

Thomas Oberndorfer, Frank Hunger, Oliver Fischer

**Ultra High Performing Timber Walls –  
Einsatz von schlanken Lamellen  
aus ultrahochfestem Beton in  
Brettsperrholzelementen zur Steigerung  
der Tragfähigkeit**

F 3233

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

2021

ISBN 978-3-7388-0628-1

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](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

[www.irb.fraunhofer.de/tauforschung](http://www.irb.fraunhofer.de/tauforschung)



# Ultra High Performing Timber Walls - Einsatz von schlanken Lamellen aus ultrahochfestem Beton in Brettsperrholzelementen zur Steigerung der Tragfähigkeit

Schlussbericht zum Vorhaben SWD-10.08.18.7-17.23

**Projektbearbeitung** Thomas Oberndorfer, M.Sc., Frank Hunger, M.Sc.

**Projektleitung** Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Oliver Fischer

**Forschungsstellen** Technische Universität München  
Lehrstuhl für Massivbau  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Oliver Fischer

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

**Zeitraum** 07/2017 - 10/2019

## Zusammenfassung

Diese Arbeit behandelt die Entwicklung von Bauteilen mit zusammengesetztem Querschnitt aus hoch- oder ultrahochfestem Beton und Holz. Besonderes Hauptaugenmerk liegt dabei auf dem Einsatz als Wandbauteil. Der schlanke, aus Beton bestehende, Wandkern trägt vorwiegend die auftretenden Normalkräfte ab. Das außenliegende Holz hindert den schlanken Wandkern durch eine Vergrößerung des Trägheitsmoments am Knicken und nimmt Druck- und Zugspannungen, die aus einer Momentenbeanspruchung resultieren, auf. Die Herstellung der Wandbauteile erfolgt im Rahmen der Brettsperrholzproduktion. Hierzu werden schlanke Platten oder Lamellen aus Beton vorgefertigt und vollständig in die Brettsperrholzproduktion integriert. Um diesen wirtschaftlichen Produktionsprozess zu ermöglichen, ist die Verklebung von Holz und Beton, mit Klebstoffen, die in der Brettsperrholzproduktion üblich und zugelassen sind, erforderlich.

Mittels kleinformatischer Druckscherversuche wurde die Herstellung tragender Klebeverbindungen mit verschiedenen Klebstoffen, Betonen und (Nach-)Behandlungen der Betonoberflächen untersucht. Vielversprechende Ergebnisse erzielte eine geschliffene Betonoberfläche bei der Verwendung von einem Ein-Komponenten Polyurethanklebstoff, unabhängig vom verwendeten Beton. Die Arbeit behandelt primär das Kurzzeit-Tragverhalten, die durchgeführten Tastversuche zur Dauerhaftigkeit zeigten jedoch, dass eine dauerhafte Verklebung für die Anforderungen im Bauwesen möglich erscheint. Aufbauend auf den durchgeführten Verbundversuchen ist davon auszugehen, dass durch die Verklebung eine starre Verbindung zwischen Beton und Holz vorliegt. Die Bauteilversuche im Maßstab 1:1 wiesen zumeist ein duktileres Verhalten auf. Berechnete Dehnungen und Verformungen, basierend auf einem analytischen Modell, zeigten eine gute Übereinstimmung mit den Versuchsergebnissen.

Anhand der durchgeführten Versuche konnte gezeigt werden, dass eine kraftschlüssige Verklebung von Holz und hoch- bzw. ultrahochfestem Beton mit Klebstoffen, die in der Brettsperrholzproduktion verwendet werden, auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten möglich ist. Ebenso zeigte sich durch das Einkleben des Betonkerns eine Traglaststeigerung, welche von der anzusetzenden Lastexzentrizität sowie dem Einfluss von Effekten nach Theorie II. Ordnung abhängig ist.

## Abstract

This work deals with the development of hybrid walls comprised of ultra-high performance concrete and timber. The walls consist of a slender concrete core which primarily bears axial forces. Surrounding timber prevents the core from buckling and absorbs tensile and compressive stresses resulting from bending moments. The economic production of the hybrid wall elements occurs in the industrial environment of cross laminated timber (CLT) production. To accomplish this, prefabricated concrete parts are integrated in the production of CLT. To enable this production process bonding of timber and concrete with standard glues in CLT production is inevitable.

The suitability of various adhesives, concrete types and concrete surface treatments for bonding was investigated by means of small-format compression shear tests. Promising results were achieved with a ground concrete surface in combination with a one-component polyurethane adhesive, independent of the used concrete type. Although the focus was on the short term load bearing behaviour, performed tactile tests regarding durability showed that durable bonding seems possible. Based on composite tests carried out, a rigid connection between timber and concrete can be assumed for calculation purposes. The tests on wall segments scale 1:1 mainly showed a ductile behaviour. The modelling of the tests was done analytically, solving the differential equation for theory of second order problems. This was accomplished with an effective bending stiffness of the hybrid cross section, accounting for shear deformation, based on shear analogy method. The calculation showed good accordance with the results from the experiments.

The performed experiments showed, that a bonded connection between timber and ultra-high performance concrete using standard glues in cross laminated timber production is possible. With the glued in concrete core the bearable load of the wall segments was increased. The amount of increase depends on the load eccentricity and second order effects.

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Allgemeines . . . . .	1
1.2	Zielsetzung . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Grundlegendes</b>	<b>4</b>
2.1	Brettsperrholz . . . . .	4
2.1.1	Allgemein . . . . .	4
2.1.2	Material . . . . .	4
2.1.3	Herstellung . . . . .	5
2.1.4	Tragwirkung . . . . .	6
2.2	Ultrahochfester Beton . . . . .	8
2.2.1	Allgemein . . . . .	8
2.2.2	Festbetoneigenschaften . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Scherversuche</b>	<b>10</b>
3.1	Allgemeines . . . . .	10
3.2	Material und Methoden . . . . .	10
3.2.1	Versuchsaufbau . . . . .	10
3.2.2	Versuchskörper . . . . .	11
3.2.3	Material . . . . .	13
3.2.4	Messtechnik . . . . .	14
3.2.5	Versuchsdurchführung . . . . .	14
3.3	Ergebnisse und Interpretation . . . . .	15
3.3.1	Allgemeines und Bezeichnung . . . . .	15
3.3.2	Verklebung mit Melamin Urethan Formaldehydharz . . . . .	15
3.3.3	Verklebung mit Ein-Komponenten Polyurethanklebstoff . . . . .	17
3.3.4	Verklebung mit Phenolresorcinformaldehydharz, Epoxidharz und Zwei-Komponenten Polyurethangießharz . . . . .	20
3.4	Zwischenfazit . . . . .	20

<b>4</b>	<b>Delaminierversuche</b>	<b>22</b>
4.1	Allgemeines . . . . .	22
4.2	Material und Methoden . . . . .	22
4.2.1	Versuchsaufbau . . . . .	22
4.2.2	Versuchskörper . . . . .	23
4.2.3	Material . . . . .	23
4.2.4	Messtechnik . . . . .	24
4.2.5	Versuchsdurchführung . . . . .	24
4.3	Ergebnisse und Interpretation . . . . .	25
4.4	Zwischenfazit . . . . .	27
<b>5</b>	<b>Verbundversuche</b>	<b>28</b>
5.1	Allgemeines . . . . .	28
5.2	Material und Methoden . . . . .	29
5.2.1	Versuchsaufbau . . . . .	29
5.2.2	Versuchskörper . . . . .	30
5.2.3	Material . . . . .	30
5.2.4	Messtechnik . . . . .	31
5.2.5	Versuchsdurchführung . . . . .	32
5.3	Ergebnisse und Interpretation . . . . .	33
5.4	Zwischenfazit . . . . .	45
<b>6</b>	<b>Bauteilversuche</b>	<b>46</b>
6.1	Allgemeines . . . . .	46
6.2	Material und Methoden . . . . .	46
6.2.1	Versuchsaufbau . . . . .	46
6.2.2	Prüfkörper . . . . .	47
6.2.3	Material . . . . .	51
6.2.4	Messtechnik . . . . .	51
6.2.5	Versuchsdurchführung . . . . .	52
6.3	Ergebnisse und Interpretation . . . . .	53
6.3.1	Versuche mit durchgängigem Wandkern aus Beton . . . . .	53
6.3.2	Versuche mit alternierendem Wandkern aus Beton und Holz . . . . .	58
6.3.3	Versagensarten . . . . .	61
6.4	Zwischenfazit . . . . .	65
<b>7</b>	<b>Bemessungsvorschlag und Anschlussdetails</b>	<b>66</b>
7.1	Modellierung der Bauteilversuche . . . . .	66
7.1.1	Allgemeines . . . . .	66
7.1.2	Verwendete Materialeigenschaften für die Modellierung . . . . .	71
7.1.3	Zentrische Bauteilversuche . . . . .	72

7.1.4	Exzentrische Bauteilversuche . . . . .	73
7.1.5	Bemessungsvorschlag . . . . .	76
7.1.6	Vergleichsbetrachtung . . . . .	76
7.2	Anschlussdetail . . . . .	79
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>81</b>
8.1	Zusammenfassung . . . . .	81
8.2	Ausblick . . . . .	83
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>86</b>
<b>A</b>	<b>Scherversuche</b>	<b>88</b>
A.1	Diagramme zur Scherfestigkeit und Holzbruchanteil . . . . .	88
A.2	Tabellarische Versuchsdaten . . . . .	91
<b>B</b>	<b>Delaminierungsversuche</b>	<b>130</b>
<b>C</b>	<b>Verbundversuche</b>	<b>139</b>
<b>D</b>	<b>Bauteilversuche</b>	<b>145</b>