

# Holz-Beton-Verbund

## Aktueller Vergleich der Verbindungsmittel - Stand 08-2015

Rainer Bahmer und Sascha Hock

Die Natur liefert die Rohstoffe und damit die Grundlage für das nachhaltige und Ressourcen schonende Bauen. Die geschickte und intelligente Kombination von Holz, als dem stetig nachwachsenden Rohstoff und Beton, dem nachhaltigen Rohstoff, ermöglicht es uns, energiesparende, kosteneffiziente, stabile und langlebige Bauwerke zu planen, zu errichten und zu erhalten.

Es scheint, als ob der Holzbau sich noch immer vor dem Beton, dem kalten, nassen und schweren Element fürchtet. Für das Bauen der Zukunft ist es aber wichtig, dass in der Planung und Realisierung der Holzbauer mit dem Betonbauer ebenso zusammenarbeitet, wie im späteren Gebrauch des Gebäudes das Holz mit dem Beton.

Die größte und effektivste Chance des Zusammenwirkens von Holz und Beton liegt in den Geschosdecken. Die Spannweiten werden hier immer größer, die Anforderungen an die Bauphysik seitens der Bauherren und der Normen immer höher.

## HBV-Decken und Holzbau

### Mit intelligenten Lösungen hohen Anforderungen gerecht werden

Die modernen Bauherren auf der einen Seite und die normativen Anforderungen an die Bauphysik auf der anderen Seite stellen an Deckenkonstruktionen hohe Ansprüche. Die reine „leichte“ Holzbalkendecke bringt nur mit hohem Aufwand zufriedenstellende Ergebnisse. Die reine „schwere“ Stahlbetondecke findet oft unter statischen Gesichtspunkten und in den Verbindungen ihre Grenzen für den Holzbau.

Durch die geschickte Kombination der beiden Baustoffe Holz und Beton mit ihren eigentlich so unterschiedlichen Materialeigenschaften kann ein optimales Gebäude gestaltet werden, welches folgende Vorteile bietet:

- guter Schallschutz
- berechenbare Schwingungen
- Brandschutz
- Optimales Verhältnis von Spannweite und Gewicht
- Holzbau gerechte Details
- Nachhaltigkeit
- Ressourcen schonend

## Vergleich der Deckensysteme:

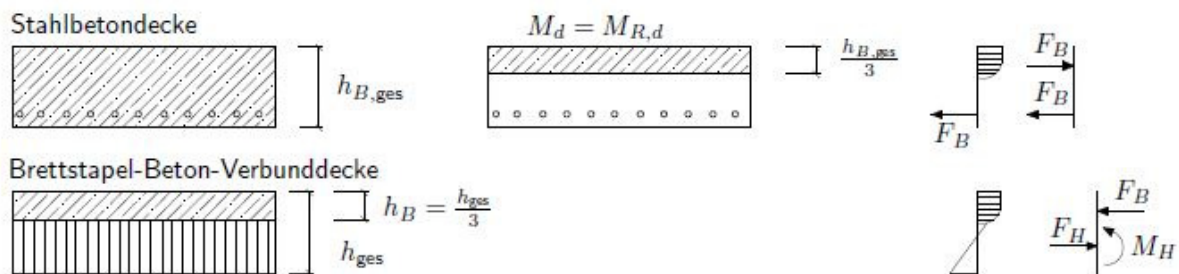
Durch die Verwendung der Holz-Beton-Verbundbauweise werden mehrere Vorteile gegenüber den herkömmlichen Stahlbeton- oder Holzdecken erzielt.

*Gegenüber einer reinen Holzdecke werden folgende Vorteile erzielt:*

- Die Tragfähigkeit und die Steifigkeit werden bei gleicher Bauteilhöhe um etwa 60% erhöht. Dadurch lassen sich auf einfache Art und Weise große Spannweiten realisieren und große Lasten abtragen.
- Geringere Verformungen gegenüber reinen Holzdecken und Systemen ohne Verbundwirkung
- Die Feuerwiderstandsdauer wird wesentlich erhöht. Die auf das Holz aufgebrachte Betonplatte verhindert ein Durchdringen der brennbaren Gase und eine Isolierung der darüber liegenden Stockwerke, so dass ein Feuerüberschlag in das nächste Geschoß verhindert wird (vgl. [Haller und Pannke 1999]).
- Der Schallschutz wird durch das hierfür erforderliche Gewicht des Aufbetons erheblich verbessert.
- Ein hoher Vorfertigungsgrad kann mit Halbfertig- oder Fertigteilen erzielt werden. Hierfür eignen sich insbesondere Plattenelemente aus Brettschichtholz(BSH) und Brettsperrholz(BSP). Der Aufbeton kann bereits im Werk oder auf der Baustelle gegossen werden.
- Eine horizontale Scheibe zur Aussteifung wird gebildet. Durch die Betonplatte wird auf einfache Art und Weise eine Scheibenwirkung zur horizontalen Aussteifung der Decken erzielt. Dieses Ausbilden einer Scheibe ist bisher im Holzbau relativ schwierig, da die traditionellen Holzdecken aus stabförmigen Elementen { Balken und Brettern } bestehen.

Gegenüber einer reinen Stahlbetondecke werden folgende Vorteile erzielt:

- Deutliche Verringerung des Eigengewichts bei annähernd gleicher Tragfähigkeit.
- Werkstoffgerechter Einsatz: Nach [Eurocode 2 ] reißt im Zustand der Tragfähigkeit die Betonplatte zu etwa 2/3 auf, d.h. nur 1/3 der Betonplatte trägt zur Lastabtragung bei, während 2/3 der Betonplatte lediglich zur Querkraftabtragung herangezogen werden (vgl. Abb. 1). Diese gerissenen 2/3 der Betonhöhe werden in der Verbundkonstruktion durch das Holz ersetzt. Dadurch wird neben der Lastabtragung über ein Kräftepaar zusätzlich noch die Momententragfähigkeit des Holzträgers aktiviert.



A  
b  
b  
·  
1  
:  
:  
V  
e  
r  
g

leich zwischen dem Tragverhalten einer Stahlbetondecke und dem einer Brettstapel-Beton-Verbunddecke(vgl. [Schänzlin 2003])

- Deutliche Verbesserung der Ökobilanz: 2/3 der Decke bestehen aus regenerativen Werkstoffen und der Einsatz des bei der Herstellung Energie aufwendigen Stahls wird minimiert.
- Vereinfachung für den Rückbau: Die Materialien sind durch eine Fuge getrennt, so dass ein Recycling der Materialien deutlich vereinfacht wird.
- Beschleunigung des Bauablaufs: Durch die Verwendung von sichtbaren Brettstapelelementen oder Balken kann ein weiterer Ausbau der Decke, z.B. durch eine Verkleidung, entfallen.
- natürliche Ästhetik und Gestaltungsvielfalt des nachwachsenden Rohstoffs Holz

Diesen Vorteilen steht jedoch auch ein vermeintlicher Nachteil entgegen:

- Zwei bisher getrennte Gewerke müssen zusammenarbeiten: Durch die direkte Zusammenarbeit zwischen "Stahlbetonbauer" und "Holzbauer" können Schnittstellenprobleme auftauchen. Allerdings wird im Lauf der Zeit diese Schnittstellenproblematik durch die wiederholte Anwendung deutlich minimiert.

## Verbindungsmittel für HBV-Decken mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung

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 duktileres Verhalten aufweisen, keinesfalls also spröde bzw. plötzlich versagen.

Seit einigen Jahren liegt der Fokus der Forschung insbesondere in der Optimierung der Verbindungsmittel, die folgende Eigenschaften erfüllen sollen:

- Hohe Tragfähigkeit
- Hoher Verschiebungsmodul
- Hohe Duktilität
- Geringe Herstellungs- und Montagekosten

Die Wirtschaftlichkeit einer Holz-Beton-Verbundkonstruktion ist demzufolge von der Steifigkeit und Tragfähigkeit der eingesetzten Verbindungsmittel abhängig. Während die meisten gängigen und zugelassenen Verbindungsmittel ( wie Schrauben, Nägel, Flachstahlschlösser, etc. ) eine mechanische punktförmige Verbindung zwischen Holz und Beton erstellen, schafft es der HBV®-Schubverbinder eine flächige Verbindung zu generieren. Entsprechend liegt der Verschiebungsmodul, der die Leistungsfähigkeit eines Verbindungsmittels beschreibt, im Vergleich zu den punktuellen Verbindungssystemen höher(vgl. [Bathon 2004]).

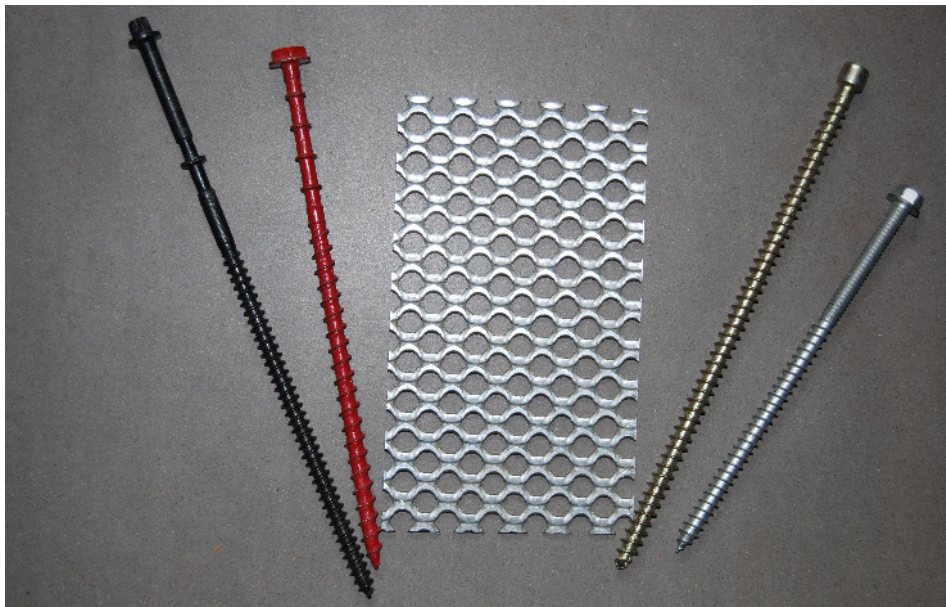


Abbildung 1: Flächige und stiftförmige Verbindungsmittel

Derzeit gibt es für die Holz-Beton-Verbundbauweise folgende Verbindungsmittel mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung.

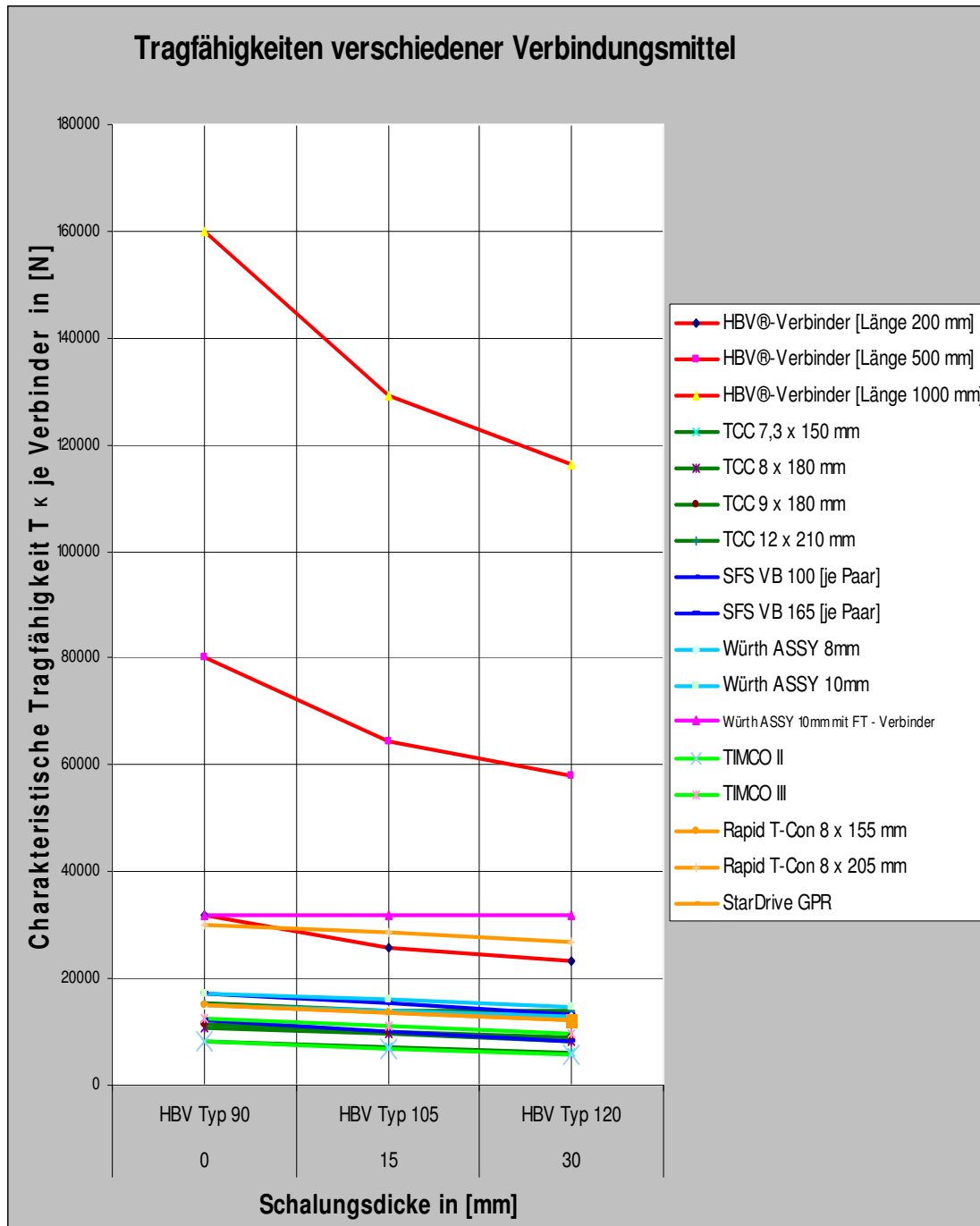
Zulassungsnummer	Zulassungsinhaber	Verbindungsmittel	Gültig bis
<b>Z-9.1-342</b>	<i>SFS intec GmbH &amp; Co. KG</i>	SFS VB Schrauben als Verbindungsmittel in Holz-Beton-Verbundkonstruktionen	2018
<b>Z-9.1-445</b>	<i>Sieglinde Amrath Timco. Vertrieb Deutschland</i>	Timco II und III Schrauben als Verbindungsmittel für das Timco Holz-Beton-Verbundsystem	2017
<b>Z-9.1-473</b>	<i>Hubert Schmid Bauunternehmen GmbH</i>	Brettstapel-Beton-Verbunddecken mit Flachstahlschlössern	2015
<b>Z-9.1-557</b>	<i>TiComTec GmbH</i>	HBV-System mit eingeklebtem HBV-Schubverbinder	2020
<b>Z-9.1-603</b>	<i>Com-Ing AG</i>	TCC Schrauben als Verbindungsmittel für das TCC Holz-Beton-Verbundsystem	2015
<b>Z-9.1-648</b>	<i>Adolf Würth GmbH &amp; Co. KG</i>	Würth ASSYplus VG Schrauben als Verbindungsmittel für Holz-Beton-Verbundkonstruktionen	2017
<b>Z-9.1-845</b>	<i>Schmid Schrauben Hainfeld GmbH</i>	Star-Drive und RAPID Schrauben als Verbindungsmittel für das Schmid Schrauben Holz-Beton-Verbundsystem	2019

## Hohe Tragfähigkeit

Ausschlaggebend für ein möglichst steifes Tragerhalten der Verbundkonstruktion ist die charakteristische Tragfähigkeit und der hohe Verschiebungsmodul, welche das Verbindungsmittel erbringt. Demzufolge lassen sich die verschiedenen Verbinder anhand der diversen bauaufsichtlichen Zulassungen berechnen und deren Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit der Zwischenschicht einander gegenüberstellen:

	<b><u>Schubtragfähigkeit</u></b> <b><u>Frk oder Tk in [N]</u></b>	<b><u>Anfangsverschiebungsmodul</u></b> <b><u>Kser in [N/mm]</u></b>
HBV-Verbinder HBV Typ 90/200	32000	165000
HBV-Verbinder HBV Typ 105/200	25803	79061
HBV-Verbinder HBV Typ 120/200	23236	66282
Würth ASSY 10mm mit FT Verbinder	31713	9000
TCC 7,3 x 150 mm je Schraube	8320	42423
TCC 8 x 180 mm je Schraube	10647	47241
TCC 9 x 180 mm je Schraube	11293	48368
TCC 12 x 210 mm je Schraube	15365	55108
SFS VB 100 [je Paar]	12090	22800
SFS VB 165 [je Paar]	17180	32400
Würth ASSY 8mm je Schraube	15167	20000
Würth ASSY 10mm je Schraube	17235	9000
TIMCO II je Schraube	8134	12740
TIMCO III je Schraube	12350	16900
Rapid T-Con 8 x 155 mm je Schraube	10000	9000
Rapid T-Con 8 x 205 mm je Schraube	10000	9000
StarDrive GPR je Schraube	10000	9000

## Graphischer Vergleich der Schubtragfähigkeiten

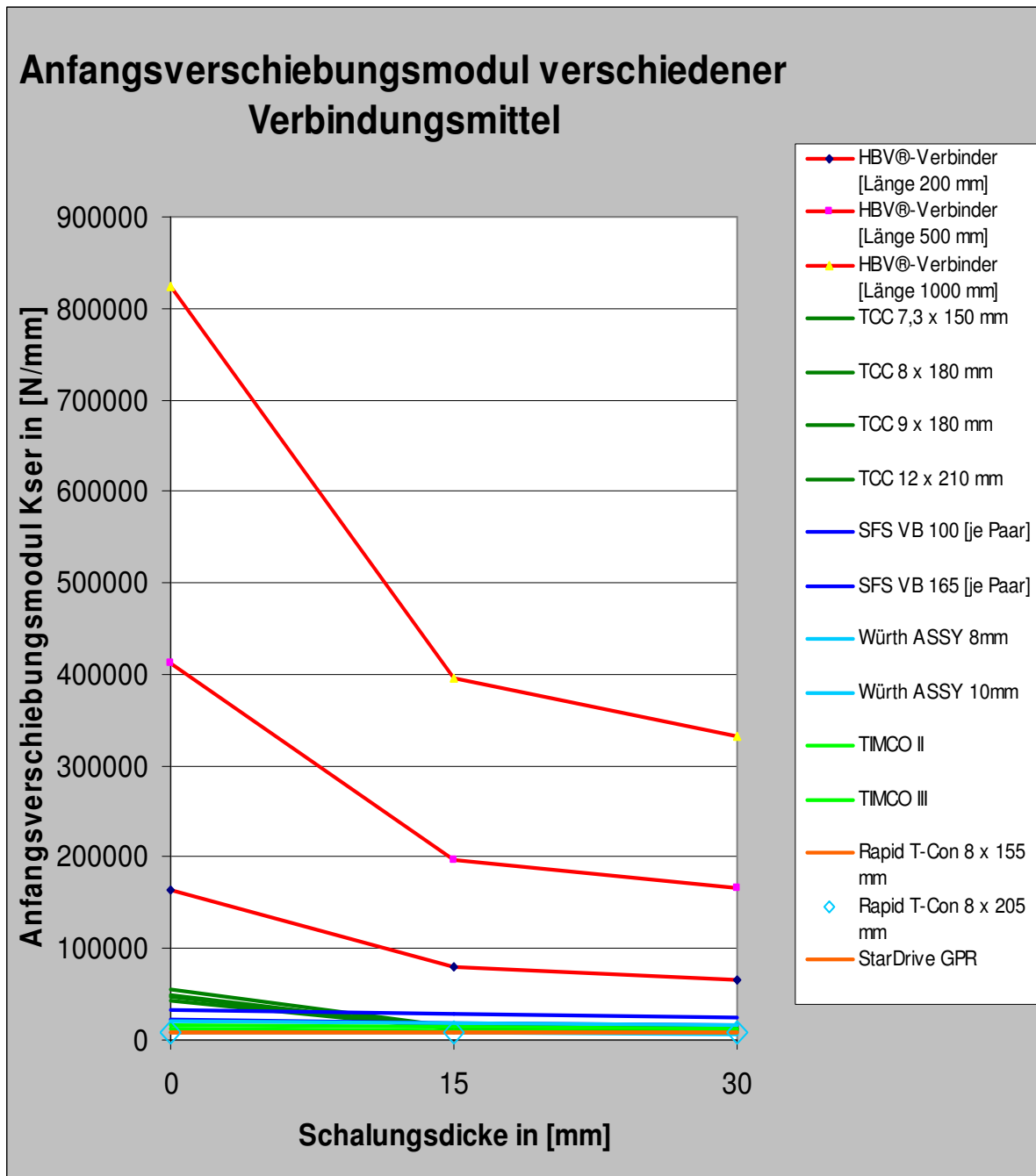


Das Diagramm für die Tragfähigkeit zeigt auf, dass zwischen dem „kleinsten“ HBV®-Schubverbinder und dem FT-Verbinder von Würth nahezu kein Unterschied in der Tragfähigkeit besteht ( $T_K = 32\text{kN}$ ). Die übrigen Schraubensysteme haben eine relativ geringe Streuung im Wert der Tragfähigkeit. Dieser Wert  $T_K$  bewegt sich zwischen 6kN für die SFS VB100 Schraube und ca.15kN für die Würth ASSY und TIMCO III Schrauben.

## Hoher Verschiebungsmodul

Der Verschiebungsmodul ermöglicht dem Ingenieur die Verformung einer Verbindung für unterschiedliche Lastsituationen zu berechnen. Der „anfängliche“ Verschiebungsmodul  $K_{ser}$  wird für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit herangezogen. Für den Nachweis der Tragfähigkeit ist der „anfängliche“ Verschiebungsmodul  $K_u$  zu verwenden.  $K_u$  errechnet sich aus  $K_u = 2/3 \times K_{ser}$ .

Graphischer Vergleich der anfänglichen Verschiebungsmodule



Das Diagramm für den Anfangsverschiebungsmodul  $K_{ser}$  macht den Unterschied zwischen flächig geklebten und mechanischen, punktförmigen Verbindungsmitteln deutlich. Die Unterschiede zwischen den Schrauben sind nahezu marginal.



Der Anfangsverschiebungsmodul des kleinsten HBV®-Schubverbinders beträgt 165 kN/mm. Der „anfängliche“ Verschiebungsmodul für die Schrauben liegt zwischen 9 kN/mm für die Würth ASSY 10mm, Rapid T-Con & Stardrive GPR Schrauben und 55 kN/mm für die TCC (Durchmesser 12mm) Schraube.

## Hohe Duktilität

**Duktilität** (abgeleitet vom lateinisch *ducere*, dt. ziehen, führen, leiten ) ist die Eigenschaft eines Werkstoffs, sich unter Belastung plastisch zu verformen, bevor er versagt. Beispielsweise bricht unbehandeltes Glas ohne erkennbare Verformung; Stahl hingegen kann sich um mehr als 25 % plastisch verformen (je nach Stahlsorte, siehe auch Baustahl), bevor er reißt. Gold ist so duktil, dass es sich auf eine Dicke von wenigen Atomlagen austreiben lässt, siehe Blattgold. Werkstoffe mit dieser Eigenschaft sind im Bauwesen wichtig, damit ein Tragwerk bei zu großen Spannungen sein Versagen gut sichtbar „ankündigt“, bevor es zusammenbricht.

Scherversagen des HBV-Schubverbinders

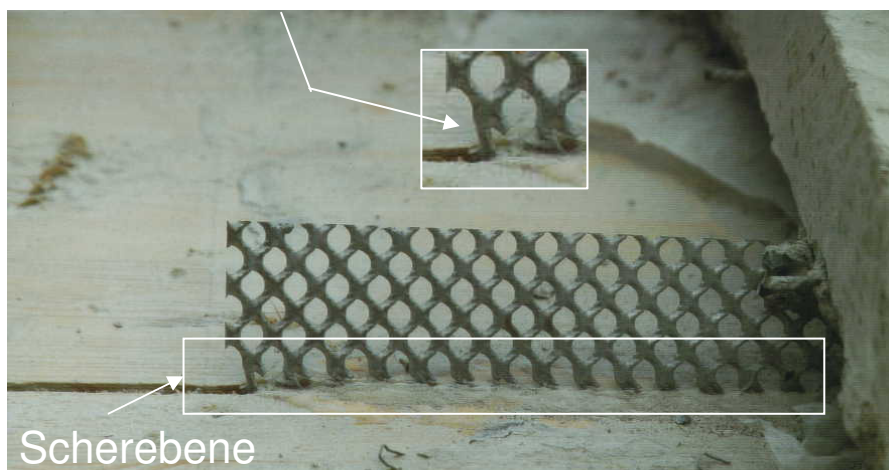


Abbildung 2: Scherversagen flächenförmiger Verbindungsmittel am Beispiel des HBV®-Schubverbinders

(Foto: HochschuleRheinMain Wiesbaden)

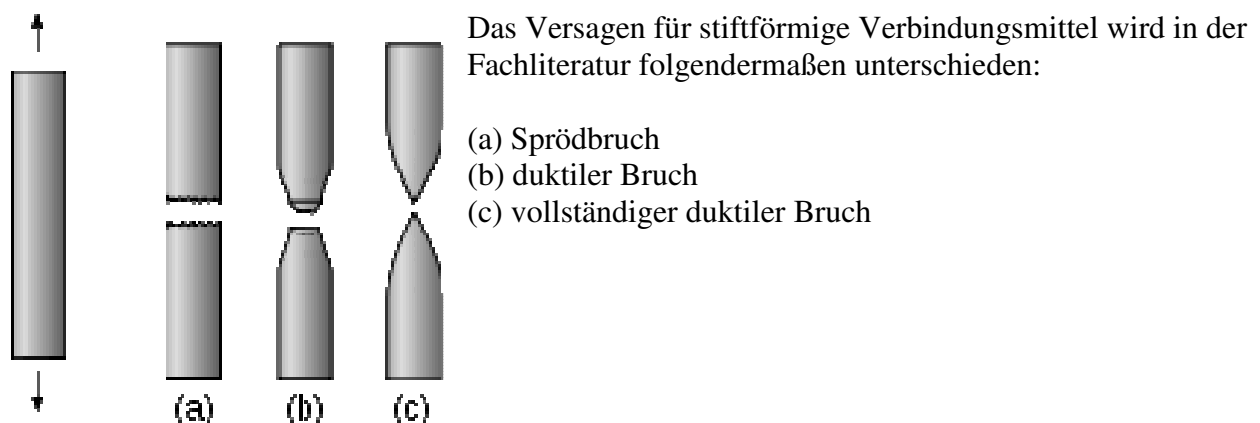


Abbildung 3: Zugversagen stiftförmiger Verbindungsmittel (aus Wikipedia)



## Material- und Herstellungskosten

Neben den reinen Materialkosten entscheiden sicherlich die Herstellungskosten über die Wirtschaftlichkeit eines Verbindungssystems. Die Recherchen im Internet haben ergeben, dass die Materialkosten bei den Schraubensystemen zwischen 0,98 € (TIMCO II)<sup>1</sup> und 4,21 € (Würth ASSY 10x480mm)<sup>2</sup> pro Stück Schraube liegen. Die Kosten für Schrauben ohne bauaufsichtliche Zulassung und Plagiate aus Fernost liegen natürlich niedriger. Reduziert man die Materialkosten der zugelassenen Systeme auf die besser vergleichbare Einheit „€ pro kN“ so ergeben sich Materialkosten für ein Verbindungsmittel von ca. 0,10 bis 0,25 €/kN.

Für die Herstellungskosten gibt es ebenso recht unterschiedliche Aussagen. Um vergleichbare Werte zu erhalten, muss hier auf Baustellenbedingungen, Rüstzeiten, Vorbereitungszeiten, Stundenlöhne etc. verzichtet werden. Es sollen nur die Zeiten für das Anzeichnen und Montieren der Verbindungsmittel verglichen werden.

Schrauben für den Holz-Beton-Verbund werden insbesondere für die Ertüchtigung von Holzbalkendecken im Bestand eingesetzt. Das Eindrehen der Schrauben ist relativ einfach und darf von jeder Hilfskraft ausgeführt werden. Ein besonderer Nachweis für die Herstellung ist nicht erforderlich. Mit dem FT-Verbundsystem von Würth können Betonplatten hergestellt werden, die dann auf die Holzbauteile „trocken“ aufgeschraubt werden. Diese „Trockenbauweise“ bietet Vorteile für den vorgefertigten Systemholzbau. Der eingeklebte HBV-Schubverbinder ist sehr individuell einzusetzen und ist das derzeit einzige Verbindungssystem das auch für dynamische Beanspruchungen zugelassen ist. Einsatzgebiete sind neben den Sanierungen von Balkendecken und vorgefertigten Verbunddecken, hochbeanspruchte Tragkonstruktionen in Erdbebenregionen und auch Schwerlastbrücken. Für die Verklebung der eingeklebten HBV®-Schubverbinder ist eine sogenannte Leimgenehmigung erforderlich und sie soll von geschultem Personal ausgeführt werden.

Die Hersteller von Schrauben und ähnlichen stiftförmigen Verbindungsmitteln, geben hierbei eine Verarbeitungszeit von ca. 180-200 Schrauben pro Stunde an. Hierin ist das Anzeichnen, Ansetzen und Eindrehen der Verbundschrauben enthalten. Für das Verarbeiten des FT-Verbinders von Würth kann sicherlich nur von 80-100 Elementen pro Stunde ausgegangen werden. Für den HBV®-Schubverbinder liegen für das Anzeichnen, Einschneiden und Einkleben von einem 100 cm langen Streifen Zeiten von zwei Minuten vor.

Tabellarisch stellt sich der Leistungsvergleich folgendermaßen dar:

Verbindungsmittel	Tragfähigkeit $T_K$ [in kN je Einheit]	Einheiten pro Stunde	kN pro Stunde
Schrauben	9 - ( $\emptyset$ 12) - 17	200 Stück	2400
FT-Verbinder	32	100 Stück	3200
HBV®-Schubverbinder	160	30 m	4800

<sup>1</sup> Quelle: www.rosa-moser.at//Abgerufen am 01.07.2015

<sup>2</sup> Quelle: Würth e-Shop // Abgerufen am 01.07.2015

Weitere Kosten fallen bei den geschraubten Systemen für die Abstandshalter an, um die für den Beton erforderliche Stahlbewehrung aufliegen zu können. Für den HBV®-Schubverbinder sind in der Regel keine Abstandshalter erforderlich. Die Baustahlmatten werden einfach auf die Verbindungselemente aufgelegt.

## Ausblick

Holz-Beton-Verbunddecken haben sich in den letzten 15 Jahren im Bauwesen einen kleinen Marktanteil schaffen können. Die Anzahl der bauaufsichtlich zugelassenen Verbindungsmittel hat sich in diesem Zeitraum etwa vervierfacht. Die bauphysikalischen Anforderungen und der wachsende Markt für Gebäude und Gebäudeteile lassen hoffen, dass auch der Anteil an Holz-Beton-Verbunddecken mitwächst. Wegen der Vielzahl an Verbindungsmitteln ist es für den Planer und Ingenieur oft schwer, das für den speziellen Fall geeignete Element zu wählen.

Spezialisten sind dann erforderlich - und sollten schon in der frühen Planungsphase angefragt werden.

## Literaturverzeichnis

[Haller und Pannke 1999] Haller, P. ; Pannke, K.: Beiträge zur Statik und Bauphysik von Brettstapel-Decken und -Wänden. In: Haller, P. (Hrsg.): Brettstapelbauweise und ökologische Dämmstoffe, TU Dresden, Institut für Baukonstruktion und Holzbau, 1999

[Schänzlin 2003] J. Schänzlin, Zum Langzeitverhalten von Brettstapel-Beton-Verbunddecken, 2003

[Eurocode 2 1992] Eurocode 2: DIN V ENV 1992 Eurocode 2: Planung von Stahlbeton und Spannbetontragwerken; Teil 1: Grundlagen und Anwendungsregeln für den Hochbau. 1992

[Eurocode 5 DIN EN 1995-1-1:2010-12 Bemessung und Konstruktion von Hochbauten und Ingenieurbauwerken bzw. Bauteilen aus Holz oder Holzwerkstoffen, die geklebt oder mit mechanischen Verbindungsmitteln zusammengefügt sind]

[Bathon 2004] Bathon, L., Holz-Beton-Verbund als starre und duktile Verbindung, Fachartikel zum 10. Internationalen Holzbauforum, 2004

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen für Holz-Beton-Verbinder

Informationen aus den Internetauftritten der Hersteller

© Ingenieurbüro Rainer Bahmer, Goethestr. 60, D-63808 Haibach (08-2015)