

Stefan Loebus, Stefan Winter

**Zweiachsige Tragwirkung bei Holz-
Beton-Verbundkonstruktionen –
Entwicklung von Bemessungsverfahren
und Konstruktionsdetails für zwei-
achsige Lastabtragung bei der Holz-
Beton-Verbundbauweise**

F 3022

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) 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

2017

ISBN 978-3-7388-0053-1

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



Abschlussbericht:

Zweiachsiges Tragwirkung bei Holz-Beton-Verbundkonstruktionen - Entwicklung von Bemessungsverfahren und Konstruktionsdetails für zweiachsiges Lastabtragung bei der Holz-Beton-Verbundbauweise

Bearbeiter:

Dipl.-Ing. Stefan Loebus

Lehrstuhl:

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

Laufzeit:

April 2014 bis März 2017

gefördert durch:

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

Mayr-Melnhof Holz
Turmgasse 67
8700 Leoben
Österreich



Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert.
(Aktenzeichen: II 3-F20-12-1-032 / SWD - 10.08.18.7.-13.17)
Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.

Kurzbeschreibung

Ziel des Vorhabens war es, die grundsätzliche Eignung und Anwendbarkeit der Holz-Beton-Verbundbauweise mit zweiachsiger Tragwirkung nachzuweisen. Zu diesem Zweck wurden verschiedene Untersuchungen an Schubverbindungsmitteln, Platten und Plattenausschnitten sowie Stoßkonstruktionen durchgeführt. Das Tragverhalten wurde sowohl in experimentellen Untersuchungen, als auch mittels FEM-Simulationen und statischen Federmodellen untersucht. Eine auf die zweiachsige Tragwirkung angepasste Konstruktion wurde entwickelt.

Um die zweiachsige Tragwirkung auf der Holzseite herzustellen, wurde Brettsperrholz verwendet. Als Schubverbindungsmittel wurden die Kerbe und die geneigte Schraube untersucht. Für beide Verbindungsmitteltypen konnten Konstruktionslösungen im zweiachsigen Spannungsfeld und im Zusammenwirken mit Brettsperrholz erarbeitet werden.

Das Zusammenwirken der Komponenten Brettsperrholz, Beton und Schubverbindungsmittel wurde in einem Bauteilversuch und einer begleitenden FEM-Simulation untersucht. Es konnte eine gute Kraftaufnahme der beiden Tragachsen und folglich die zweiachsige Tragwirkung nachgewiesen werden. Ferner wurde das Drillverhalten und dessen Anteil an der Gesamttragwirkung untersucht und der Einfluss einzelner Materialparameter auf das Gesamttragverhalten bestimmt.

Durch die elementweise Herstellung des Brettsperrholzes ergibt sich die Notwendigkeit eines kraftschlüssigen Elementstoßes. Hierzu wurden verschiedene Verbindungstypen untersucht. Mit eingeklebten Bewehrungsstäben konnte eine Konstruktion entwickelt werden, die die Anforderung an einen geringen Steifigkeitsverlust in der Stoßfuge erfüllt.

Abstract

This project deals with investigations on the load-bearing behavior of two-way spanning timber-concrete-composite slabs. To this aim, different examinations on shear connectors, slabs and slab sections, as well as on force-fitting element joints were realized. The examinations contain experimental tests of different scale, FEM-simulations and static spring-models. A construction adapted to the two-way spanning load-bearing behavior was developed.

Cross-laminated-timber was selected for the timber layer, as it is capable of bearing load biaxially. Two shear connectors, for which the load bearing behavior in uniaxial timber-concrete-composite systems is well known, were examined in a two-way spanning system: Fully threaded screws applied at an angle of 45° and rectangular notches. For both connections adequate construction guidelines in the given biaxial stress field and in combination with cross-laminated-timber were developed.

The composite action of the components cross-laminated-timber, concrete and shear connector was evaluated in different scale, accompanied by FEM-Simulations. The results show both axis attract load, demonstrating a clear biaxial load-bearing behavior. Further, the torsion and its proportion on the overall load-bearing behavior as well as the influence of individual material parameters were determined.

As transportation and production limit the elements size of cross-laminated-timber, a force-fitting element joint is necessary to activate the biaxial load-bearing capacity. Different connection types were compared. With glued-in reinforcement bars, a connection was developed, which meets both requirements of stiffness and practical buildability.



Inhaltsverzeichnis

Kurzbeschreibung	III
Abstract	IV
Vorwort	V
1 Einleitung	1
1.1 Anlass	1
1.2 Holz-Beton-Verbund	1
1.3 Brettsperrholz	3
1.4 Nachgiebiger Verbund	4
1.5 Berechnungsverfahren	5
1.6 Zweiachsiges Tragverhalten	5
1.7 Ziele und Umsetzung	8
1.8 Eingrenzung der Plattenkonfiguration	9
1.9 Bezeichnungen	10
2 Schubverbindungsmittel	14
2.1 Einleitung	14
2.2 Kerbe	14
2.2.1 Im einachsig tragenden System mit Voll- und Brettschichtholzlagen	14
2.2.2 Im zweiachsig tragenden System mit Brettsperrholz	15
2.2.2.1 Einleitung	15
2.2.2.2 Kerbe Typ 1	16
2.2.2.3 Kerbe Typ 2	17
2.2.2.4 Kerbe Typ 1b und 3	18
2.2.3 Experimentelle Untersuchungen	18
2.2.3.1 Einleitung	18
2.2.3.2 Aufbau	19
2.2.3.3 Materialeigenschaften	20
2.2.3.4 Prüfkörperkonfiguration	21
2.2.3.5 Ergebnis	21
2.2.4 FEM-Simulation	23
2.2.4.1 Einleitung	23
2.2.4.2 Aufbau	23
2.2.4.3 Ergebnisparameter	24
2.2.4.4 Ergebnis Kerbe Typ 1	25
2.2.4.5 Ergebnis Kerbe Typ 2	26
2.2.4.6 Ergebnis Kerbe Typ 1b und 3	28
2.2.4.7 Vergleich der Kerbentypen	29
2.2.5 Fazit	30
2.2.6 Anordnung der Kerben in der Platte	30

2.3	Schraube	31
2.3.1	Einleitung	31
2.3.2	Im einachsig tragenden System	32
2.3.2.1	Axiale Beanspruchung	32
2.3.2.2	Laterale Beanspruchung	33
2.3.2.3	Vergleich	34
2.3.3	Im zweiachsig tragenden System (Schraube Typ 1)	34
2.3.3.1	Im zweiachsig wirkenden Schubspannungsfeld	34
2.3.3.2	Tragfähigkeit	38
2.3.3.3	Verschiebungsmodul	39
2.3.4	Experimentelle Untersuchungen an der Schraubenverbindung	42
2.3.4.1	Aufbau und Materialeigenschaften	42
2.3.4.2	Prüfkörperkonfiguration	42
2.3.4.3	Ergebnis	42
2.3.5	Vergleich	44
2.3.6	Anordnung der Schrauben in einer Platte	44
3	Experimentelle Betrachtung des Drilltragverhaltens	47
3.1	Einleitung	47
3.2	Theoretisches Modell	47
3.3	Versuchsaufbau	48
3.4	Materialeigenschaften	51
3.5	Versuchsergebnisse	51
3.5.1	Untersuchung Durchsenkung w_z	53
3.5.2	Drillsteifigkeit B_{xy}	55
3.6	Fazit	56
4	Gesamttragverhalten	57
4.1	Einleitung	57
4.2	Experimentelle Untersuchungen	57
4.2.1	Versuchsaufbau	57
4.2.2	Prüfkörper	59
4.2.2.1	Aufbau	59
4.2.2.2	Kervenanordnung	59
4.2.2.3	Schraubenanordnung	61
4.2.2.4	Materialeigenschaften	62
4.2.3	Messpunkte	63
4.2.4	Versuchsergebnis	63
4.2.4.1	Einleitung	63
4.2.4.2	Betonversagen	64
4.2.4.3	Brettsperrholzversagen	65
4.2.4.4	Gesamtverformung	66
4.2.4.5	Aufweiten der Querschnittshöhe	68
4.2.4.6	Relativverschiebung Beton - Brettsperrholz	70
4.2.4.7	Dehnung an der Oberfläche	72

4.3	FEM-Simulation	74
4.3.1	Modellgrundlage	74
4.3.2	Material	75
4.3.3	Modelle	75
4.3.3.1	Detailliertes Volumenmodell (Kerbe)	75
4.3.3.2	Vereinfachtes Volumenmodell (Schraube)	77
4.3.3.3	Vergleich der Modelle	79
4.3.4	Simulationsergebnis	80
4.3.4.1	Gesamtverformung	80
4.3.4.2	Auflagerkräfte	83
4.3.4.3	Drillverhalten	84
4.3.4.4	Schubspannungen	84
4.3.4.5	Normalspannung	89
4.3.4.6	Parameterstudie	90
4.3.5	Vergleich der FEM-Modelle mit den Versuchsergebnissen	97
4.4	Fazit	98
5	Kraftschlüssiger Elementstoß	99
5.1	Einleitung	99
5.2	Verbindung durch geneigte Vollgewindeschrauben	101
5.3	Schraubenpressklebung	105
5.4	Verbindung mit eingeklebten Bewehrungsstäben	108
5.4.1	Verbindungssteifigkeit	108
5.4.2	Tragfähigkeit von ins Holz eingeklebten Stahlstäben	109
5.4.2.1	Beanspruchung senkrecht zur Stabachse	109
5.4.2.2	Beanspruchung parallel zur Stabachse	110
5.4.2.3	Eingeklebte Stahlstäbe bei kombinierter Beanspruchung	111
5.4.3	Tragfähigkeit hakenförmiger Rippenstähle in Beton	111
5.4.3.1	Verbundtragfähigkeit	112
5.4.3.2	Verankerungslänge	113
5.4.4	Experimentelle Untersuchungen	114
5.4.4.1	Versuchskonfiguration	114
5.4.4.2	Prüfkörperaufbau	115
5.4.4.3	Materialeigenschaften	118
5.4.4.4	Herstellung der Elementstoßverbindung	119
5.4.5	Ergebnis der experimentellen Untersuchungen	120
5.4.5.1	Versagensmechanismen	120
5.4.5.2	Horizontale Längenänderung in Feldmitte	121
5.4.5.3	Durchbiegung	122
5.5	Fazit	124
6	Potentiale des zweiachsig tragenden Systems im Vergleich zur einachsigen Tragwirkung	126
6.1	Einleitung	126
6.2	Material	126

6.3	Einwirkungen	127
6.4	Durchbiegung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	129
6.5	Berechnungsmodell	129
6.5.1	Allgemein	129
6.5.2	Modellierung der Kerne	129
6.5.3	Modellierung der Schraube	131
6.5.4	Modellierung des kraftschlüssigen Elementstoßes	131
6.6	Berechnungsergebnis	132
6.7	Einfluss des Stützweitenverhältnisses	136
7	Zusammenfassung	138
8	Ausblick	141
Anhang		142
A	Versuche	142
A.1	Betonkennwerte aller Versuche	142
A.2	Schubversuche	144
A.2.1	Prüfkörperaufbau	144
A.2.2	Holzfeuchte	147
A.2.3	Last-Verformungskurve	148
A.3	Drillversuche	149
A.3.1	Prüfkörperaufbau	149
A.3.2	Holzfeuchte	153
A.3.3	Rissbild	155
A.4	Gesamtplattenversuche	155
A.4.1	Prüfkörperaufbau	155
A.4.2	Holzfeuchte	158
A.4.3	Rissbild	160
A.5	Elementstoßversuche	162
A.5.1	Prüfkörperaufbau	162
A.5.2	Holzfeuchte	164
A.5.3	Bewehrungsstab	165
	Abbildungsverzeichnis	172
	Tabellenverzeichnis	174
	Literaturverzeichnis	175