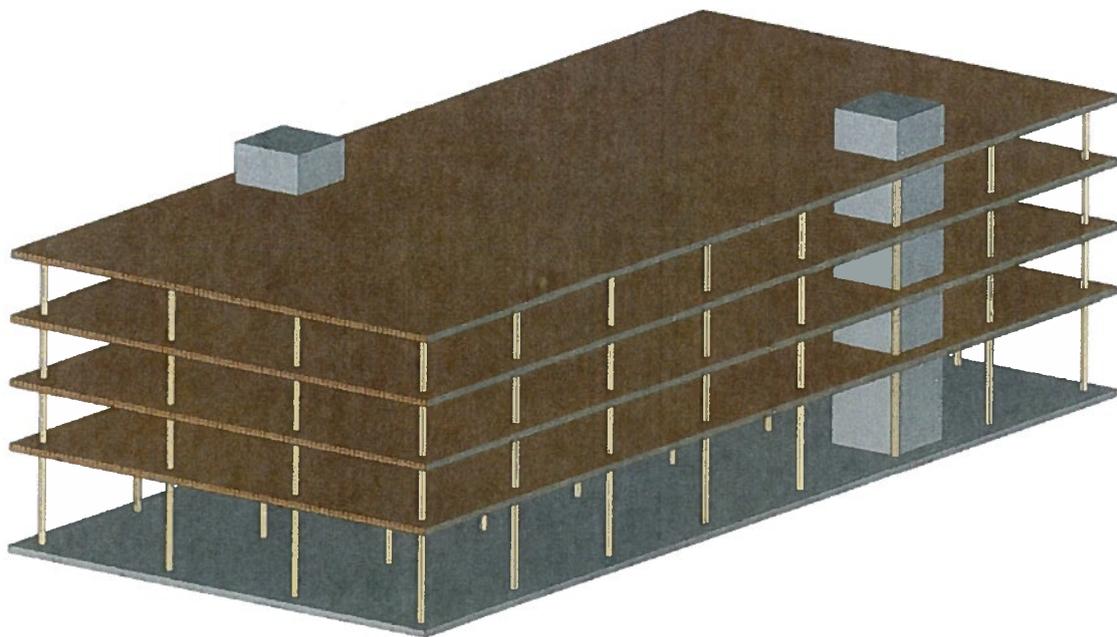


Geschossdecken für Gewerbe und Industrie

Projekt Nr. 2011.02

Schlussbericht

Dezember 2012



Inhalt

1	Zusammenfassung	3
2	Ausgangslage	4
2.1	Flächentragwerke aus Holz	4
2.2	Punktstützung	4
2.3	Laubholzeinsatz (BSH,BSP,FSP)	4
2.4	Elementverbindung	4
2.5	Bisherige Vorarbeit	5
3	Projektteam	5
4	Stützenköpfe	6
4.1	Literaturrecherche	6
4.2	Standard-Grundriss	6
4.3	Experimentelle Untersuchungen linear	7
4.4	Experimentelle Untersuchungen flächig	10
5	Baustellentaugliche Verbindung	12
5.1	Geometrie	12
5.2	Fugenverguss	12
5.3	Zugprüfungen an Lamellen	12
5.4	Resultate	14
6	Pilot- und Demonstrationsprojekte	15
6.1	Voraussetzungen	15
6.2	Untersuchte Projekte:	15
6.3	Kosten	15
7	Kommunikation	15
8	Abrechnung	16
8.1	Kosten nach Aufwand	16
8.2	Kosten nach Projektpartnern	19
8.3	Finanzierung	19

1 Zusammenfassung

Gewerbe- und Industriegebäude werden zunehmend in Holz realisiert. Bei Geschossdecken mit Stützenrastern bis 8.00 x 8.00 m und Nutzlasten bis 500 kg/m² stösst die Holzbauweise allerdings an eine Grenze. Die Leistungsfähigkeit in den Bereichen Tragwirkung, Lastabtragung, Elementgrösse, Brandschutz und Schallschutz ist ungenügend und muss verbessert werden.

Im Auftrag des Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung wurde 2010 eine Machbarkeitsstudie erstellt. Eine Bachelorarbeit und eine Serie von 68 Prüfungen an Stützenköpfen im Masstab 1:2 wurden durchgeführt und zeigen den weiteren Forschungs- und Entwicklungsbedarf auf.

Das geplante Projekt beinhaltet spezifische Arbeiten zu den Themen Stützenköpfe, baustellentaugliche Verbindungen, eine Galerie in einem Holzbaubetrieb als Pilot- und Demonstrationsprojekt sowie Kommunikationsmassnahmen.

Die Stützenköpfe für hochbelastete Decken mit grossen Spannweiten wurden entwickelt und 6 flächige Grossprüfungen (Durchstanzprüfungen) im Masstab 1:1 in der ETH Höggerberg durchgeführt. Die Auswertung und ein Bemessungsvorschlag für Stützenköpfe ist Thema der Master Thesis von Lorenzo Boccadoro an der ETHZ.

Zur Abhängigkeit der Rollschubwerte von der Schichtdicke wurde von Reto Blaser eine Bachelor-Thesis an der BFH Biel erstellt.

Zur baustellentauglichen Verbindung der Elemente wurden insgesamt rund 200 Prüfungen in 5 Serien an Einzellamellen mit Verguss- bzw. Injektions-Klebeteknik mit 2K PUR Klebstoff durchgeführt. Es wird eine Zugfestigkeit von rund 20% des unverschwächten Querschnittes erreicht. Die Einflussfaktoren Temperatur, und Fugenbreite wurden ebenfalls untersucht.

Für das Nebentragsystem, das ursprünglich als Trägerrost-Hohlkasten geplant war, wird neu mit Brettsperrholzplatten gerechnet. Diese sind auf dem Markt zu solch tiefen Preisen erhältlich, dass sich eine aufwändige Herstellung von Hohlkasten nicht lohnt. Der Endpreis wäre annähernd derselbe.

Insgesamt ist das Projekt Geschossdecken so weit entwickelt, dass es am Bau angewendet werden kann. Dabei ist folgendes zu beachten: Es dürfen nur statisch überbestimmte Systeme konstruiert werden, wo der Ausfall eines Elements nicht zum Ausfall des Gesamtsystems führen darf. Der Ausfall eines Elements darf auch nicht zu einem Reissverschluss-Effekt führen. Statisch bestimmte Systeme dürfen nicht konstruiert werden. Die Leistungsfähigkeit der Vergussfugen ist weit höher als jede andere Verbindungsart, aber noch unerprobt. Dazu müssten erst Muster-Objekte mit erhöhtem Qualitätssicherungs-Aufwand erstellt werden.

Aufgrund der kurzen Zeit zwischen Beendigung der Prüfungen und diesem Schlussbericht konnten keine Pilotprojekte realisiert werden. Die Projekte der Partner werden laufend evaluiert und die Geschossdecke wird vertrauten Kunden für Pilotprojekte mit tiefen Anforderungen angeboten (Gewerbe, Industrie).

Durch die positiven Erfahrungen mit der Vergussfuge wurden neue Geschäftsfelder erkannt: Die Längsverbindung von (Holz-) Faserbündeln kann nicht nur bei Geschossdecken eingesetzt werden. Auch im Tragwerksbau bei überlangen Trägern, bei der Herstellung von Scheiben sowie bei Platten-Tragwerken kann die Fuge eingesetzt werden. Entsprechender Forschungsbedarf wurde festgestellt und aufgelistet. Dazu wird zur Zeit evaluiert, in welchem Gefäss die neue Konstruktionsweise erforscht werden kann.

2 Ausgangslage

2.1 Flächentragwerke aus Holz

Im Themengebiet Brettsperrholz gilt das *BSPHandbuch* der TU Graz als Standardwerk und stellt den aktuellen Wissensstand (Ausgabe 2010) in diesem Gebiet sehr gut dar. Über zwei-achsig tragende Geschossdecken aus Holz sind hingegen nur wenige Publikationen erschienen. Die Dissertation von *Andreas Scholz*: „Ein Beitrag zur Berechnung von Flächentragwerken aus Holz“ sowie Veröffentlichungen von *Winter et al.*, *Kreuzinger* sowie *Stürzenbacher et al.* stellen diesbezüglich aktuelle und relevante Beiträge dar.

Im Bereich von Gewerbe- und Industriegeschossdecken mit Nutzlasten bis zu 500kg/m² und Spannweiten über 6.00 m gibt es bislang keine funktionierenden Systeme aus Holz. Bevor eine Lösung in Massivholzbauweise gefunden werden kann, müssen die Lastenleitung über Punktstützen und eine baustellentaugliche Elementverbindung entwickelt werden.

2.2 Punktstützung

Die Problematik des Rollschubversagens in den Querlagen bei Punktstützungen von Massivholzdecken ist bekannt. Unter anderem wird im Projektbericht „Holzbau der Zukunft - Teilprojekt 15“ der aktuelle Entwicklungsstand dargestellt. Bezüglich einer punktuellen Verstärkung an Stützungen von Brettsperrholzdecken forscht gegenwärtig die TU München an einer wirklichkeitsnahen Bemessung und Berechnung mit Vollgewindeschrauben. Mit einer Veröffentlichung ist im März/April 2011 zu rechnen. Der in diesem Projektantrag formulierte Ansatz ist, gegenüber dieser Forschung, auf eine Verstärkung ohne Stahl-Verbindungsmitel ausgelegt. Zum Einsatz kommen sollen Laubholzprodukte aus Buche oder Esche.

2.3 Laubholzeinsatz (BSH,BSP,FSP)

In den letzten 10 Jahren ist ein verstärkter Forschungsaufwand bezüglich Laubholznutzung festzustellen. Der Wissensstand, vor allem zur Nutzung von Buchenholz, hat sich deutlich erweitert. Insbesondere die in der Literatur angeführten Publikationen von Frühwald, Frese und Blaß zur Nutzung von Buchenholz in Brettschichtholzprodukten stellen den aktuellen Technologiestand dar und haben 2009 massgeblich zur bauaufsichtlichen Zulassung von Brettschichtholz aus Buche in Deutschland beigetragen. Die Verwendung dieser Produkte beschränkte sich bislang auf vereinzelte Objekte. In der Schweiz ist 2010 erstmalig Eschenholz in Form von Brettschichtholzträgern zum Einsatz gekommen, was die Möglichkeiten dieser Holzart eindrücklich demonstriert und auch eine Adaption der Technologie auf das Brettsperrholz eröffnet. Eine Veröffentlichung zu den Festigkeitseigenschaften von Esche stammt unter anderem von *Torno und van de Kuilen*. Zur Verwendung von Laubholz in Brettsperrholz sind bislang keine nennenswerten Arbeiten erschienen, die Option der Verwendung und Kombination mit Nadelholz wird allerdings mehrfach erwähnt und prognostiziert.

2.4 Elementverbindung

Bei der Verbindung von Deckenelementen aus Brettsperrholz werden nach aktuellem Stand der Technik Lösungen mit Nut und Feder, einer Stufenfalz oder einem Stossbrett verwendet. Diese Verbindungen sind unzureichend für die Übertragung von Biegemomenten geeignet und bedürfen zur Ermöglichung der angestrebten Lösung einer Weiterentwicklung. Angestrebt ist ein Keilzinkenstoss der auch unter baustellentauglichen Bedingungen durchführbar ist. Als Wissensstand gilt unter anderem die Diplomarbeit von Gernot Pirnbacher zum Thema „Biegesteife Verbindungen im Holzbau“ an der TU Graz.

2.5 Bisherige Vorarbeit

Im Jahr 2010 wurde von einigen der jetzigen Projektpartner eine Machbarkeitsstudie für derartige Geschossdecken durchgeführt. In dieser Studie konnten wertvolle Erkenntnisse gewonnen werden, auf denen es aufzubauen gilt. Einige der Systemaufbauten zeigten gute Ergebnisse bei den durchgeführten Prüfungen, sowie ein erfolgsversprechendes Potential für erweiterte Forschungs- und Entwicklungstätigkeit. Die Kombination von Nadel- und Laubholzprodukten im Bereich des Brett- und Furniersperrholzes sowie neue Verbindungstechniken ermöglichen, nach Einschätzung der Projektpartner, einen deutlichen Sprung zu einem grösseren Einsatz von Holzprodukten bei Geschossdecken von Industrie- und Gewerbebauten.

3 Projektteam

Name	Ausbildung	Unternehmen	Ort	Funktion
Schilliger Ernest	Ing. HTL	Schilliger AG	Küssnacht am Rigi	Wirtschaftspartner
• Leibundgut Werner	Ing. HTL	Schilliger AG	Küssnacht am Rigi	Wirtschaftspartner
• Wicki René		Purbond AG	Sempach	Wirtschaftspartner
• Lehringer Christian	Dr. rer nat	Purbond AG	Sempach	Wirtschaftspartner
• Zöllig Stefan	Ing. FH	Timbatec GmbH	Thun	Projektleiter
Schlunegger Ueli	Ing. FH	Timbatec GmbH	Thun	Projektmitarbeiter
Stutz Oliver	Cand. Ing. BSc	Timbatec GmbH	Thun	Projektmitarbeiter, Bachelor Thesis
Blaser Reto	Cand. Ing. BSc	Timbatec GmbH	Thun	Projektmitarbeiter, Prüfungen Stützenkopf linear, Bachelor Thesis
Schawalder Armin	Cand. Ing. BSc	Timbatec GmbH	Thun	Projektmitarbeiter, Prüfungen Fugen, Bachelor Thesis
Müller Andreas	Prof. Dipl. Ing.	BFH Berner Fachhochschule	Biel	Wissenschaftliche Begleitung
• Franke Steffen	Prof. Dr. Ing.	BFH Berner Fachhochschule	Biel	Wissenschaftliche Begleitung
• Frangi Andrea	Prof. Dr. Ing.	ETHZ	Zürich	Wissenschaftliche Begleitung
Kobel Peter	Dipl. Ing.	ETHZ	Zürich	Wissenschaftliche Begleitung
Boccardo Lorenzo	Dipl. Ing.	ETHZ	Zürich	Prüfungen Stützenkopf flächig, Master Thesis

• Ansprechperson

Tab. 1: Projektteam

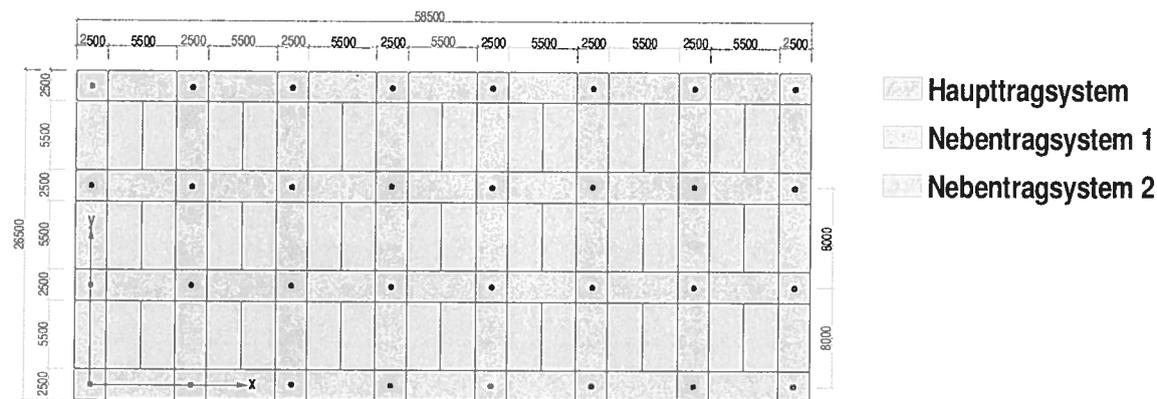
4 Stützenköpfe

4.1 Literaturrecherche

Bei der Literaturrecherche fiel auf, dass im Bezug auf Punktlasten auf flächige Holzbauteile noch wenig bekannt ist. Es gibt einige Untersuchungen im Rahmen eines Forschungsprojekts Massivholzplatten, wobei hier eher die Abtragung von Stützenlasten auf Geschossdecken das Thema ist. Zur Durchstanzbewehrung bei Betondecken gibt es viele Grundlagen, sowohl in der Forschung als auch bei Produkten. Stellvertretend sei hier die Studie der ETHZ erwähnt, die neben Stützenbewehrungen auch Rand- und Eckstützen erwähnt. Im Weiteren gibt es eine Doktorarbeit (Mestek, TU München 2011), die aber vor allem auf die Lasteinleitung von Stützen auf Decken sowie die Verstärkung von schubbeanspruchten Brettsper Holzplatten mit Schrauben konzentriert.

4.2 Standard-Grundriss

Die ideale Standard-Grundrissgeometrie wurde 2010 in der Bachelor-Thesis von Oliver Stutz ermittelt. Sie entspricht untenstehender Geometrie mit Stützenkopf-Elementen von 2.50 x 2.50 m, Nebentragsystemen 1 von 2.50 x 5.50 m sowie Nebentragsystemen 2 von 2.50 x 5.50 m.



4.3 Experimentelle Untersuchungen linear

Zur Schubbeanspruchung von Furnier- und Brettsperrholz sowie zur Abhängigkeit von Rollschub zur Dicke der Querlagenbretter wurde im Rahmen der Bachelor-Thesis von Reto Blasler 2011 an der Berner Fachhochschule BFH in Biel eine Untersuchung mit verschiedenen Aufbauten aus Buchen- und Fichtenholz durchgeführt. Diese Untersuchung knüpft an die erste Serie aus dem Jahr 2010 an. Auszug:

Durch die Zielsetzung einer zweiachsig tragenden Decke und hoher Lasten stellt sich das Deckenelement unmittelbar über der Stütze als neuralgischer Punkt heraus. Geeignete Produkte für dieses Element sind Furniersperrholz oder Brettsperrholz. Jedoch überschreiten die erwarteten Spannungen an dieser Stelle die Tragfähigkeit der praxisüblichen Holzarten Fichte und Tanne. Die Normenwerke SIA und DIN enthalten für die Rollschubfestigkeit der aufgeführten Holzarten unterschiedliche Angaben, weshalb eine Prüfserie zur Untersuchung der Festigkeit durchgeführt wurde.

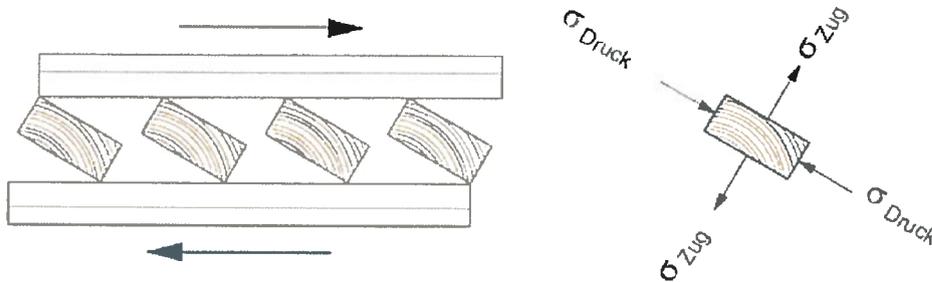


Abbildung 2: Resultierende Spannungen aus Rollschub

Die Schubbruchprüfung mit Furnier- und Brettsperrholz ausgewählter Holzarten erlaubt eine qualitative Aussage über das Tragverhalten verschiedener Aufbauten. Die Prüfserien zeigen, dass für Brettsperrholz mit den Laubholzarten Buche und Esche eine Festigkeitssteigerung von ca. 275% erreicht wird. Eine zentrale Fragestellung ist der Einfluss der Lamellendicke auf die Rollschubfestigkeit bei Brettsperrholz. Prüfserien mit unterschiedlichen Lamellendicken zeigen, dass mit abnehmender Dicke die Rollschubfestigkeit steigt. Beispielsweise zeigt ein Vergleich zwischen 10 mm und 20 mm dicken Buchenlamellen eine Festigkeitssteigerung von ca. 24%. Unterschiede zwischen Furnier- und Brettsperrholz zeigen sich vor allem im Tragverhalten. Durch die herstellungsbedingten Haarrisse in den Furnierlagen verhält sich Furniersperrholz wesentlich duktiler. Dies ist in der Praxis von Bedeutung, da aufgrund dessen mit erheblichen Verformungen zu rechnen ist. Für die spätere Nachweisführung ist es notwendig zu überprüfen, inwiefern sich die in der Literatur auffindbaren Berechnungsverfahren für Brettsperrholz eignen. Hohe Punktlasten und der Aufbau mit einer grossen Anzahl Brett- bzw. Furnierlagen verursachen Spannungsumlagerungen und Verformungen, die im Speziellen berücksichtigt werden sollten. Dafür eignet sich das Schubanalogieverfahren, welches als sehr genaues Berechnungsverfahren gilt. Der Aufwand mit diesem Verfahren ist jedoch beträchtlich, weshalb es sich vor allem im Rahmen des Forschungsprojekts für genauere Untersuchungen eignet, jedoch kaum für eine spätere Bemessung. Ein Vergleich des Schubanalogieverfahrens mit dem Zusatzmodul für geschichtete Aufbauten der Statiksoftware von Dlubal zeigt, dass die Nachweise mit der Software wirtschaftlich und schnell durchgeführt werden können. Das Modul arbeitet mit der Finite Elemente Methode an flächigen Modellen.

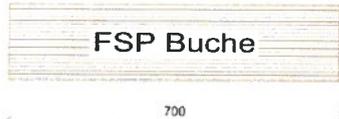
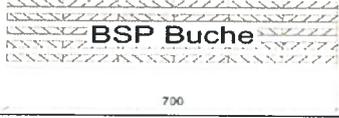
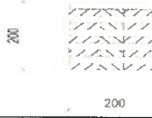
Ansicht	Querschnitt	Angaben
<p>Prüfserie: BF2.4X</p> 		<ul style="list-style-type: none"> - Furniersperrholz Buche - Furnierdicke 2.4 mm - Rechtwinklig angeordnete Schichten - Lagen untereinander verklebt
<p>Prüfserie: BB20X</p> 		<ul style="list-style-type: none"> - Brettsperrholz Buche - Brettdicke 20 mm - Rechtwinklig angeordnete Schichten - Lagen untereinander verklebt
<p>Prüfserie: BF2.4</p> 		<ul style="list-style-type: none"> - Furniersperrholz Buche - Furnierdicke 2.4 mm - Rechtwinklig angeordnete Schichten - Lagen untereinander verklebt
<p>Prüfserie: BB10</p> 		<ul style="list-style-type: none"> - Brettsperrholz Buche - Brettdicke 10 mm - Rechtwinklig angeordnete Schichten - Lagen untereinander verklebt
<p>Prüfserie: BB20</p> 		<ul style="list-style-type: none"> - Brettsperrholz Buche - Brettdicke 20 mm - Rechtwinklig angeordnete Schichten - Lagen untereinander verklebt
<p>Prüfserie: BB30</p> 		<ul style="list-style-type: none"> - Brettsperrholz Buche - Brettdicke 33 mm - Rechtwinklig angeordnete Schichten - Lagen untereinander verklebt
<p>Prüfserie: EB20</p> 		<ul style="list-style-type: none"> - Brettsperrholz Esche - Brettdicke 20 mm - Rechtwinklig angeordnete Schichten - Lagen untereinander verklebt
<p>Prüfserie: FB20</p> 		<ul style="list-style-type: none"> - Brettsperrholz Fichte - Brettdicke 20 mm - Rechtwinklig angeordnete Schichten - Lagen untereinander verklebt

Tabelle 2: Prüfkörper Schubprüfungen linear

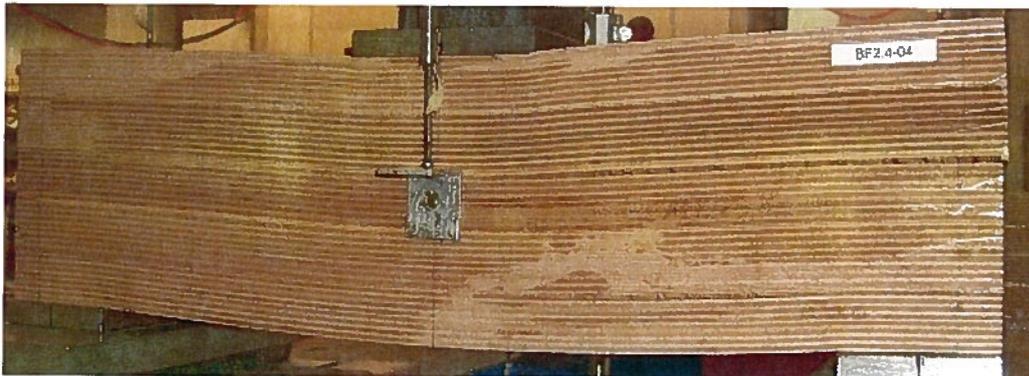


Abbildung 3: Bruchzustand Furniersperrholz Buche

Prüfserie	$\tau_{R,Mittelwert}$ [N/mm ²]	Standardabw.	CoV [%]	$\tau_{V,Mittelwert}$ N/mm ²	$\sigma_{Mittelwert}$ N/mm ²
BF2.4X	6.5	0.10	1.5	6.5	34.8
BB20X	6.2	0.65	10.9	6.3	62.8
BF2.4 1-4	6.0	0.10	4.3	6.0	39.6
BF2.4 5-8	5.6	0.13	4.3	5.6	40.3
BB10	6.7	0.41	6.1	6.7	87.2
BB20	5.4	0.29	5.3	5.5	70.3
BB33	4.6	0.24	5.3	4.9	60.1
EB20	5.6	0.22	4.0	5.7	71.7
FB20	2.0	0.08	3.4	2.0	26.3

Tabelle 3: Mittlere Rollschub - Bruchspannung und Biegespannung

4.4 Experimentelle Untersuchungen flächig

Zu diesem Thema wurde von Lorenzo Boccadoro eine Masterarbeit an der ETHZ erarbeitet. Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Stützenkopfelemente getestet. Hauptmaterial dieser hochbeanspruchten Elemente ist Buchenfurniersperrholz, das gute mechanische Eigenschaften im Vergleich zum Fichten-Furnier und Brettsperrholz aufweist. Es wurden sechs Prüfkörper getestet: Drei homogene Platten aus Buchenfurniersperrholz und drei gemischte Platten aus Buchenfurniersperrholz und Fichtenbrettern. Die Plattendicken betragen 240 mm, 320 mm und 400 mm.

Ein Grundlagenstudium zeigte die Stärken der Buchenfurnierwerkstoffe in Bezug auf Biege- und (Roll-) Schubbeanspruchungen. Mit einfachen statischen Modellen wurden erstens von Hand und nachher mit einem FE-Programm die erwarteten Bruchkräfte und Verformungen der Stützenkopfelemente berechnet.

Hauptteil der Arbeit war die Prüfung der sechs Stützenkopfelemente, die auf dem Aufspannboden der ETHZ Höggerberg durchgeführt wurde. Diese Platten wurden mit einem Druckzylinder verformungsgesteuert zentrisch belastet, um den Effekt der Krafteinleitung in die Stütze zu simulieren. Die Prüfkörper versagten auf Biegung mit Bruchkräften, die zwischen 1'300 und 3'100 kN lagen. Diese Werte sind sehr hoch und zeigen das grosse Potential der mechanischen Eigenschaften des Laubholzes.

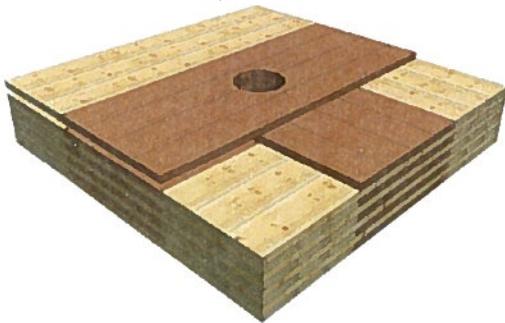


Abbildung 4: Prüfkörper Buche/Fichte gemischt



Abbildung 5: Prüfkörper Buche



Abbildung 6: Durchstanzprüfung Buche / Fichte kombiniert 400 mm



Abbildung 7: Prüfkörper vor der Prüfung



Abbildung 8: Rissverlauf ausgehend vom Loch

Tabelle 4: Resultate / Bemessungsvorschlag

Platte	Biegebruchkraft			Stützenkraft (Einwirkung)	Nachweis
	Versuchsergebnis	Charakteristisch	Bemessungsniveau SIA 265	Bemessungsniveau SIA 260	Tragsicherheit
	$F_R = F_{cr}$	F_{Rk}	$F_{Rd} (\gamma_M/\eta_M=1.5,$ $\eta_w = \eta_l=1)$	F_{Ed}	$F_{Rd} \geq F_{Ed}$
Name	kN	kN	kN	kN	
K240	1'362	800	533	690	nicht i.O
F240	1'155	1'026	684	690	nicht i.O
K320	1'700	1'515	1'010	700	i.O
F320	2'100	1'951	1'300	700	i.O
K400	2'500	2'328	1'552	710	i.O
F400	2'878	3'099	2'066	710	i.O

5 Baustellentaugliche Verbindung

5.1 Geometrie

Die grossen Schnittkräfte, bei den Fugen auftreten, können mit herkömmlichen stabförmigen Verbindungsmitteln (eingeschlagen, eingedreht oder eingeklebt) nicht wirtschaftlich übertragen werden. Deshalb war zuerst eine Art grosser Keilzinkenverbindung zwischen den Elementen angedacht. Im Verlauf des Projekts wurde diskutiert, zum Vergleich auch Minizinken ohne Überlappung sowie stumpfe Fugen zu prüfen. Im Weiteren wurden auch andere Fugen-Geometrien wie Keilnuten mit und ohne Insert (Feder) geprüft.

5.2 Fugenverguss

Zu den baustellentauglichen Verbindungen wurden verschiedene Studien und Prüfungen durchgeführt. Als Erstes wurde der Frage nachgegangen, ob sich eine Fuge von 400 mm Höhe und 2 mm, bzw. 6 mm Breite überhaupt per Verguss füllen lässt, bzw. ob der Klebstoff erhärtet, bevor er die Oberkante der Fuge erreicht hat. Dies konnte mit nachstehend abgebildetem Vergussmuster belegt werden.

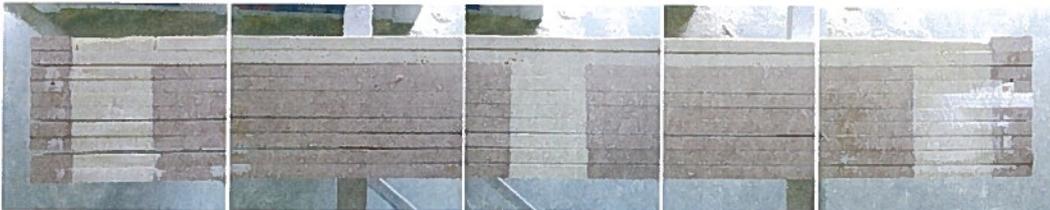


Abbildung 9: Aufgeschnittenes Vergussmuster mit 6 mm Fugenbreite (Ansicht Stirnseite der Deckenplatte) zur Kontrolle des Füllgrades. Zur Einsparung von Klebstoff (beige) werden an den statisch nicht beanspruchten Zonen Hartfaserplatten (braun) eingelegt.

5.3 Zugprüfungen an Lamellen

Zu diesem Thema wurde 2012 eine Bachelorarbeit von Armin Schawalder an der BFH Biel erarbeitet.

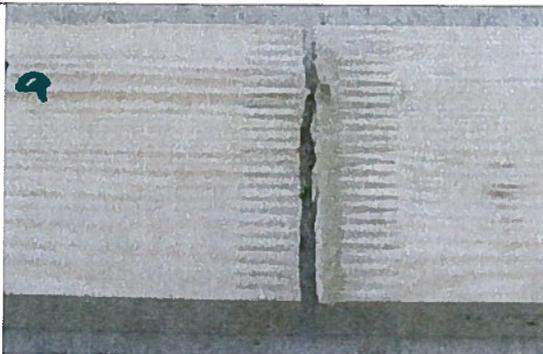
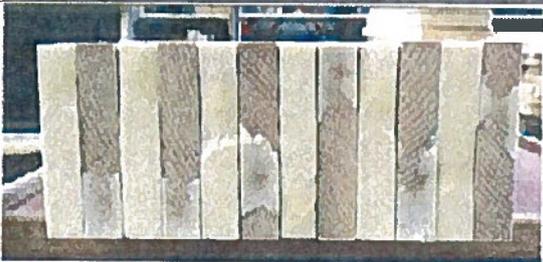
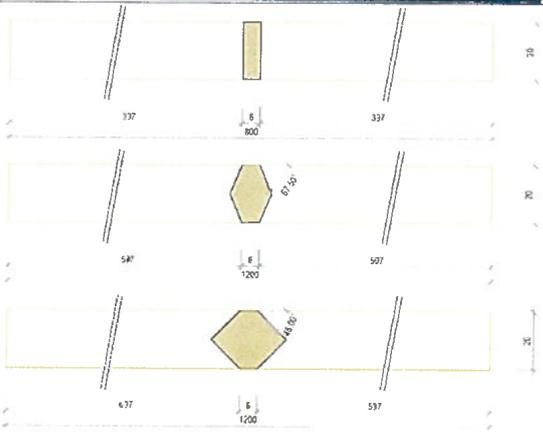
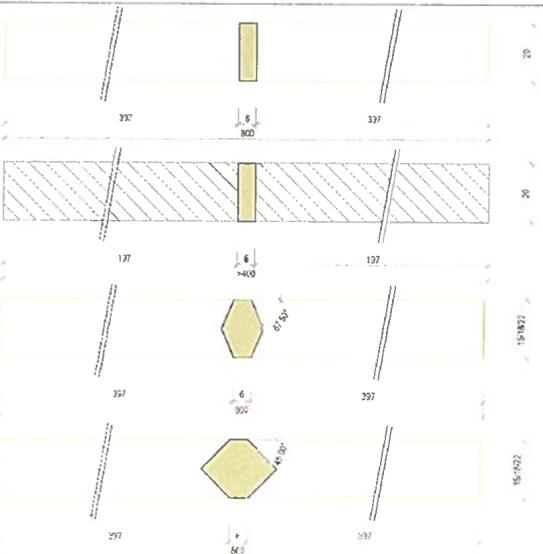
Die wichtigste und schwierigste Aufgabe der Elementfugen ist die Übertragung von Biegemomenten. Dadurch treten die maximalen Spannungen in den Randlamellen der Deckenplatten in Form von nahezu gleichmässigen Zugspannungen auf. Deshalb wurden vor allem einzelne Lamellen auf Zug geprüft.

Es wurden insgesamt rund 260 Prüfungen in 5 Serien durchgeführt. Die ersten beiden Serien wurden von Prof. Dr. Steffen Franke durchgeführt; die Serien 3, 4 und 5 im Rahmen der Bachelor Thesis von Armin Schawalder.

Bei den Zugprüfungen wurden folgende Parameter evaluiert und geprüft.

Parameter	Variante
Material	Vollholz längs, Vollholz quer, Furniersperrholz
Holzart	Buche, Fichte
Fugenbreite	0/2/6/10/40 mm
Fugenfüllung	Ohne Insert (Feder), mit Insert (Feder)
Fugenform	Stumpf, Minizinken, Keilnut, Schäftung
Winkel Keilnut	67.5°, 45°, 30°, 20°

Tabelle 5: Parameter der Lamellen-Zugprüfungen

Nr	Bild	Datum Beschreibung Holzarten	Anz.
1		21.12.2011 Minizinken, Verguss / Injektion 6 mm FI, BU	30
2		11.5.2012 Stumpfer Stoss 6 mm FI, BU	12
3		30.10.2012 Stumpfer Stoss, Keilnut 6 mm FI, BU FSP, OSB	52
4		19.11.2012 Stumpfer Stoss längs / quer, Keilnut, Keilnut mit Inserts, Schäftung 6 mm FI, BU FSP, OSB	72

5		<p>18.12.2012</p> <p>Stumpfer Stoss, Keilnut, Schäftung 2/6/10/40 mm</p> <p>FI</p>	54

Tabelle 6: Serien-Inhalte der Lamellen-Zugprüfungen

5.4 Resultate

Die besten Resultate wurden mit Minizinken erzielt. Dabei wurden mittlere Zugspannungen beim Bruch von rund 20 N/mm^2 erreicht; bei stumpfen Stössen rund 14 N/mm^2 . Dies entspricht rund 20% des ungeschwächten Querschnittes von Vollholz. Bei den OSB-Platten wurden Werte von 6 bis 10 N/mm^2 erreicht. Dies entspricht 100% des ungeschwächten Querschnittes. Hier wurde denn auch teilweise ein Bruch ausserhalb der Fuge, also im Material der Platte erzielt. Der Bruchmechanismus war generell spröde bei sehr kleiner Dehnung. Die Prüfungen sind noch nicht abgeschlossen, deshalb können die vollständigen Resultate noch nicht angegeben werden.

6 Pilot- und Demonstrationsprojekte

6.1 Voraussetzungen

Im Verlauf dieses Forschungsprojekts wurden laufend Pilot- und Demonstrationsprojekte evaluiert, um die Wettbewerbsfähigkeit des Systems zu prüfen. Dabei zeigte sich, dass für einen Einsatz am Bau die Hürden doch recht hoch sind. Einerseits sind die Bauherrschaften selber unter Druck, funktionierende Systeme einzubauen. Andererseits war sich das Projektteam einig, dass die Umsetzung in die Realität mit sehr viel Vorsicht anzugehen ist. Die negativen Auswirkungen eines misslungenen Versuchs auf das Image der neuen Bauweise wären nicht zu unterschätzen. Deshalb wurden in erster Linie Projekte der Projektpartner selber oder ihnen nahestehender Firmen gesucht, bei denen ein Nachbessern ohne Probleme möglich wäre. Insbesondere wurde nach Zwischendecken und Galerieböden bei Gewerbebauten mit rund 500 m² gesucht. Bis heute ist kein Pilot- und Demonstrationsprojekt gebaut worden.

6.2 Untersuchte Projekte:

Nr.	Projekt	Bezeichnung	Grösse	Fläche	Bemerkungen
846	Mosimann Holzbau, Niederwangen BE	Galerieboden	6 x 20 m	120 m ²	Nicht ausgeführt
003	REAL AG, Thun BE	Decke über EG und über OG Lagerhalle	2 x 16 x 32 m	1'024 m ²	Mit 10 kN/m ² zu hohe Anforderungen.
1228	Berghaus Bühlberg, Lenk BE	Zwischendecke	11 x 14 m	154 m ²	Nicht ausgeführt
003	Wiederaufbau Holzwerkhof UPD Waldau, Bern	Zwischendecke Lagerhalle	14 x 20 m	280 m ²	Noch nicht ausgeführt
003	Schilliger AG, Küsnacht a.R. SZ	Autounterstände	4x 3 x 6 m	72 m ²	Zu kurzfristig
1289	Ferienhaus Moser, Beatenberg BE	Decke	9 x 12 m	108 m ²	Noch nicht ausgeführt
1299	ETHZ House of Natural Resources	Zwischendecke	2 x 20 x 20 m	800 m ²	Erste Zwischendecke zu spät, ev. für weitere Decken möglich.

Tabelle 7: Untersuchte Pilot- und Demonstrationsprojekte

6.3 Kosten

Gemäss Kostenvergleich bei der Halle REAL AG stand der m²-Preis für die Geschossdecke aus 32 cm Holz auf rund 140% der vergleichbaren Betondecke. In der Zwischenzeit wurden die flächigen Prüfungen mit den Stützenköpfen durchgeführt. Hier stellte sich eine wesentlich höhere Leistungsfähigkeit heraus als bisher angenommen. So kann die Deckenstärke auf 24 cm reduziert werden. Bei dieser Stärke lohnt sich die Herstellung von Trägerrost-Hohlkasten nicht. Es können Brettsperholzplatten für alle Zwischenbereiche eingesetzt werden. Somit wird nicht mehr die Tragsicherheit, sondern die Durchbiegung massgebend. Die Decke muss überhöht werden. Unter Einbezug all dieser Parameter kann mit einem Preis von rund 103% der vergleichbaren Stahlbetondecke gerechnet werden.

7 Kommunikation

Um allfällige Patentanmeldungen zu ermöglichen, wurde bisher nichts zum Projekt veröffentlicht. Am 18. April wurde das Projekt an einem internen Anlass den Projektteilnehmern und

den Geldgebern präsentiert. Am SAH Statusseminar am 24. April 2012 wurde zudem global über das Projekt orientiert. Zu möglichen Produkten und Marken wurden erste Abklärungen getroffen. Es scheint aber wenig sinnvoll, ein Patent anzumelden, da fast alle Erkenntnisse in anderen Zusammenhängen bereits patentiert oder publiziert wurden.

8 Abrechnung