



*Dr. Leander Bathon
Prof. Ing., Holzbau,
Baukonstruktion, HolzbauLabor
FB Bauingenieurwesen
FH Wiesbaden
Wiesbaden, Deutschland*

Holz-Beton-Verbund als starre und duktile Verbindung



*Oliver Bletz
Dipl. Ing., (TU) (FH)
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Wiesbaden, Deutschland*

Wood/concrete construction for a rigid and ductile connection

Materiale composito in legno e calcestruzzo: un collegamento rigido e duttile



*Dominik Kocher
Dipl. Ing., (FH)
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Wiesbaden, Deutschland*

Dokument in Deutsch

Holz-Beton-Verbund als starre und duktile Verbindung

Der Verbundbau hat in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. In diesem Zusammenhang ist in erster Linie sicherlich der Stahl-Beton-Verbundbau im Brückenbau zu nennen. Die Idee, unterschiedliche Materialien schubfest miteinander zu verbinden und auf diese Weise die Vorteile der Verbundwirkung auszunutzen, wurde aber auch auf andere Werkstoffe übertragen. So wird die Holz-Beton-Verbundbauweise seit den 80er Jahren nach längerem Stillstand wieder zunehmend erforscht. Einige bauaufsichtliche Zulassungen sind das Resultat dieser Bemühungen in Deutschland. Trotz alledem besitzt die Holz-Beton-Verbundbauweise in Deutschland bei weitem noch nicht den Stellenwert wie in anderen europäischen Ländern, z.B. der Schweiz, Österreich, Italien, Frankreich oder den skandinavischen Ländern. Ein neues Verbundsystem, das an der Fachhochschule Wiesbaden entwickelt wurde und vor kurzem die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung vom Deutschen Institut für Bautechnik in Berlin erhielt, könnte nun für den Durchbruch der Holz-Beton-Verbundbauweise in Deutschland sorgen. Das Holz-Beton-Verbundsystem mit eingeklebten HBV-Schubverbindern (Zulassungsnummer Z.9.1-557) setzt dort an, wo die bisherigen Verbundsysteme an ihre Grenzen stoßen. Weitgespannte Tragkonstruktionen mit Spannweiten von 15 m und mehr sind damit in Holz-Beton-Verbundbauweise ausführbar. Die Beschränkung der Holz-Beton-Verbundbauweise auf einfache statische Einfeldsysteme ist aufgehoben; auch komplexere statische Systeme wie Durchlauf- oder Kragssysteme sind mit dem HBV-System ausführbar. Weiterhin bieten sich neue Anwendungsgebiete außerhalb des Geschossdeckenbaus an, z.B. Rahmenecken, Wände, eingespannte Stützen oder Brücken. Grund für diese neuen Möglichkeiten in der Holz-Beton-Verbundbauweise: das starre und gleichzeitig duktile Systemverhalten des entwickelten Verbundsystems.

1 Einleitung

Die Holz-Beton-Verbundbauweise hat sich seit einigen Jahren in bestimmten Bereichen der Baupraxis, z.B. der Sanierung von Holzbalkendecken etabliert. Der erfolgreiche Einsatz einzelner Holz-Beton-Verbundsysteme hängt insbesondere von der Effektivität des jeweiligen Verbindungsmittels zwischen Holz und Beton ab. Aus der Sicht des planenden Ingenieurs ist es erstrebenswert, wenn bei Holz-Beton-Verbundsystemen die Verbundwirkung zwischen Holz und Beton möglichst groß ist, so dass eine möglichst hohe Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit des Verbundquerschnitts gewährleistet ist. Gleichzeitig sollte ein Verbundsystem aber auch ein möglichst duktilen Verhalten aufweisen, keinesfalls also spröde bzw. plötzlich versagen. Bei der Entwicklung neuer Verbindungsmittel sind diese beiden Anforderungen stets zu erfüllen.

Berücksichtigt man das relativ spröde Bruchverhalten der Werkstoffe Beton und Holz, ist es naheliegend, ein Verbundsystem so zu konstruieren und abzustimmen, dass das schwächste Glied des Verbundsystems stets das Verbindungsmittel selbst darstellt und dieses ein duktilen Verhalten aufweist. Beim innovativen HBV-System stellt die Verwendung eines eingeklebten Streckmetalls als Verbindungsmittel, dem beim Bruchversagen ein langgezogener Fließvorgang vorangeht, das gewünschte duktile Verhalten sicher.

Holz-Beton-Verbundkonstruktionen können grundsätzlich in starre und nachgiebige Verbindungen eingeteilt werden. Beim starren Verbund können keine Relativverschiebungen zwischen den einzelnen Querschnittsteilen auftreten. Starre Verbindungen weisen das höchste Potential bezüglich Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit auf. Weitgehend starre Verbindungen sind nach Cecotti u.a. in Holz eingeklebte Stahlbleche bzw. direkte Holz-Beton-Klebeverbindungen. Alle anderen Verbindungsmittel zählen zu jenen mit mehr oder weniger nachgiebigem Verbund, bei denen Relativverschiebungen zwischen den Querschnittsteilen auftreten. Je nachgiebiger eine Verbindung ist, desto geringer ist sein Potential bezüglich Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit.

Die bisher am häufigsten verwendeten, punktförmig eingebrachten Verbindungsmittel im Holz-Beton-Verbundbau (Schrauben, Nägel) stellen eine relativ weiche Verbindung zwischen Holz und Beton her, wodurch die Einsatzmöglichkeiten der Holz-Beton-Verbundbauweise erheblich eingeschränkt werden. Bei der Entwicklung des HBV-Systems stellen in den Holzquerschnitt kontinuierlich eingeklebte Streckmetalle den Verbund zwischen Holz und Beton sicher. Eine nahezu starre Verbindung zwischen den beiden Werkstoffen Holz und Beton ist hergestellt.

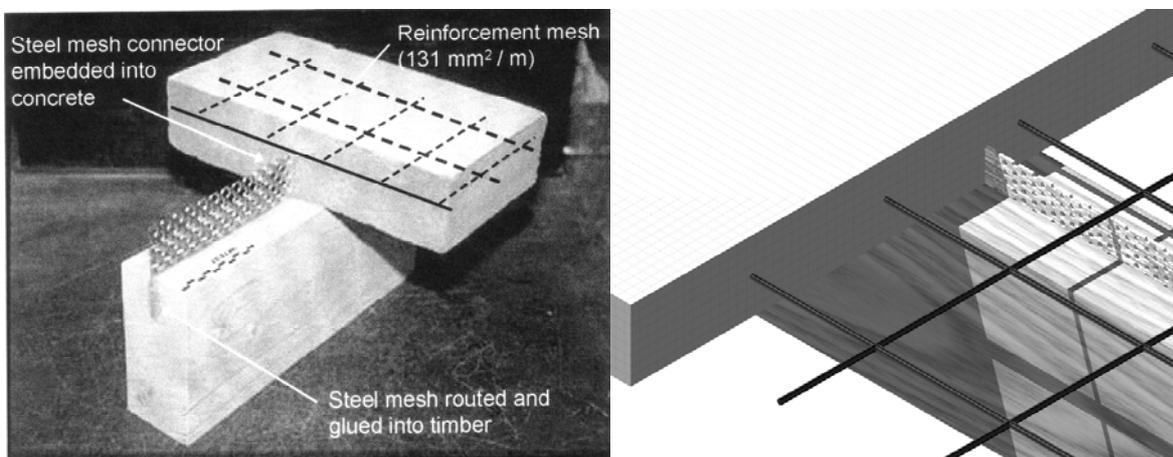


Abbildung 1 und 2: Eingelegter HBV-Schubverbinder mit angebrachter konstruktiver Mattenbewehrung

2 Anwendungsgebiete der Holz-Beton-Verbundbauweise

Die Einsatzmöglichkeiten der Holz-Beton-Verbundbauweise sind im wesentlichen abhängig vom Potential des Verbindungsmittels. Je leistungsstärker die Verbundwirkung zwischen den Werkstoffen Holz und Beton ist, d.h. je starrer der Verbund hergestellt wird, desto größer ist das Einsatzgebiet. Relativ weiche Verbindungen wie z.B. punktförmige Verbindungen durch Verbundschrauben oder Nägel werden vor allem in der Sanierung bestehender Balkendecken bei relativ geringen Spannweiten angewandt, während steifere Verbindungsmittel wie z.B. Flachstahlschlösser oder kontinuierlich eingeleimte Streckmetalle insbesondere bei größeren Spannweiten im Geschossdeckenreuebau- bzw. Fertigteilbereich Anwendung finden.

Generell bieten sich folgende Anwendungsfelder für Holz-Beton-Verbundkonstruktionen an:

- beim Neubau von Geschossdecken in Ein- oder Mehrfamilienhäusern, Industrie- und Gewerbebauten, Schulungs-, Tagungs- und Bildungszentren sowie Verwaltungsgebäuden
- bei erforderlicher Erhöhung der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit bestehender Holzbalkendecken
- bei der Sanierung von geschädigten Deckenkonstruktionen
- beim Ausbau von Dachgeschossen oder in der Altbausanierung, insbesondere unter denkmalpflegerischen Gesichtspunkten
- bei niedrigen Deckenhöhen und gleichzeitig hohen Nutzlasten
- bei Geschosswänden
- bei Dächern
- bei Brückenbauten
- bei Rahmenecken und Stützen in Hallen

3 Vorteile im Geschossdecken- und Brückenbau

Die Anwendung der Holz-Beton-Verbundbauweise im Geschossdeckenbau hat sich seit einigen Jahren etabliert. Dabei vereinigen Holz-Beton-Verbunddecken die positiven Eigenschaften der massiven Stahlbetondecken mit den Vorteilen der reinen Holzdeckensysteme. Infolge konsequenter Ausnutzung der technischen Möglichkeiten wird die Lücke zwischen diesen beiden Deckensystemen geschlossen. Entsprechend lang ist die Liste der positiven Eigenschaften von Holz-Beton-Verbunddecken:

- optimales Ausnutzen der spezifischen Werkstoffeigenschaften der einzelnen Bestandteile (Beanspruchung des Betons auf Druck und des Holzes auf Zug bei statischen Einfeldsystemen)
- starre und duktile Verbindung zwischen Holz und Beton
- hohe Systemsteifigkeit und -festigkeit durch Beton, zusätzliche aussteifende Wirkung der Betonplatte (Scheibenwirkung)
- Vielseitigkeit bei statischen Systemansätzen (Einfeldsysteme, Durchlaufsysteme, Kragarme)
- geringere Verformungen gegenüber reinen Holzdecken und Systemen ohne Verbundwirkung
- geringeres Eigengewicht im Vergleich zur massiven Stahlbetondecke
- hervorragende bauphysikalische Eigenschaften in Bezug auf Schwingungsverhalten, Brandschutz, Schallschutz, Raumakustik
- angenehme Raumatmosphäre (hohe Oberflächentemperatur, Ausgleich der Raumfeuchtigkeit durch Holzdecke)
- natürliche Ästhetik und Gestaltungsvielfalt des nachwachsenden Rohstoffs Holz
- freie Raumgestaltung durch Spannweiten bis 15 m und mehr (keine Stützen oder Zwischenwände erforderlich)
- nachweislich wirtschaftlichere Systemansätze im Vergleich zu herkömmlichen Deckensystemen aus massiven Stahlbeton- oder reinen Holzdecken bei vergleichbarem Ausführungsniveau
- kürzere Bauzeiten, da Rohbau = Ausbau (gleichzeitiges Nutzen der Schalung als Tragglied und herkömmliche Holzdecke)
- hoher Vorfertigungsgrad

Der Einsatz von Holz-Beton-Verbundbrücken, die aus Brettschichtholzträgern und Betonfahrbahnen bestehen, bieten im Vergleich zu reinen Holzbrücken im wesentlichen folgende Vorteile:

- Erhöhung der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit
- bessere Querlastverteilung
- Scheibenwirkung, dadurch einfache Abtragung von Horizontallasten
- Verbesserung des Schwingungsverhaltens durch erhöhtes Eigengewicht
- baulicher Schutz des Holzes durch obenliegende auskragende Betonfahrbahn
- verbesserte Verteilung der Achslasten durch die Betonplatte
- Anwendung bewährter Anschlussdetails aus Betonbrückenbau, z.B. für Geländer, Leitplanken, Fahrbahnübergänge oder Schrammborde

Ein weiterer Vorteil liegt im hohen Vorfertigungsgrad, wodurch ein beschleunigter Bauablauf gewährleistet werden kann.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sich die Holz-Beton-Verbundbauweise insbesondere bei weitgespannten Brücken mit hohen Verkehrslasten bei Überführungen über – aufgrund der relativ kurzen Montagezeit – auch stark frequentierte Verkehrswege eignet.

4 Verbindungssysteme mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung

Seit einigen Jahren liegt der Fokus der Forschung insbesondere in der Optimierung der Verbindungsmittel. Sie müssen:

- ein steifes Tragverhalten aufweisen
- ein duktiler, d.h. kein plötzliches sprödes Bruchversagen vorweisen
- kostengünstig herstellbar sein
- einfach und mit geringem Zeitaufwand einzubauen sein

Die Wirtschaftlichkeit einer Holz-Beton-Verbundkonstruktion wird wesentlich von der Steifigkeit und Tragfähigkeit der in der Verbundfuge zwischen Holz und Beton angeordneten Verbindungsmittel bzw. Verbundelemente beeinflusst.

Zwischen 1998 und 2004 wurden in Deutschland insgesamt sechs Verbindungssystemen im Holz-Beton-Verbundbau die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung erteilt, wodurch die Bedeutung des Holz-Beton-Verbundbaus stetig anstieg.

Verbindungssysteme mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung durch das Deutsche Institut für Bautechnik:

- Z-9.1-274 Dennert Holz-Beton-Verbundelement (Verbindungsmittel: Nagelplatten)
- Z.9.1-331 EW-Holz-Beton-Verbundelement (Verbindungsmittel: Rillennägel)
- Z-9.1-342 SFS Verbundschraube
- Z-9.1-445 Timco II Verbundschraube
- Z-9.1-473 Brettstapel-Beton-Verbunddecke mit Flachstahlschlössern
- Z-9.1-557 HBV - System mit eingeklebtem HBV-Schubverbinder

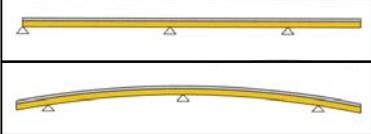
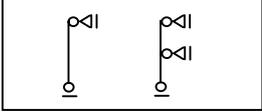
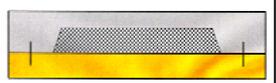
	Geschossdecken		Wände
Deckenquerschnitt			
	EW-Element SFS / Timco II HBV - System	HBV - System	HBV - System
	Flachstahlschlösser SFS / Timco II HBV - System	HBV - System	HBV - System
	HBV - System	HBV - System	HBV - System

Tabelle 1: Einsatzmöglichkeiten der Verbindungssysteme im Holz-Beton-Verbundbau

4.1 Vergleich der Verbindungsmittel

In Abbildung 3 sind Last-Verschiebungskurven für unterschiedliche Verbindungsmittel (Nagelplatte, Schrauben unter 45°, Betonnocke + Stahlstift, Betonnocke zwischen Furnierschichtholz und Beton) dargestellt, die von Blaß / Schlager in Versuchsreihen an der TH Karlsruhe bzw. von Spengler (HBV-System mit eingeklebten HBV-Schubverbindern) an der Technischen Universität München ermittelt wurden. Die dargestellten Last-Verschiebungskurven weisen alle einen charakteristischen Verlauf auf. Nach einem linearen Anstieg zu Beginn der Lastaufbringung gehen die Last-Verschiebungskurven bis zum Erreichen der Bruchlast in einen nichtlinearen Teil über, der durch mehr oder weniger stark ausgeprägte plastische Verformungen gekennzeichnet ist. Anschließend fallen die Last-Verschiebungskurven vom Höchstlastniveau in einem langgezogenen Verlauf ab. Deutlich erkennbar ist das wesentlich steifere Systemverhalten des HBV-Schubverbinders im Vergleich zu den vier anderen Verbindungssystemen. Die mittlere Bruchlast für das HBV-System mit eingeklebten HBV-Schubverbindern liegt bei 105,42 kN. Die zugehörige mittlere Verschiebung beträgt 0,497 mm.

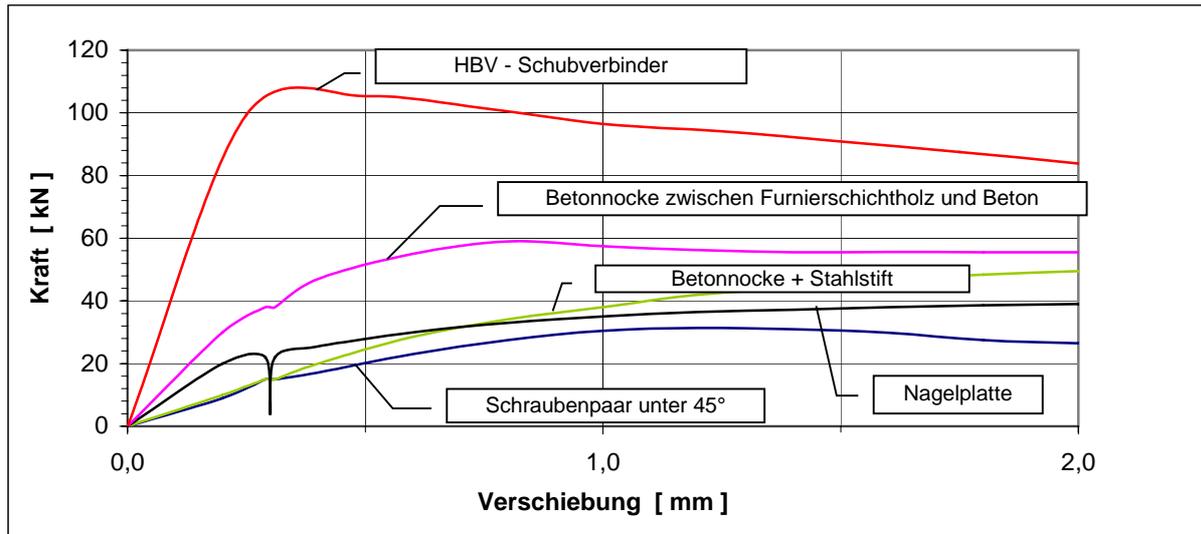


Abbildung 3: Vergleich der Last-Verschiebungskurven für Holz-Beton-Verbundsysteme

4.2 HBV-System mit eingeklebten HBV - Schubverbindern

Der Erfolg von Holz-Beton-Verbundsystemen hängt v.a. von der Effektivität der Verbundwirkung ab. Seit den 80er Jahren liegt der Schwerpunkt der Forschung im Holz-Beton-Verbundbau daher v.a. im Bereich der Verbindungsmittel. Das Ergebnis dieser Forschungen ist eine Palette an Verbundsystemen, die von den bekannten Holzverbindungsmitteln (Nägel, Schrauben,...) bis hin zu Speziallösungen (eingeklebte Bewehrungsstäbe, Flachstahlschlösser,...) reicht. Allen gemein ist, dass sie als mehr oder weniger punktförmige mechanische Verbindung zwischen Holz und Beton angesehen werden können. Der HBV-Schubverbinder als neueste Entwicklung dieser Forschungen hebt sich grundsätzlich von der Palette punktförmiger Verbindungsmittel ab: er wird in eine über die Balkenlänge eingeschlitzte Nut eingeklebt. Das Resultat dieser innovativen Verbindungsart ist offensichtlich: Der relativ große Schlupf, der bei den punktförmigen Verbindungsmitteln zwischen Holz und Beton auftritt, wird durch die Klebeverbindung und den kontinuierlichen Lasteintrag aufgehoben. Entsprechend liegt der Verschiebungsmodul, der die Effektivität des Verbindungsmittels beschreibt, im Vergleich zu den punktförmigen Verbindungssystemen höher.

4.2.1 Scherversuche

An der Fachhochschule Wiesbaden wurden im Rahmen eines Forschungsvorhabens nach DIN EN 26891 Druckscherversuche an Holz-Beton-Verbundprüfkörpern zur Ermittlung des Verschiebungsmoduls durchgeführt. Die Prüfkörper bestanden aus Nadelvollholz der Güteklasse S11 mit einer Holzfeuchte von ca. 10%. Als Kleber wurde ein in Deutschland gängiger Zwei-Komponentenkleber auf Epoxidharzbasis verwendet. Der Beton war der Festigkeitsklasse B35 zuzuordnen, der Schubverbinder bestand aus Stahl St.37-2 mit einer Streckgrenze von $f_{y,k} = 240 \text{ N/mm}^2$. In Abbildung 4 und 5 sind schematische Darstellungen der verwendeten Versuchskörper und des Versuchsaufbaus dargestellt.

Die Abmessungen der Versuchskörper können Abbildung 4 entnommen werden.

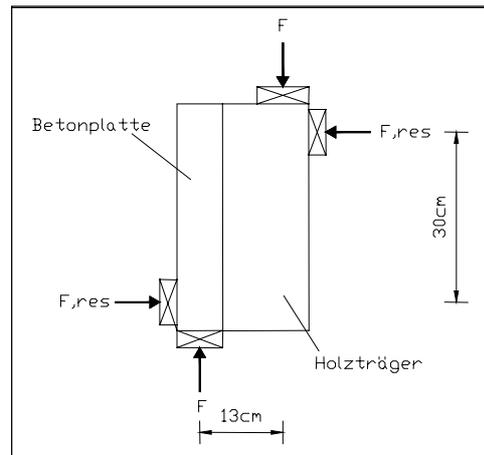
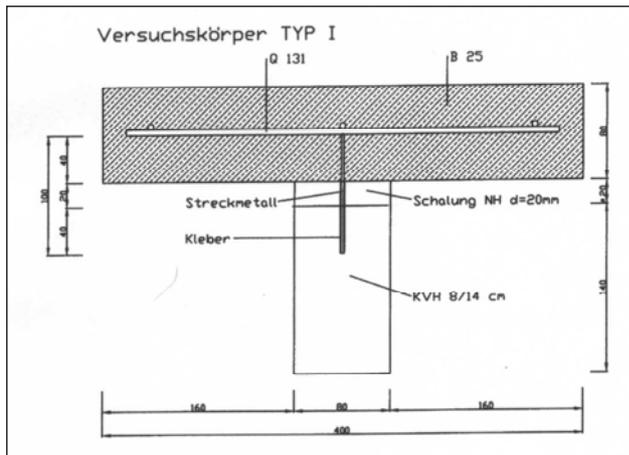


Abbildung 4 und 5: Darstellung eines Versuchskörpers und Versuchsaufbaus

Tabelle 2 und Abbildung 6 zeigen die Ergebnisse der Druckscherversuche. Dabei beinhaltet Tabelle 2 für die einzelnen Versuche die erzielte Bruchlast mit der zugehörigen Verschiebung, die im Holz auftretenden Schubspannungen, den Verschiebungsmodul infolge Anfangsverformung sowie eine statistische Auswertung der Ergebnisse.

	Last	Verschiebung	Scher- spannungen	Verschiebungs- modul
Versuch	F_{max} [kN]	v_{max} [mm]	τ [N/mm ²]	C_e [kN/mm]
1	120,97	1,743	3,02	353,87
2	114,89	1,402	2,87	367,65
3	103,53	1,339	2,59	371,75
4	102,53	1,404	2,56	331,13
5	116,88	1,519	2,92	410,96
6	110,96	1,246	2,77	657,42
Ø	111,62	1,442	2,79	415,46
s	7,41	0,172	0,19	121,38
v [%]	6,64	11,9	6,81	29,22

Tabelle 2: Ergebnisse der Druckscherversuche

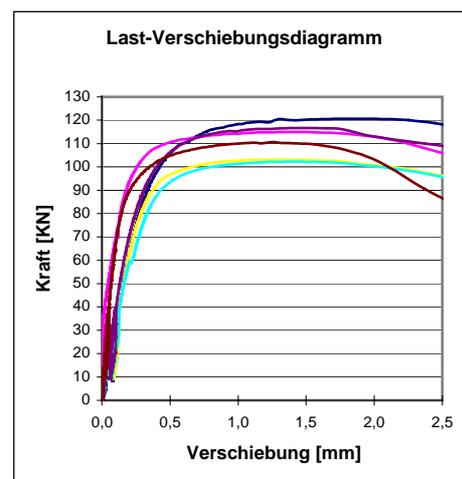


Abbildung 6: Last-Verschiebungskurven

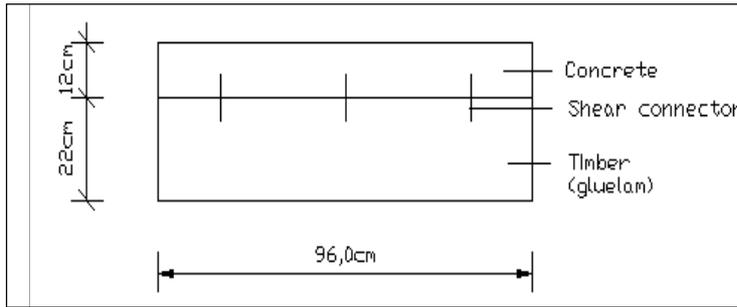


Abbildung 8: Querschnitt des HBV-Trägers

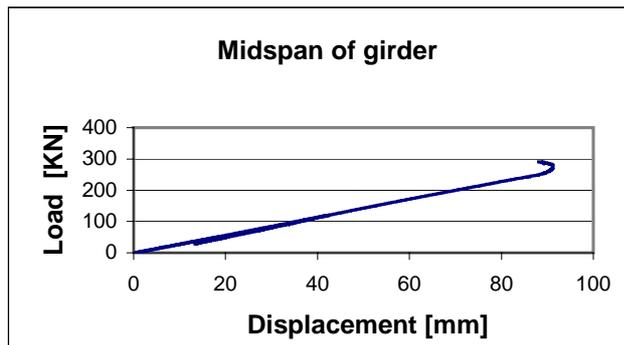


Abbildung 9: Durchbiegung in Feldmitte

Der Versuchsträger wurde als Einfeldträger geprüft. Die Belastung des Trägers erfolgte 1,30 m links und rechts der Trägermitte. Die Lasteinleitung auf die Betonplatte übernahmen zwei HE-M-Träger. Die beiden Stahlträger erhielten eine gleichmäßige Belastung durch einen darüber liegenden Längsträger, welcher unterhalb des mittig angeordneten Kraft-Kolbens der Prüfmaschine lag. Die Durchbiegung des Trägers verlief nahezu linear. Der Träger versagte bei einer Last von 290,65 kN. Dies entsprach in etwa der im Vorfeld auf Basis der Scherversuche errechneten Bruchlast von ca. 300 kN. Das Versagensbild stellte sich äußerlich durch mehrere Querrisse in der Betonplatte zwischen dem Auflager und dem Kraftereinleitungspunkt dar. Des weiteren waren mehrere Querrisse im Beton unterhalb der Kraftereinleitungsträger zu erkennen. Der Holzquerschnitt wies bis auf einen Spannungsbruch der ersten seitlichen Lamelle in der Mitte des Trägers keine weiteren Schäden auf. Zur weiteren Erforschung der Versagensursache wurde die Betonplatte teilweise vom Träger entfernt. Es zeigte sich, dass die Streckmetalle in der Fuge zwischen Holz und Beton stark verformt, stellenweise sogar abgerissen waren. Der Klebstoff wies an keiner Stelle Anzeichen eines Versagens auf. Maßgebliche Ursache, die zum Bruch führte, war die Verformung bzw. der Abriss des Streckblechs in der Fuge zwischen Auflager und dem ersten Kraftereinleitungspunkt. Dies hatte zur Folge, dass der starre Verbund zwischen Holz und Beton verloren ging. Die Zugspannungen im unteren Bereich des Betonquerschnitts wurden dadurch zu groß, der Beton brach und das System versagte.

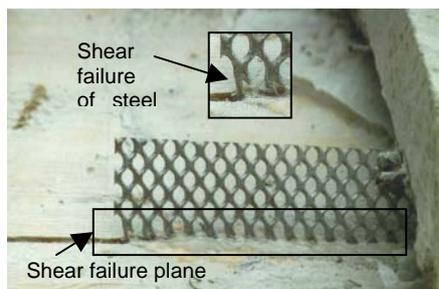


Abbildung 10: Schubverbinderversagen

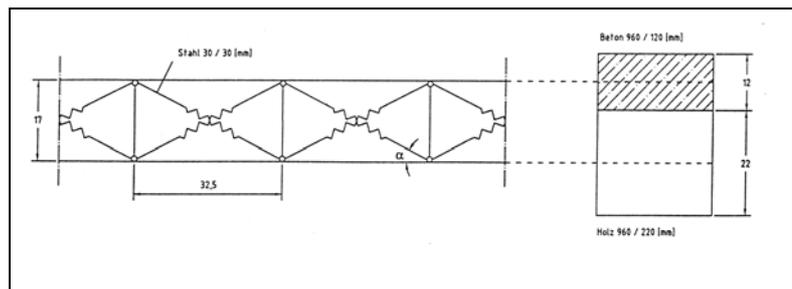


Abbildung 11: Federmodell

4.2.3 Berechnungen

Die Berechnungen des Holz-Beton-Verbundträgers wurden mit Hilfe eines Federmodells durchgeführt, das in Abbildung 11 dargestellt ist. Das Modell ermöglichte eine sehr genaue Vorhersage des Systemverhaltens in den einzelnen Versuchsreihen.

LA1	LA2 + LA3	LA2 + LA3 + LA4	LA2 + LA3 + LA5	LA6 + LA7 + LA9
t = 0 d	t = 28 d	t = 28 d	t = 28 d	t = ∞
prestressing	dead load + live load	dead load + live load + top side heating (+30°C)	dead load + live load + top side cooling (-30°C)	dead load + live load + top side cooling (-30°C)
f = -4,32 cm	f = 2,03 cm	f = 0,81 cm	f = 3,25 cm	f = 4,78 cm
	t _u = 0,58 kN/cm	t _u = 0,85 kN/cm	t _u = 0,67 kN/cm	t _u = 0,41 kN/cm

Abbildung 12: Berechnungen auf Basis eines Federmodells

Die Berechnungen zeigen, dass das HBV-System mit eingeklebten HBV-Schubverbindern eine 99% Verbundwirkung erzielen und somit einen nahezu starren Verbund herstellen konnte.

Abbildung 12 zeigt die Spannungsverteilung, den maximalen Schubfluss t_u und die Durchbiegung f eines Holz-Beton-Verbundträgers infolge diverser Lastfälle sowie die positiven Auswirkungen infolge einer möglichen Vorspannung des Trägers. Bei Überlagerung der Lastfälle LA1 und LA6 + LA7 + LA9 heben sich die Durchbiegungen des Trägers nahezu auf. Die Vorspannung eignet sich somit gut als Kontrollinstrument zur Regulierung auftretender Verformungen. Die Berechnungen basieren auf oben dargestellten Federmodell.

4.2.4 Systemkennwerte des HBV-Systems

Tabelle 3 zeigt die aus den Scherversuchen abgeleiteten Systemkennwerte für das HBV-System pro mm eingeklebtem HBV-Schubverbinder laut bauaufsichtlicher Zulassung Z.9.1-557. Für einen HBV-Schubverbinder mit einer Streifenlänge von 1000 mm ergibt sich somit ein Verschiebungsmodul K_{ser} zum Zeitpunkt t = 0 von 825000 N/mm sowie eine zulässige Schubbelastung zul T von 90000 N.

Parameter	Zeitpunkt	Einheit	Wert
Verschiebungsmodul K _{ser} für Nachweise der Tragfähigkeit	t = 0	N / mm	825 - 250 (d _{zs}) ^{0,2}
	t = ∞	N / mm	2/3 • [825 - 250 (d _{zs}) ^{0,2}]
Verschiebungsmodul K _u für Nachweise der Gebrauchstauglichkeit	t = 0	N / mm	1/2 • [825 - 250 (d _{zs}) ^{0,2}]
	t = ∞	N / mm	1/2 • 2/3 • [825 - 250 (d _{zs}) ^{0,2}]
zulässige Schubkraft zul. T		N	90 - 4,5 (d _{zs}) ^{0,5}

Tabelle 3: Kennwerte für das HBV-System mit d_{zs} = Dicke der Zwischenschicht in mm

5 Anwendungen für das HBV-System in der Praxis

Das HBV-System wird in der Praxis in diversen Anwendungen eingesetzt. Das Hauptanwendungsgebiet liegt dabei zurzeit im Geschossdeckenbau, wobei verschiedene Systemlösungen (HBV-Balkendecke, HBV-Plattendecke, HBV-Sanierungssystem, HBV-Akustikdecke) angeboten werden.

5.1 HBV-Balkendecke

Beim HBV-Balkensystem werden im Holzleimwerk die HBV-Schubverbinder in die Holzbalken eingeklebt. Die eingeklebten HBV-Schubverbinder dienen dabei zum einen der Einleitung der auftretenden Beanspruchungen in den Verbundquerschnitt, zum anderen als Abstandhalter für eine Baustahlmatte Q 188, die als konstruktive Bewehrung zur Verteilung der im Beton auftretenden Risse in einem späteren Arbeitsschritt auf der Baustelle aufgebracht wird. Die vorgefertigten Balken mit den eingeklebten HBV-Schubverbindern werden auf der Baustelle eingebaut. Anschließend wird die „verlorene Schalung“, die als Unteransicht einer sichtbaren Holzbalkendecke entspricht, in die zwischen den Balken liegenden Felder eingesetzt, eine Baufolie und die Baustahlmatte verlegt und die Betonplatte gegossen. Eine Zwischenabstützung der HBV-Balkendecke für den Montage- und Betoniervorgang ist erforderlich. Nach einer Aushärtezeit des Betons von 28 Tagen ist das Tragsystem voll belastbar.

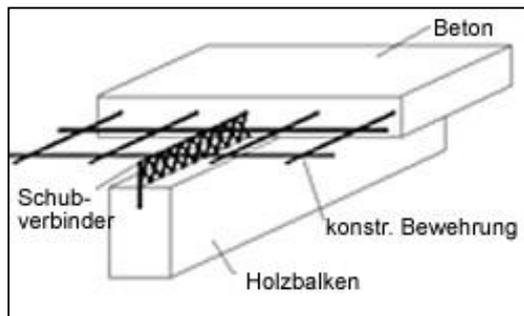


Abbildung 13 und 14: HBV-Balkendecke. Systemskizze; Baustelle

5.2 HBV-Plattendecke

Beim HBV-Plattensystem werden in eine Massivholzplatte aus Brettschichtholz die HBV-Schubverbinder werkseitig eingeklebt. Die Feuchtigkeitssperre für den Schutz des Holzes wird ebenso im Werk aufgebracht wie eine Lasierung der Holzoberfläche. Auf der Baustelle lassen sich die auf diese Weise vorgefertigten, großformatigen Bauteile mit Hilfe eines Baukrans schnell verlegen.

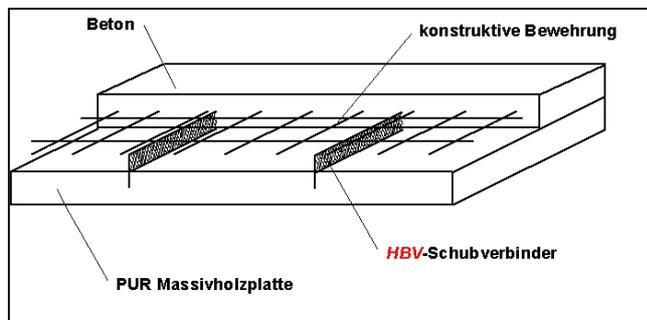


Abbildung 15 und 16: HBV-Plattendecke. Systemskizze; Baustelle

Zwischen den tragenden Massivholzelementen und dem Beton kann bei Bedarf eine bis zu 30 mm dicke Zwischenschicht (Isolierung, Dämmung) eingebaut werden. Nach Verlegen der Matzenbewehrung wird die Betonplatte hergestellt. Auch beim HBV-Plattensystem ist eine Zwischenabstützung für den Montage- und Betoniervorgang notwendig. Die Untersicht der HBV-Plattendecke zeigt in der Regel das natürliche Brettschichtholz, welches aber auch nach den Wünschen der Bauherren farblich angelegt oder für weitere Installationen problemlos abgehängt werden kann.

5.3 HBV-Akustikdecke

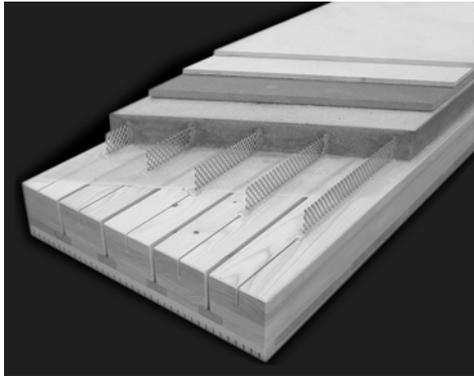


Abbildung 17: HBV-Akustikdecke

Als Spezialausführung der HBV-Plattendecke kann die HBV-Akustikdecke angesehen werden. Basierend auf dem bewährten Akustikdeckensystem der Fa. LIGNOTREND werden die HBV-Schubverbinder werkseitig in die Stege der Akustikdeckenelemente eingeklebt. Wesentliche Vorteile der HBV-Akustikdecke liegen neben den bekannten Vorzügen bezüglich der Raumakustik in der freien Gestaltbarkeit der Unteransicht, wodurch auch exklusive Ansichten, z.B. in Weißtanne ausgeführt werden können.

5.4 HBV-Sanierungssystem

Das HBV-Sanierungssystem wird bei erforderlichen Ertüchtigungen von Holzbalkendecken eingesetzt. Es bedient sich des vorhandenen Balkentragwerks; die bestehende, oftmals bauhistorisch wertvolle Bausubstanz bleibt erhalten und wird weiterhin genutzt. Die ins Holz eingeklebten HBV-Schubverbinder ermöglichen das schubsteife Verbinden der Werkstoffe Holz und Beton, wodurch die im Vergleich zur bestehenden Holzdecke bzw. zu einer herkömmlichen Ertüchtigung in Trockenbauweise deutlich verbesserten Eigenschaften in den Bereichen Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit – Reduzierung der Durchbiegungen um bis zu 70% - realisiert werden. Durch die Holz-Beton-Verbundbauweise wird ein kompletter Abbruch der alten Holzdecken bzw. das Erstellen aufwendiger, neuer Deckenkonstruktionen aus Beton vermieden.



Abbildung 18, 19 und 20: HBV-Sanierungssystem - vor und nach dem Betoniervorgang

5.5 HBV-Hohlkastenträger

Weitgespannte Tragkonstruktionen entwickeln sich zu einem weiteren Anwendungsfeld der HBV-Systeme. Zur Zeit existiert ein von der AIF gefördertes Forschungsvorhaben über weitgespannte Tragsysteme, das im Rahmen einer Forschungs Kooperation zwischen der

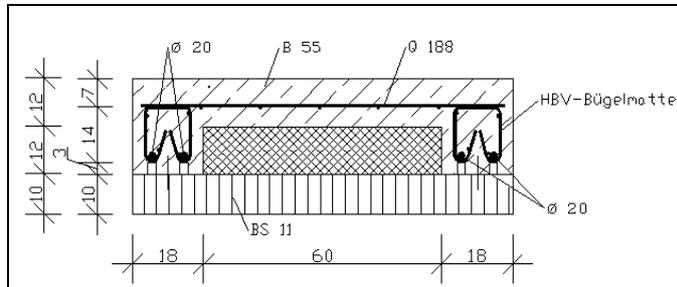


Abbildung 21 und 22: HBV-Hohlkastenträger

Fachhochschule Wiesbaden und dem Holzleimbauwerk Zang + Bahmer GmbH, Dietzenbach durchgeführt wird. Der HBV-Hohlkastenträger mit seinem reduzierten Eigengewicht wird an der Fachhochschule Wiesbaden in Versuchsreihen intensiv untersucht. Freie Spannweiten von 30 m und mehr sollten mit diesem Ansatz eines Verbundquerschnitts herstellbar sein. Der HBV-Hohlkastenträger bietet sich daher auch als Element für den Brückenbau an.

5.6 HBV-Rahmenecke

Durch den Einsatz des HBV-Systems bei Rahmenecken scheint eine Möglichkeit gefunden worden zu sein, dieses Konstruktionsdetail sehr kostengünstig herzustellen. Abbildung 23 zeigt mögliche Ausführungsvarianten.

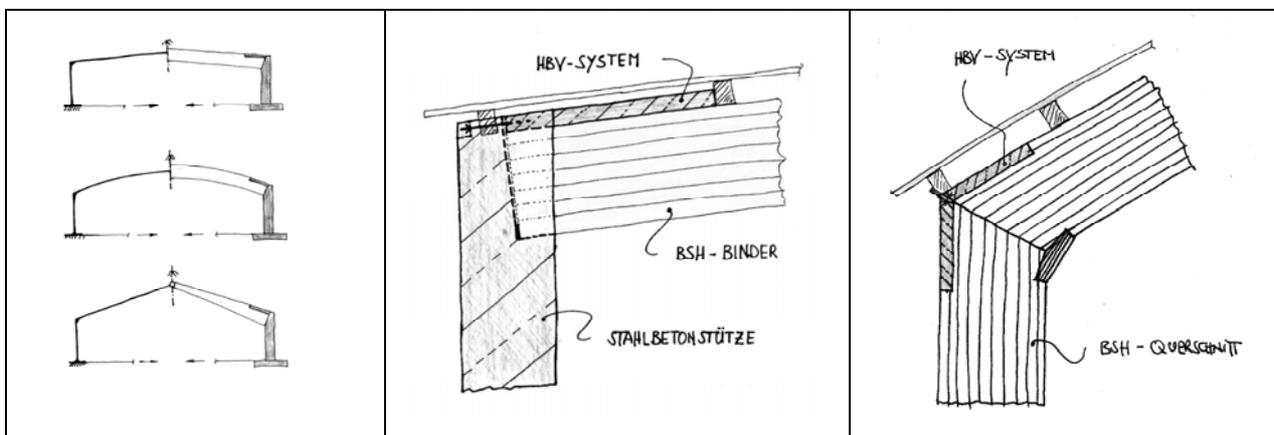


Abbildung 23: HBV-Rahmenecke. Anschluss BSH-Binder an Betonstütze & BSH-Binder an Holzstütze

5.7 HBV-Brücken

Als weiteres Einsatzfeld bietet sich der Brückenbau an, der für den Holz-Beton-Verbundbau in Deutschland bis heute noch nicht erschlossen ist. In den europäischen Nachbarländern sind zahlreiche Brückenkonstruktionen in Holz-Beton-Verbundbauweise erstellt worden – mit Verbindungssystemen, die bei weitem nicht das Potential besitzen, wie es das HBV-System mit eingeklebten HBV-Schubverbindern vorweisen kann. Rug / Lißner haben eine Übersicht über im Ausland erstellte Brücken in Holz-Beton-Verbundbauweise zusammengestellt.

Für das HBV-System mit eingeklebten HBV-Schubverbindern besteht die Absicht, eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für die Gefährdungskategorie 3 (der Witterung oder Kondensation ausgesetztes Holz im Freien) sowie für dynamische oder wiederkehrende Beanspruchungen zu erreichen, um das System auch bei Brückenbauwerken einsetzen zu können. Um das Beanspruchungsverhalten bei Brücken zu simulieren und die Auswirkungen auf das Traglast-, Gebrauchstauglichkeits- und Ermüdungsverhalten zu ergründen, werden daher an der Fachhochschule Wiesbaden Versuchsreihen unter wiederkehrender Belastung durchgeführt. Abbildung 24 zeigt eine Systemskizze des Versuchsaufbaus zur Untersuchung des Verhaltens des HBV-Schubverbinders unter zyklischer Belastung.

Jahr	Land	Ort	Spannweite [m]	Breite [m]	Tragwerke	Verbundlösung	Nutzung	
							Straßenbrücke	Fußgängerbrücke
1991	CH	Furna	12+12+13,75 +12,25	4,2	Sprengwerk	Stahlbleche mit Bewehrung	X	
1991	CH	Kerzes	8,1	4,0	Balken/Hängewerk	Rundholz mit Kerne + Hilti-Dübel vorgespannt		X
1991	CH	Sentiers	13,0	4,0	Balken/Hängewerk	Rundholz mit Kerne + Hilti-Dübel vorgespannt		X
1996	CH	la Chapelle de Surieu	14,0	4,57	Balken/Hängewerk	Rundholz über Hilti-Dübel vorgespannt	X (30 t)	
1996	A	Schafferbrücke	13,5	6,0	Balken	Brettstapel mit Formschluss und Spanschrauben	X	
1995/96	A	Wennerbrücke St. Georgen	45,0	8,6	Dreigelenkbogen	Eingeklebte Gewindestangen und Betonfertigteilplatten	X	
1996	CH	Crestawaldbrücke bei Sufers	33 ¹⁾	3,9	Sprengwerk	Kopfbolzen $\varnothing 16 \times 125$ mm	X	
1998	CH	Innerferrara	45,7 (60,5) ¹⁾	k. A.	Zweigelenkbogen	Eingeklebte Bewehrung $d=14$ mm und Betonfertigteilplatten	X	

Tabelle 4: Holz-Beton-Verbundbrücken

Abbildung 24: Zugversuch

Ein weiterer Versuchsstand wird im Außenbereich aufgebaut, um die Einflüsse der Witterung auf das HBV-System mit eingeklebten HBV-Schubverbindern zu untersuchen.

6 Zusammenfassung

Diese Veröffentlichung beschreibt ein innovatives Holz-Beton-Verbundsystem, das sich aus einem Holzquerschnitt, einer Betonplatte und einem Streckmetall, welches die beiden erstgenannten Querschnitte verbindet, zusammensetzt. Das Streckmetall ist zur einen Hälfte in den Holzquerschnitt eingeklebt, zur anderen Hälfte in die Betonplatte einbetoniert. Das HBV-System mit eingeklebten HBV-Schubverbindern ist relativ einfach herzustellen, äußerst ökonomisch und erreicht nahezu volle Verbundwirkung bei gleichzeitig duktilem Verhalten. Ideale Anwendungsgebiete für das HBV-System bieten sich im Bereich des Geschossdeckenbaus – sowohl in der Sanierung bestehender Holzbalkendecken als auch beim Neubau weitgespannter Tragkonstruktionen – sowie bei Wänden, Rahmenecken oder Dächern an. Als weiteres Anwendungsfeld zeichnet sich für die Zukunft der Brückenbau ab. Diesbezüglich sind weitere Untersuchungen – insbesondere im Bereich dynamischer bzw. zyklischer Belastungen, des Langzeittragverhaltens, des Kriech- und Schwindverhaltens sowie der Temperatur- und Feuchteinflüsse notwendig, um eine bauaufsichtliche Zulassung zu erlangen. Untersuchen in diesen Bereichen laufen zur Zeit an der Fachhochschule Wiesbaden sowie der University of Massachusetts / USA.

7 Literaturverzeichnis

1. Bathon, L.; Clouston, P. (2004)
„*Experimental and Numerical Results on Semi Prestressed Wood-Concrete Composite Floor Systems for Long Span Applications*“, Proc. on the 8th World Conference on Timber Engineering, Lathi, Finnland, June 14 – 17, 2004, Volume 1: page 339 - 344
2. Bathon, L.; Graf, M. (2000)
„*A Continuous Wood-Concrete-Composite System*“, Proc. World Conference of Timber Engineering, Whistler, B.C.
3. Blaß, J.; Schlager, M. (1996)
„*Trag- und Verformungsverhalten von Holz-Beton-Verbundkonstruktionen*“, bauen mit holz, 1996, Heft 5, Seite 392 - 399, Heft 6, Seite 472 - 477
4. Bletz, O.; Kocher, D.; Bathon, L. (2004)
„*Holz-Beton-Verbund in neuen Dimensionen*“, Mikado 10/04
5. Cecotti, A. (1995)
„*Holz-Beton-Verbundkonstruktionen*“, Informationsdienst Holz, Holzbauwerke nach Eurocode 5, STEP 2 E13, Düsseldorf
6. König, G.; Holschemacher, K.; Dehn, F. (2004)
„*Holz-Beton-Verbund*“, Innovationen im Bauwesen, Beiträge aus Praxis und Wissenschaft Bauwerk Verlag GmbH, Berlin
7. Kreuzinger, H.; Hartmann, H.; Mohr, B. (1997)
„*Holz-Beton-Verbunddecken*“, Dokumentation „Holz-Beton-Verbunddecken“ der Ingenieurakademie Bayern 24.10.1997, TU München

Kurzinfo

Weitere Informationen zu den innovativen HBV-Systemen sind im Internet unter www.hbv-systeme zu beziehen. Dort steht auch die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (Z.9.1-557) zum Download bereit.