

# Verklebung als Verbund für Holz-Beton-Deckensysteme

Christoph Hackspiel  
Camillo Sitte Bautechnikum  
Wien, Österreich





# Verklebung als Verbund für Holz-Beton-Deckensysteme

## 1. Einleitung

Die Idee die beiden Materialien Holz und Beton zu einem Deckensystem zu verbinden ist nicht neu. Nichtsdestotrotz erfreut sich diese Bauweise gerade in den letzten Jahrzehnten im mehrgeschossigen Holzbau zunehmender Beliebtheit, da sie die Möglichkeit eröffnet weitgespannte Deckenkonstruktionen in Verbundbauweise mit einem hohen Vorfertigungsgrad zu errichten. Der große Vorteil dieser Bauweise liegt in der effizienten Ausnutzung und Anwendung der beiden Baustoffe. Holz welches vergleichsweise hohe Zugfestigkeiten bei geringem Eigengewicht aufweist wird in der Zugzone und Beton in der Druckzone eingesetzt. Wichtigster Aspekt sowohl für eine wirtschaftliche Herstellung als auch für ein technisch leistungsfähiges Deckensystem ist dabei der möglichst schubstarre Verbund zwischen den beiden Fügepartnern. Über die letzten Jahrzehnte hinweg haben sich eine Vielzahl von Verbundsystemen entwickelt beginnend bei eingelassenen Eisenprofilen, Schrauben, Kerven und Kopfbolzendübeln bis hin zu eingeklebten Stahlblechen [1][2][3][4]. Jedes dieses Verbundsystem bietet Vor- und Nachteile sowohl aus Sicht der Herstellung als auch aus statischer Sicht. Mit zunehmender Entwicklung der Klebetechnik, welche heutzutage schon in viele Bereiche unseres täglichen Lebens erfolgreich Einzug gehalten hat, rückt diese Art des Verbundes auch in den Fokus wissenschaftlicher Untersuchungen.

Schon zu Beginn der siebziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts wurden erstmals Untersuchungen zu geklebten Holz-Beton-Verbundbauteilen durchgeführt [5][6]. Dabei wurde der Holzbauteil mit einem Betonfertigteile direkt über eine Klebstoffschicht verbunden. Gegenüber der früher angewendeten sogenannten «Nass-in-Nass»-Herstellungsvariante, bei welcher der feuchte Beton in die noch feuchte Klebstofffuge eingebracht wurde, zeichnete sich dieses Herstellungsverfahren durch höhere Tragfähigkeiten aus. In jüngster Vergangenheit wurde die Thematik des tragenden geklebten Verbundes von Holz und Beton wieder vermehrt aufgegriffen [7][8]. Die Vorteile einer solchen Füge-technik liegen nicht nur in der Möglichkeit der Vorfertigung im Werk unter einer entsprechenden Qualitätskontrolle, sondern auch in einer schnelleren Füge-technik gegenüber dem Einbringen von Schrauben oder dem Herstellen von Kerven. Die geklebte Füge-technik erlaubt die Vorfertigung und Lieferung von HBV-Deckensystemen auf die Baustelle ohne das großflächige Einbringen von Ortbeton. Dadurch wird nicht nur keine zusätzliche Feuchte in den Bau eingebracht, die Deckensysteme sind auch sofort belastbar. Im Vergleich zu Schrauben und Kerven ermöglicht die Klebetechnik auch eine flächenhafte Übertragung der Schubkräfte.

## 2. Voruntersuchungen

Bei der Entwicklung eines geklebten HBV-Deckensystems steht die Wahl eines geeigneten Klebstoffes sowie das Fügen der beiden Partner im Mittelpunkt der Forschungsfrage. Derzeit gibt es am Markt eine Vielzahl unterschiedlicher Klebstoffsysteme (synthetisch oder mineralisch) welche auf Basis unterschiedlicher chemischer Mechanismen funktionieren (ein- bzw. zweikomponenter Klebstoff, Silanklebstoffe, silanmodifizierte Klebstoffe, Klebstoffe auf Epoxidharzbasis, etc.). Ein sehr wesentlicher Gesichtspunkt neben dem Preis und der Dauerhaftigkeit ist die Applikation und Verarbeitbarkeit des Klebstoffes während des Fügeprozesses. In einem an der Holzforschung Austria im Jahr 2019 abgeschlossenen Forschungsprojekt [9][10] wurden unterschiedlichste Klebstoffe untersucht. Auf Basis dieser Voruntersuchungen wurden sodann Klebstoffe ausgewählt, mit welchen zunächst eine Füge-technik von Holz und Beton entwickelt und im Anschluss daran großformatige Prototypen im Maßstab 1:1 hergestellt und untersucht wurden.

Eine zentrale Frage bei der Klebstoffauswahl ist jene der in der Verbundfuge übertragbaren Schubspannung, sowie die Schubsteifigkeit der Klebstofffuge. Diese ist wiederum ihrerseits von der möglichen Dicke der Klebstofffuge abhängig. Die Dicke der Klebstofffuge

selbst hängt schließlich wieder von der Viskosität des Klebstoffs ab. Klebstoffe welche eine hohe Viskosität besitzen lassen sich beispielsweise mit einer Spachtel leicht applizieren. Sie sind darüber hinaus auch standfest und verrinnen nicht. Für die Herstellung von geklebten HBV-Decken welche ohne zusätzlichen Anpressdruck produziert werden sollen, eignen sich derartige Klebstoffe allerdings nur bedingt, da das Eigengewicht des Betons nicht ausreicht, um den Klebstoff über die gesamte Klebefläche zu verteilen. Daraus resultiert eine Teilflächenverklebung welche zu niedrigeren Traglasten und geringerer Biegesteifigkeit des Bauteils führt. Klebstoffe hingegen mit einer sehr geringen Viskosität neigen dazu sich auf der Holzoberfläche selbst zu verteilen bzw. auszunivellieren. Der Vorteil derartiger Klebstoffe ist zwar deren relativ leichte Verteilung in der Fläche, für die Herstellung von geklebten vollflächigen HBV-Deckensystemen sind auch diese Systeme nur bedingt einsetzbar, da die resultierenden Klebstoffugen sehr dünn sind. Bei den heutzutage zulässigen Bauteiltoleranzen für Brettspertholz und Betonfertigteile ist eine über die gesamte Klebefläche vollflächige Verklebung so nicht sichergestellt.

Im Zuge von analytischen und numerischen Vergleichsrechnungen können Grenzwerte sowohl für die minimale Schubfestigkeit, als auch für den minimalen Schubmodul für potenzielle Klebstoffe angegeben werden. Klebstoffe welche diese statischen Mindestvoraussetzungen nicht erfüllen können a priori für die Herstellung tragender geklebter HBV-Deckensysteme ausgeschlossen werden. Neben den statischen Anforderungen werden an potentielle Klebstoffsysteme selbstverständlich auch wirtschaftliche Anforderungen gestellt, wie beispielsweise der Preis oder die Verfügbarkeit des Produktes.

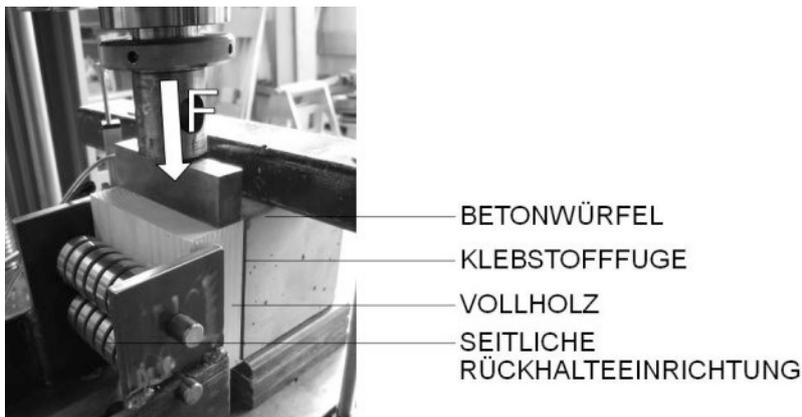


Abbildung 1: Beispielhafte Darstellung des Versuchsaufbaus zur Bestimmung der Schubfestigkeit von Klebstoffen im Zuge der Voruntersuchungen an Kleinprobekörpern [8]

### 3. Geklebte Fügetechnik

Nach erfolgreicher Auswahl des Klebstofftyps welcher die statischen Erfordernisse erfüllt, erfolgt im nächsten Schritt die Entwicklung einer geklebten Fügetechnik, das Herzstück für die wirtschaftliche Herstellung leistungsfähiger geklebter HBV-Deckensysteme. Bei dem im Forschungsprojekt der Holzforschung Austria verfolgten Ansatz [8][9] werden großformatige Brettspertholzplatten mit Betonfertigteilen vollflächig verklebt. Die Herstellung derartiger Bauteile soll ohne zusätzliche kostenintensive Maßnahmen wie beispielsweise das Hobeln der Brettspertholzoberfläche oder das Sandstrahlen der Betonoberfläche erfolgen da dies wieder mit zusätzlichen Kosten je m<sup>2</sup> Decke verbunden ist. Auch sollte die Herstellung der geklebten HBV-Deckenplatten ohne zusätzliche Auflasten erfolgen, da dies ebenfalls einen zusätzlichen Arbeitsaufwand bedeuten würde. Der Viskosität und dem Auftrag des Klebstoffs muss daher besonderes Augenmerk gewidmet werden.

Im Rahmen umfangreicher Untersuchungen wurde in [8][9] gezeigt, dass für synthetische zweikomponentige Klebstoffe sowohl eine passende Viskosität als auch eine entsprechende Applikationsmethode entwickelt bzw. gefunden werden kann. Der große Vorteil von zweikomponentigen Klebstoffen liegt in der Möglichkeit deren Viskosität einstellen zu können, ohne gleichzeitig mechanische Performance zu verlieren. Eine Viskosität von ca. 40.000 – 50.000 mPa·s in Kombination mit einem Klebstoffauftrag mittels einer Zahnspachtel (Profil R3) lieferte in Schubversuchen an sogenannten mittelgroßen Probekörpern

(ca. L/B/H = 60 x 40 x 21 cm) die höchsten übertagbaren Schubspannungen bei gleichzeitig hohen Schubsteifigkeiten. Die erzielbaren Fugendicken lagen dabei im Schnitt bei ca. 2-2,5 mm. Mit der entwickelten Fügetechnik konnten für die oben genannten mittelgroßen Schubprobekörper Traglasten bis zu 950 kN erreicht werden. Auch bei diesen Probekörpern erfolgte die Herstellung ohne zusätzliche Auflast (d.h. ohne Anpressdruck). Die Vollflächigkeit der Klebefuge konnte lediglich durch das Ablegen des Betonfertigteils auf dem Klebstoff sichergestellt werden.



Abbildung 2: Beispielhafte Darstellung des Versuchsaufbaus zur Bestimmung der Traglast unterschiedlicher Fügetechniken an mittelgroßen Probekörpern [8]

## 4. Dauerhaftigkeitsversuche

Neben der reinen statischen Tragfähigkeit von Klebeverbindungen spielt deren Dauerhaftigkeit eine Schlüsselrolle bei der Beurteilung der Eignung als Verbund für tragende Bauteile. In [8] und [10] werden eine Reihe von Dauerhaftigkeitsversuchen an sogenannten kleinformatischen (ca. L/B/H = 15 x 15 x 20 cm) und mittelgroßen (ca. L/B/H = 60 x 40 x 21 cm) geklebten HBV-Probekörpern vorgestellt. Diese umfassen Versuche unter anderem zu:

- Zyklischer mechanischer Beanspruchung
- Zyklischer klimatischer Beanspruchung
- Hoch- und Niedertemperaturbeanspruchung
- Wasserlagerung
- Einfluss des Schalöls auf die Klebefestigkeit

Die zyklische mechanische Belastung, welche die wiederkehrende Wechselbeanspruchung von Deckentragwerken simulieren soll, kann beispielsweise in Anlehnung an ETAG 002 [11] erfolgen. Dabei wird die Resttragfähigkeit nach 5350 Lastwechseln (Schubbeanspruchung) in zerstörenden Versuchen bis zum Bruch ermittelt. Die Schubfestigkeit sowie der Schubmodul nach den zyklischen Versuchen gibt Aufschluss über den Abminderungsfaktor  $k_{mod}$  für eine Dauerbeanspruchung. Bei dem Versuch zur Hochtemperatur- (+60°C) bzw. der Tieftemperaturbeanspruchung (-15°C) wurden Kleinprobekörper bei den beiden genannten Temperaturen auf Schub geprüft. Die resultierenden Schubfestigkeiten geben Aufschluss über den Einfluss der Temperatur auf die mechanischen Eigenschaften der Klebstoffe. Im Zuge der zyklischen klimatischen Untersuchungen sowie der Wasserlagerungen wurde untersucht, inwieweit die Klebstofffuge einer extremen Feuchtebeanspruchung widerstehen kann oder nicht. Durch das Quellen und Schwinden von Holz entstehen in der Klebstofffuge Spannungen, die bis zu einer Überbeanspruchung der Verklebung führen kann. Schließlich wurde in einer abschließenden Versuchsserie auch der Einfluss des Schalöls, welches bei der Herstellung der Betonfertigteile verwendet wird, auf die Verbundfestigkeit und den Schubmodul der Verklebung untersucht.

Die Ergebnisse der in [8] und [10] präsentierten Dauerhaftigkeitsversuche zeigen, dass manche Klebstoffe (z. B. Klebstoffe auf Basis mineralischer Bindemittel und manche silan-modifizierte Klebstoffe) nach zyklischer mechanischer Beanspruchung nahezu keine Resttragfähigkeit mehr besitzen. Ebenso verhält es sich bei einer Temperaturbeanspruchung

von +60°C. Sicherlich stellt diese Temperatur eine sehr hohe und gegebenenfalls unrealistische Einwirkung dar, sie zeigt jedoch den grundsätzlichen Widerstand der Klebstoffe bei Temperatureinwirkung. Die Untersuchungen zum Schalöl haben hingegen gezeigt, dass es keinen Einfluss des während der Herstellung der Betonfertigteile verwendeten Schalöls auf die Verbundfestigkeit der Klebefuge gibt. Neben den reinen Dauerhaftigkeitsversuchen wurden in [10] auch Untersuchungen zum Kriechverhalten vorgestellt. Auch Klebstoffe neigen, wie der Baustoff Holz, zu einem gewissen Kriechverhalten unter Dauerbeanspruchung. Dieses muss bei der Untersuchung des Gebrauchstauglichkeitsverhaltens jedenfalls berücksichtigt werden.

## 5. Statische Großversuche

Basierend auf den Ergebnissen der Dauerhaftigkeitsversuche kann die Anzahl der aus den Voruntersuchungen resultierenden Klebstoffe weiter reduziert werden. In Kombination mit einer entsprechend entwickelten Fügetechnik kann die Herstellung und Prüfung großformatiger geklebter HBV-Prototypen, bestehend aus Brettsperrholzplatten mit einem Betonfertigteile, das volle Leistungspotential dieser Fügetechnik unter Beweis stellen. Entsprechende Prototypen, deren Herstellung sowie deren statische Prüfung in Vier-Punkt-Biegeversuchen können in [8] und [9] nachgelesen werden. Für die Tragfähigkeitsversuche wurden hierbei HBV-Deckenelemente produziert, welche eine Spannweite von ca. 5,0 m hatten, eine Breite von ca. 0,84 m und eine Gesamtdicke von ca. 20 cm. Bei dem verwendeten Brettsperrholz handelte es sich um ein dreilagiges Produkt mit einer Dicke von 12 cm aus sortiertem Fichtenholz der Güte C24. Die Betonfertigteileplatten welche mit dem Brettsperrholz vollflächig verklebt wurden hatte eine Dicke von 7 cm, eine Betongüte C40/50 und waren sowohl in Längs- als auch in Querrichtung mit einer Mindestbewehrung bewehrt. Die Herstellung der vollflächigen Klebefuge erfolgte mit einer teilautomatischen Klebstoffapplikationsmaschine, welche mit einer Zahnspachtelgeometrie R3 ausgestattet war und die Herstellung einer über die gesamte Länge und Breite des Probekörpers gleichmäßigen Klebefuge erlaubte. Auch die Herstellung der großformatigen HBV-Prototypen erfolgte lediglich durch das Ablegen des Betonfertigteils auf der Klebefuge ohne das zusätzliche Aufbringen eines Anpressdrucks. Nach einer Klebstoffaushärtezeit von 21 Tagen wurden die HBV-Prototypen im Vier-Punkt-Biegeversuch bis zum Bruch beansprucht. Dabei wurde sowohl die globale Verformung an der Plattenunterseite, die lokale Verformung in der neutralen Faser sowie die lokale relative Verschiebung zwischen Holz und Beton im Bereich der beiden Auflager mittels potentiometrischer Wegaufnehmer aufgezeichnet. Dies erlaubt die Rückrechnung der Biegesteifigkeit der geklebten Prototypen und dadurch die Einordnung der Performance im Vergleich zu konventionellen Verbundsystemen, wie beispielsweise die Schraube oder Kerbe. Die im Zuge des Forschungsprojektes der Holzforschung Austria [8] hergestellten und geprüften direkt verklebten HBV-Prototypen konnten im Versuch Traglasten bis zu 207 kN (im Mittel ca. 195 kN, n = 5 PK) erzielen. Das Versagen trat dabei stets im Brettsperrholz durch ein Versagen in der Biegezugzone auf. Es kam zu keinem Versagen der Klebstoffuge.



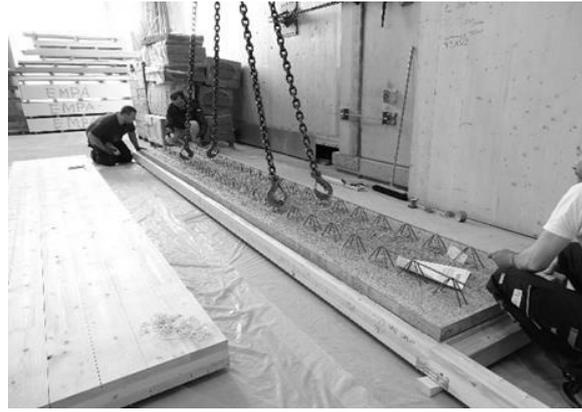
a) Brettsperrholzplatte vor dem Klebstoffauftrag



b) Grober Klebstoffauftrag vor der halbautomatischen Klebstoffapplikationsmaschine



c) Abziehen der Klebstoffuge mit der halb-automatischen Klebstoffapplikationsmaschine



d) Ablegen des Betonfertigteils auf der Klebstoffuge



e) Geklebter HBV-Prototyp während der Vier-Punkt-Biegeprüfung

Abbildung 3: Herstellung und Biegeprüfung eines großformatigen geklebten HBV-Prototypen [8]

## 6. Zusammenfassung und Ausblick

Die Klebetechnologie ist heutzutage, bei Einhaltung entsprechender Qualitätskriterien und Verarbeitungsrichtlinien der Hersteller, eine sichere und zukunftssträchtige Technologie. Moderne Klebstoffe sind hochleistungsfähige Produkte die zunehmend auch im tragenden Bereich erfolgreich eingesetzt werden können und werden. Auch im Bereich des tragenden Verbundes von Holz und Beton hat diese Technologie durchaus Potential, zumal die Anforderungen an die Dauerhaftigkeit des Klebstoffs sehr hoch sind. Aus technischer Sicht gilt es Klebstoffe zu identifizieren, mit welchem ausreichend hohe Schubfestigkeiten und -steifigkeiten erzielt werden können, um das volle Potential des Verbundbaus (Holzbeanspruchung auf Zug & Betonbeanspruchung auf Druck bei möglichst geringem Schlupf zwischen den beiden Bauteilen im Gebrauchszustand) lukrieren zu können. Entsprechende Mindestwerte können, in Abhängigkeit der Spannweite der Decken und der Konstruktionshöhen, beispielsweise über das Gamma-Verfahren, das Schubanalogieverfahren oder Finite Elemente Berechnungen ermittelt werden. Heutzutage am Markt verfügbare kommerzielle Klebstoffe vermögen diese mechanischen Anforderungen zu erfüllen. Die in [8] und [10] angeführten Untersuchungen zur Dauerhaftigkeit stellen nur einen kleinen Ausschnitt der Untersuchungen dar, die im Zuge einer ingenieurmäßigen Beurteilung der Dauerhaftigkeit derartiger geklebter Verbundbauteile notwendig sind. Diese Untersuchungen sind entscheidend, wenn es um die Zulassung und Etablierung derartiger geklebter Systeme am Markt geht. Wie wichtig Dauerhaftigkeitsuntersuchungen sind hat sich bei der Entwicklung vollflächig verklebter HBV-Deckensysteme mit synthetischen und mineralischen Klebstoffen gezeigt [8]. Bei einigen Klebstoffen lag die Resttragfähigkeit bei

Schubbeanspruchung nach zyklischer mechanischer Belastung nur mehr bei 50% der Ausgangsfestigkeit. Noch signifikanter war der Abfall bei einer Temperaturbeanspruchung von +60°C. Hier lag die Resttragfähigkeit bei einigen untersuchten Klebstoffen lediglich bei 6% des Ausgangswertes. Gleiche Tendenzen konnten im Rahmen von umfangreichen Untersuchungen auch für die Schubsteifigkeit beobachtet werden [8].

Letztlich liegt eine wirtschaftliche Herstellung geklebter Holz-Beton-Verbundbauteile auch in einer entsprechend effizienten Füge-technik. Diese hängt sehr stark von der Klebstoff-fugendicke, welche in direktem Zusammenhang mit den Toleranzen der beiden Fügepart-ner steht, der Viskosität des Klebstoffs und der Fläche der Klebefuge zusammen. Gute Ergebnisse was die Vollflächigkeit der Klebefuge betrifft können mit niedrigviskosen Klebstoffen in Kombination mit einem Klebstoffauftrag mit einer Zahnspachtel (Profil R3) erzielt werden. Für eine wirtschaftliche Herstellung ist die Entwicklung geeigneter Appli-kationsmethoden für die industrielle Produktion geklebter HBV-Elemente unerlässlich.

Untersuchungen an Prototypen im Maßstab 1:1 welche beispielsweise in [9] aufgezeigt werden zeigen, dass geklebte Holz-Beton-Verbundbauteile mit hoher Tragfähigkeit und Biegesteifigkeit erzeugt werden können. Vergleichsrechnungen zeigen, dass die Tragfä-higkeiten der geklebten Bauteile jene des reinen Brettsperrholzes und Stahlbetons bei gleicher Deckenstärke signifikant übertreffen. Zwar liegt die Biegesteifigkeit einer gleich-starken Stahlbetondecke über jener der entwickelten geklebten HBV-Prototypen (auf-grund des höheren Elastizitätsmoduls des Betons im Vergleich zum Brettsperrholz), die Biegesteifigkeit der Verbundelemente liegt allerdings ihrerseits wiederum signifikant über jener einer gleichdicken Brettsperrholzplatte. Vergleicht man die Biegesteifigkeit der ge-klebten Prototypen mit jenen von herkömmlichen Verbundsystemen, so liegt die Verkle-bung über jener der Verschraubung und jener mit Kerbe. Da die Klebetechnologie einen vergleichsweise starren Verbund der beiden Fügepartner darstellt, können größere Spann-weiten bei gleicher Deckenstärke hergestellt werden. Erste Untersuchungen zur Wirt-schaftlichkeit geklebter HBV-Systeme zeigen, dass geklebte Verbindungen bei industrieller Fertigung durchaus wettbewerbsfähig sein können. Allerdings bleibt der Preis des Kleb-stoffs der treibende Kostenfaktor weshalb die Optimierung der Klebstoffuge und der -applikation im Fokus weiterer Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten liegen muss. Ebenso bedarf es weiterer tiefgreifender Untersuchungen zur Thematik der Dauerhaf-tigkeit. Um Akzeptanz geklebter HBV-Systeme am Markt aufzubauen braucht es zukünftig auch entsprechend abgesicherte Rechenmodelle für die statische Dimensionierung von Deckenelementen. Auch die Entwicklung entsprechender Anschluss- und Auflagerlösun-gen, sowie die Untersuchung bauphysikalischer Aspekte müssen weiter vorangetrieben werden. Diese Schritte werden zukünftig dazu beitragen, geklebte tragende vorgefertigte Holz-Beton-Verbundbauteile am Markt erfolgreich zu etablieren.

## 7. Literatur

- [1] Schaub, O.: Verbunddecke aus Holzrippen und Betonplatte, Deutsches Patent, 673556C.
- [2] Bathon L.; Bletz O. und Kocher D.: Holz-Beton-Verbund als starre und duktile Verbindung, 10. Internationales Holzbauforum, 2004.
- [3] S.p.A, TECNARIA: Complete catalogue of Tecnaria products [Tecnaria floor and ceiling reinforcements], [online], 2016, zuletzt abgerufen am 01.11.2019, online verfügbar über: [https://www.tecnaria.com/download/legno/download/CT\\_L\\_CAT-ALOGO\\_EN.pdf](https://www.tecnaria.com/download/legno/download/CT_L_CAT-ALOGO_EN.pdf)
- [4] Michelfelder B.C.: Trag- und Verformungsverhalten von Kernen bei Brettstapel-Beton-Verbunddecken, [online], 2007, zuletzt abgerufen am 01.11.2019, online verfügbar über: <http://dx.doi.org/10.18419/opus-249>
- [5] Pincus G.: Behaviour of Wood-Concrete Composite Beams, Journal of the Structural Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 96(10), pp. 2009-2019, 1970.
- [6] Pincus G.: Epoxy Bonded Wood-Concrete and Corrugated Steel-Concrete Composite, International Conference on Materials of Construction for Developing Countries, Bangkok, Thailand, pp. 1003-1015, 1978.
- [7] «Schriftenreihe Bauwerkserhaltung und Holzbau, Heft 4, Entwicklung von hybriden Bauteilen aus Holz und hochfesten bzw. ultrahochfesten Betonen, Experimentelle und theoretische Untersuchungen», Dissertation von Martin Schäfers, Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. Werner Seim, Universität Kassel, Fachbereich Bauingenieurwesen, 2010.
- [8] Hackspiel C.: Holz-Beton-Fügetechnik, Technisch-Wissenschaftlicher Endbericht, Holzforschung Austria, 2019.
- [9] Hackspiel C.; Erlinger G. und Wagner D.: Development of an advanced bonding technique for the production of efficient timber-concrete composite elements, International Wood Products Journal, 2019 (submitted).
- [10] Hackspiel C.; Resch D. und Wagner D.: Investigations on the durability and creep behaviour of bonded timber-concrete composite elements, International Wood Products Journal, 2019 (submitted).
- [11] ETAG 002, Guideline for European Technical Approval for Structural Sealant Glazing Kits (SSGK) – Part 1: Supported and unsupported systems, European Organisation for Technical Approvals (EOTA), 2012.