

Bergehalle bei St. Moritz

Bei landwirtschaftlich genutzten Holzhallen ist der Dreigelenkrahn ein oftmals anzufindender Konstruktionsansatz. Zur Herstellung der biegesteifen Rahmenecke kommen hierfür häufig Generalkeilzinkenstöße oder Stabdübelkreise zum Einsatz, wobei neben diesen beiden etablierten Ausführungsvarianten in der Vergangenheit vielfältige weitere Konstruktionsansätze entwickelt wurden (z.B. [3], [6]). Am MPA Wiesbaden hat man sich dieser Thematik in den letzten Jahren ebenfalls angenommen und einen innovativen Lösungsansatz mittels einer Holz-Stahl-Klebeverbindung (HSK) verfolgt ([1], [2]). Hierbei werden in die Einzelbauteile Stütze und Halbriegel spezielle Stahlformteile eingeklebt, die nach der Anlieferung auf die Baustelle über eine einfache Bolzenverbindung zu einer biegesteifen Rahmenecke verbunden werden. Die Funktionsweise der innovativen HSK-Rahmenecke wurde anhand theoretischer Untersuchungen hergeleitet und im Rahmen praktischer Versuche (u.a. zweier 1:1 Versuche) grundsätzlich bestätigt. Nach der Entwicklung eines Bemessungsansatzes für die HSK-Rahmenecke konnte in der Nähe von St. Moritz mit einer landwirtschaftlich genutzten Bergehalle das erste Pilotprojekt ausgeführt werden. Anhand dieser Bergehalle wird im folgenden Beitrag das Funktionsprinzip der HSK-Rahmenecke näher erläutert.

Stahlbau als Maßstab

Die tägliche Baupraxis zeigt, dass bei Vergabeverfahren von Hallenbauwerken Konstruktionen in Stahlbauweise gegenüber Tragwerken in Holzbauweise aus Kostengründen oft den Vorzug erhalten. Dies ist insofern erstaunlich, da – wie in Tabelle 1 dargestellt – der Baustoff Holz im Vergleich zum Werkstoff Stahl bei gleicher Biegesteifigkeit um den Faktor 5 preisgünstiger ist.

Der Holzbau verliert somit bei der Erstellung des Bauwerks seine werkstoffspezifischen Wettbewerbsvorteile gegenüber dem Stahlbau. Als Ursachen hierfür können u.a. geringere Knotenleistungsfähigkeiten und ungünstigere statische Systemansätze im Holzbau ausgemacht werden.

Seitens der in der Holzindustrie beteiligten Unternehmen, Planer und Auftraggeber besteht aus diesem Grund ein hoher Bedarf nach neuen, innovativen Verbindungsmitteln im Ingenieurholzbau, um

- keine nachgiebigen, sondern starre Verbindungen herzustellen
- Knotenpunkte mit nur geringen Querschnittschwächungen herzustellen
- kraft- und formschlüssige Verbindungen herzustellen
- standardisierte und wirtschaftliche Ausführungen von Knotenpunktanschlüssen mit einem hohen Ausnutzungsgrad zu ermöglichen, die gleichzeitig ein duktileres Systemverhalten im Versagensfall aufweisen

Wird im Ingenieurholzbau ein Verbindungsmittel entwickelt, welches die oben genannten Kernanforderungen besitzt, verfügt der Holzbau über ein Instrument, das vergleichbar ist mit dem Schweißen im Stahlbau – denn

Schweißverbindungen, die zwei Stahlbauteile miteinander verbinden, sind starr, ohne Querschnittschwächung, kraft- und formschlüssig, standardisiert, und stellen somit eine wirtschaftliche Ausführungsvariante für Knotenpunkte bei Stahlbauwerken dar.

Es ist unumstritten, dass im Ingenieurholzbau Klebeverbindungen das Potential besitzen, in Zukunft als Pendant zur Schweißverbindung im Stahlbau angesehen zu werden – denn Klebeverbindungen besitzen die Charakteristik von starren sowie kraft- und formschlüssigen Verbindungen ohne (heutige Anwendung: z.B. Keilzinkenverbindung, Brettschichtholz) bzw. mit nur minimalen Querschnittschwächungen (heutige Anwendung: eingeklebte Stahlstäbe). Klebeverbindungen stellen für den Holzbau wirtschaftliche und leistungsfähige Verbindungen dar, die erheblich höhere Steifigkeiten aufweisen als z.B. Verbindungen mit herkömmlichen

Tabelle 1: Vergleich Stahlbau vs. Holzbau am Beispiel einer Halle

Autoren:
 Prof. Dr.-Ing. Leander Bathon
 Dipl.-Ing. Oliver Bletz
 Dipl.-Ing. (FH)
 Jens Schmidt M.Eng

Fachhochschule Wiesbaden
 Fachbereich Architektur und Bauingenieurwesen
 Institut für Baustoffe und Konstruktion
 Labor für Holzbau

<p>$E = 1100 \text{ kN/cm}^2$ $I = 8873 \text{ cm}^4$ $A = 220 \text{ cm}^2$</p> <p>$EI = 9.760.667 \text{ kNcm}^2$</p> <p>Materialpreis Holz: ca. 300,- €/m³</p> <p>Materialkosten: 6,60 €/lfm</p>	<p>$E = 21000 \text{ kN/cm}^2$ $I = 450 \text{ cm}^4$ $A = 26,0 \text{ cm}^2$</p> <p>$EI = 9.450.000 \text{ kNcm}^2$</p> <p>Materialpreis Stahl: ca. 1,50 €/kg ca. 11775,- €/m³</p> <p>Materialkosten: 30,62 €/lfm</p>
<p>FAKTOR: ~ 5,0</p>	

<p>Holzbau 50 %</p> <p>$M_f = q \cdot l^2 / 8$</p> <p>$f = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I}$</p>	<p>Statisches System & Knotenleistungsfähigkeit</p> <p>FAKTOR: ~ 2,0</p> <p>Stahlbau 100 %</p> <p>$M_A = -q \cdot l^2 / 12; M_r = q \cdot l^2 / 24$</p> <p>$f = \frac{q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I}$</p>
<p>FAKTOR: ~ 2,5</p>	

mechanischen Verbindungsmitteln. Eine vergleichsweise neuartige Variante der Klebeverbindung stellt in diesem Zusammenhang die Holz-Stahl-Klebeverbindung dar. Mittels dieser können z.B. Nachteile, die im Holzbau gegenüber dem Stahlbau bei der Ausbildung von Knotenpunkten bestehen, eliminiert werden. Im Folgenden wird eine Lösung für die Ausbildung von Rahmenecken vorgestellt, die auf dieser Holz-Stahl-Klebertechnologie basiert.

Vorfertigung im Werk

Bei einer Bergehalle, die in den Schweizer Alpen in der Nähe von St. Moritz erstellt wurde, handelt es sich um ein Hallenbauwerk, das für die Viehunterstellung sowie die Heueinfuhr genutzt wird. Im Rahmen der Projektierung und Planung dieser Halle wurden im Vorfeld unterschiedliche Varianten für die Ausführung der Rahmenecke erörtert. Im Werk vorgefertigte keilgezinkte Rahmenecken besaßen aus der Sicht der Planer danach grundsätzlich ausgezeichnete Eigenschaften, verursachten jedoch erheblichen planerischen und kostenintensiven Aufwand beim Transport zur Baustelle. Aufgrund der Bauteildimensionen und der beengten Zufahrtsverhältnisse zu dem Hallenstandort in 1400 müNN waren diese Bauteile für einen Transport zu sperrig. Bei einer möglichen Baustellenverklebung der Keilzinkenverbindung hätte der Transportaufwand zwar erheblich reduziert werden können, gleichzeitig wäre diese jedoch mit einem enormen technischen und logistischen Aufwand für den Klebevorgang verbunden gewesen. Auf der Baustelle mit Dübelkreisen zu montierende Rahmenecken reduzierten ebenfalls den Transportauf-



Abb. 1: Modell der HSK-Rahmenecke

wand, verfügten jedoch aufgrund der reduzierten Nettoquerschnittsflächen nicht über dieselben statischen Eigenschaften wie keilgezinkte Rahmenecken derselben Bauteildimensionen. An die Rahmenecke bestand somit folgendes Anforderungsprofil:

- weitgehende werkseitige Einzelteilvorfertigung,
- Montage vor Ort auf der Baustelle,
- Vorzüge einer wirtschaftlichen und kraftschlüssigen Lösung.

Abbildung 1 zeigt ein Modell der Rahmenecke, die diese Anforderungen allesamt erfüllt. Die HSK-Rahmenecke besteht aus den werkseitig vorgefertigten Einzelbauteilen

Stütze und Riegel, die – nachdem sie als Einzelbauteile zur Baustelle gebracht worden sind – dort über eine Bolzenverbindung zu einer biegesteifen Rahmenecke zusammengefügt werden.

Eingeklebte Stahlformteile

Herzstück der HSK-Rahmenecke sind speziell verzinkte Stahlbauteile, die jeweils aus einer Stahlplatte (Stahlflansch) mit mehreren senkrecht aufgeschweißten Lochblechstegen sowie zwei angeschweißten Augenstäben bestehen (Abbildungen 2 bis 5). Diese Stahlbauteile werden werkseitig in die geschlitzten Schmalseiten der BS-Stiele und BS-Riegel eingeklebt.

Folgende statische Grundfunktionen sind den einzelnen Elementen der HSK-Rahmenecke zuzuordnen (bei einer schließenden Momentenbeanspruchung):

- Die eingeklebten Lochblechstege stellen eine kraft- und formschlüssige Verbindung zum Holz her
- Weiterhin sorgen die eingeklebten Lochblechstege für eine gleichmäßige Übertragung der Kräfte

- Der Stahlflansch stellt auf der Außenseite ein Zugband dar und fungiert auf der Innenseite als Druckglied
- Stiel und Riegel werden über eine Bolzenverbindung biegesteif verbunden
- Zwischen den Gelenkbolzen ist ein massiver Stahldruckstab angeordnet, der die Druckkräfte in der Fuge zwischen Stiel und Riegel überträgt, wodurch das Holz nicht quer zur Faserrichtung beansprucht wird
- Auf der Innenseite der Rahmenecke angeordnete und an die Augenstäbe angeschweißte Stahlplatten übertragen die Querkräfte in Stiel und Riegel über Druckkontakt ins Holz (Abbildungen 3, 6 bis 9)
- Rechtwinkelig zu den Stahlflanschen angeordnete Stahlplatten an der Innenseite der Rahmenecke übertragen weiterhin die Normalkräfte in Stiele und Riegel (Abbildungen 3, 6 bis 9)

Abb. 2 – 5: Detaildarstellungen der Verbindungstechnik der HSK-Rahmenecke

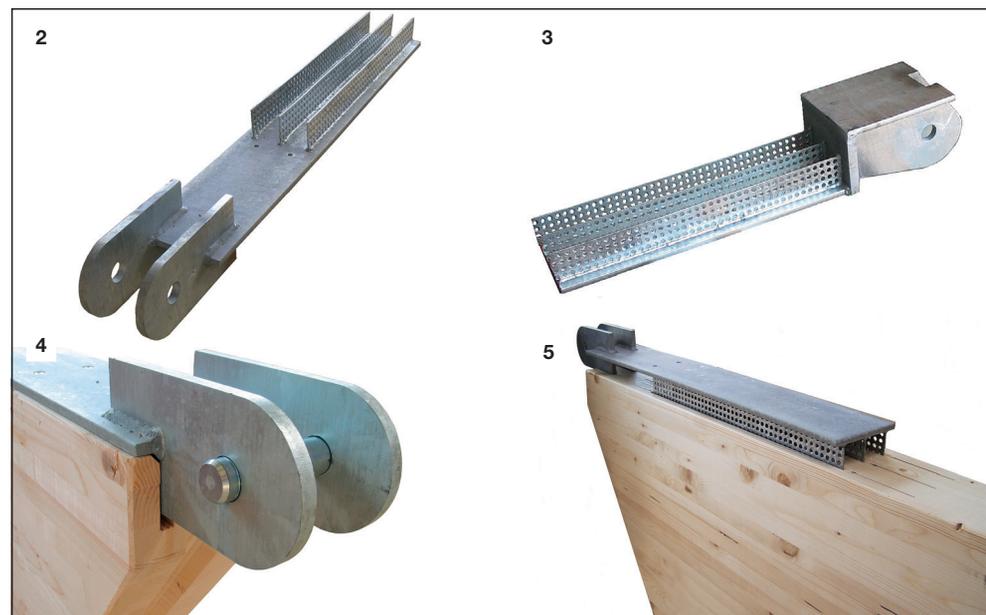




Abb. 6 – 9:
Bergehalle bei St. Moritz.
Ansichten der biegesteifen
HSK-Rahmenecke
(Fotos: Fa. Gröber [4])

Bemessungsansatz

Aufgrund der durchgeführten Untersuchungen konnte für die HSK-Rahmenecke ein Bemessungsansatz vorgeschlagen werden. Danach sind u.a. nachzuweisen und zu dimensionieren:

- Abmessungen der Stiele und der Halbriegel
- Anzahl und Länge der eingesetzten Lochblechstreifen, wobei ein eingeklebter Lochblechstreifen der Länge 100 cm
- eine charakteristische Tragfähigkeit von ca. 290 kN aufweist
- Abmessungen (Dicke, Länge, Breite) und Materialgüte der Stahlflansche in Abhängigkeit der vorliegenden Zugkraft
- Blockscheren des durch die eingeklebten Lochbleche bewehrten Holzes
- Übertragung der Querkräfte an der Innenseite der Rahmenecke über Kontaktpressung

Abb. 10 – 13:
Ansichten der Bergehalle bei
St. Moritz in der Bauphase
(Fotos: Fa. Gröber [4])



- Vorholzlänge
- Druckstab in der Fuge zwischen Stiel und Riegel (Knicknachweis)
- Gelenkbolzen, der in die Augenstäbe eingeführt wird (Abscheren)
- Fließmoment der Stahlplatte
- Selbstbohrende Schrauben auf der Außenseite zur Quersugsicherung

Montage

Die Abbildungen 6 bis 13 zeigen die Bergehalle während der Bauphase. Die Halle weist eine Spannweite von 12 m auf und ist als Dreigelenkrahmen ausgeführt. Über die Hallenlänge von ca. 25 m sind 6 Brettschichtholzbinden im Achsabstand von ca. 4,0 m angeordnet. Die BS-Binder besitzen eine Breite von 20 cm sowie im Eckbereich eine Höhe von 120 cm. Zum Stützenfuß sowie zum First hin laufen die Binder konisch zu. Die Dachneigung der Halle beträgt 21°.

Gut erkennbar in den Abbildungen sind die freiliegenden Stahlteile im Bereich der Rahmenecke (möglich aufgrund der Feuerwiderstandsklasse F0). Zur Montage wurden Stütze und Halbriegel liegend auf der Baustelle zusammengefügt und anschließend mit einem Kran in die gewünschte Position eingehoben. Insgesamt ist die HSK-Rahmenecke für eine Beanspruchungskombination von $N_{\text{Stiel}} = -327 \text{ kN}$, $Q_{\text{Stiel}} = -61,5 \text{ kN}$, $Q_{\text{Riegel}} = 183,5 \text{ kN}$ sowie $M_{\text{Stiel}} = -275 \text{ kNm}$ ausgelegt. In der Halle ist hierbei ein Heukran vorgesehen, mit dem die Landwirte die eingefahrenen Heuballen leicht versetzen können (Abbildung 12).

Nach dem ausgeführten Pilotprojekt der Bergehalle in St. Moritz konnten inzwischen weitere Hallen mit der HSK-Rahmenecke erstellt werden. Hierbei

handelt es sich um die in Deutschland erbaute Schwerstedter Halle [5] sowie weitere Hallenkonstruktionen in der Schweiz und in Island. Weiterhin liegen einige Ausführungsbeispiele vor, bei denen die HSK-Technologie erfolgreich im Bereich von Stützeinspannungen eingesetzt wurde [7].

Fazit

Holz-Stahl-Klebeverbindungen stellen für den Holzbau wirtschaftliche und leistungsfähige Verbindungen dar. Aufgrund ihrer Charakteristik sind sie vergleichbar mit Schweißverbindungen im Stahlbau. Die in diesem Beitrag vorgestellte Lösung für die Ausbildung einer biegesteifen Rahmenecke auf Basis der Holz-Stahl-Klebeteknologie (HSK) stellt einen Konstruktionsansatz dar, der von Planern dann weiter verfolgt werden kann, wenn die baulichen Randbedingungen eine werkseitige Einzelteilverfertigung der Stiele und Riegel mit späterer Endmontage vor Ort auf der Baustelle erfordern. Ausführungsbeispiele zeigen, dass die HSK-Technologie in einer möglichen Ausführungsvariante auch bei Stützeinspannungen erfolgreich anwendbar ist. Damit kommt der Holzbau seinem Ziel, dieselben stati-

schen Systemansätze und Knotenpunktausbildungen anzuwenden wie der Stahlbau, ein bedeutendes Stück näher. Die Chance für den Holzbau, bei Hallenbauwerken Marktanteile aus dem Bereich des Stahlbaus hinzuzugewinnen, scheint somit möglich. ■

Literatur & Quellen

- [1] Bathon, L.; Bletz, O.; Schmidt, J.: „Untersuchungsbericht zum Holz-Stahl-Klebeverbundsystem mit eingeklebten Lochblechen (HSK-System)“, Fachhochschule Wiesbaden, Holzbau Labor, 2006
- [2] Bathon, L.; Bletz, O.; Schmidt, J.: „Holz-Stahl-Klebeverbindungen – Neue Möglichkeiten durch starre und duktile Verbindungsansätze“, 7. Holzbauforum Leipzig, Leipzig, Deutschland, 2006
- [3] Brüninghoff, H.: „Rahmenecken“, Präsentationsunterlagen zur Sitzung des Technischen Ausschusses der Studiengemeinschaft Holzleimbau, 2004
- [4] Holzbau Gröber GmbH, Biberacher Straße 19, D-88436 Eberhardzell-Füramoos, www.holzbau-groeber.de
- [5] Jakob, S.: „Rahmenecke spezial“, bauen mit holz 11/2007, Seite 16 - 19
- [6] Lippert, P.: „Rahmenecken aus Holz mit eingeklebten Gewindestangen“, Dissertation, Universität Stuttgart, Institut für Konstruktion und Entwurf, 2002
- [7] Ticomtec GmbH, Goethestraße 60, D-63808 Haibach, www.ticomtec.de

EINFACH UNSCHLAGBAR



Im Blickpunkt: Gewerbe- und Sportstättenbau

Der innovative **KOMPLETTANBIETER** von **DÄMMSTOFFEN** aus **HOLZ** und **ZELLULOSE!**

NEU!



NEU vom Marktführer für flexible Dämmmatten aus Holz und Zellulose: **DRUCKFESTE DÄMMPLATTEN** in **EINZIGARTIGER QUALITÄT**, hergestellt im innovativen Trockenverfahren. Damit ist **HOMATHERM** Ihr Partner, wenn es ums ökologisch einwandfreie **DÄMMEN RUND UMS GANZE HAUS** geht. Für Neubau und Sanierung, für innen und außen. Mehr unter T. 034651/416-61 oder www.einfachunschlagbar.de

HOMATHERM®
der evolutionäre dämmstoff

Besuchen Sie uns auf der **BAU 2009** in München **12.-17. Januar 2009**, Halle B5, Stand 500

Anzeige

Limbachmuttern® für den Holz- und Fertigbau

Schwere Ausführung:



„L“-Einschlagmuttern für tragende Holzkonstruktionen, sowie im Holzhaus- und Fertighausbau.

Hoch belastbar:



„L“-Flanschmuttern für die Zwischenwandbefestigung



Karl Limbach & Cie. GmbH & Co.KG
Metallwarenfabrik
gegründet 1898

Postfach 190365
42719 Solingen
Telefon 02 12 / 39 80
Telefax 02 12 / 317299
www.limbach-cie.de
info@limbach-cie.de