

Bericht

## **Kaufmann\_Laubholz\_Deckensystem**

Verfügung Nr: 16.0017.PJ / 1-18.13

Vertragsdauer: 15. November 2018 -30. Juni 2020

Berichtsdatum: 31.12.2019

Berichtsautor: Rico Kaufmann, Dipl. Ing. Holzbau HTL/SIA

Projektleitung: Rico Kaufmann, Dipl. Ing. Holzbau HTL/SIA

Projekt von: Kaufmann Oberholzer AG  
Feldstrasse 6, 9215 Schönenberg TG

Beteiligte: ThurHOLZ GmbH, Toni Horat, Dorfstrasse 29, 9215 Buhwil  
Lignum Ost, Rolf Auer, Bahnhofstrasse 45, 8500 Frauenfeld  
Kantonales Forstamt Thurgau, Spannerstrasse 29,  
8500 Frauenfeld (vertreten durch Lignum Ost)

Unterstützt durch: Aktionsplan Holz (Bundesamt für Umwelt BAFU)

## Inhaltsverzeichnis

1.0 Kurzbeschreibung .....	3
2.0 Ausgangslage und Ziele .....	4
3.0 Projektergebnisse .....	5
4.0 Wirkungen .....	15
5.0 Ressourcenpolitik Holz .....	16
6.0 Erfahrungen .....	17
7.0 Ideen für Folgeprojekte .....	18
8.0 Dank .....	21

## 1.0 Kurzbeschreibung

Das Deckensystem Optiholz® Brettstapel besteht aus Fichtenlamellen und Buchendübeln. Der Einsatz von Buchenlamellen konnte mit dem bekannten Verfahren bisher nicht umgesetzt werden.

Diese Ziele werden verfolgt: Erstens die Übertragung der Eigenschaften des Buchenholzes auf das bestehende System. Zweitens die Förderung des Einsatzes des einheimischen Buchenholzes.

Die Resultate:

- Das gewählte Verfahren zur Herstellung von Buchenbrettstapel bewährt sich
- Der Fichtendübel erfüllt die Anforderungen, der Buchendübel nicht
- Das Quell- und Schwindmass der Buche hat grossen Einfluss
- Die Wirtschaftlichkeit ist nur unter bestimmten Bedingungen gegeben
- Eine vertiefte Prüfung der empfohlenen Anwendungen von Buchenholz für Holz-Beton-Verbundsysteme und für aufgelöste Stegkenträger lohnt sich.

## 2.0 Ausgangslage, Ziele und Inhalte des Projektes

Die Herstellung von Brettstapel-Elementen erfolgt nach dem Prinzip des Klemm-Dübel-Verfahrens. Der Einsatz von Buchen- oder anderen Laubholzlamellen konnte mit dem bekannten Verfahren bisher nicht umgesetzt werden. Dabei könnten Optiholz® Brettstapel-Decken aus Laubholz gerade im mehrgeschossigen Holzbau grosse konstruktive und wirtschaftliche Vorteile bieten.

Mit der Weiterentwicklung des Deckensystems Optiholz®, möchte die Kaufmann Oberholzer AG zwei Ziele erreichen. Erstens die Übertragung der positiven, technischen Eigenschaften des Buchenholzes auf das bestehende System. Zweitens soll durch den Einsatz einheimischer Rohstoffe die regionale Wertschöpfungskette angekurbelt und das entsprechende Wertschöpfungspotenzial besser genutzt werden. Im Kanton Thurgau besteht beim Buchen-Stammholz, gemäss Angabe Kantonsforstamt, ein jährliches Nutzungspotenzial von ca. 4'000 Festmetern.

Hinsichtlich den Brandschutzeigenschaften ist bereits das Optiholz®-System aus Fichte ein interessanter und gut funktionierender Anwendungsfall. In Kombination mit Buche werden sich die positiven Brandschutzeigenschaften nochmals deutlich verbessern.

Da es sich um eine Holz-Beton-Verbundkonstruktion handelt, ist deutlich mehr Masse vorhanden, als bei einem reinen Holzdeckensystem. Dies kommt den Bereichen Schallschutz und Brandschutz direkt zugute. Auch schafft der Betonanteil gute Voraussetzungen für das Arbeiten mit Fussbodenheizung.

Im Bereich der Keilzinkentechnik verfügt die Kaufmann Oberholzer AG bereits über das notwendige Know-How und die entsprechenden maschinellen Einrichtungen, um Buchenholz zu verarbeiten bzw. keilzinken zu können. Im Rahmen dieses Projekts wird die Überprüfung und Optimierung des Keilzinkenverfahrens aber vorerst nicht näher betrachtet.

Natürlich strebt die Kaufmann Oberholzer AG durch die Weiterentwicklung des Optiholz®-Systems auch eine Umsatzsteigerung an. Das Potenzial im mehrgeschossigen Holzbau soll so besser genutzt werden können. Da die Firma das Potenzial aber auch mittelfristig nicht alleine ausschöpfen kann, ergibt dies sehr interessante Perspektiven für weitere Holzbauer. Ebenfalls ist zu berücksichtigen, dass das System nicht nur regional begrenzt angewendet werden kann.

Aus technischer Sicht werden folgende Fragestellungen bearbeitet:

- Kann das Herstellverfahren für Fichtenbrettstapel auch beim Buchenbrettstapel angewendet oder was muss angepasst werden?
- Muss das Dübelverfahren aufgrund des neuen Dübelwerkstoffs angepasst werden? Wenn ja, wie?
- Mit welchen alternativen Dübelmaterialien kann das aktuelle Dübelverfahren auch für Buchenlamellen verwendet werden?
- Welche Kenntnisse ergeben sich aus den statischen und materialtechnischen Eigenschaften des Buchenbrettstapels?
- Wie sieht die wirtschaftliche Betrachtung aus?

### 3.0 Projektergebnisse

Die Projektergebnisse beruhen auf theoretischen Berechnungen und praktischen Versuchen. Insbesondere die Verarbeitung von Laubholz auf der Optiholzanlage, von der Keilzinkung bis zur Bohrung und Dübeleintreibung, wird grosse Beachtung geschenkt.

Die Keilzinkenanlage musste so konzipiert werden, dass die Hartholzlamellen nur auf Druck in der Keilzinkenanlage verarbeitet und transportiert werden. Bereits bei der Anschaffung der Anlage wurde dieser Aspekt berücksichtigt. Die Haftreibung der zusammengefügt Keilzinken bei Buchenholz ist geringer als bei Weichholz. Deshalb werden die Stösse bei Zugbeanspruchung - wie sie bei üblichen Keilzinkenanlagen vorhanden sind - unmittelbar nach der Verleimung auseinander gezogen. Die nun eingesetzte Anlage der Kaufmann Oberholzer AG wurde entsprechend auf Druck konzipiert und wird so betrieben.

Betreffend Lamellenholz aus Buche und dem Dübelholz (bislang auch aus Buche) werden verschiedene Berechnungen und Versuche gefahren. Es wird geprüft, ob anstelle eines Buchendübelns eher auf einen Weichholzdübel ausgewichen werden muss. Dies um das Einbringen der passgenauen Dübel in das Bohrloch zu ermöglichen. Damit der Klemmwirkung genügend gross ist, müssen entsprechende Loch- bzw. Dübel Durchmesser eingehalten werden. Da der Dübel satt - ohne Spiel - im Bohrloch sitzen muss, ist diese Abstimmung aufwendig.

Zur Herstellung der Brettstapelemente wird die bestehende Anlage der Kaufmann Oberholzer AG verwendet. Diese Anlage ist ein Eigenbau. Die Anlage mit Pressbett, bohrt und verdübelt die Lamellen zu Elementen mit einer Breite von ca. 650 mm. Für die Herstellung von Brettstapel aus Buchenholz müssen einige Modifikationen an der Anlage durchgeführt werden.



Abb. 1: Optiholz® Brettstapel Fichte mit Elementverbindung

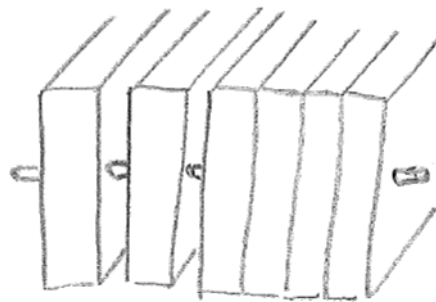


Abb. 2: Schema Brettstapel aus Holzlamellen und Holzdübel

### 3.1 Lamellen aus Buche

Die Buchenlamellen der Firma Thurholz GmbH werden getrocknet und vorgehobelt. Anschliessend werden die Lamellen sortiert und auf der neuen Keilzinkenanlage der Firma Howial keilgezinkt. Diese Keilzinkenmaschine ist geeignet für die Keilzinkung von Hartholz, da der Keilzinkenstoss während dem ganzen Verfahren auf Druck und nicht auf Zug beansprucht wird. Die Keilzinkung funktioniert aus Erfahrung mit dieser Maschine sehr gut und es werden keine vertieften Prüfungen der Keilzinkungen gemacht. Die Sortierung ist kein Schwerpunkt der vorliegenden Untersuchung. Buchenholz hat grössere Spannungen in den Brettern. Gleichzeitig kann Abholzigkeit und Schrägfasrigkeit zu schlechten statischen Werten führen. Die Sortierung von Rohbrettern ist daher wichtig. Allenfalls könnte sich der Einsatz von zusammengesetzten Lamellen (Stabplatten) als sinnvoll erweisen. Für die Exponate der vorliegenden Untersuchung wurden visuell auserlesene, gradfasrige Buchenbretter verwendet. Nach der Keilzinkung und Leimaushärtung (PU) werden die Lamellen gehobelt und für die Brettstapelproduktion bereitgestellt. Die Lamellen weisen verschiedene Dicken auf, da der Zuschnitt aus dem Baumstamm und Aushobeln der Lamellen eine spezielle Herausforderung darstellt. Die Decken variieren zwischen 38 und 50 mm. Der Hobelverlust ist im Vergleich zu den Fichtenlamellen grösser (Siehe Punkt 3.7 Ausbeute).



Abb. 3: Buchenbrettstapelelement und Brettstapelmaschine



Abb. 4: Feuchtigkeitsmessung der Buchenlamellen

Holzfeuchtigkeit Buchenlamellen: 10.1 % - 10.5 %

### 3.2 Lamellen aus anderen Laubhölzern

In der vorliegenden Untersuchung wurden repräsentativ für andere Laubhölzer vorwiegend Prüfungen mit Buchenlamellen gemacht. Von den Holzeigenschaften hervorragend einsetzbar sind die Laubhölzer Eiche und Esche. Diese weisen insbesondere im Quell- und Schwindverhalten, wie auch in der Gradfasrigkeit bessere Eigenschaften auf, als die Buche.

### 3.3 Lamellenbett der Produktionsanlage

Die Lamellen werden stehend in das Lamellenbett der Produktionsanlage gelegt. Das Spannen der Lamellen funktioniert bei den Versuchskörpern sehr gut. Da die verwendeten Lamellen relativ gerade sind, ist kein unüblicher Kraftaufwand nötig. In der Höhe werden die Lamellen möglichst bündig eingelegt und falls nötig manuell mit einem Vorschlagkunststoffhammer nachgeklopft. Die Luftfeuchtigkeit in der Produktionshalle beträgt 29 %, die Lufttemperatur 31 Grad Celsius.

### 3.4 Bohren

Für das Bohren der Dübellöcher werden die gleichen Bohrer wie für Weichholzlammellen verwendet. Es werden zwei Bohrreihen gebohrt. Der Abstand zwischen den Dübeln entspricht dem Abstand des üblichen Fichtenbrettstapels. Die beiden Bohrer weisen folgende Durchmesser auf:

Bohrer 1: 14.38 mm

Bohrer 2: 14.60 mm



Abb. 5: Bohreinheit der Brettstapelmaschine

Die Geschwindigkeit des Bohrvortriebs wird per Druck gesteuert. Bei Fichte ist der ideale Druck bei 3 bar. Bei Buche werden 5 bar benötigt. Trotzdem dauert der Bohrprozess bei Hartholz ca. 2-3 x so lange wie bei Fichte. Unser erfahrener Maschinenbediener spürt anhand verschiedener Indikatoren, wie der Bohrer optimal eingesetzt wird, damit die maximale Geschwindigkeit erreicht wird, ohne dass die Bohrlochqualität, das Werkzeug oder die Maschine darunter leidet.

**Resultat 1: Der Bohrvorgang verläuft einwandfrei, braucht aber 2-3x länger als bei Fichte**



### 3.5 Dübel und Dübeleinschub

Beim originalen Fichtenbrettstapel werden Buchendübel verwendet. Diese Buchendübel weisen eine tiefere Feuchtigkeit auf als die Fichtenlamellen. Somit quellen die Dübel auf und das Klemm-Dübel-Verfahren für die Herstellung von gedübelten Brettstapel wird seinem Namen gerecht.

Im Falle des Buchenbrettstapels werden ebenfalls die Dübel weiter heruntergetrocknet als die Lamellen. Somit wird das gleiche Klemm-Dübel-Verfahren erwartet wie bei den Fichtenlamellen. Für die Versuche an den Buchen-Lamellen wurden sowohl Fichten- wie auch Buchendübel verwendet. Diese werden im Vorfeld möglichst weit heruntergetrocknet:

Holzfeuchtigkeit Buchendübel:  
3.5 - 3.7 %  
Holzfeuchtigkeit Fichtendübel:  
4.7 - 5.1 %

Die Dübel weisen einen Durchmesser der äusseren Rippen von 14.6 - 15 mm auf (Nenndurchmesser 15 mm).

Für den Einschub der Dübel in die vorgebohrten Löcher werden folgende Drücke verwendet:  
Fichtendübel: 70 bar  
Buchendübel: ca. 90 bar



Abb. 6: Feuchtigkeitsmessung der Fichten- und Buchendübel



Abb. 7: Dübelaggregat der Brettstapelmaschine



Abb. 8: Links: Buchendübel gebrochen, rechts Fichtendübel



**Resultat 2:**

Der Einschub des Fichtendübels in die Buchenlamellen verläuft störungsfrei und konstant. Beim Buchendübel wird, wie oben dargestellt, mehr Druck benötigt. Durch die Sprödigkeit des Buchenholzes besteht die Gefahr eines Dübelbruchs beim Einschub des Dübels.

**Bei Brettstapelelementen aus Buche sind Fichtendübel zu verwenden.**

**3.6 Model hobeln**

Nach dem Dübeln werden die Rohlinge (Model) auf die fertige Höhe und Breite gehobelt. Die Model sind einiges schwerer als die Ausführung in Fichte. Das Hartholz verlangt eine etwas langsamere Vorschubgeschwindigkeit. Grundsätzlich braucht es keine Zusatzmassnahmen um ein gutes Hobelbild zu erhalten. Das Verfahren entspricht jenem des Brettstapels in Fichte.



Abb. 9: Rückseite nach Einschub der Dübel, vor dem Model hobeln



Abb. 10: Brettstapelement aus Buche nach dem Hobeln

### 3.7 Ausbeute

Der Einschnitt von Fichtenlamellen erfolgt in der Regel auf Basis von Hauptprodukten. Das heisst, der Stamm wird im Vor- und Nachschnitt zu Parallelbretter verschiedener Breiten und Stärken fertig zugeschnitten. Dies ist möglich, da die Fichte einen wesentlich homogenen Stammaufbau hat als z.B. Buche. Die Ausbeute wird in diesem Fall über das Hauptprodukt einerseits und über die Gesamtausbeute andererseits errechnet und ist



Abb. 11: Ausbeute der Buchenstämmen hat grossen Einfluss auf die Kosten

abhängig vom Durchmesserband, das zum Einschnitt zur Verfügung steht. Entscheidend ist ebenfalls, welche Technologie zur Anwendung kommt. (Spaner / Gatter / Bandsäge). Die Ausbeute Hauptprodukt liegt im Durchschnitt bei Fichte bei ca. 42 % und 46 %. Die Gesamtausbeute inkl. Seitenware und Restholz beträgt zwischen 62 % und 67 %.

Im Gegensatz zur Fichte wird beim Einschnitt von Buchenlamellenholz der Einschnitt mehrstufig nötig. Da das Buchenholz wesentlich mehr Eigenspannung und in der Regel Krümmungen in der Stammachse aufweist, wird der Stamm im ersten Einschnitt zu Klotzbrettern der jeweiligen Lamellenstärke aufgeschnitten. Die so erzeugten Klotzbretter werden getrocknet und im trockenen Zustand auf die gewünschte Lamellenbreite besäumt. Durch die Trocknung werden Spannungen abgebaut, was zu Verformungen und Längsrissen führt. Diese beeinflussen die Lamellenbreite, die beim Längszuschnitt erreicht werden kann. Aus diesem Grund können Buchenlamellen nicht im Vor- und Nachschnitt auf eine einheitliche Breite geschnitten werden. Jeder zusätzliche Bearbeitungsschritt geht zulasten der Ausbeute an Haupt- und Nebenprodukt und erzeugt einen höheren Anteil an Restholz. Im Gegensatz zu Fichte / Tanne sind die Ausbeuteschwankungen bei Buche wesentlich höher und sowohl die Ausbeute Hauptprodukt wie Gesamtausbeute wesentlich tiefer. Im Mittel kann von einer Ausbeute Hauptprodukt von ca. 25 % bis 35 % ausgegangen werden. Die Gesamtausbeute liegt bei ca. 50 % bis 55 %, wobei der Anteil an Restholz wesentlich höher liegt als bei Fichte / Tanne. Ein wesentlicher Faktor ist die Lamellenbreite. Je kleiner die Lamellenbreite, desto grösser die Ausbeute. Ebenso wichtig ist die Lamellenlänge. Je kürzer die Lamellen desto besser die Ausbeute.

Die speziellen Eigenschaften von Buche setzen im Idealfall voraus, dass im Gegensatz zu Fichte / Tanne mehrere Produkte aus einem Stamm erzeugt werden können.

Die Rohlamellen werden bei der Herstellung von Brettstapelelementen weiter bearbeitet, sodass folgende theoretische Volumen entstehen.

Verschnitt durch Keilzinkung: ca. 6 % (Ausbeute ca. 94 %)

Buche: Rohlamelle 52 mm x 175 mm auf Fertiglamelle 42 mm x 160 mm (Ausbeute ca. 74 %)

Fichte: Rohlamelle 46 mm x 175 mm auf Fertiglamelle 42 mm x 160 mm (Ausbeute ca. 83 %)

Die Ausbeute der Fertiglamellen im Vergleich der Rohlamellen ist somit ca.

Buche: 68%

Fichte: 77%

Da wie oben beschrieben, die Nutzung des Restquerschnittes eines Stammes mit Neben- oder Hauptprodukten von entscheidender Bedeutung ist, kann die effektive Ausnutzung für die Herstellung von Brettstapelelementen nicht direkt vom Stamm abgeleitet werden. Hingegen geben die Marktpreise der Lamellen sowie die Ausbeute dieser für die Herstellung von Brettstapelelementen einen korrekten Kostenvergleich wider.

Rundholzpreis franko Werk:

Buche: ca. 90 - 110.- Fr./m<sup>3</sup>

Fichte: ca. 90.- Fr./m<sup>3</sup>

Kosten Lamellen franko Werk Ankauf:

Buche: ca. 550.- Fr/m<sup>3</sup>

Fichte: ca. 270.- Fr/m<sup>3</sup>

Kosten Brettstapel (Bsp. 160 mm Stärke) fertig

Buche: ca. 1640.- Fr/m<sup>3</sup>

Fichte: ca. 820.- Fr/m<sup>3</sup>

**Resultat 3:** Die Verarbeitung von **Buche** im Vergleich zur Fichte ist aufwendiger und ergibt eine **geringere Ausbeute**. Je grösser und länger die Lamellen sein müssen, umso schlechter werden die Ausbeute und das Verhältnis zur Fichte.

Durch eine feinere Aufteilung des Stammes in kleine und kurze Querschnitte, könnte die Ausbeute von Buchenholz massiv gesteigert werden. Gleichzeitig müssten für das Produkt Brettstapel in Buche diese Teile wieder durch Keilzinkung und Flächenverleimung zu Lamellen zusammengesetzt werden (vergleiche FAGUS BAUHOLZ von Fagus Suisse).

### 3.8 Statik / Kostenvergleich System

Die Ergebnisse 3.1 - 3.7 zeigen, dass das Produkt Buchenbrettstapel von der Wirtschaftlichkeit her betrachtet Nachteile bei gleichen Querschnitten zu Fichtenbrettstapel mitbringt. Die Frage stellt sich, ob die Festigkeitswerte der Buche geringere Querschnitte im Vergleich zur Fichte ergeben.

Brettstapelelemente werden hauptsächlich als Deckensystem eingesetzt. Bei flächigen Tragsystemen wie dem Brettstapelelement, ist für die Bemessung der Deckenstärke bei den meisten Fällen die Gebrauchstauglichkeit gemäss dem SIA-Normenwerk massgebend. Die Gebrauchstauglichkeit beinhaltet die Durchbiegung und das Schwingungsverhalten. Massgebend für die Berechnung der Gebrauchstauglichkeit wird insbesondere das E-Modul der Baustoffe.

Da die Festigkeitssortierung der Buchenlamellen nicht Bestandteil dieser Projektarbeit ist, wird für die Festlegung des E-Moduls der Brettstapel eine Annahme getroffen.

Annahme E-Modul Brettstapel Buche:  $E_{m,mean} = 13'000 \text{ N/mm}^2$

Annahme E-Modul Brettstapel Fichte:  $E_{m,mean} = 11'000 \text{ N/mm}^2$

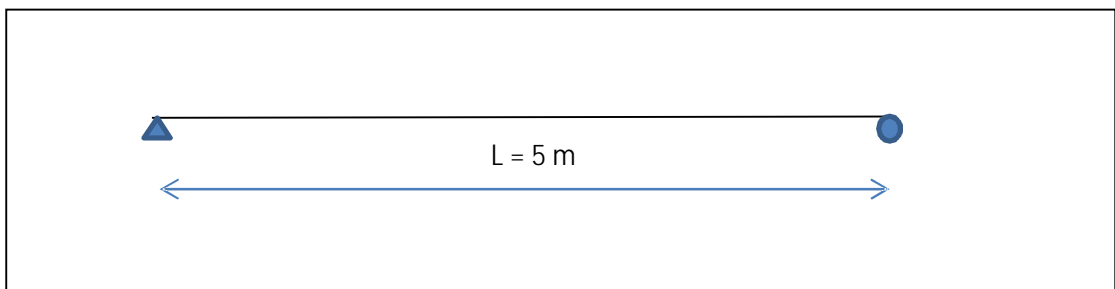


Abb. 12: Statisches System einer Referenzdecke

Berechnung:

Annahme: Nutzung Wohnen  
Nutzlast:  $2.0 \text{ kN/m}^2$   
Ständige Lasten:  $2.0 \text{ kN/m}^2$   
Durchbiegung: max.  $L/400$  (inkl. Kriechen)

Resultate

Buchenbrettstapel  $h_{\text{eff}} = 150 \text{ mm}$  (Durchbiegung  $L/422$ ;  $E_{m,mean} = 13'000 \text{ N/mm}^2$ )

Fichtenbrettstapel  $h_{\text{eff}} = 160 \text{ mm}$  (Durchbiegung  $L/434$ ;  $E_{m,mean} = 11'000 \text{ N/mm}^2$ )

Bemerkung: Selbst bei einem E-Modul von  $16'000 \text{ N/mm}^2$  (entspricht GL60c) würde eine Stärke von  $h_{\text{eff}} = 140 \text{ mm}$  resultieren.

Kostenvergleich:

Brettstapel Buche 5 m Spannweite: $0.15 \text{ m} \times 1640.- \text{ Fr/m}^3 =$	$246.- \text{ Fr/m}^2$	186 %
Brettstapel Fichte 5 m Spannweite: $0.16 \text{ m} \times 820.- \text{ Fr/m}^3 =$	$132.- \text{ Fr/m}^2$	100 %

**Resultat 4: Bei Flächensystemen, bei welchen das E-Modul massgebend für die statische Berechnung wird, ist die Querschnitteinsparung durch die Verwendung von Buchenholz gering.** Die Wirtschaftlichkeit ist nicht gegeben.

Wenn die Festigkeitseigenschaften, wie Zug- und Druckfestigkeiten oder aber die Biegefestigkeit massgebend werden, könnte eine Optimierung der Kosten möglich sein. Ansätze Flächensysteme. Aufgelöste Querschnitte wie der Optiholz Stegkasten (siehe Art. 7.5) mit Buchenlamellen im Zug- und Druckbereich; Holz-Beton-Verbund mit Zugzone aus hochfestem Buchenholz.

Ansätze Stabsysteme: Einsatz von Buchenholz bei hoch beanspruchten Zug- und Druckzonen oder Momentenbeanspruchung ohne Einfluss auf die Durchbiegung (E-Modul).

Aufgrund der nicht vorhandenen Wirtschaftlichkeit und dem grossen Quell- und Schwindverhalten des Buchenbrettstapels ist die separierte Untersuchung der Kervenausbildung bei Holz-Beton-Verbundelementen nicht sinnvoll. Es ist eine umfangreiche Untersuchung notwendig, beginnend bei der Sortierung von Buchenlamellen und der Minimierung der Lamellendicke, über die Kervenausbildung bis hin zur Optimierung der Hebelwirkung (Achsenabstand). An dieser Stelle ist ein Verweis auf parallel laufende AP-Holz-Projekte im Bereich Buchenbrettschichtholz angebracht.

### 3.9 Fertigprodukt

Aufgrund der grossen Quell- und Schwindmasse zeichnen sich die einzelnen Lamellen innert kurzer Zeit ab. Auf einer Brettstapelhöhe von 120 mm kann der Höhenunterschied der Lamellen bis ca. 1 mm betragen, was bei scharfkantig gehobelten Lamellen gut sichtbar wird. Daher sind die Lamellenkanten bei einem sichtbaren Buchenbrettstapel zwingend entsprechend zu profilieren.

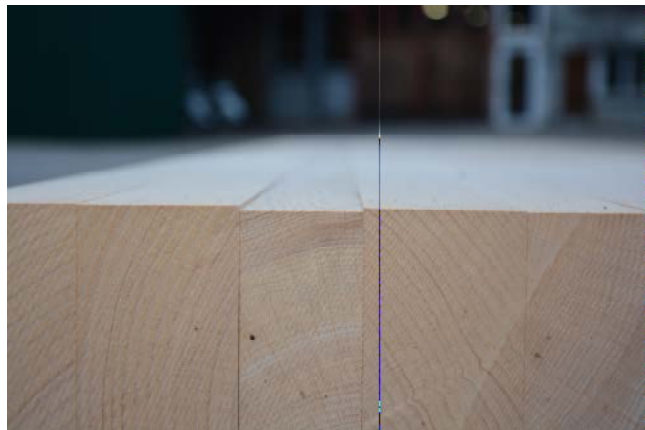


Abb. 13: Unterschiedliches Quell- und Schwindmass bei Buche

Die Breite der Brettstapelmodels wurde auf 630 mm gehobelt. Bei jenen Exponaten, welche unter dem Vordach im Freien gelagert wurden, mass man nach 6 Monaten Lagerdauer eine Breite von bis 637 mm. Bei jenen im beheizten Wohnraum misst man eine Breite von min. 625 mm.



Abb. 14: Model nach der Lagerung im, vor direkter Bewitterung geschützten Aussenbereich

Die Klemmung der Dübel – sowohl der Fichten-, wie auch der der Buchendübel – ist auch nach sechs Monaten bei unterschiedlichen Klimabedingungen hervorragend. Gegenüber dem Fichtenbrettstapel kann die Klemmung als besser bezeichnet werden. Unterschiedliche Klimabedingungen heisst, dass die Buchenbrettstapel-Exponate sowohl im Freien unter einem Vordach wie auch im beheizten Wohnraum gelagert wurden.



Abb. 15: Buchenbrettstapel nach sechs Monaten Lagerung im, vor direkter Bewitterung geschützten Aussenbereich (Feuchtklasse 2)



Abb. 16: Buchenbrettstapel nach sechs Monaten Lagerung im Innenbereich (Feuchtklasse 1)

**Resultat 5: Buchenholz hat ein grosses Quell- und Schwindmass.** Dem Quell- und Schwindverhalten der einzelnen Lamellen aber auch des Deckensystems ist grosse Beachtung zu schenken. Mehrere Lagen liegendes Buchenholz oder hohe Querschnitte sind zu vermeiden oder konstruktiv so auszubilden, dass keine Schäden durch das Quellen oder das Schwinden entstehen können. Das System Brettstapel bewährt sich sehr gut für Buchenholz, da jede Lamelle für sich in der Breite und in der Stärke quellen und schwinden kann.

**Resultat 6: Die Klemmwirkung der Fichtendübelverbindung in den Buchenlamellen ist hervorragend.**

#### 4.0 Wirkung

- 4.1 Die vorliegende Arbeit belegt, dass der Brettstapel aus Buchenholz sehr gut herstellbar ist. Das Verfahren wird beschrieben.
- 4.2 Für die regionalen Holzbauer, Planer und Ingenieure bedeutet dies, dass die Möglichkeit gegeben ist, Buchenholz in Brettstapelelementen oder in Holz-Beton-Verbundelementen einzusetzen.
- 4.3 Für die Sägereien besteht die Möglichkeit, den Grundstoff für ein weiteres Produkt aus Buchenholz zu liefern. Ein entscheidendes Kriterium ist die Ausbeute und damit die Herstellung von Lamellen. Da sind die Sägereibranche und die Holzindustrie noch gefordert.
- 4.4 Zur Kommunikation der Resultate wird ein WTT-Anlass in Zusammenarbeit mit der Lignum Ost geplant.
- 4.5 Wenn möglich wird ein Bericht im „Wir Holzbauer“ abgedruckt und damit die Resultate anderen Holzbaubetrieben zur Verfügung gestellt.
- 4.6 Buchenholz wird in die Produktpalette der Optiholz<sup>®</sup>-Linie der Kaufmann Oberholzer AG aufgenommen.



## 5.0 Ressourcenpolitik

- 5.1 Der grosse Nachteil von Buchenholz liegt im Quellen und Schwinden. Hinzu kommt, dass Buchenholz, je nach Faserverlauf und Wuchs, relativ wild ist. Dies bedeutet einerseits, dass die Sortierung aufwändig ist, andererseits, dass nicht allzu grosse Querschnitte erstellt werden können. Soweit der Verfasser dies beurteilen kann, ist diese Erkenntnis unabhängig von der Teilung des Querschnittes. Das will heissen, dass sowohl grosse rohe Querschnitte, wie auch verleimte Lamellen im gleichen Volumen oder gar in feinen Scheiben (Furnier) aufeinander geschichtete und zusammengeleimte Querschnitte die negative Eigenschaft der Buche der grossen Quell- und Schwindbewegungen unabhängig in sich weiter tragen.
- 5.2 Somit eignet sich Buche im Konstruktionsbereich vornehmlich in kleinformatigen Querschnitten. Bis 120 mm Höhe sind nicht sichtbare Brettstapel oder sichtbare Brettstapel mit entsprechender Profilierung der einzelnen Buchenlamellen und mit Dehnungsfugen bei Elementstössen empfehlenswert. Die Profilierung bewirkt, dass der sich ändernde Höhen- bzw. Breitenunterschied einzelner Lamellen nicht erkennbar wird.
- 5.3 Zur Steigerung der Ausbeute sind kleinformatige Holzstücke zu Lamellen zu verleimen. Wenn dies einfach und rationell zu einem günstigen Preis umgesetzt werden kann, besteht die Möglichkeit der vermehrten Anwendung. Der Preis einer Buchenlamelle müsste demjenigen einer Fichtenlamelle ähnlich oder gleich sein, damit der Mehraufwand für den Zusammenbau des Brettstapels abgedeckt ist. Fagus Suisse hat entsprechende Ansätze.
- 5.4 Die Herstellung von Lamellen ist nicht in dieser Arbeit abgehandelt. Ist diese Grundlage, wie unter zum Beispiel 5.3 beschrieben, vorhanden, dann kann Buchenholz in grossen Mengen eingesetzt werden.

## 6.0 Erfahrungen

- 6.1 Die Herstellung von Brettstapeln in Buche ist möglich und verfahrenstechnisch gut ausführbar. Die Anlagen der Kaufmann Oberholzer AG sind für die Verarbeitung von Hartholz, wie Buche, geeignet.
- 6.2 Schematisch wird beim gedübelten Brettstapel jede Lamelle aufgefädelt. Dadurch kann jedes Brett für sich quellen und schwinden. Für die Buchenbretter ist das ein ideales System.
- 6.3 Buchenholz ist hart und unruhig. Die Festigkeitssortierung ist nicht einfach. Es müssen viele Faktoren berücksichtigt werden. Abhölzige Faserverläufe können die Festigkeit des Buchenholzes massiv reduzieren. Durch die Eigenschaften der Buche, ergibt sich ein grösserer Hobelverlust bei den Lamellen. Kleine Querschnitte und kurze Stücke ergeben eine bessere Ausbeute.
- 6.4 Die Wirtschaftlichkeit von Buchenbrettstapeln gegenüber Fichtenbrettstapeln ist momentan nicht gegeben.
- 6.5 Wenn eine Deckenuntersicht in Buchenholz gewünscht wäre, würde der sichtbare Brettstapel in Buche eine wirtschaftliche Lösung im Vergleich zu einem Fichtenbrettstapel mit heruntergehängter Deckenverkleidung in Buche darstellen.
- 6.6 Die Architektur verlangt zur Zeit kaum Buchenholz als sichtbare Oberfläche. Sowohl im Bereich der Parkettböden, wie auch bei Möbeln oder Türen ist die Buche momentan nicht im Trend. Trends und Mode sind Wellenbewegungen unterworfen. So war lange Zeit das helle Hartholz Ahorn in Mode. Heute ist es völlig out. Hingegen ist die Eiche, welche über viele Jahre weniger Bedeutung hatte, schon seit einiger Zeit eine gefragte Holzart.

## 7.0 Ideen für Folgeprojekte

### 7.1 Holz-Beton-Verbund mit Buchen Brettstapeln

Die höheren Festigkeiten im Bereich der Zug- und Druckkräfte von Buchenholz könnte beim Holz-Beton-Verbund Optimierungspotential bedeuten. Zusätzlich könnte der Nachteil der Buche, das Quell- und Schwindmass, durch die geringe Höhe des nötigen Holzes bei Holz-Beton-Verbund-Systemen ausgeglichen werden. Zu beachten ist die Festigkeitssortierung, welche bei Buche aufwendiger ist.

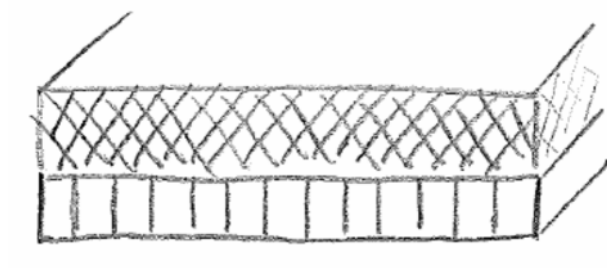


Abb. 17: Holz-Beton-Verbund mit Buchenlamellen



Abb. 18: Holz-Beton-Verbund vorgefertigt mit Fichtenlamellen

## 7.2 Rohlamellen anstelle von gehobelten Buchenlamellen

Der Hobelverlust ist bei der Buche relativ gross. Wenn Rohlamellen verwendet werden könnten, wäre dies eine grosse Optimierung. Allenfalls kann das Vorhobeln vor der Keilzinkung nicht weggelassen werden. In einem Folgeprojekt müssten die Möglichkeiten ausgelotet werden. Es müsste auch die Frage gestellt werden, wann überhaupt Keilzinken Sinn macht.

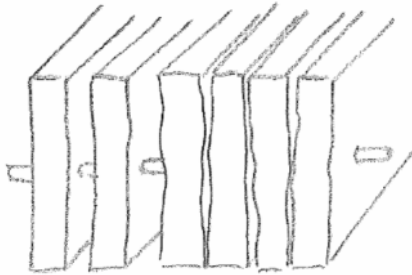


Abb. 19: Brettstapel aus Buchenrohlamellen

## 7.3 Stabverleimte Lamellen

Ebenfalls mit der Optimierung der Ausbeute hat die Verwendung von stabverleimten Lamellen zu tun. Kleinere Querschnitte ergeben grössere Ausbeute aus dem Stamm. Ein Ansatz wäre deshalb die Prüfung, Entwicklung und Verwendung von stabverleimten Lamellen.

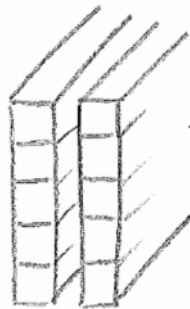


Abb. 20: Stabverleimte Buchenlamellen

#### 7.4 Biomasse für den konstruktiven Holzbau

Die grösste Wirkung für die Steigerung der Ausbeute und damit die Verwendung von Buchenholz wäre die Entwicklung von Biomasse, welche für den konstruktiven Holzbau eingesetzt werden könnte. Span- und OSB-Platten gehen in diese Richtung. Wenn die Festigkeitseigenschaften der einzelnen Holzfasern im Verbund mit weiteren Holzfasern (bzw. Kohlenstoff) noch besser genutzt werden könnten, wäre dies ein riesengrosser Schritt für die Wald- und Holzwirtschaft.

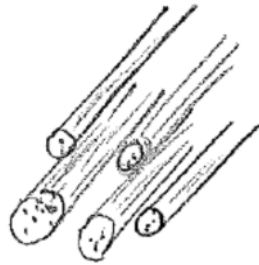


Abb. 21: Biomasse für den konstruktiven Holzbau

#### 7.5 Aufgelöste Querschnitte mit Buchenzug- und Drucklamellen

Buche hat gute Zug- und Druckwerte. Ausserdem hat hochfeste Buche ein gutes E-Modul. Um die Nachteile des Quellen und Schwindens zu minimieren, wären aufgelöste Querschnitt in Kombination mit Fichtenlamellen als Ansatz zu prüfen.

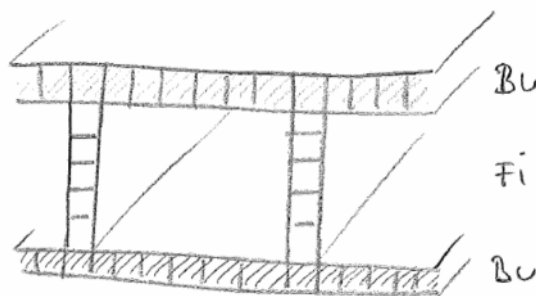


Abb. 22: Aufgelöster, „intelligenter“ Querschnitt

## **8.0 Dank**

Dieses spannende Projekt mit dem Titel „Kaufmann-Laubholz-Deckensystem“ ist nur in hervorragender Zusammenarbeit verschiedener Beteiligten ermöglicht worden. An dieser Stelle herzlichen Dank an Rolf Auer von der Lignum Ost, Toni Horat von der Thurholz GmbH und Otto Schönholzer von Kaufmann Oberholzer AG für die Unterstützung und das Einbringen von langjährigen Erfahrungen.

Für die finanzielle Unterstützung von Aktionsplan Holz (Bundesamt für Umwelt BAFU) ist ein grosser Dank verbunden.