

Geklebte Stahl/Holz/Verbindungen – starre Verbindung mit geringer Querschnittsschwächung

Rainer Bahmer
Dipl.-Ing.(FH)
TiComTec GmbH
Holz-Verbund-Systeme
Haibach, Deutschland



Geklebte Stahl/Holz/Verbindungen – starre Verbindung mit geringer Querschnittsschwächung

1. Einleitung

Den Holz-Stahl-Klebeverbund kennt der Holzleimbau eigentlich schon seit Anfang der neunziger Jahre des vorigen Jahrhunderts. Die Technologie zur Querzugverstärkung von gekrümmten Holzleimbauteilen ist relativ einfach:

Loch bohren – Klebstoff einfüllen – Gewindestab einsetzen – fertig.

Erst die neue DIN 1052:2008 ermöglicht in Abschnitt 14.3 das „ordnungsgemäße“ Einkleben von Gewindestangen und Betonrippenstählen in Holz.

Die Technologie hat sich aber in Deutschland, im Gegensatz zur Schweiz, noch nicht flächendeckend durchgesetzt. Das mag wohl auch daran liegen, dass hierzulande für das Einkleben von Stahlteilen eine Leimgenehmigung benötigt wird und somit nicht jeder Holzbauer Zugang zu dieser Technologie hat.

Forschungsergebnisse in den letzten zehn Jahren zeigen, dass in Holz eingeklebte Stahlteile einen innovativen und leistungsstarken Lösungsansatz für die Übertragung von Kräften sowie die Kopplung von Holzbauteilen darstellen. Eingeklebte Stahlbauteile inspirieren zu vielfältigen Anwendungen. Ausführungsbeispiele für das Einkleben von nicht stabförmigen Stahlteilen in Holz gibt es seit ungefähr zehn Jahren. Dieser speziellen Thematik hat sich die noch junge TiComTec GmbH in Kooperation mit der MPA Wiesbaden angenommen, wo zahlreiche Untersuchungen zu nicht stabförmigen in Holz eingeklebten Metallteilen durchgeführt werden.

Die Architektur von Heute fordert filigrane Tragwerke – der Holzbau verpasst hier oftmals Chancen durch zu üppige Querschnitte, ausgehend von den Verbindungen.

Energieeffizienz – CO₂-neutral, Schlagworte, die sich heute fast jeder zu Eigen macht. Kein Baustoff kann es aber besser als der nachwachsende Rohstoff Holz. Das darf uns aber nicht dazu verleiten Raubbau zu betreiben. Sorgsamer Umgang durch bestmögliche (Aus-)Nutzung sollte auch hier die Devise sein.

Der folgende Beitrag soll zeigen, dass dem Holzbau mit innovativen Verbindungen der Markt in die moderne Welt des Bauens weiter geöffnet werden kann.

2. Vorteile geklebter Holz-Stahl-Verbindungen

Die Verwendung der innovativen Holz-Stahl-Klebeverbundtechnologie schafft die Möglichkeit, starre und gleichzeitig duktile Verbindungen auf einfache und kostengünstige Art auszuführen.

Ein weiterer Vorteil ergibt sich zudem aus der Eigenschaft, dass Holz-Stahl-Klebeverbindungen beinahe den vollen Holzquerschnitt mit nur minimalen Querschnittsschwächungen aktivieren können.

Dies ist bei herkömmlichen nachgiebigen mechanischen Verbindungsmitteln nicht oder nur bedingt der Fall. Holz-Stahl-Klebeverbindungen sind von Hause aus sehr ästhetisch, da sie von außen in der Regel nicht sichtbar sind. Das Stahlbauteil ist letztlich durch die innen liegende Positionierung im Holzbauteil sowie die umgebende Klebstoffschicht gut vor Korrosion geschützt.

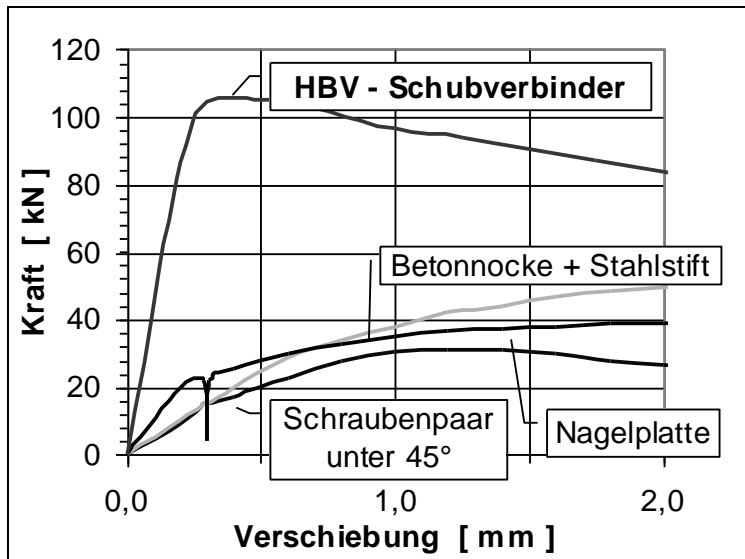


Abbildung 1: Charakteristik einer Klebeverbindung im Vergleich zu mech. Verbindungsmitteln

3. Anforderungen an die Baupraxis

Für den Einsatz von geklebten Verbindungen sind zu beachten:

Kleber:

Für das Einkleben von Metallen in Holz eignen sich insbesondere 2K-Polyurethanklebstoffe und 2K-Epoxydharze. Ein 2K-Polyurethankleber wird seit fast 10 Jahren erfolgreich zum Einkleben von Streckmetallen und Lochblechen eingesetzt. Für das Einkleben von Stahlstäben gibt es eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für einen 2K-Epoxydharz.

Feuchtigkeit:

Erfahrungen liegen in den Nutzungsklassen 1 und 2 vor, d.h., dass die Holzfeuchtigkeit maximal 20 % betragen darf. Versuche mit zunehmender Holzfeuchtigkeit haben gezeigt, dass die Scherfestigkeit stark abnimmt. Diese Tatsache ist jedoch nicht auf die Verklebung zurückzuführen, sondern ist ein schon lange bekanntes Verhalten des feuchten Holzes.

Einwirkungsdauer:

Die Lasteinwirkungsdauer für geklebte Verbindungen wird analog zu den Holzeigenschaften betrachtet, d.h., dass eine längere Lasteinwirkungsdauer unter Normalbedingungen zu einer Abminderung der Festigkeiten führt.

Nahezu keine statistisch auswertbaren Erfahrungen liegen für kumulative Einflüsse von Feuchteänderungen und Temperatur vor. Hier liegen Ansatzpunkte für weitere Forschungen im gesamten Bereich der Verbindungstechnologien.

Temperatur:

Die alte Norm DIN 1052 deckte einen Temperaturbereich für das Bauteil bis 50°C ab. Die neue Norm DIN 1052:2008-12 und die europäische Normung fordern nunmehr einen Temperaturbereich bis 60°C. Für diesen Temperaturbereich wird neben der Scherfestigkeit des Holzes insbesondere das gesamte Temperaturverhalten des Klebers maßgeblich. Für die Bemessung unter Temperatureinfluss wird daher das „klebstoffspezifische Lastniveau“ von besonderer Bedeutung sein.

Duktilität:

Duktilität (aus dem Lateinischen von ducere (ziehen, führen, leiten) abgeleitet) ist die Eigenschaft eines Werkstoffes, sich bei Überbelastung stark plastisch zu verformen, bevor er versagt. Eine Verklebung zeigt bei Herausziehen des Verbindungsmittels ein äußerst sprödes Verhalten. Die Brüche stellen sich bereits bei einer Verformung von 0,5 bis 1 mm ein (siehe Abbildung 1). Das Verbindungsmittel sollte daher so ausgelegt werden, dass für die Tragfähigkeit der Verbindung die Tragfähigkeit des Metallteils und nicht die Festigkeit des Holzes oder der Klebefuge maßgebend wird.

Robustheit:

Ein Tragwerk und seine Bauteile sollten so ausgelegt sein, dass Schädigungen oder ein Versagen der Struktur auf Ausmaße begrenzt werden, die in einem vertretbaren Verhältnis zur Ursache stehen. Die Robustheit einer eingeklebten Holz-Stahl-Verbindung kann z.B. durch eine größere Klebefläche beeinflusst werden.

Geklebte Verbindungen sind für das gesamte Tragsystem von besonderer Bedeutung und sollten für die statische Bemessung folgenden Bedingungen genügen:

- ausreichendes Tragvermögen
- angemessene Steifigkeit
- hohe Duktilität

4. Ausführungsbeispiele für die Praxis

4.1 Eingeklebte Stahlstäbe

4.1.1 Einleitung von Druckkräften

Für eine Brücke in Holz-Beton-Verbundbauweise als 2-Feldträger ergeben sich über dem Mittelaufleger Kräfte von $V_d = 400$ kN. Bei einer Trägerbreite von 32 cm errechnet sich die erforderliche Auflagerlänge für Brettschichtholz GL28c zu:

$$f_{c,90,d} = V_d / (b \times (3,0 + l_A + 3,0)) / k_{c,90} \Rightarrow \text{erf. } l_A \geq V_d / (b \times f_{c,90,d} \times 1,75) - 6 = \text{ca. } 43 \text{ cm}$$

Durch den Einsatz von eingeklebten Stahlstäben sind wesentlich geringere Abmessungen für das Auflagerblech nötig.

Für die Kräfteinleitung senkrecht zur Faser über eingeklebte Stahlstäbe wird von einer weitgehend gleichmäßigen Kraftverteilung über die Ankerlänge ausgegangen.

Für die anstehende Aufgabe wurde folgender Lösungsansatz gewählt:

Mittelaufleger der Randträger: $V_d = 400$ kN

Wahl der Verbindungsmittel: $n = 9$ Stück

Gewindestangen M20-4.8

oder Beton-Stahlstab BSt500S-Ø20

Einklebelänge: $l_{ad} = 50$ cm

Nachweis der Klebfugenfestigkeit:

$$R_{ax,d,G} = \pi \times d \times l_{ad} \times f_{k1,d} \quad \text{mit} \quad f_{k1,d} = (5,25 - 0,005 \times l_{ad}) \times 0,8/1,3 = 1,69 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta = 400 \times 1000 / (9 \times \pi \times 20 \times 500 \times 1,69) = 0,84 < 1,0$$

Nachweis der Druckfläche am Ende der eingeklebten Stahlstäbe:

$$\sigma_{c,90,d} = 10 \times 400 / 32 / 122 = 1,02 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta = 1,02 / (0,9/1,3 \times 2,7) = 0,54 < 1,0$$

Es kann somit eine Stahlplatte mit den Abmessungen von 31cm x 34 cm gewählt werden, die sich sehr gut an die Querschnitte der Brettschichtholzträger anpassen. Die Stahlstäbe können aufgeschweißt oder geschraubt werden.

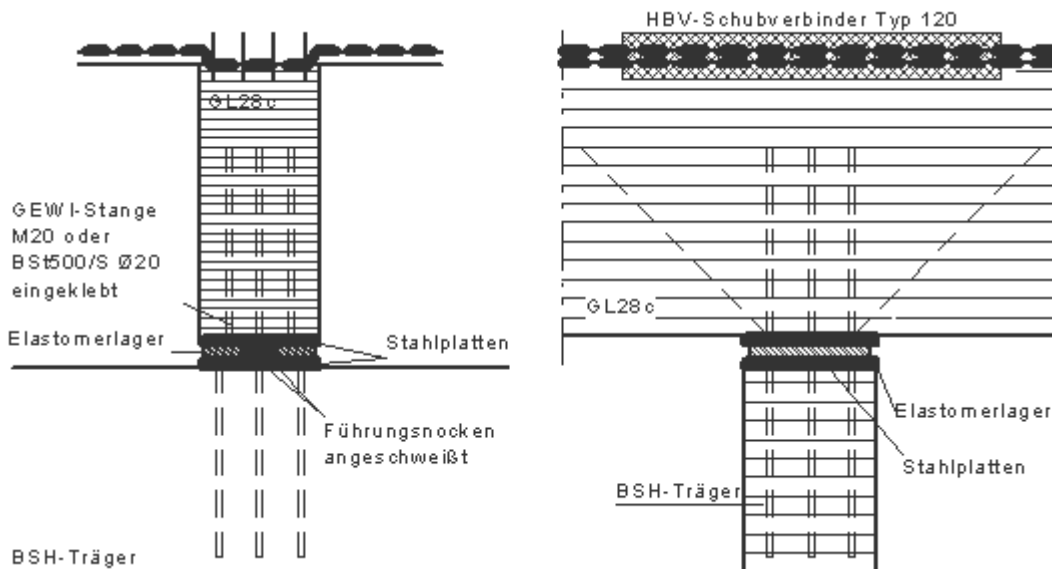


Abbildung 2: Eingeklebte Stahlstäbe zur Übertragung von hohen Druckkräften

4.1.2 Einleitung von Zugkräften

Die DIN 1052:2008-12 fordert ein hohes Maß von Duktilität. Diese Normvorgabe ist eigentlich kaum zu erfüllen.

Gehri hat in Zugversuchen nachgewiesen, dass eine 4^{er}-Gruppe von Stahlstäben optimale Ergebnisse liefert, wenn die Geometrien der Stahlstäbe und deren Festigkeiten gut aufeinander abgestimmt werden.

Am Beispiel eines Deckenbalkens der an einen Stahlbetonsturz angehängt ist, soll dies verdeutlicht werden.

Nachgewiesen wird die Tragfähigkeit einer eingeklebten 4^{er}-Verbindungsmittelgruppe jeweils als Betonrippenstahl und als Gewindestange.

Vorgaben:

Träger:

Breite	b = 16,00 cm
Höhe	h = 53,00 cm
Material	Brettschichtholz - GL28h

Nutzungsklasse und Lasteinwirkungsdauer:

Nutzungsklasse	NKL = 2
Lasteinwirkungsdauer	KLED = mittel
Modifikationsbeiwert	k _{mod} = 0,80

Einwirkung:

Bemessungskraft	V _d = 85 kN
-----------------	------------------------

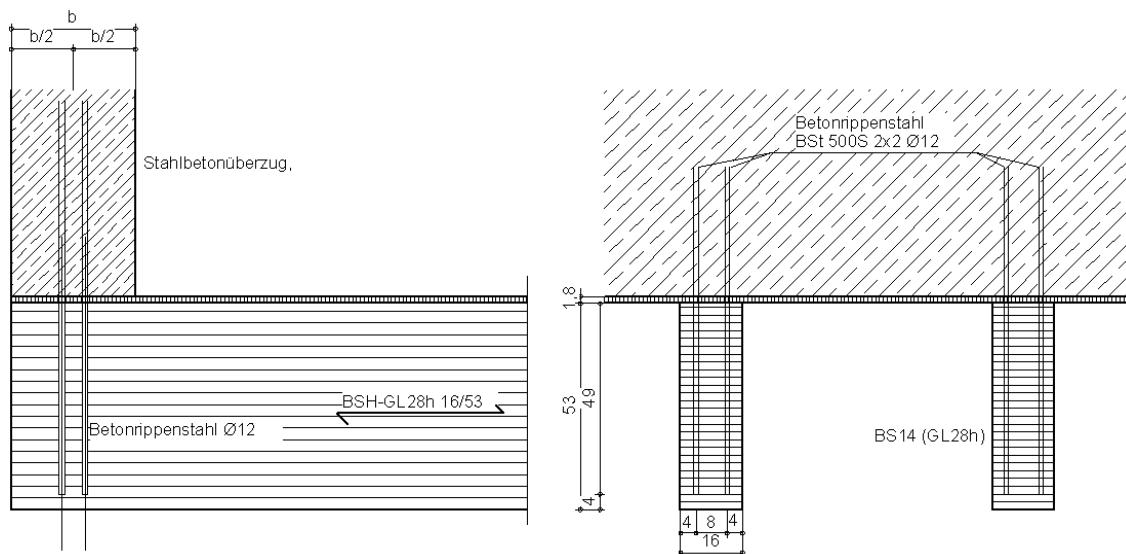
Systemskizze:

Abbildung 3: Eingelebte Stahlstäbe zur Übertragung von hohen Zugkräften

Nachweis für eine Ausführung mit **Betonrippenstahl Ø12**

Streckgrenze		$f_{y,k} = 500,00 \text{ N/mm}^2$
Stabaußendurchmesser		$d_r = 12,00 \text{ mm}$
Spannungsquerschnitt $A_{ef} = d_r \cdot d_r \cdot \pi / 4$		$= 113,10 \text{ mm}^2$
Anzahl		$n = 4$
effektive Einklebelänge $l_{ad} = 10 \cdot (h - 4)$		$= 490,00 \text{ mm}$
aufnehmbare Zugkraft $R_d = A_{ef} \cdot f_{y,k} / 1,25 / 1,1$		$= 46736,00 \text{ N}$
Klebefugenfestigkeit $f_{k1,k} =$		$= 2,80 \text{ N/mm}^2$
	$f_{k1,d} = f_{k1,k} \cdot k_{mod} / \gamma_M$	$= 1,72 \text{ N/mm}^2$
Bemessungszugkraft $F_{t,90,d} = V_d \cdot 1000$		$= 85000,00 \text{ N}$
Klebefugenspannung $\tau_{ef,d} = F_{t,90,d} / (n \cdot d_r \cdot \pi \cdot l_{ad})$		$= 1,15 \text{ N/mm}^2$
		$\eta = 1,15 / 1,72 = 0,66$

Nachweis für eine Ausführung mit **Gewindestab Ø16-4.6**

Streckgrenze		$f_{y,k} = 240,00 \text{ N/mm}^2$
Stabaußendurchmesser		$d_r = 16,00 \text{ mm}$
Spannungsquerschnitt		$A_{ef} = 157,0 \text{ mm}^2$
Anzahl		$n = 4$
effektive Einklebelänge $l_{ad} = 10 \cdot (h - 4)$		$= 490,00 \text{ mm}$
aufnehmbare Zugkraft $R_d = A_{ef} \cdot f_{y,k} / 1,21$		$= 31140,00 \text{ N}$
Klebefugenfestigkeit		$f_{k1,k} = 2,80 \text{ N/mm}^2$
	$f_{k1,d} = f_{k1,k} \cdot k_{mod} / \gamma_M$	$= 1,72 \text{ N/mm}^2$
Bemessungszugkraft $F_{t,90,d} = V_d \cdot 1000$		$= 85000,00 \text{ N}$
Klebefugenspannung $\tau_{ef,d} = V_d / (n \cdot d_r \cdot \pi \cdot l_{ad})$		$= 0,86 \text{ N/mm}^2$
		$\eta = 0,86 / 1,72 = 0,50$

Nachweise:

Klebefuge mit Betonrippenstahl:	$\tau_{ef,d} / f_{k1,d}$	= 0,66 < 1
Stahlstab als Betonrippenstahl:	$F_{t,90,d} / (n \cdot R_d)$	= 0,49 < 1
Klebefuge mit Gewindestab:	$\tau_{ef,d} / f_{k1,d}$	= 0,50 < 1
Stahlstab als Gewindestab $\varnothing 16-4,6$:	$F_{t,90,d} / (n \cdot R_d)$	= 0,68 < 1

Mit der eingeklebten Gewindestange wären die Anforderungen der DIN 1052:2008-12 an die Duktilität der Verbindungsmittel zu erfüllen. Das Einbetonieren von Gewindestäben wird aber in der DIN 1045 nicht explizit geregelt. Es sollte aber durch eine mechanische Verankerung der Gewindestange möglich sein eine praxisnahe Lösung zu erhalten.

4.2 Eingeklebte Streckmetalle

Für die Verwendung von Streckmetallen in geklebten Holz-Stahl-Verbindungen in Holz-Beton-Verbundkonstruktionen gibt es eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, geführt unter der Nummer Z-9.1-557 beim Deutschen Institut für Bautechnik in Berlin.

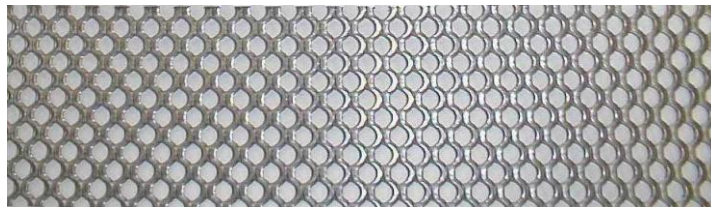


Abbildung 4: Spezielles Streckmetall zur Verwendung in Holz-Beton-Verbundbauteilen

Die Geometrie des Streckmetalls ist, unter Berücksichtigung der Stahlgüte, so ausgelegt, dass im Versagensfall im System zunächst immer ein Stahlversagen (hohe Duktilität) provoziert wird.

In der bauaufsichtlichen Zulassung ist geregelt, dass das Streckmetall mindestens 40 mm in das Holz eingeklebt wird und mindestens 50 mm tief in den Beton einbindet.

Im Rahmen der Zulassungsversuche wurden auch Versuche an Holz-Holz-Prüfkörpern durchgeführt, die über eingeklebte Streckmetalle miteinander verbunden waren. Die Untersuchungsergebnisse zeigten, dass ein Verbinden von zwei Holzquerschnitten über eingeklebte Streckmetalle zu einer nahezu starren Verbindung führt.

Die Ergebnisse aus den Scherversuchen mit Holz-Holz-Verbindungen und den Holz-Beton-Verbindungen waren nahezu identisch.

Nach der bauaufsichtlichen Zulassung für das HBV-System sind folgende Geometrien einzuhalten:

Kleinster Holzquerschnitt: 8/8 cm, Einklebetiefe: 40 mm, Nutbreite: maximal 3,2 mm. Daraus ergibt sich eine Bruttoquerschnittsfläche von $A_b = 64 \text{ cm}^2$ und eine Nettoquerschnittsfläche von $A_n = 62,72 \text{ cm}^2$. Der kleinste Ausnutzungsgrad errechnet sich somit zu

$$\eta = 62,72 / 64,0 = 0,98$$

– ein Wert, der in der Praxis wohl zu vernachlässigen ist.

Eingeklebte Streckmetalle werden insbesondere in Holz-Beton-Verbunddecken eingesetzt. Neben den bauphysikalischen Anforderungen wie Schallschutz und Schwingungen können auch bei diesen meist weit gespannten Konstruktionen die Belange des Brandschutzes erfüllt werden. Brandversuche an der TU Wien haben gezeigt, dass mit diesen Konstruktionen auch die Feuerwiderstandsklassen F30B und F60B erreicht werden können.

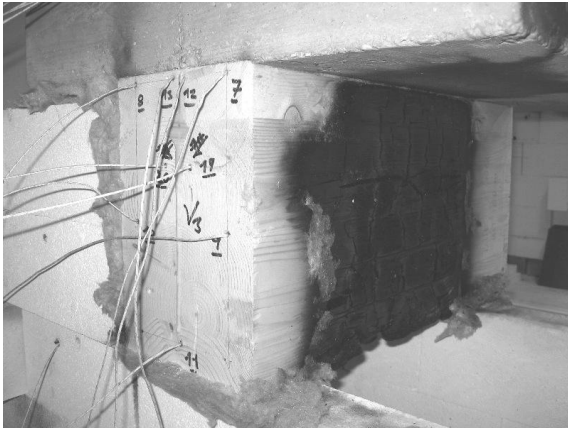


Abbildung 5: Brandversuch an einem Holz-Beton-Verbundelement an der TU Wien

Streckmetalle wurden erstmals im Jahr 2006 für eine kleine Brücke in Luxemburg eingesetzt. Die Spannweite betrug ca. 10 m, die lichte Weite zwischen den Geländern 3,50 m. Damit kann die Brücke auch durch Versorgungsfahrzeuge bis zu einem Gesamtgewicht von 7500 kg befahren werden.

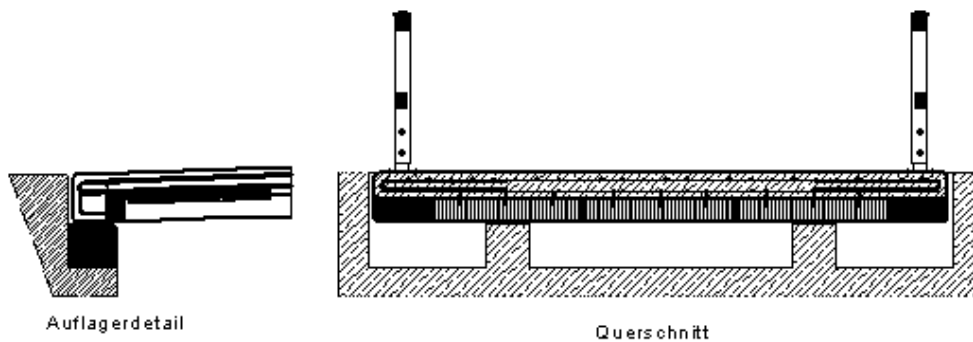


Abbildung 6: Längs- und Querschnitt einer HBV-Brücke mit indirektem Auflager

Beim Konstruieren der Brücke wurde besonders auf den konstruktiven Holzschutz geachtet. Kein tragendes Holzbauteil ist der direkten Bewitterung ausgesetzt und genügt somit der Nutzungsklasse 2. Am Auflager wird die anteilige Querkraft aus dem Holz über eingeklebte Streckmetalle in den Beton eingeleitet. Dadurch erhält das Holz am Auflager, eigentlich ohne Mehraufwand, eine Querkraftbewehrung und die ohnehin geringe Querdrukfestigkeit des Holzes wird nicht in Anspruch genommen. Das Auflagerfundament ist weiterhin so ausgebildet, dass keine Staunässe entstehen kann.

Hochgezogene Auflager in Holz-Beton-Verbunddecken wurden in der Zwischenzeit schon vielfach mit Streckmetallen und eingeklebten Stahlstäben insbesondere in Österreich und der Schweiz ausgeführt.

Je nach örtlicher Gegebenheit können die Holz-Zugbänder der Brücken als Platten oder als Balken ausgeführt werden.



Abbildung 7: Holz-Beton-Verbundbrücken in Kayl (L) und Purkersdorf (A)

4.3 Eingeklebte Lochbleche

Die zuvor beschriebenen Streckmetalle eignen sich nicht zum Verschweißen mit anderen, dickeren Blechen. Mit schweißbaren dünnen Lochblechen ist es möglich Knotenverbindungen zu kreieren, die als Alternative den Anforderungen von z.B. Stabdübel- oder Nagelverbindungen oder von Verbindungen mit Dübeln besonderer Bauart hervorragend genügen.

Vorversuche an der MPA Wiesbaden und auf deren Basis bereits ausgeführte Projekte haben dazu geführt, dass für diese neue innovative Verbindungsmittelart eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung beim DIBt beantragt werden konnte.

Obwohl die Lochbleche einen „höheren Metallgehalt“ als die Streckmetalle haben, ist es möglich eine volle Duktilität der Verbindung durch das Fließen des Bleches zu erhalten. Das folgende Bild eines auf Druckscheren beanspruchten Holz-Holz-Prüfkörpers zeigt die zu Ovalen verformten Lochreihen.

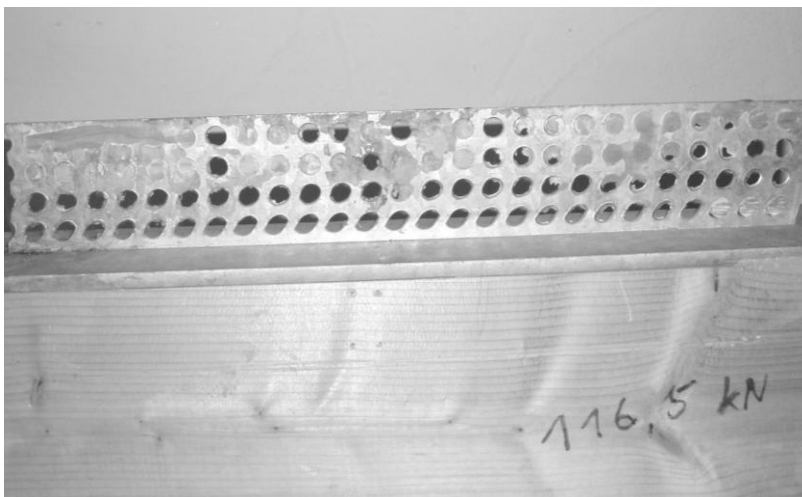


Abbildung 8: Verformung der unteren Lochreihen eines Lochbleches (Duktilität)

Aus der Vielzahl der Versuche mit eingeklebten, geschweißten Stahlblechen (siehe Bild oben) kann hergeleitet werden, dass der Schwerpunkt der Verbindungsmittel etwa zwei Zentimeter von der Schweißfuge entfernt angenommen werden kann. Daraus ergibt sich eine sehr effiziente Anwendungsmöglichkeit z.B. für eingespannte Holzstützen.

Beispiel für einen Lösungsansatz:

Eingespannte Holzstütze: GL28c-24/64cm, NKL 1; $k_{mod} = 0,9$;

Einspannmoment: $M_d = 300 \text{ kNm}$

Druckkraft=Zugkraft: $D_d = Z_d = 300/0,60 = 500 \text{ kN}$

Die Zugkraft ist durch die eingeklebten Lochbleche zu übertragen.

Brutto Holzquerschnitt: $A_b = 24 \times 64 \text{ cm} = 1536 \text{ cm}^2$

Netto Holzquerschnitt $A_n = 1536 - 15,6 = 1520,4 \text{ cm}^2$

$\eta = 0,99 \Rightarrow$ zu vernachlässigen

Nachweis der Holz-Stahl-Klebeverbindung:

Charakteristische Tragfähigkeit: $R_{HSK,k} = 263 \text{ kN pro Meter Lochblech}$
(aus Untersuchungsbericht MPA Wiesbaden 2009)

Bemessungswert der Tragfähigkeit: $R_{HSK,d} = 263 \text{ kN} * 0,9/1,25 = 189,4 \text{ kN}$

Erforderliche Länge HSK-Lochbleche: $l_A = 500 \text{ kN}/189,4 \text{ kN/m} = 2,64 \text{ m}$

Gewählt: 3 Reihen á 1,00 m $\eta = 0,88$

In Abhängigkeit der gewählten Lochblechlänge ($20 \text{ cm} < l_{Blech} < 100 \text{ cm}$) kann aus den bisherigen Versuchsergebnissen folgende, vorläufige Gleichung für die Bemessung der Tragfähigkeit eines auf Schub beanspruchten Lochbleches mit vier nebeneinander liegenden Lochreihen abgeleitet werden:

$$R_k = (6,5 \times l_{Blech} \times (1 + 0,00082 \times l_{Blech}))^{0,85} \quad (l_{Blech} \text{ in cm})$$

Nachweis der Klebfugenfestigkeit:

Schubspannung: $\tau_d = 10 \times 500 \text{ kN}/(3 * 2 * 650 \text{ cm}^2) = 1,28 \text{ N/mm}^2$

Klebfugenfestigkeit: $f_{v,k,d} = 0,8 * 0,9/1,3 * 4,0 \text{ N/mm}^2 = 2,22 \text{ N/mm}^2$

$\eta = 1,28 / 2,22 = 0,58$

Der Faktor 0,8 für die Klebfugenfestigkeit wird hier als weiterer Sicherheitsfaktor gewählt, bis die Werte in einer Zulassung bestätigt werden.

Nachweis des Holzquerschnittes auf Abscheren:

Vorholzlänge: $l_v = 40 \text{ cm}$

Schubspannung: $\tau_{A,d} = 500 \text{ kN} / (140 \text{ cm} * 24 \text{ cm}) = 1,48 \text{ N/mm}^2$

Schubfestigkeit: $f_{v,d} = 0,9/1,3 * 2,5 \text{ N/mm}^2 = 1,73 \text{ N/mm}^2$

$\eta = 0,85$

Der gewählte Lösungsansatz lässt auf ein duktilen Verhalten der Verbindung im Versagensfall schließen.



Abbildung 9: Block-Schersagen einer Holz-Stahl-Klebeverbindung im Biegezugbereich

Weitere Versuche an der MPA Wiesbaden haben gezeigt, dass bei Verbindungen mit eingeklebten Lochblechen die eingeleitete Bruchkraft auf der Widerstandsseite sehr nahe an die addierten Festigkeiten aus Scheren und Zug reicht. Das Bruchbild zeigt sowohl einen Scherbruch, als auch Zugbruch. Der oben gewählte Ansatz mit einer Vorholzlänge von 40 cm wird als konservativ betrachtet.

Ausführungsbeispiele:



Abbildung 10: Eingespannte Holzstütze bei der Vormontage der HSK-Verbindung



Abbildung 11: Versuchsanordnung für eine biegesteife Rahmenecke

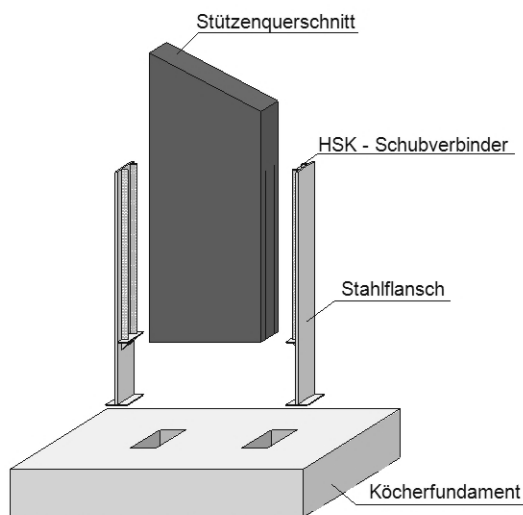


Abbildung 12: Systemskizze eingespannte Stütze

Zur Ermittlung der Systemkennwerte für die HSK-Verbindungstechnologie wurden zahlreiche Versuche an kleinen Prüfkörpern für z.B. Temperaturversuche und an großen 1:1-Modellen wie z.B. biegesteifen Rahmenecken durchgeführt.

Mit den aus diesen Versuchsreihen erhaltenen Erkenntnissen konnten zwischenzeitlich unterschiedliche Projekte in ganz Europa umgesetzt werden.

Trotzdem sieht der Verfasser noch erheblichen Forschungsbedarf, um z.B. weitere Erkenntnisse über die Auswirkungen von Einklebetiefen und Gruppeneffekten zu erhalten.

4.4 Eingeklebte Rohrverbinder

Eine Alternative zu den im Unterpunkt 3.1 besprochenen eingeklebten Stahlstäben können eingeklebte Rohrhülsen sein. An der MPA Wiesbaden wurden vor geraumer Zeit unterschiedliche Geometrien, Oberflächenbeschaffenheiten, Materialien, Randabstände usw. untersucht. Erste Traglastversuche an den unterschiedlichen Versuchskörpern haben gezeigt, dass die zuvor genannten Parameter einen erheblichen Einfluss auf die Verbindungsmittelkapazität haben.



Abbildung 13: unterschiedliche Rohrhülsen

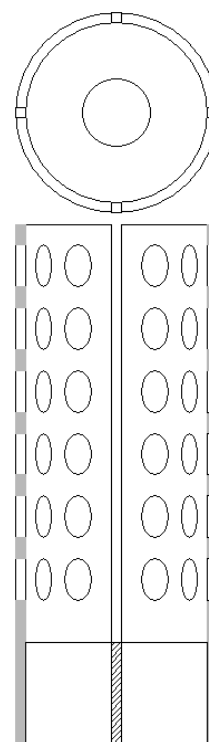


Abbildung 14: Studie zu einer neuen Oberflächenstruktur

Versuche mit einzelnen Rohrhülsen und den zuvor genannten unterschiedlichen Parametern haben Bruchlasten von 80 bis 135 kN gezeigt.

Zukunftsweisend erscheint eine Rohrhülse aus Stahl S235 mit einem 10 cm langen und 3 mm dicken Grundkörper mit einem doppelseitigen Gewinde. Die Kopfplatte ist 2,5 cm dick und hat ein Innengewinde M16 für weitere mögliche Anbauteile.

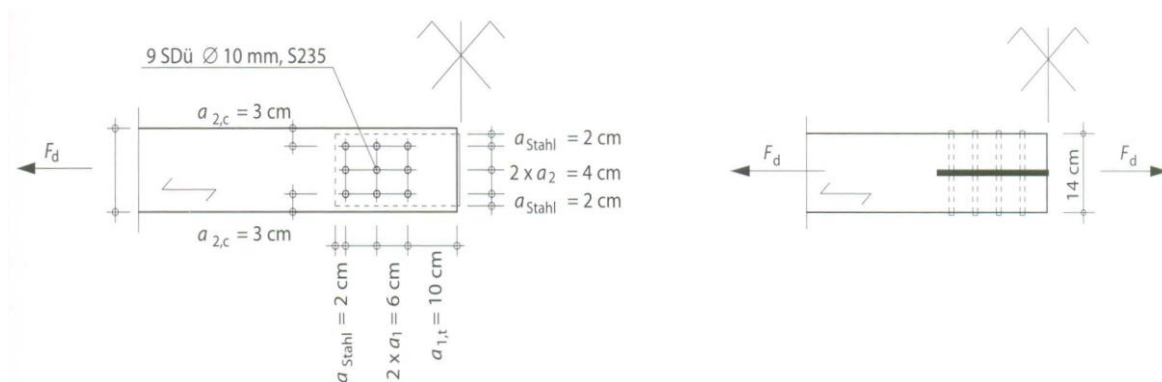
Zugversuche an einer 4^{er}-Gruppe Rohrverbinder mit Schrauben M16-8.8, eingeklebt in ein Brettschichtholz GL24h mit Querschnitt 16/16 cm, haben gezeigt, dass es bei einem Lastniveau von ca. 450 kN zu einem Versagen des Holzquerschnittes kommt. Das entspricht einer Bruchlast von 112,5 kN für einen einzelnen Rohrverbinder.

Die Leistungsfähigkeit des Verbindungsmittels „eingeklebter Rohrverbinder“ zeigt nachfolgende Berechnung im Vergleich zu einer Stabdübelverbindung mit innen liegendem Stahlblech auf.

Stabdübel-Schlitzblech:

Vorgaben (aus Krämer; Für den Holzbau, Aufgaben und Lösungen nach DIN 1052):

Zugstab	C30, 14/14 cm
Stahllasche	S235, 10/120 mm
Einwirkung	$F_d = 90$ kN
NKI 2, KLED kurz,	$k_{mod} = 0,9$
Stabdübel	Ø10 mm, S355



Bruttoquerschnittsfläche:	$A_b = 196$ cm ²
Nettoquerschnittsfläche:	$A_n = (14-3) * 12,9$ cm ² = 141,9 cm ²

Zugtragfähigkeit des Brutto-Holzquerschnittes $14/14$ cm² = 196 cm²
 $R_{t,0,d} = 0,9/1,3 * 18,0$ N/mm² * 19600mm² = 244246N = 244,25 kN

Zugtragfähigkeit des Netto-Holzquerschnittes 141,9 cm²
 $R_{t,0,d} = 0,9/1,3 * 18,0$ N/mm² * 14190mm² = 176829N = 176,83 kN

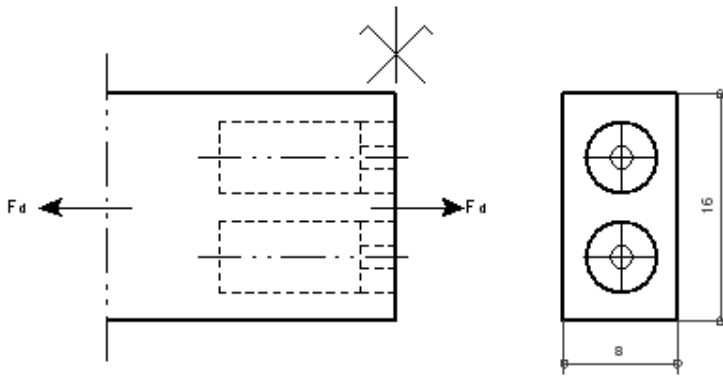
Ausnutzung des Holzquerschnitts (Verschnitt):	$\eta_{Holz} = 0,72$
Ausnutzung des Brutto-Holzquerschnitts (Tragfähigkeit):	$\eta_{Brutto} = 0,37$
Ausnutzung des Netto-Holzquerschnitts (Tragfähigkeit):	$\eta_{Netto} = 0,51$

Nachweis der Verbindungsmittel:
 $F_d/R_{d,tot} = 90000$ N / (3 * 2,37 * 2 * 6479 N) = $\eta_{VM} = 0,98$

Die gewählte Verbindung ist duktil.

HSK-Rohrverbinder

Zugstab	C30, 8/16 cm
Rohrverbinder	Ø50, S235,
Schrauben	M16-5.6
Einwirkung	$F_d = 90$ kN
NKI 2, KLED kurz,	$k_{mod} = 0,9$



Bruttoquerschnittsfläche: $A_{\text{brutto}} = 128 \text{ cm}^2$
 Nettoquerschnittsfläche: $A_{\text{netto}} = 128 \text{ cm}^2 - 2 \times 3,71 \text{ cm}^2 = 120 \text{ cm}^2$

Zugtragfähigkeit des Brutto-Holzquerschnittes, $A_{\text{brutto}} = 128 \text{ cm}^2$
 $R_{t,0,d} = 0,9/1,3 \times 18,0 \text{ N/mm}^2 \times 12800 \text{ mm}^2 = 159608 \text{ N} = 160 \text{ kN}$

Zugtragfähigkeit des Netto-Holzquerschnittes, $A_{\text{netto}} = 120 \text{ cm}^2$
 $R_{t,0,d} = 0,9/1,3 \times 18,0 \text{ N/mm}^2 \times 12000 \text{ mm}^2 = 149538 \text{ N} = 150 \text{ kN}$

Nachweis der Verbindungsmittel:
 Bauschraube M16-5.6 $N_{R,d} = 2 \times 49,8 \text{ kN} = 99,6 \text{ kN}$

Klebfugenfestigkeit:
 Klebefläche: $A_{\text{ad}} = 10 \text{ cm} \times 29,8 \text{ cm} \times 2 = 596 \text{ cm}^2$
 $f_{k1,d} = 0,9/1,3 \times 4,0 \text{ N/mm}^2 = 2,77 \text{ N/mm}^2$
 Tragfähigkeit der Klebefuge:
 $R_{k1,d} = 2,77 \text{ N/mm}^2 \times 59600 \text{ mm}^2 = 165092 \text{ N} = 165 \text{ kN}$

Ausnutzung des Holzquerschnitts (Verschnitt):	$\eta_{\text{Holz}} = 0,94$
Ausnutzung des Brutto-Holzquerschnitts (Tragfähigkeit):	$\eta_{\text{Brutto}} = 0,56$
Ausnutzung des Netto-Holzquerschnitts (Tragfähigkeit):	$\eta_{\text{Netto}} = 0,60$
Ausnutzung des Verbindungsmittels (Schraube):	$\eta_{\text{VM}} = 0,90$
Ausnutzung der Klebefuge:	$\eta_{k1} = 0,55$

Die gewählte Verbindung ist duktil und genügt somit den Anforderungen der DIN 1052.

Der Vergleich zeigt, dass durch das eingeklebte Verbindungsmittel gegenüber dem mechanischen Verbindungsmittel durchaus 20% an Holz gespart werden kann.

5. Zusammenfassung

Vergleichende Berechnungen haben gezeigt, dass mit geklebten Verbindungen ein beachtliches Einsparpotenzial im Holzverbrauch gegeben sein kann.

Unter gleichen Voraussetzungen hat eine geklebte Holz-Stahl-Verbindung viele Vorteile

- die „Holzausbeute“ kann durch minimale Querschnittsschwächung gesteigert werden
- die Steifigkeit ist sehr hoch
- die Tragfähigkeit des Holzquerschnitts kann besser genutzt werden
- das Bauteil kann filigraner gestaltet werden
- die Verbindung kann für ein duktilen Verhalten im Versagensfall ausgelegt werden
- Ästhetik
- Korrosionsschutz

Die Holz-Stahl-Klebertechnologie steht erst am Anfang ihrer Entwicklung, das Anwendungspotenzial erscheint sehr vielfältig. In zahlreichen Versuchen wurden Metallteile und Kleber abgestimmt und auf ihre Gebrauchstauglichkeiten für die unterschiedlichen Anforderungen getestet.

Für den Holzbau ist es lohnenswert die bisher gewonnenen Erfahrungen zu nutzen und in diese Richtung weiter zu forschen.

6. Danksagung

Der Verfasser dieses Berichts bedankt sich bei Prof. Bathon und den Mitarbeitern, insbesondere Herrn Bletz, Herrn Schmidt, Herrn Weber, Herrn Weil und weiteren Studenten an der MPA Wiesbaden für die nun zehnjährige gute Zusammenarbeit in der Forschung und Entwicklung der geklebten Holz-Stahl-Verbindungen.

7. Literatur

- [1] Bathon, L.; Bletz, O.; Schmidt, J. (2006): „Untersuchungsbericht zum Holz-Stahl Klebeverbundsystem mit eingeklebten Lochblechen“, Fachhochschule Wiesbaden, Holzbaulabor
- [2] Gehri, Ernst: „Eingeklebte Anker - Anforderungen und Umsetzung“; IHF 2009
- [3] Bathon, L.; Bletz, O., Schmidt, J. (2009): „Holz-Stahl-Klebeverbund“, Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben Zukunft Holz, Hochschule Biberach
- [4] Deutsches Institut für Bautechnik (2003): „Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-9.1-557. Holz-Beton-Verbundsystem mit eingeklebten HBV-Schubverbindern“
- [5] Diehl, F. (2009): „Tragfähigkeitsuntersuchung von geklebten Rahmenecken“, Bachelorthesis an der Hochschule RheinMain, Institut für Baustoffe und Konstruktion, Labor für Holzbau
- [6] Kreuzinger, H.; Spengler, R. (2003): „Gutachterliche Stellungnahme zum Tragverhalten eines Holz-Beton-Verbund-Systems mit eingeklebten Schubverbindern im Hinblick auf die beantragte allgemeine bauaufsichtliche Zulassung“, Technische Universität München, Fachgebiet Holzbau
- [7] Spengler, R.; Kelletshofer, W. (2003): „Untersuchungsbericht Nr. 171907/03-1 vom 30.05.2003, Holz-Beton-Verbundsystem, Untersuchung des Tragverhaltens, Zulassungsversuche“, Technische Universität München, Institut für Baustoffe und Konstruktion, MPA Bau, Prüfstelle Holzbau