



Zürich, 5.11.2018

50. Fortbildungskurs S-WIN in Weinfelden, 23./24. Oktober 2018

### **Verbundkonstruktionen im Holzbau**

Seit über fünfzig Jahren sind Forschungsentwicklungen zu Verbundkonstruktionen im Holzbau im Gange und besonders der Holz-Betonverbund hat an Bedeutung gewonnen. Die Bauweise bringt Vorteile in Hinsicht Statik und Verbesserungen beim Schall- und Brandschutz. Der 50. Fortbildungskurs von S-WIN (Swiss Wood Innovation Network) vom 23./24. Oktober legte die aktuelle Situation dar und bot Einblick in künftig absehbare Lösungen und Produkte.

Die Verbundbauweise im Holzbau hat eine weit zurückreichende Tradition und wurde bereits im Mittelalter genutzt um mit zusammengesetzten Querschnitten grössere Spannweiten zu erreichen. Mit dem 1906 eingereichten Patent von Otto Hetzer für gebogene, verklebte Brettschichtträger aus zwei oder mehr Lamellen wurde das Konstruieren weitgespannter Tragwerke aus brett-schichtverleimtem Holz möglich. Die seit den 1940er-Jahren bekannte Nagelung von Brettstapeln, das Quervorspannen und das Fügen von Holz mit Metallen, Beton und Kunststoffen haben zu höchst leistungsfähigen Konstruktionen geführt. Vor allem die Holz-Beton-Verbundbauweise hat sowohl beim mehrgeschossigen Holzbau als auch beim Brückenbau Einzug gehalten und ist zu einem wichtigen Konstruktionselement geworden. Heute stehen zahlreiche leistungsfähige Verbundsysteme zur Verfügung. Neue Technologien wie etwa der selbstverdichtende Hochleistungsbeton sind gängig geworden. Der Holzbau erobert sich so neue Anwendungsbereiche die bislang dem Massiv- und dem Stahlbau vorbehalten waren.

### **Statische und sicherheitsrelevante Eigenschaften**

Beim Verbund von Holz mit Beton kommen baustoffspezifische Eigenschaften zum Tragen: die hohe Zugfestigkeit von Holz bei geringem Eigengewicht und die hohe Druckfestigkeit von Beton. Dies führt bei Holz-Beton-Verbundkonstruktionen (HBV) zu erhöhter Biegefestigkeit und -steifigkeit. Im Vergleich zu reinen Holzlösungen resultieren in der Regel geringere Bauhöhen und ein deutlich besseres Schwingungsverhalten. Wirtschaftliche Spannweiten liegen im Bereich von 6 bis 10 Metern. Ausschlaggebend für das Verbundverhalten sind die Verbindungsmittel die dann wirkungsvoll sind, wenn sie steif sind und wenig Schlupf aufweisen.

HBV kann auch die bauphysikalischen Eigenschaften verbessern, so etwa erhöhter Schallschutz im Tieftonbereich aber auch beim Brandschutz. *Andreas Müller* (BFH AHB, Biel) erläuterte die unterschiedlichen Verbundsysteme. Grundsätzlich wird unterschieden zwischen Verbundsystemen mit Formschluss und jene ohne Formschluss. Formschluss wird erreicht durch besonders ausgeformte Holzbauteile die mit Kernen, Verdübelungen und Versätzen durch den Pressdruck den Schubverbund direkt parallel zur Faser übertragen. Die so erreichte Minimierung der Anzahl Verbindungsmittel ist kostengünstig, dieses System wird tendenziell im Geschossbau vermehrt eingesetzt.

Schubkräfte sind aber auch über mechanische Verbindungsmittel oder durch Verklebung sicher zu übertragen. Die Entwicklung von Verbundschrauben war dafür ein wesentlicher Schritt in Richtung Effizienz. Holz-Beton-Verbindungen sind zudem durch Flachstahlschlösser, Verbundanker oder Kopfbolzendübel zu erreichen. Neu sind die geklebten Verbindungen in unterschiedlichen Formen. Beim mehrgeschossigen Holzbau und für den Holzbrückenbau ist der Holz-Beton-Verbund eine wichtige Bauweise geworden.

### **Holz - Beton, ein Komposit**

Die Verbindung von Holz mit Beton zu statisch belastbaren Bauteilen nennt *Mathias Heinz* (pool Architekten, Zürich) ein Komposit. Er zeigte anhand eines Bilderbogens die unterschiedlichen formalen und technischen Möglichkeiten und stellte fest, dass der Holzbau derzeit einen Wendepunkt erlebe. Es sind sind zahlreiche Konstruktionsweisen und Anwendungen in Entwicklung oder bereits bekannt, doch werde Holz in reiner Form kaum mehr angewandt.

Aus Sicht einer grossen Bauunternehmung ist beim Holzbau die frühzeitige Einbindung von Bauherrn und Architekt besonders wichtig. Es gehe letztlich darum, bekannte Systeme mit neuen Materialien weiter zu bringen und bekannte Materialien mit heutigen Normen besser einzusetzen, betonte *Simon Beeler* (Implenia Schweiz AG, Holzbau, Rümlang). Er forderte weiter, Produkteigenschaften bezüglich Statik mit Vorteil zu nutzen, schnelle Bausysteme zu fördern und den Witterungsschutz mit kleinem Aufwand und am besten im Produkt integriert zu lösen.

Detailliert führte Ingenieur *Jörg Schänzlin* (Institut für Holzbau, Hochschule Biberach) aus, was für die offizielle Zulassung der Holz-Beton-Verbundbauweise grundlegend ist und wie diese Bauweise in der nächsten Generation der Eurocodes normativ zu erfassen ist. Eine dafür notwendige «Technical Specification» besteht seit April 2018 und kann nun als Grundlage einer Normierung dienen.

### **Verbundbauweisen mit Holz aus praktischer Sicht**

«Bei der Planung von HBV-Decken sind Theorie und Praxis gleichwertig zu berücksichtigen - weit mehr als bei anderen Konstruktionen.» Diesen Merksatz erläuterte Ingenieur *Pirmin Jung* (Rain) anhand zahlreicher ausgeführter Projekte. Das Potential von HBV-Konstruktionen wird von der Pirmin Jung Ingenieure AG bereits seit rund 20 Jahren genutzt. Die eher offenen SIA-Normen ermöglichen dabei dem projektierenden

Ingenieur Gestaltungsfreiheiten, stellte Jung fest. Tendenzen für Entwicklungen seien im Bereich der optimierten Anschlussbauteile zu orten. Dazu gehören effiziente Nutzungen der Unterzüge zur Einsparung von Stahl oder der Einsatz von Fertigbetonteilen. Mit Buchen-Furnierschichtholz lassen sich die Holzplatten dünner einsetzen und letztlich Decken konstruieren, die kaum teurer sind als herkömmliche Betondecken. Vorteile bezüglich Schallschutz bringe ein biaxiales Tragverhalten von HBV-Decken.

Kommt Schnittholz an seine Grenzen der Leistungsfähigkeit sind Verbundquerschnitte die Alternative.

Ingenieur *Peter Makiol* (Makiol + Wiederkehr, Beinwil am See) zeigte den so erreichbaren Mehrnutzen auf: Einsparungen beim Material Holz und beim Gewicht, grössere Tragfähigkeit, erhöhte Steifigkeit, geringere Kosten und Aufbauhöhe, statische Ertüchtigung bestehender Tragwerke und verbesserte Eigenschaften z.B. bei der Schalldämmung. Pauschalrezepte für den besten Verbund gebe es nicht. Makiol zeigte Beispiele von Ersatzbauten, Neubauten und Bauerneuerungen und belegte diese Aussage eindrücklich. Besonders interessant: Das soeben fertiggestellte Stapferhaus in Lenzburg, ein Holzbau mit Verbundkonstruktionen Holz-Holz, hier also ohne Betonverbund gelöst. Ingenieur *Wolfram Kübler* (Walt Galmarini AG, Zürich) referierte zur Bedeutung der Speichermasse, ein Punkt, dem oft zu wenig Beachtung geschenkt werde. Die Leistungsfähigkeit interner Speichermassen hänge von der Temperaturleitfähigkeit des Materials und dem Wärmeeindringkoeffizienten ab. Ist Holz grossflächig sichtbar eingesetzt, biete Laubholz (Tages) Speicherleistungen vergleichbar mit Mauerwerk sagte Kübler.

### **Zweiachsig tragende HBV-Konstruktion ohne Bewehrung**

Die *Pius Schuler* AG (Rothenturm) hat gemeinsam mit der Schilliger Holz AG (Küssnacht am Rigi) ein HBV-System entwickelt, das die Eigenschaften grossflächiger Sperrholzplatten aus Nadelholz bestmöglich nutzt. Als Deckentragelement lässt es sich auf unterschiedlichste Randbedingungen anpassen – Spannweiten, Geometrie, Schall, Akustik, Brand, Montage, Haustechnik usw. Es handle sich um eine zweiachsig tragende HBV-Konstruktion die weitgehend ohne zusätzliche Bewehrung auskommt, grosse Spannweiten mit relativ geringen Konstruktionsstärken ermöglicht, bezüglich Schalldämmung und Hausinstallationen günstig ist und rasch zu bauen ist. Die Sperrholzplatten werden im Werk mit den Verbindungselementen ausgerüstet, der Beton wird auf der Baustelle eingebracht. Das System besteht seit zwei Jahren und habe sich bei Wohnbauten bereits bewährt.

### **HBV bei Hochbauten und Brücken**

Sowohl für den Hoch- wie auch den Brückenbau ist die HBV-Bauweise interessant. Zwei Präsentationen zeigten Beispiele aus Deutschland und Österreich. *Madlen Tüxsen* (merz kley partner AG, Dornbirn) führte aus, dass Büro-, Verwaltungs- und Schulbauten in der Regel Spannweiten von mehr als sechs Metern aufweisen und mittlere bis hohe Anforderungen an den Schallschutz verlangen. Massive Holzdecken mit Schüttung führen hier zu hohem Holzverbrauch, Balkenlagen und Hohlkastensysteme sind dabei auch nicht immer optimal. HBV-Konstruktionen mit Holzrippen bilden gangbare Alternativen.

*Matthias Gerold* (Harrer Ingenieure GmbH, Karlsruhe) zeigte Brückenbauten vor allem aus Deutschland, aber auch Entwicklungen in Holland, Neuseeland und der Schweiz. Auch er ist überzeugt, dass eine «Technical Specification» als Grundlage eines späteren Teils der EN 1995-1 dienen kann um diese Systeme als herkömmliche Bauweise zu etablieren.

### **Verfügbare Produkte und Systeme**

Ein wesentlicher Teil dieses Fortbildungskurses S-WIN widmete sich den auf dem Markt erhältlichen Produkten und Systemen. Dazu passt die Tatsache, dass ganze 16 Firmen aus dem Bereich HBV sich am Anlass mit Produktpräsentationen im Foyer des Tagungslokals Thurgauerhof in Weinfelden beteiligten. Diese Angebote erleichtern den Projektierenden wie den ausführenden Firmen die Entscheidung und die Realisierung ihrer Objekte.

Die Präsentation der Produkte und Systeme war angereichert mit Informationen zu ausgeführten Bauten. Der Markt ist reich an neuen Entwicklungen und reicht von Verschraubungen, cleveren Systemen, welche dazu beitragen, die Verbinderzahlen zu reduzieren und flexibel einsetzbaren Brettstapelelementen mit und ohne HBV. Die Ziele sind dabei grundsätzlich gleich und basieren auf den angestrebten Vorteilen von HBV in Holzbauten: eine grössere Steifigkeit, die Spannweiten von 6 bis 10 m erlaubt; Feuerwiderstand und dazu Tragfähigkeit im Brandfall; perfekter Lärmschutz; horizontaler Windverband und gleichzeitig eine vergleichsweise leichte Bauweise. Letzteres kommt vor allem beim Aufstocken zur Geltung. Und bedingt durch die immer grosszügiger dimensionierten Grundrisse in Wohnbauten stellen sich nicht selten Probleme beim Schwingungsverhalten von entsprechenden Geschossplatten ein die zu vermeiden sind. Dies ist nebst dem Verhalten bezüglich Schalldämmung ein wesentliches Kriterium für das Wohlbefinden der Nutzer von Wohnbauten.

Die Referenten waren sich in einem wesentlichen Punkt einig: es setzen sich jene Produkte durch, die bezüglich Kosten und Aufwand überzeugen und die gestellten Anforderungen zu erfüllen vermögen. Kurz gesagt: ein System muss einfach, günstig und vielseitig einsetzbar sein.

### **F+E als Grundlage für die erfolgreiche Holzbaupraxis**

Experimente in Bauwerken sind kaum der richtige Weg zu verbesserten Bausystemen zu kommen - eine Binsenwahrheit, die nicht allein für den Holzbau gilt. Es ist vielmehr die geduldige und genau dokumentierte Suche durch Forschung und Entwicklung, welche neue Wege frei macht, welche die Baupraxis in die richtige Richtung führen.

Mit eindrücklichen Bildern zeigte *Ralph Schläpfer* (Lignatur AG, Waldstatt), wie sehr Räume durch Holz geprägt werden, wie Holz als Material Gefühle auslöst. Es wirkt durch seine Vielfalt, erscheint kraftvoll, schwer, leicht, filigran oder auch elegant. Die Beziehung zu Holz weckt Gefühle und diese seien so persönlich und individuell wie jene gegenüber der Architektur und ihren Räumen.

*Patrick Suter* (Erne AG, Holzbau, Laufenburg) stellte fest, dass aus seiner Sicht der klassische Holzbau in den verflissenen 20 Jahren ein regelrechtes Comeback erlebt habe. Vom einfachen Wohnhaus ging die Entwicklung zu Grossstrukturen und Hochhäusern. Holz finde nun bei einer zunehmend breiteren Kundenschicht Anklang. Suter stellte fest, dass diese Entwicklung durch Investitionen der Branche in Forschung und Entwicklung getrieben ist. Es hat eine schrittweise Öffnung der Brandschutzvorschriften für den Einsatz von brennbarem Material in mehrgeschossigen Bauten stattgefunden. Gleichzeitig hat das Streben nach nachhaltigen Bauweisen und nach Energieeffizienz der Holzbauweise wesentlich Auftrieb verschafft.

Diesen nicht unbedingt messbaren Aussagen standen die Überlegungen und Fakten gegenüber, die aufgrund von wissenschaftlichen Analysen gewonnen werden. So berichtete *Katharina Müller* (IBK ETH Zürich) über Untersuchungen zum Tragverhalten von HBV-Decken mit Mikrokerben. Dieses KTI-Projekt wurde gemeinsam mit den Firmen Sidler Holz AG (Oberlunkhofen) und Timber Structures 3.0 AG (Thun) durchgeführt. Kerben in Kombination mit Schrauben ist beim HBV bereits etabliert, sei aber noch nicht optimiert. Die Mikrokerben als Verbindungsmittel stellen eine Neuheit dar. Die Kerbtiefe liegt im Millimeterbereich, die Kerbenlänge beschränkt sich auf wenige Zentimeter. Die Schubbeanspruchung verteilt sich so über eine grosse Fläche, lokal auftretende Kräfte sind klein, zusätzliche vertikale Verbindungsmittel erübrigen sich. Mikrokerben als Verbindungsmittel für HBV-Decken mit Brettstapelelementen zeigen ein gutes Tragverhalten.

Platten aus Buchenfurnierschichtholz (BauBuche) weisen im Vergleich zu Vollholz oder Brettschichtholz eine höhere Homogenität auf und besitzen zuverlässige mechanische Eigenschaften. Querlagen steigern die Formstabilität zusätzlich. Um die Steifigkeit der Platten im Bauzustand zu erhöhen wurden dickere Platten (60 mm) eingesetzt und zusätzlich Obergurten aus Buchen FSH mittels Stahlrohren mit der Platte verbunden. Ein leichtes Füllmaterial führt zu reduziertem Eigengewicht der Decke. Im Idealfall ist ein Betonieren ohne Spriessung möglich, was beim mehrgeschossigen Hochbau erhebliche baupraktische Vorteile bringt. Untersucht wurde das Tragverhalten unter einachsiger Biegung. Drei Parameter beeinflussen dies: die Anzahl Rohre, die Abstände zwischen den Holzquerschnitten und die Steifigkeit des Rohranschlusses (geklebt oder nicht geklebt). Um nun das zweiachsige Tragverhalten eingehend zu untersuchen ist auf Frühjahr 2019 ein Grossversuch geplant.

Das rund 200 Personen umfassende Publikum erhielt mit diesem 50-Jahr-Jubiläum-Anlass ein dicht gepacktes Programm vorgesetzt. Moderatoren waren Andrea Frangi (ETH Zürich) und Andrea Bernasconi (heig-vd/HES-SO, Yverdon-les-Bains). Die baupraktischen und die theoretischen Erwägungen und Erfahrungen zu Verbundkonstruktionen mit Holz wurden umfassend dargestellt und sind in einem 166 Seiten umfassenden Tagungsband notiert. Dieser kann für 80,- Fr. bei S-WIN bezogen werden.

Charles von Büren, Bern

## Bildlegenden



Bild 1a



Bild 1b

Das neue Stapferhaus in Lenzburg, ein pionierhafter Kulturbau, wurde von pool Architekten (Zürich) entworfen und nach holzbautechnischem Konzept der Ingenieure Makiol Wiederkehr AG (Beinwil am See) erstellt. Der grosse Bau (B 28,5 m L 53 m H 14,5 m über Terrain) besteht komplett aus Holz, für die weitgespannten Decken wurde eine Rippenkonstruktion mit verschraubtem Holz-Holz-Verbund gewählt.

[Bild1a](#): Ralph Feiner, Malans

[Bild1b](#): Stapferhaus, Lenzburg

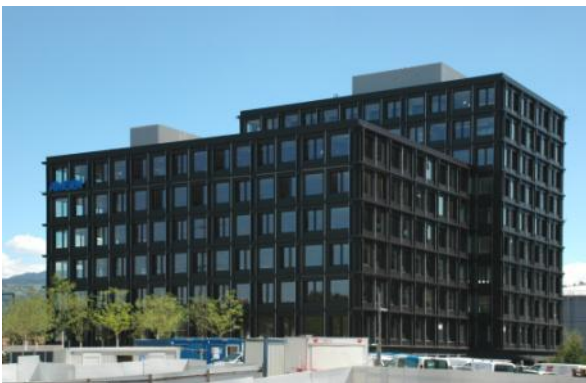


Bild 2

In Risch-Rotkreuz entsteht das erste Holz-Hochhaus der Schweiz nach den Plänen der Architekten Burkard Meyer (Baden). Die über dem betonierten Erdgeschoss liegenden Stockwerke sind mit Holz konstruiert. Die Holz-Beton-Verbundkonstruktion des Bürogebäudes, das in der «Saurstoffi» entsteht, ist mit ihren zehn Geschossen das erste Hochhaus der Schweiz in Holzbauweise.

[Bild2](#): Michael Meuter, Zürich/Lignum



Bild 3

Das House of Natural Resources HNR der ETH Zürich steht bereits seit drei Jahren auf dem Campus Höggerberg. Der Skelettbau mit Schweizer Holz und einer Holz-Beton-Verbunddecke aus Buche (40 mm Furnierplatte) gilt als Weltneuheit. Blick gegen die Decke der Geschossplatte und zur vorgespannten Rahmenkonstruktion. Der Holz-Beton-Verbund erfolgt mit einer 40 mm starken Furnierholzplatte.

[Bild3](#): ETH Zürich / Marco Carocari

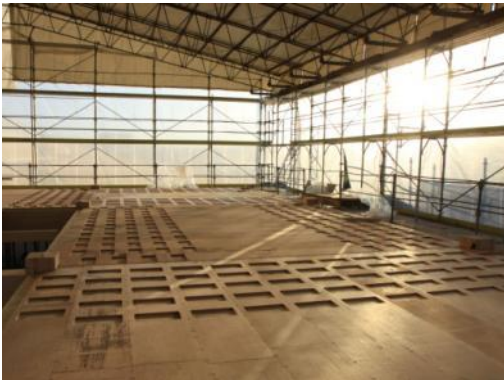


Bild 4

Bei der Holz-Beton-Verbunddecke des HNR dienen die Buchenplatten während des Bauzustandes als Schalung, im Endzustand als Tragelement im Verbund mit dem Beton und bilden zudem eine wohnliche Deckenuntersicht. Der Bau bildet ein herausragendes Referenzobjekt im Bereich zeitgemässer Holzanwendung.

[Bild4](#): ETH Zürich / Marco Carocari