentwicklung und Optimierung von Verbindungssystemen und allgemeinen Konstruktionsregeln

Durchgeführt von:

Technische Universität München
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter

Projektbearbeitung

Dipl.-Ing. Martin Gräfe
Dipl. Ing. (BA) Veronika Hofmann M. Sc.

Projektleitung

Dipl.-Ing. Norman Werther

Laufzeit: Dezember 2012 bis Dezember 2014

gefördert durch:

Forschungsinitiative Zukunft Bau
Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung
Deichmanns Aue 31-37
52179 Bonn

Das Vorhaben wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert.

(Aktenzeichen: II 3-F20-11-1-023 / SWD-10.08.18.7-12.45)

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.

Inhaltsverzeichnis

Kurzbeschreibung	I
Abstract	II
Danksagung	III
Inhaltsverzeichnis	4
1 Einleitung	9
1.1 Verbindungen im Ingenieurholzbau	9
1.2 Ausgangssituation	11
1.3 Ziele und Umsetzung	12
1.4 Stand der Forschung und Technik	14
1.4.1 Stand der Forschung	14
1.4.2 Stand der Technik	19
1.4.2.1 Balkenschuhe	19
1.4.2.2 Vollgewindeschrauben	23
1.5 Abgrenzung des Forschungsvorhabens	24
1.6 Hochtemperatureigenschaften von Holz und Stahl	25
2 Eigenschaften und Tragverhalten von Haupt-Nebenträger-Verbindungen.....	29
2.1 Balkenschuhe	29
2.1.1 Allgemeines	29
2.1.2 Eigenschaften von Balkenschuhen	29
2.1.3 Eigenschaften von Balkenschuhen aus geschweißten Blechen.....	30
2.1.4 Trag- und Verformungsverhalten, Bemessung im Kaltbemessungsfall	31
2.1.4.1 Tragverhalten	31
2.1.4.2 Bemessung	34
2.2 Vollgewindeschrauben	36
2.2.1 Allgemeines	36
2.2.2 Eigenschaften von Vollgewindeschrauben	36
2.2.3 Trag- und Verformungsverhalten, Bemessung	37
2.2.3.1 Tragverhalten unter Raumtemperatur.....	37
2.2.3.2 Bemessung unter Raumtemperatur	40
2.2.3.3 Bemessung von auf Herausziehen beanspruchte Schrauben unter Brandbeanspruchung.....	47
3 Versuche zur Prüfung der temperaturabhängigen Ausziehfestigkeit von Vollgewindeschrauben.....	49
3.1 Allgemeines	49
3.2 Notwendigkeit der Versuche	49
3.3 Versuchsaufbau.....	50
3.3.1 Prüfkörperaufbau	50
3.3.2 Aufbau des Versuchstandes	52

3.4	Versuchsergebnisse	53
3.4.1	Allgemeines	53
3.4.2	Versuchsergebnisse	53
3.5	Auswertung	56
3.5.1	Auswertung der Versuchsergebnisse aus den Ausziehversuchen an Vollgewindeschrauben.....	56
3.5.2	Vergleich mit Versuchen an Holzbetonverbundschrauben.....	58
4	Unbelastete Brandversuche.....	62
4.1	Zweck der Versuche.....	62
4.2	Versuchsaufbau und -durchführung	62
4.2.1	Aufbau des Versuchstandes für die Prüfung	62
4.2.2	Allgemeiner Aufbau der Prüfkörper.....	64
4.2.2.1	Balkenschuhe	66
4.2.2.1	Vollgewindeschrauben.....	69
4.2.3	Versuchsdurchführung.....	73
4.3	Versuchsergebnisse	76
4.3.1	Versuchsergebnisse der Balkenschuhe.....	76
4.3.1.1	Prüfkörper 2	76
4.3.1.2	Prüfkörper 5	77
4.3.1.3	Prüfkörper 6	78
4.3.1.4	Prüfkörper 8	79
4.3.1.5	Prüfkörper 1, 3, 4, 7	80
4.3.2	Versuchsergebnisse der Vollgewindeschrauben	83
4.3.2.1	Einfluss verschiedener Schraubenparameter.....	83
4.3.2.2	Einfluss verschiedener seitlicher Randabstände bei gekreuzten Vollgewindeschrauben	86
4.4	Auswertung	91
4.4.1	Schlussfolgerung und Empfehlungen aus Versuchsergebnissen für Balkenschuhe ..	91
4.4.2	Schlussfolgerung und Empfehlung aus Versuchsergebnissen für Vollgewindeschrauben	92
5	Belastete Brandversuche und zugehörige Ermittlung der Kaltrtragfähigkeit	94
5.1	Grundlagen.....	94
5.1.1	Allgemeiner Versuchsaufbau	94
5.1.2	Aufbau der Prüfkörper.....	97
5.1.2.1	Allgemeines.....	97
5.1.2.2	Holzfeuchten und Rohdichten	99
5.1.2.1	Erforderliche Tragfähigkeiten im Brandfall und bei Normaltemperatur.....	100
5.1.2.2	Balkenschuhe	102
5.1.2.3	Vollgewindeschrauben.....	103
5.2	Ermittlung der Tragfähigkeit im Kaltzustand	105
5.2.1	Zweck der Versuche	105
5.2.2	Ermittlung der charakteristischen Querkrafttragfähigkeit aus Versuchen	106
5.2.3	Versuchsaufbau und -durchführung	107
5.2.3.1	Versuchsaufbau	107
5.2.3.2	Versuchsdurchführung.....	107

5.2.1	Versuchsergebnisse und Beobachtungen	108
5.2.1.1	Ergebnisse Balkenschuhe	108
5.2.1.1	Ergebnisse Vollgewindeschrauben.....	112
5.3	Ermittlung der Tragfähigkeit im Brandfall.....	113
5.3.1	Versuchskonzept.....	113
5.3.1.1	Möglichkeiten der Lastaufbringung	113
5.3.1.2	Gewähltes Verfahren.....	115
5.3.2	Versuchsaufbau- und Versuchsdurchführung	115
5.3.2.1	Aufbau des Prüfofens	115
5.3.2.2	Eigenschaften der Prüfkörper	119
5.3.2.3	Anordnung der Temperaturmessstellen in den Prüfkörpern	120
5.3.2.4	Versuchsdurchführung.....	123
5.3.3	Versuchsergebnisse und Beobachtungen Balkenschuhe	124
5.3.3.1	Allgemeine Beobachtungen zum Verformungs- und Versagensverhalten.....	124
5.3.3.2	Maximale Beanspruchbarkeiten	126
5.3.3.3	Beobachtungen an den einzelnen Versuchskörpern.....	128
5.3.3.4	Temperaturmessungen	129
5.3.4	Versuchsergebnisse und Beobachtungen Vollgewindeschrauben	130
5.3.4.1	Allgemeine Beobachtungen zum Verformungs- und Versagensverhalten.....	130
5.3.4.2	Maximale Beanspruchbarkeiten	133
5.3.4.3	Beobachtungen an den einzelnen Versuchskörpern.....	135
5.3.4.4	Temperaturmessungen	138
6	Bewertung Schutzmaßnahmen	142
6.1	Balkenschuhe	142
6.1.1	Untersuchte Schutzmaßnahmen	142
6.1.2	Ergebnisse.....	143
6.2	Vollgewindeschrauben	144
6.2.1	Untersuchte Schutzmaßnahmen	144
6.2.2	Ergebnisse.....	146
7	Numerische Parameterstudien an Vollgewindeschrauben.....	149
7.1	Vorgehensweise	149
7.2	Verwendete Ausgangsparameter	149
7.2.1	Allgemeines	149
7.2.2	Rohdichte	149
7.2.3	Spezifische Wärmespeicherkapazität	150
7.2.4	Wärmeleitfähigkeit.....	151
7.2.5	Wärmeübertragung	152
7.2.6	Beanspruchung des Modells	152
7.3	Validierung des gewählten Simulationsmodells	153
7.3.1	Allgemeines	153
7.3.2	Vergleich der Schraubentemperaturen	153
7.3.3	Vergleich der Verkohlungstiefen	154
7.4	Parameterstudien	156
7.5	Schlussfolgerung aus den Parameterstudien	160
7.6	Abschätzung der Ausziehfestigkeiten	161

8	Bewertung und Schlussfolgerung	165
8.1	Balkenschuhe	165
8.1.1	Typisches Brandverhalten der Verbindungen.....	165
8.1.2	Empfehlungen hinsichtlich Geometrie und Aufbau	165
8.1.3	Bemessungsansätze	166
8.1.4	Beurteilung von Balkenschuhen aus dicken verschweißten Stahlblechen	167
8.1.5	Empfehlungen hinsichtlich Schutzmaßnahmen.....	168
8.2	Vollgewindeschrauben	169
8.2.1	Typisches Brandverhalten der Verbindungen.....	169
8.2.2	Empfehlungen hinsichtlich Geometrie und Aufbau	169
8.2.3	Bemessungsansätze	170
8.2.4	Empfehlungen hinsichtlich Schutzmaßnahmen.....	171
8.2.5	Schlussfolgerung.....	173
9	Zusammenfassung und Ausblick	177
10	Literaturverzeichnis	179
10.1	Zitierte Literatur	179
10.2	Normen und Regelwerke, Software	182
10.3	Prüfberichte zum Forschungsvorhaben	183
11	Anhang	184
11.1	Ausziehversuche an Vollgewindeschrauben	184
11.1.1	Maximale Ausziehfestigkeit.....	184
11.1.1.1	Maximale Ausziehfestigkeit senkrecht zur Faser.....	184
11.1.1.2	Maximale Ausziehfestigkeit parallel zur Faser	185
11.1.1.3	Maximale Ausziehfestigkeit unter 45° zur Faser.....	185
11.1.2	Auswertung	186
11.1.2.1	Senkrecht zur Faser	186
11.1.2.2	Parallel zur Faser.....	187
11.1.2.3	Unter 45° zur Faser.....	188
11.2	Temperaturmesswerte Balkenschuhe.....	189
11.2.1	Unbelastete Brandversuche.....	189
11.2.2	Belastete Brandversuche	192
11.3	Temperaturmesswerte Schrauben	195
11.3.1	Unbelastete Brandversuche.....	195
11.3.2	Belastete Brandversuche	204
11.4	Bilder Schnitte unbelastete Brandversuchskörper.....	208
11.4.1	Schraubenverbindung 6.1- 30 Minuten	208
11.4.2	Schraubenverbindung 6.3- 30 Minuten	209
11.4.3	Schraubenverbindung 6.5- 30 Minuten	209
11.4.4	Schraubenverbindung 12.1- 30 Minuten	210
11.4.5	Schraubenverbindung 12.3- 30 Minuten	211
11.4.6	Schraubenverbindung 12.5- 30 Minuten	212
11.4.7	Schraubenverbindung 6.1- 60 Minuten	213
11.4.8	Schraubenverbindung 6.2- 60 Minuten	213
11.4.9	Schraubenverbindung 6.3- 60 Minuten	214

11.4.10 Schraubenverbindung 6.4- 60 Minuten	215
11.4.11 Schraubenverbindung 6.5- 60 Minuten	216
11.4.12 Schraubenverbindung 12.1- 60 Minuten	217
11.4.13 Schraubenverbindung 12.3- 60 Minuten	218
11.4.14 Schraubenverbindung 12.4- 60 Minuten	219
11.4.15 Schraubenverbindung 12.5- 60 Minuten	220
11.5 Bilder Schnitte belastete Brandversuchskörper.....	221
11.5.1 Balkenschuhe.....	221
11.5.1.1 B1.....	221
11.5.1.2 B2.....	225
11.5.1.3 B3.....	228
11.5.1.4 B3a.....	232
11.5.1.5 B4.....	235
11.5.2 Schrauben	239
11.5.2.1 S1.....	239
11.5.2.2 S2.....	242
11.5.2.3 S3.....	245
11.5.2.4 S4.....	248
11.6 Lastdiagramme Prüfungen im Kaltzustand	252
11.6.1 Balkenschuhe.....	252
11.6.2 Schrauben	255
11.7 Lastdiagramme belastete Brandversuche	256
11.7.1 Balkenschuhe.....	256
11.7.2 Schrauben	258
11.8 Schutzmaßnahmen	260
11.8.1 Vollgewindeschrauben.....	260