

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

Bearbeitet von

Norman Werther, Martin Gräfe, Veronika Hofmann, Stefan Winter

1. Auflage 2015. Taschenbuch. 262 S. Paperback

ISBN 978 3 8167 9470 7

[Weitere Fachgebiete > Technik > Baukonstruktion, Baufachmaterialien >
Gebäudebrandschutz](#)

schnell und portofrei erhältlich bei



Die Online-Fachbuchhandlung beck-shop.de ist spezialisiert auf Fachbücher, insbesondere Recht, Steuern und Wirtschaft. Im Sortiment finden Sie alle Medien (Bücher, Zeitschriften, CDs, eBooks, etc.) aller Verlage. Ergänzt wird das Programm durch Services wie Neuerscheinungsdienst oder Zusammenstellungen von Büchern zu Sonderpreisen. Der Shop führt mehr als 8 Millionen Produkte.

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 reprotochnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotochnischen 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/bauforschung



Schlussbericht zum Forschungsvorhaben

Untersuchungen zum Brandverhalten von querkraftbeanspruchten Verbindungen bei Holzbaukonstruktionen, Neuentwicklung und Optimierung von Verbindungssystemen und allgemeinen Kon- struktionsregeln

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 Kalttragfähigkeit | 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 |