

Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung

**PROJEKTBERICHT
Projekt WHFF Nr. 2008.08**

**Entwicklung eines Konstruktions-Vollholz-Sortiments aus Laubholz
für niedrige Anforderungen bezüglich Masshaltigkeit**

Pawlik + Wiedmer GmbH
Bauplaner und Architekten
Clemens Wiedmer
Hochfeldstrasse 8
CH-3012 Bern

Bern, den 23. Februar 2009

© 2009

CH-3012 Bern

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung, Verbreitung und Übersetzung vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form ohne schriftliche Genehmigung reproduziert oder über elektronische Systeme verbreitet werden. Die Genehmigung ist beim Verfasser einzuholen. Bei gesperrten Arbeiten ist jegliche Art der Weiterverwendung verboten.

Abstract (deutsch)

In den Wäldern Mitteleuropas wächst je länger je mehr Laubholz nach, und der Nadelholzanteil geht gleichzeitig zurück. Damit ist auch der Holzhausbau mittel- und langfristig gefordert, für zukünftig vermehrt anfallende Holzarten wie Buche neue Anwendungsfelder zu erschliessen. Im vorliegenden Projekt wird das Ziel verfolgt, ein einfaches Bauholzsortiment aus Buche zu entwickeln und in einem konkreten Bauobjekt einzusetzen. Als Bauobjekt dient der Ausbau einer bestehenden Holscheune zu einem zweigeschossigen Einfamilienhaus. Die Wände werden in der Holzrahmenbauweise konstruiert. Das Buchenholz wird als Ersatz für konventionelles Bauholz in Fichte/Tanne in der tragenden Konstruktion (Rahmen) sowie als Lattenrost in den Außen- und Trennwänden und in der Geschossdecke verwendet. Das Holz wird von einer Laubholzsägerei bereitgestellt. Die Latten für die Roste bestehen aus Vollholz. Die Stützen (Rahmen) werden bei einem Holzleimbauer zu Trio-Kanthonz verleimt. An der Schnittstelle zwischen Sägewerk und Leimbauer zeigt sich, dass für Nadelholz eingerichtete Holzverarbeitungsbetriebe nicht sehr effizient Laubholz verarbeiten können. Im zweiten Teil des Projekts werden Verbindungsmittel gesucht, die für die Montage von Hartholz-Bauteilen geeignet sind. In einem Laborversuch werden auf dem Markt erhältliche selbstbohrende Schrauben für verschiedene Einbausituationen geprüft. Dabei konnte ein geeigneter Schraubentyp identifiziert werden. Der Einbau der Bauteile im dritten Projektteil erfolgt ohne grössere Schwierigkeiten. Es zeigt sich jedoch, dass Buchenholz im ‚Handling‘ für die Zimmerleute gewöhnungsbedürftig ist. Insgesamt konnte mit dem Projekt gezeigt werden, dass der konstruktive Einsatz von Buche technisch möglich ist. Damit Buche für den Bau interessant wird, müssen die Bemessungsgrundlagen für Bauplaner ergänzt und die Prozesse in der Bauteilproduktion weiter optimiert und werden. Weitere Entwicklungsarbeit ist bei den Verbindungsmitteln zu leisten.

Keywords: Holzbau, Konstruktionsholz, Laubholz, Buche

Abstract (français)

Dans les forêts d'Europe centrale, les résineux cèdent de plus en plus la place aux feuillus, ce qui poussera à moyen et à long terme le secteur de la construction en bois à trouver de nouvelles utilisations pour les essences de bois les plus fréquentes, telles que le hêtre. Le présent projet a pour objectif de développer un assortiment de bois de construction en hêtre, qui sera mis en œuvre pour transformer une grange en une maison individuelle de deux étages. Les murs sont construits en ossature bois. Le bois de hêtre remplace le bois de construction traditionnel (épicéa ou sapin) pour les éléments porteurs et en tant que lattage dans les murs extérieurs, les cloisons et les faux-planchers. Le bois est débité dans une scierie de feuillus. Le lattage est en bois massif. Les poutres (éléments porteurs) sont constituées de trois lames (poutre-trio) entrecollées par un fabriquant de bois lamellé-collé. Comme les entreprises de

transformation du bois équipées pour les résineux ne traitent pas le bois feuillu de manière très efficace, des étapes supplémentaires seraient nécessaires afin d'augmenter l'efficacité de la fabrication d'éléments de construction en feuillus (à l'exception du bois massif). La deuxième partie du projet est consacrée à la recherche de techniques d'assemblages adaptées pour le montage des éléments en bois dur. Les vis auto taraudeuses actuellement sur le marché sont testées en laboratoire pour différentes utilisations, afin d'identifier le type de vis adéquat. Comme le montre la troisième partie du projet, le montage des éléments de construction ne présente pas de grosses difficultés. Les charpentiers doivent toutefois s'habituer à travailler avec du hêtre. Le but du projet est de démontrer qu'il est techniquement possible d'utiliser ce bois dans la construction. Pour que le hêtre soit intéressant dans la construction, les tables de dimensionnement qu'utilisent les planificateurs doivent être complétées et les processus de production des éléments optimisés. Les techniques d'assemblage doivent quant à elles encore faire l'objet d'études supplémentaires.

Mots-clés: construction en bois, bois de construction, feuillus, hêtre

Inhaltsverzeichnis

<u>1. EINLEITUNG</u>	8
1.1. HINTERGRÜNDE, PROBLEMSTELLUNG	8
1.2. PROJEKTIDEE UND PROJEKTZIELE	8
<u>2. VORGEHEN</u>	9
2.1. GRUNDSÄTZLICHES	9
2.2. ARBEITSSCHRITTE	11
2.3. PROJEKTORGANISATION	12
2.4. ZEITPLAN	12
<u>3. STAND DES WISSENS</u>	13
3.1. VORKOMMEN DER BUCHE IM WALD	13
3.2. VERFÜGBARKEIT VON BUCHE ALS NUTZHOLZ	15
3.3. TECHNISCHE EIGENSCHAFTEN VON BUCHENHOLZ	15
3.4. KONSTRUKTIVE ANWENDUNGEN MIT BUCHENHOLZ	18
3.5. WICHTIGSTE FOLGERUNGEN AUS DER LITERATURAUSWERTUNG	21
<u>4. BAUOBJEKT „UMBAU SCHÜRLI“ IN NEUENGG</u>	22
4.1. BAUTYP, BAUTEILE, PLÄNE	22
4.2. AUSWAHL BAUTEILE MIT BUCHE	25
<u>5. PRODUKTION DER BAUTEILE</u>	28
5.1. KONSTRUKTIVER LÖSUNGSANSATZ UND ANFORDERUNGEN AN DAS ROHMATERIAL	28
5.2. PRODUKTION DER LAMELLEN	30
5.3. PRODUKTION DER TRIO-BALKEN	32
5.3.1. TECHNISCHE VORAUSSETZUNGEN DES LEIMBAUERS	32
5.3.2. TESTVERLEIMUNG MIT SCHERFESTIGKEITSPRÜFUNG	32
5.3.3. DELAMINIERUNGSPRÜFUNG	34
5.3.4. WEITERE OPTIMIERUNGSMÖGLICHKEITEN DER VERKLEBUNG	34
5.3.5. PRODUKTION AUF DER LEIMANLAGE	35
5.4. WICHTIGSTE FOLGERUNGEN AUS DER BAUTEILPRODUKTION	36

<u>6. VERBINDUNGEN</u>	37
6.1. PROBLEMATIK VON HOLZ-METALL-VERBINDUNGEN BEI HARTHOLZ	37
6.2. VERSCHRAUBUNGSVERSUCH	38
6.2.1. MATERIAL UND METHODE	38
6.2.2. ERGEBNISSE	44
6.2.2.1 Situation 1: Befestigung Bodenrost auf Massivholzdecke	44
6.2.2.2 Situation 2: Befestigung Riemenboden auf Bodenrost	49
6.2.2.3 Situation 3: Befestigung Wandrost an Stützen (Rahmen)	54
6.2.3. ZUSAMMENFASSUNG TESTERGEBNISSE	59
6.3. WICHTIGSTE FOLGERUNGEN AUS DEM VERSCHRAUBUNGSVERSUCH	59
<u>7. EINBAU DER BAUTEILE</u>	60
7.1. ANLIEFERUNG	60
7.2. MONTAGE DER BAUTEILE	61
7.2.1. RAHMEN	61
7.2.2. LATTENROST WAND	64
7.2.3. BEPLANKUNG	64
7.2.4. BODEN	65
7.3. QUALITÄTSSICHERUNG	65
7.4. WICHTIGSTE FOLGERUNGEN AUS DEM EINBAU	66
<u>8. ÖKONOMISCHE ASPEKTE</u>	66
<u>9. DISKUSSION DES PROJEKTS</u>	67
<u>10. SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN</u>	69
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	70
TABELLENVERZEICHNIS	71
LITERATURVERZEICHNIS	72

1. Einleitung

1.1. Hintergründe, Problemstellung

In den Wäldern Mitteleuropas wächst der Anteil der Laubholzarten, und der Anteil von Fichte und anderer wirtschaftlich nutzbarer Nadelbaumarten geht gleichzeitig zurück. Diese Tatsache hängt mit dem seit mehreren Jahrzehnten angewandten Prinzip des ‚Naturnahen Waldbaus‘ zusammen, wo die natürliche Verjüngung der Wälder vorwiegend mit Laubholzarten erfolgt. Immer häufiger vorkommende Sturmereignisse beschleunigen diesen Prozess. Die langfristige Auswirkung des fortschreitenden Klimawandels auf die heutige Baumartenzusammensetzung lässt sich noch nicht zuverlässig abschätzen. Mit grosser Wahrscheinlichkeit werden jedoch die heute noch weit verbreiteten Fichte und Tanne, zum Teil aber auch die Laubbäume der gemässigten Zonen wie die Buche, in den tiefsten Lagen in Bedrängnis kommen.

Angesichts der laufenden Entwicklung scheint es angezeigt, dass sich die Holzwirtschaft längerfristig auf einen teilweisen Ersatz von Fichte/Tanne durch Laubholz vorbereitet. Im Energieholz-Sektor wird Laubholz und insbesondere Buche bereits heute stark nachgefragt. Die hohe Nachfrage wird vermutlich auch in Zukunft nicht abzubreissen. Aus ressourcenpolitischen Überlegungen macht es jedoch Sinn, die Laubhölzer wenn immer möglich (zuerst) *stofflich* zu verwerten. Heute kommen Laubhölzer als Parkett, Furnier, Schwellen, Frisen, Treppen etc. zum Einsatz. Hingegen werden Laubhölzer und insbesondere Buche als *Konstruktionsholz* kaum verwendet. Gerade in diesem Einsatzbereich werden heute grosse Mengen von einem Rohstoff nachgefragt, der in unseren Wäldern je länger je weniger zur Verfügung steht.

Der Bund hat im Rahmen seiner neuen Ressourcenpolitik Holz einerseits die Weiterentwicklung des Holzbau, andererseits die Förderung der Laubholzverwertung als strategische Ziele für die kommenden Jahre definiert (BAFU [2], 2008).

1.2. Projektidee und Projektziele

Das vorliegende Projekt will einen Beitrag leisten, Laubhölzer vermehrt für den Einsatz als Konstruktionsholz im Holzbau in Wert zu setzen. Der Fokus wird auf die Rotbuche (*Fagus sylvatica L.*) gelenkt. Der ungenutzte Vorrat dieser Baumart in den Wäldern Mitteleuropas ist hoch, und damit könnte grundsätzlich mit dieser Holzart – falls im konkreten Einsatz technisch und ökonomisch konkurrenzfähig – Bauholz in grossen Mengen produziert werden.

Im zimmermannsmässigen Holzbau werden grundsätzlich *leichte* (Gewicht), *leicht bearbeitbare* d.h. gut schraub- und vernagelbare sowie den konstruktiven Anforderungen entsprechend formstabile Materialien gewünscht. Bei der Montage spielt der Zeit- resp. Kostenfaktor eine grosse Rolle. Für viele konstruktive Anwendungen hat

Laubholz und insbesondere die Buche bedingt durch seine physikalischen bzw. mechanischen Eigenschaften einen Nachteil gegenüber dem Nadelholz. Als problematisch in technischer Hinsicht werden beim Laubholz das ausgeprägte Quell- und Schwindverhalten, vgl. (Kucera & Gfeller, 1994) und damit verbunden die relativ geringe Formstabilität und die Neigung zum Aufspalten genannt. Ein weiterer Grund, weshalb nicht mehr Buche als Bauholz eingeschnitten wird, ist bei der wirtschaftlich uninteressanten Verwertung der Sägerei-Nebenprodukte zu vermuten.

Den nachfolgenden Ausführungen liegt die Vermutung zugrunde, dass Buche als Konstruktionsholz in kleinen Dimensionen für den Einsatz im witterungsgeschützten Bereich, und wo bezüglich Formstabilität eine gewisse Toleranz möglich ist, prinzipiell ohne Verlust an Bauqualität verwendbar ist. Dabei sollen Möglichkeiten gesucht werden, heute schlecht absetzbare Haupt-Sortimente sowie Teile des anfallenden Sägerei-Restholzes in Konstruktionsholz zu transformieren.

Mit modernen, leistungsfähigen Schraub- und Nagelverbindungen wie selbstbohrende Schrauben, Nagelplatten, Wellennägel etc. kann im Holzbau sehr effizient gearbeitet werden. Die Verbindungsmittel sind jedoch für Nadel-Bauholzer konzipiert und für den Einsatz bei Hartholz nur bedingt einsetzbar (Problem: Spalten, Risse, Materialverschleiss etc.). Solche Hochleistungsverbindungen müssten auch für den Laubholzbau zur Verfügung stehen, wenn dieser Baustoff konkurrenzfähig sein soll.

Im vorliegenden Projekt werden folgende Teilziele verfolgt:

- Planung und Produktion eines einfachen Vollholzsortiments aus Buche für den Holzhausbau
- Identifizierung leistungsfähiger und effizienter Stahl-Holz-Verbindungen für Buchenholz
- Planung und Durchführung einer konkreten Anwendung

2. Vorgehen

2.1. Grundsätzliches

Bei diesem Entwicklungsprojekt stehen die praktische Erkenntnis und die Erarbeitung konkreter, umsetzbarer Lösungen im Vordergrund. Einerseits soll vorhandenes Wissen in Wert gesetzt werden, und andererseits gilt es, praktische Erfahrungen im Umgang mit Buche in der Holzverarbeitungskette und im Holzhausbau zu erwerben.

Aufhänger des ganzen Projekts ist ein konkretes Bauvorhaben. In der Gemeinde Neuenegg, zwischen Bern und Fribourg, wird im Zeitraum von September 2008 bis März 2009 eine alte, denkmalgeschützte Scheune zu einem Wohnhaus umgebaut

bzw. erweitert. Der Einsatz von Buchenholz im Hausbau wird anhand dieses konkreten Bauvorhabens geplant und erprobt.

Der Entscheid zum Einsatz von Buchenholz erfolgt zusammen mit dem Bauherrn und Architekten sowie dem beauftragten Zimmermann. Die Bauteilproduktion wird in zusammen mit zwei spezialisierten Firmen geplant und von diesen umgesetzt. In Kenntnis der Tatsache, dass Schraubenverbindungen bei Hartholz Probleme bieten, wird zusätzlich mit einem weiteren Praxispartner ein Verschraubungstest durchgeführt.

Die Herausforderung dieser Arbeit besteht darin, die Projektpartner für den Einsatz von Buchenholz zu motivieren, passende Buchenbauteile herzustellen, die Bauteile termingerecht auf die Baustelle zu liefern und diese am Schluss fachgerecht einzubauen.

In der nachfolgenden Übersicht sind die Arbeitsschritte dargestellt. Die detaillierte Vorgehensweise pro Arbeitsschritt ist in den jeweiligen Kapiteln beschrieben.

2.2. Arbeitsschritte

	Arbeitsschritt	Methode	Kapitel
Teil A Literaturrecherche		<ul style="list-style-type: none"> • Bibliothek • Internet • Experteninterviews 	3
Teil B Planung und Produktion Konstruktions-Vollholz aus Buche	B1: Analyse Bauobjekt und Dimensionierung Bauteile	<ul style="list-style-type: none"> • Baupläne analysieren • Koordination Architekt, Zimmermann, Säger, Leimbauer • Holzliste erstellen 	4
	B2: Produktion Lamellen	<ul style="list-style-type: none"> • Zusammenarbeit mit Sägerei Corbat SA, Vendlincourt: Beschreibung von Sortierung, Einschnitt, Konfektionierung 	5
	B3: Produktion Trio-Balken	<ul style="list-style-type: none"> • Zusammenarbeit mit Leimbauer Roth AG, Burgdorf: Scherfestigkeitsprüfung und Beschreibung der industriellen Verleimung 	5
Teil C Identifikation leistungsfähiger Verbindungsmitte für Hartholz	C1: Eignungstest Verbindungsmitte für den Einsatz bei Hartholz	<ul style="list-style-type: none"> • Zusammenarbeit mit SFS unimarket AG, Heerbrugg: Praktische Verschraubungstests im Prüflabor BFH • Auswertung Test am Bauobjekt in Neuengg 	6
	C2: Optimierung Verbindungsmitte	<ul style="list-style-type: none"> • Vorschläge für Optimierung Verbindungsmitte erarbeiten 	6
Teil D Einbau Bauteile in Bauobjekt	D1: Wände	<ul style="list-style-type: none"> • Einbau Stützen, Lattenrost, Gipsfaserplatten • Qualitätssicherung 	7
	D2: Boden	<ul style="list-style-type: none"> • Einbau Lattenrost, Riemenboden • Qualitätssicherung 	7
Teil E Redaktion Schlussbericht			

Tabelle 1: Übersicht Arbeitsschritte

2.3. Projektorganisation

Projektleitung /-bearbeitung:

Michael Gautschi, Dipl. Forsting. ETH, stud. NDS Holzbau

Praxispartner :

- Pawlik + Wiedmer Architekten GmbH, CH - 3012 Bern.
Kontaktperson: Clemens Wiedmer (Bauherr, Architekt, Gesamtprojektleiter)
 - Sägewerke A+C Corbat SA und Ets Röthlisberger SA (Corbat Holding SA),
CH - 2943 Vendlincourt .
Kontaktpersonen : Patrick Corbat; Christian Huber
 - Roth Holzleimbau + Stahlbau AG, CH - 3400 Burgdorf.
Kontaktperson: Franz Lenherr
 - SFS unimarket AG, CH – 9435 Heerbrugg.
Kontaktpersonen: Marcel Thomi; Bruno Oehler
 - Hofmann Dänzer Holzbau, CH - 3178 Bösingen.
Kontaktpersonen: Erwin Dänzer; Adrian Burri

Wissenschaftliche Beratung :

Dr. sc. techn. ETH Andreas Hurst, Leiter Studiengang Holz (BFH-AHB)

2.4. Zeitplan

3. Stand des Wissens

3.1. Vorkommen der Buche im Wald



Abbildung 1: Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) oder Gemeine Buche (Foto: M. Bolliger)

Der Buchenvorrat, gemessen am Gesamtvorrat im Schweizer Wald, beträgt 17,1% (Brassel & Brändli, 1999). Die Buche ist in der kollinen bis unteren montanen Stufe die häufigste Baumart. Den höchsten Buchenanteil weist der östliche Jura auf. Ausgedehnte reine Buchenwälder finden sich vor allem im Gebiet um Liestal/ Dornach und stellenweise im Tessin. Natürlich erweise frei von Buchen sind niederschlagsarme Alpentäler mit kontinentalem Klima. Die grosse Standortstoleranz der Buche wird durch vernässte Böden und Höhenlagen ab 1300 m.ü.M. eingeschränkt.

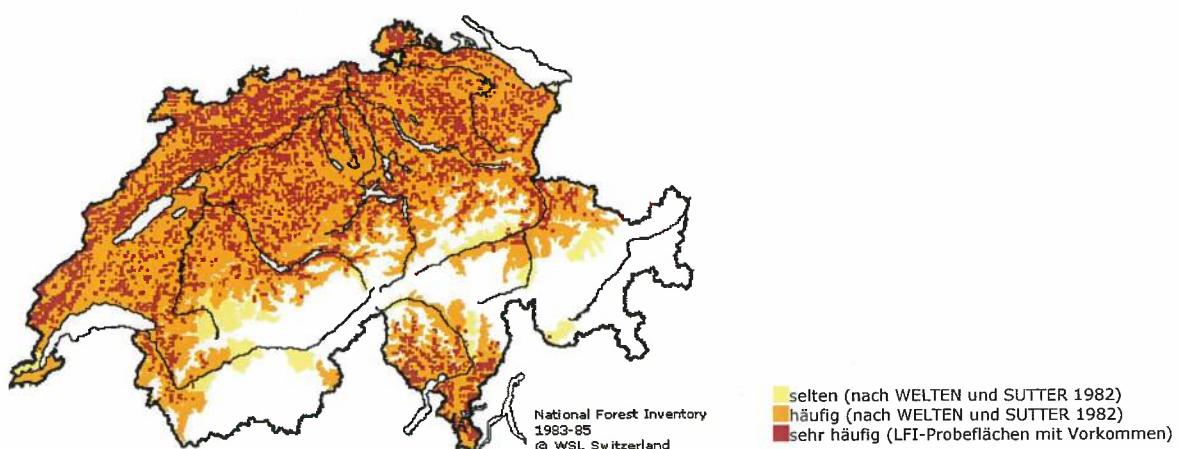


Abbildung 2: Räumliche Verbreitung der Buche in der Schweiz (LFI c/o WSL, 2008)

Die von Natur aus konkurrenzstarke Buche wurde im Verlauf der letzten Jahrhunderte aus wirtschaftlichen Gründen vielerorts durch verschiedene Nadelbaumarten, vor allem Fichte, ersetzt. Hauptsächlich in den Jahren zwischen ca. 1850 bis 1950 wurde

der Nadelholzanteil in den Schweizer Wäldern in den tiefen Lagen mittels Pflanzungen künstlich stark erhöht. Besonders die Fichte gilt insbesondere bei der bäuerlichen Bevölkerung in Zentraleuropa als der „Brotbaum“ schlechthin. Ausgeprägte Fichtenbestände finden sich in der Schweiz in ländlichen Gegenden wie beispielweise dem Emmental, dem Entlebuch, oder im Jurabogen.

Seit mehreren Jahrzehnten ist eine umgekehrte Entwicklung zu beobachten. Beim zweiten Landesforstinventar im Jahr 1995 wurde gegenüber der ersten Erhebung um 1984 ein um 12% gestiegener Laubholzvorrat festgestellt (Brassel & Brändli, 1999). Gemäss der ersten provisorischen Auswertungen des Landesforstinventars LFI3 hat sich der Laubholzvorrat seit 1995 in der Schweiz wieder um total 10% erhöht. In der gleichen Periode hat sich der Vorratsanteil an Nadelholz von 71 auf 69% verringert (LFI c/o WSL, 2007). Zu beachten sind dabei die grossen regionalen Unterschiede. In der Summe ist seit mehr als 20 Jahren eine ungebrochene Zunahme des Holzvorrats und der Waldfläche in der Schweiz feststellbar.

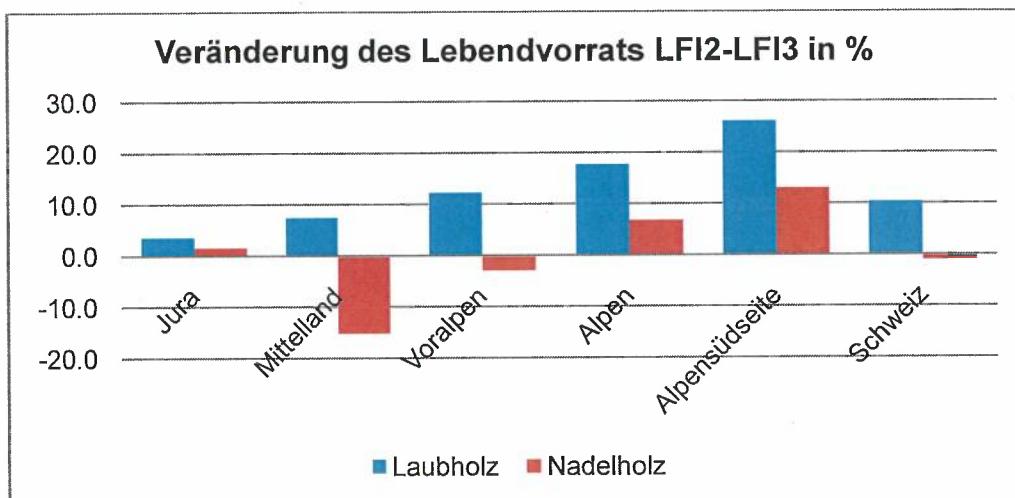


Abbildung 3: Darstellung Vorratsveränderung LFI2 / LFI3 in Prozent

Der Grund für die Entwicklung hin zu mehr Laubholz ist der seit den 1950er-Jahren in der Schweiz flächendeckend angewandte *naturahe Waldbau*. Bei dieser Waldbauform spielt die natürliche Waldverjüngung, d.h. der weitgehende Verzicht auf Pflanzungen, eine wesentliche Rolle. Vor allem in den tieferen Lagen des Mittellandes und des Juras werden auf diese Weise die relativ konkurrenzstarken Laubhölzer indirekt gefördert.

Die Erfahrung zeigt, dass bei den je länger je häufiger auftretenden Sturmereignissen, wie „Lothar“ am 26.12.1999, Mischwälder tendenziell stabiler sind als Wälder mit einem hohen Fichtenanteil oder sogar reine Nadelholzbestände (BAFU [1], 2008). Jeder Sturm ist somit ein Schritt zu mehr Laubholz, sofern die Wiederbewaldung mit Naturverjüngung stattfindet. Es ist zudem anzunehmen, dass sich der Trend zu mehr Laubholz infolge des voranschreitenden globalen Klimawandels zusätzlich verstärken wird, da insbesondere Fichte und Weisstanne als wenig trockenheitsresistent gelten (Brosinger & Tretter, 2007).

3.2. Verfügbarkeit von Buche als Nutzholz

Ein Blick auf die Verteilung der Stammholzqualitäten beim Laubholz lässt auf die effektive Verfügbarkeit in den verschiedenen Absatzkanälen schliessen.

Europaweit beträgt der Laubholzanteil am Gesamtvorrat (Laub- und Nadelholz) ca. 40%. Hingegen hat Laubholz bei der Schnittholzproduktion lediglich einen Anteil von 10% (Pöyry Forest Industry Consulting GmbH, 2007). Bei der Fichte kann von einem Stammholzanteil von ca. 80% ausgegangen werden, während dieser bei Buche nur ca. 30% beträgt.

Auch variiert die Qualitätsverteilung innerhalb des Stammholzanteils von Fichte und Buche sehr stark. Bei Fichte entfallen mehr als 50% des Stammholzes auf die Qualitäten A und B/C, welche der Nadelholzindustrie als Ausgangsmaterial für Bauholzsortimente und andere Schnittwaren von hoher Wertschöpfung dienen. Dagegen entfallen bei Buche ungefähr ca. 2/3 des Stammholzes auf die Qualität C, während bessere Qualitäten weniger als 25% des Stammholzes ausmachen. Im Vergleich mit den Nadelholzsägewerken kann die Laubholzindustrie daher auf eine geringere „geeignete“ Rundholzmenge zugreifen. Zudem ist beim Laubholz der Wettbewerb bei den niederen Qualitäten, z.B. mit der Holzwerkstoffindustrie sowie den erneuerbaren Energien, ausgeprägter als beim Nadelholz.

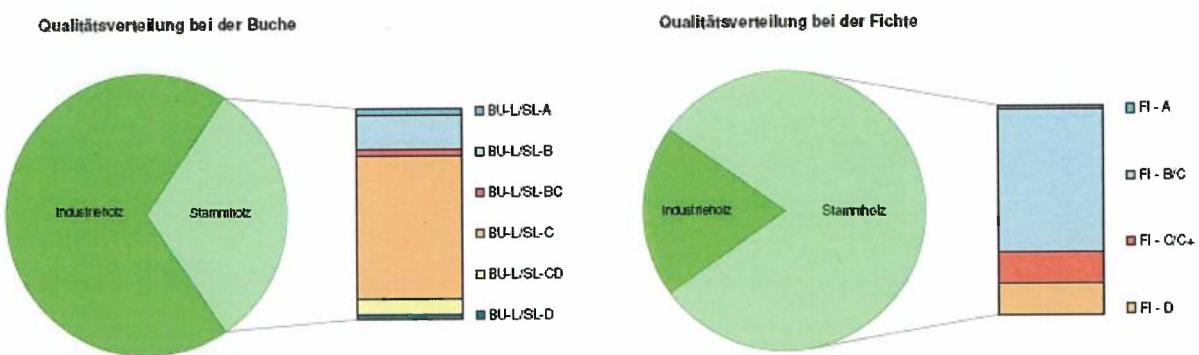


Abbildung 4: Verteilung der Qualitäten bei Buche und Fichte (Pöyry Forest Industry Consulting GmbH, 2007)

Aus der Sicht einer optimalen Wertschöpfung der Ressource Holz ist es aufgrund der vorangegangenen Überlegungen nicht angezeigt, reine Laubholzbestände und insbesondere reine Buchenbestände zu fördern. Auch unter dem Aspekt einer möglichst hohen Biodiversität im Wald und angesichts des fortschreitenden Klimawandels scheint es zielführender zu sein, in den tieferen Lagen Laubmischwälder mit einem ausgeglichenen Laub- und Nadelholzanteil anzustreben.

3.3. Technische Eigenschaften von Buchenholz

Bei Buchenholz auffällig ist das markant höhere Schwindmass in radialer und tangentialer Richtung im Vergleich z.B. zu Fichte. Diese Eigenschaft von Buche ist ver-

antwortlich für den Aufbau hoher Eigenspannungen im Holz und damit für die Bildung von Rissen, Aufspalten und Verdrehungen etc., teilweise in Verbindung mit Änderungen der Holzfeuchte.

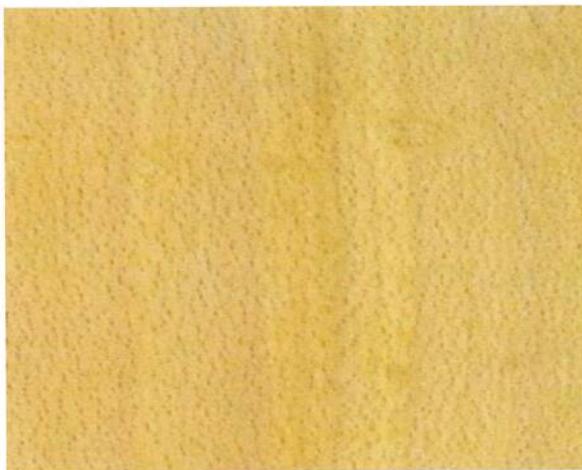


Abbildung 5: Buchenholz

Physikalische Eigenschaften:

		<i>Buche</i>	<i>Fichte</i>
Dichte [kg/m^3]	Darrdichte (ρ_{dtr})	0,64...0,72	0,30...0,64
	Rohdichte ($\rho_{12\dots15}$)	0,70...0,79	0,33...0,68
	Rohdichte ($\rho_{\text{grün}}$)	0,82...1,27	0,70...0,85
Schwindmass [%]	längs	0,3	0,3
	radial	ca. 5,8	ca. 3,6
	tangential	ca. 11,8	ca. 7,8
	Volumen	14...21	ca. 11,7
Differenzielles Schwindmass [in % je % Holzfeuchteänderung]	radial	0,19...0,22	0,15...0,19
	tangential	0,38...0,44	0,27...0,36
Wärmeleitfähigkeit bei 12-15% Holzfeuchte [W/mK]	λ_{\perp}	0,16	0,1...0,12
Härte nach Brinell [N/mm^2]	$H_B \parallel$	71	31
	$H_B \perp$	28...41	12

Tabelle 2: Physikalische Parameter von Buche und Fichte (Kucera & Gfeller, 1994) und (Wagenführ, 2007)

Diese „Lebhaftigkeit“ der Buche bietet grosse Herausforderungen beim Einschnitt von Rundholz, aber auch bei der Weiterverarbeitung. Die verarbeitungstechnischen Eigenschaften können nach Kucera & Gfeller (1994) wie folgt beschrieben werden:

- Vorsichtige Trocknung erforderlich wegen Neigung zu Rissbildung und zum Verwerfen
- leicht zu bearbeiten; schälbar, gut spaltbar, gedämpft sehr gut zu biegen
- Verleimung und Oberflächenbehandlung ohne Schwierigkeiten
- gut zu beizen und zu polieren
- Dauerhaftigkeit und Schutz: Gering; Pilz- und insektenanfällig; nicht witterungsbeständig. Splint gut, Rotkern nicht imprägnierbar.

Mechanische Eigenschaften (Werte für Vollholz):

Die tabellierten Bemessungswerte gelten für vor der Witterung geschützte Bauteile aus Vollholz (Feuchtekategorie 1 mit $\eta_w = 1,0$). Für andere Feuchteklassen und bei dynamischen Einwirkungen gelten die ($\eta_w * \eta_t$)-fachen Bemessungswerte.

η_w = Umrechnungsfaktor zur Erfassung des Einflusses der Holzfeuchte

η_t = Umrechnungsfaktor zur Erfassung des Einflusses der Einwirkungsdauer

		Festigkeitsklassen	Nadelholz C24	Buche / Eiche
Festigkeit	Bemessungswerte			
	Biegung	$f_{m,d}$	N/mm ²	14
	Zug parallel zur Faser	$f_{t,0,d}$	N/mm ²	8
	Druck parallel zur Faser	$f_{c,0,d}$	N/mm ²	12
	Zug senkrecht zur Faser	$f_{t,90,d}$	N/mm ²	0,1
	Druck senkrecht zur Faser generell	$f_{c,90,d}$	N/mm ²	1,8
	mit Vorholz (größere Eindrückungen)		N/mm ²	2,3 (2,9)
	Endauflagerung (größere Eindrückungen)		N/mm ²	1,8 (2,9)
	Schub	$f_{v,d}$	N/mm ²	1,5
Steifigkeit	Elastizitätsmodul in Faserrichtung	$E_{m,mean}$ $E_{t,0,mean}$ $E_{c,0,mean}$	N/mm ²	11'000
	Elastizitätsmodul senkrecht zur Faserrichtung	$E_{t,90,mean}$ $E_{c,90,mean}$	N/mm ²	300
	Schubmodul	G_{mean}	N/mm ²	500
10'000				
600				
1'000				

Tabelle 3: Mechanische Parameter Nadel- und Laubholz (Banhholzer et al., 2005).

3.4. Konstruktive Anwendungen mit Buchenholz

Wagenführ (2007) nennt für Buche folgende Anwendungsgebiete: Furnierholz; überwiegend als Schälholz für Sperrplatten, Verbund platten, Presslagenholz usw.; Ausstattungsholz für Möbel (Büromöbel, Schulmöbel, Stilmöbel, Kinderzimmermöbel u. a., Stühle, Tische, Gestelle), Vertäfelungen und Parkett; Konstruktionsholz für mittlere Beanspruchung im Fahrzeug- und Maschinenbau, im Tief-, Wasser- und Hochbau; Spezialholz für Span- und Faserplatten, Zellstoff und Papier, Pressholz, Sportgeräte, Fässer, Kisten, Werkbänke, Werkzeuggriffe, Haushaltgeräte, Schuheile, Holzwolle, Spielwaren, Schwellen, zum Drechseln, für Treppen, Holzpflaster, Musikinstrumententeile; zur Gewinnung von Holzessig, Holzkohle und Teeröl; ausgezeichnetes Biegeholz; etwa 250 Verwendungsbereiche sind bekannt, auch mit Rotkernigkeit.

Buche wird wegen des „unruhigen“ Charakters des Holzes in der Regel nicht in trager Funktion eingesetzt. Internetrecherchen und auch Experteninterviews im Rahmen dieser Arbeit weisen darauf hin, dass dies auch in der Vergangenheit nicht der Fall war (Meyer-Usteri, 2009) und (Hidber, 2009). Andere harte Laubhölzer wie Eiche hingegen wurden früher vielfach z.B. für Dachstühle oder im Brückenbau verwendet.

Das Thema Konstruktions-Vollholz aus Buche beschäftigt seit langem die Holzforschung. Besonders hervorgetan haben sich die Baustatiker der ETH Zürich um Professor Ernst Gehri. Um 1980 präsentierte Prof. Gehri Konstruktionsskizzen von Buchen-BSH im Fachwerkbau. Im Rahmen des Forschungsprojekts „Möglichkeiten des Einsatzes von Buchenholz für Tragkonstruktionen“ wurden im Forschungslabor der ETH Knotenverbindungen mit Stahlblechen in eingeschlitzten Stäben untersucht (siehe Abbildung 6). Ein Vergleich zwischen Tragwerken aus Buchen- resp. Fichten-BSH ergab eine signifikant höhere Festigkeit von Buche, ausgedrückt in Tragkraft [kN] pro Holzaufwand [m^3]. Die Autoren der Studie kamen zum Schluss, „dass mit Brettschichtholz aus Buche ein hochfester Baustoff zur Verfügung steht, mit dem in wirtschaftlicher Weise hochbeanspruchte und weitgespannte Tragwerke erstellt werden können“ (Gehri, 1982).

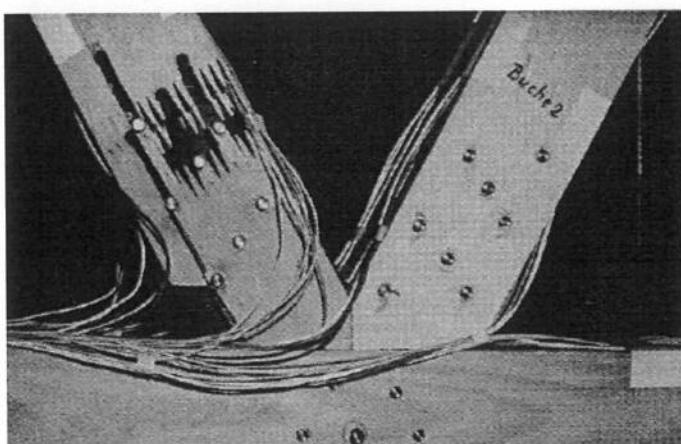


Abbildung 6: Knoten eines Fachwerkträgers aus Buchen-BSH (Gehri 1982)

Die Erkenntnisse aus diesem Projekt waren so ermutigend, dass die Technologen der ETH Zürich versucht haben, ihre Erkenntnisse über die hochfesten Buchenbauteile in die Praxis zu übertragen. Zu diesem Zweck wurde mit Praxispartnern das Knoten- und Verbindungssystem „Varitec“ für Holz-Raumfachwerke entwickelt (siehe Abbildung 7). Es besteht aus einer stählernen Metallkugel mit Gewindelöchern, einem gabelförmigen Verbindungsteil aus Guss, mehreren hochfesten Passbolzen für die mehrschnittige Verbindung sowie aus zu Brettschichtholz verleimten Stäben. Auf dem Markt war das System in Buche und Fichte und Fichte erhältlich (Steurer, 1986).

Das Tragwerksystem Varitec wurde im Pilotprojekt „Seeparksaal Arbon“, Baujahr 1984, erstmals eingesetzt:



Abbildung 7: Raumfachwerksystem Varitec; Pilotanwendung in Mehrzweckgebäude Seeparksaal

Das Raumfachwerk aus 1200 Holzstäben und Stahlknoten überspannt eine Fläche von 27x45 Metern. Für die Zug- und Druckstäbe im mittleren Bereich, d.h. wo die Lasten am höchsten sind, wurde Buchen-Brettschichtholz verwendet (Steurer, 2009). Das rund 55 Tonnen schwere Tragwerk wurde am Boden fertig zusammengebaut und mit hydraulischen Pressen auf die Stützen gehoben. Das Tragwerk erhielt die internationale Auszeichnung Glulam Award 1986.

Technisch funktioniert das System Varitec einwandfrei. Es hat sich aus wirtschaftlichen Gründen jedoch nicht durchgesetzt.

Beim Neubau der Dörflibrücke in Eggiwil, Kanton Bern, Baujahr 1985 (siehe Abbildung 8) wurde ebenfalls auf Initiative von Prof. Gehri Buchenholz in tragender Funktion verwendet. Bei diesem Bauwerk kommt brettschichtverleimtes, mit Teer behandeltes Buchenholz als Querträger unter der Fahrbahn und als Hänger zum Einsatz (schwarz gefärbt). Die Bogenträger sind aus Fichte, die Fahrbahnplatte aus Weißtanne. Für den Gehweg wurde zur Verbesserung der Witterungsbeständigkeit die tropische Holzart Bongossi verwendet (Meyer-Usteri, 2009).



Abbildung 8: Dörflibrücke in Eggwil BE mit Hängern und Querträgern aus Buchen-BSH

Im Jahr 1987 wurde im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms (NFP) 12 „Holz, erneuerbare Rohstoff- und Energiequelle“ die einheimische Buchenverarbeitung vertieft untersucht. Als Folge der Ergebnisse mehrerer Teilprojekte wurde für die Zukunft die Empfehlung formuliert, Buche vermehrt als Zuschnitte für die Möbel- und Holzwarenfertiger, als Massivholzplatten, Schallschutzwände und in der Palettenproduktion einzusetzen (Hurst, 1991).

Im Rahmen einer Diplomarbeit an der ETH Zürich wurde die Verleimung von Buchenrestholzern zu Massivholzplatten untersucht, mit Fokus auf ökonomische Aspekte (Réat, 1992). Die Arbeit lieferte keine schlüssigen Ergebnisse.

Vor allem in der Schweiz und in Deutschland sind seit einigen Jahren wieder intensivere Forschungstätigkeiten zum Thema Laubholz erkennbar. Forschungsarbeiten befassten sich mit den mechanischen Eigenschaften von rotkernigem Buchenholz sowie dem Problem der Verklebung (Pöhler, Klingner, & Künniger, 2004), mit Möglichkeiten der Farbegalisierung von rotkernigem Buchenholz (Oelhafen, 2005), oder mit dem Verklebungsverhalten und der Anwendungsmöglichkeit als Dreischichtplatte und Fensterprofile von thermisch behandelter Buche (Schnider, 2007).

In Deutschland wurde in den letzten Jahren die Entwicklung von Brettschichtholz aus Buche stark vorangetrieben. Hier sei insbesondere auf die Arbeiten von Blass et al. (TH Karlsruhe) sowie von Denny Ohnesorge (Universität Freiburg i. Br.) im Rahmen der COST-Aktion E40 hingewiesen. Ohnesorge (2008) untersucht die massgebenden Einflussfaktoren für die Delaminierungserscheinungen bei der Verleimung (Lamellendicke, Ausrichtung der Jahrringe), vgl. Kapitel 5.1. Er macht folgende Aussagen zum Einsatz von Buchen-BSH: 1. Keine vor Witterung ungeschützte Außenverwendung; 2. Nur Einsatz in Bauwerken mit geringen klimatischen Schwankungen.



Abbildung 9: Schubversuch an einem Brettschichtholzträger aus Buche; aus Ohnesorge (2008)

Wiss (2007) stellte im Rahmen seiner NDS-Diplomarbeit folgendes fest:

„Bei Fichte und Tanne tritt immer häufiger ein Befall von Hausbock am verbauten Holz auf. Mit der gegen Hausbock resistenten Buche könnte ohne den Einsatz von Chemie ein wirkungsvoller Schutz erreicht werden.“

Laubholz kann grundsätzlich mit den gleichen Maschinen und Werkzeugen bearbeitet werden wie Nadelholz, wobei die Standzeit der Werkzeuge durch die grössere Härte des Materials etwas kürzer ist. Auf den modernen Abbundanlagen können die gleichen Verbindungen wie beim Nadelholz produziert werden [...]. Schwieriger wird es bei Nagelverbindungen. Hier müsste mit Nagelpistolen oder Vorbohren gearbeitet werden. Ähnlich verhält es sich mit Schraubverbindungen. Durch die höhere Rohdichte ist die Gefahr des Aufspaltens gross.“

3.5. Wichtigste Folgerungen aus der Literaturoauswertung

- Buchenholz kann als Konstruktionsholz eingesetzt werden, wo bezüglich Feuchtigkeit keine hohen Gefährdungen bestehen (sonst chemischer Feuchteschutz nötig). Je wichtiger die statische Funktion eines Bauteils ist und je höher die Anforderungen an die Masshaltigkeit sind, desto dringender muss auf den Ausschluss von Feuchtigkeit geachtet werden.
- Die Formstabilität von Bauteilen aus Buche kann mit der Verleimung einzelner Lamellen mit dünnen Querschnitten und zusätzlich mittels Thermobehandlung markant erhöht werden.
- Die mechanische Bearbeitung von Buchenholz, damit auch die Herstellung von Verbindungen, bietet angesichts der Holzeigenschaften gewisse technische Herausforderungen.

4. Bauobjekt „Umbau Schürli“ in Neuengg

4.1. Bautyp, Bauteile, Pläne

Das Bauobjekt befindet sich in der Gemeinde Neuengg, Kanton Bern, im etwas höher gelegenen Dorfteil „Bramberg“ auf ca. 650 m.ü.M. Bramberg hat seinen ländlichen Charakter weitgehend bewahrt. Das typische Haus in dieser Gegend lässt sich dem Berner Bauernhaus zuordnen, einem Holzbau mit markantem Walmdach.

Das Bauprojekt sieht den Ausbau bzw. Erweiterungsbau einer bestehenden Scheune im traditionellen Baustil mit Baujahr 1852 zu einem ganzjährig bewohnten Einfamilienhaus vor. Das Gebäude ist im kantonalen Inventar der Denkmalpflege als „erhaltenswert“ klassiert. Es diente früher als Tenn und Stall für das zur gleichen Anlage gehörende ehemalige Schulhaus von Bramberg, das heute ebenfalls als Wohnhaus genutzt wird. Die Klassierung im Bauinventar der erhaltenswerten Objekte verlangt grundsätzlich den Schutz des Gebäudes in seiner äusseren Erscheinung, wobei Veränderungen im Aussenbereich unter gewissen Bedingungen möglich sind.

Das Gebäude soll nach den Vorstellungen der Bauherrschaft seinen ursprünglichen Charakter behalten, aber dennoch den Ansprüchen an ein modernes Wohnhaus mit entsprechendem Ausbaustandard genügen. Konsequenterweise wird entschieden, die gut erhaltene Bausubstanz d.h. Balken, Bretter und Schwellen zu belassen bzw. nach der Restaurierung an Ort und Stelle wieder einzubauen und nur wo nötig mit neuen Holzbauteilen zu ersetzen. So werden sämtliche Elemente der Fassadeschaltung gereinigt, mit Nut und Kamm versehen und wieder zusammengefügt. Die meisten Balken im Dachstuhl können wieder verwendet werden. Die tragenden Stützen an den Ecken und in der Gebäudemitte mussten aus Sicherheitsgründen teilweise ersetzt werden.



Abbildung 10: Scheune in Neuengg vor dem Umbau; Blick von Süden

Das Gebäude ist dreigeschossig geplant (Erdgeschoss, Obergeschoss, Dachgeschoss). Der Bau wird auf ein neues Betonfundament mit Kellergeschoß gestellt. Im EG wird gegen Südwesten gerichtet zwecks Vergrösserung des Wohnzimmers ein Anbau angesetzt. Dieser kubische, mit vorgefertigten Holzelementen konstruierte Anbau mit Flachdach hat eine Fassade aus horizontalen Lärchenlamellen und ist von grossen Fenstern bzw. Balkontüren durchsetzt.



Abbildung 11: Werkplan Südwestfassade Mst. 1:100 (C. Wiedmer)

Die Geschossdecke oberhalb EG wird über den ganzen Grundriss als Massivholzdecke mit Riemenboden ausgebildet. Die Geschossdecke oberhalb des OG gegen das DG wird als sichtbare Balkenlage mit grossformatigen Dreischichtplatten und ebenfalls mit Riemenboden als Deckschicht konstruiert.

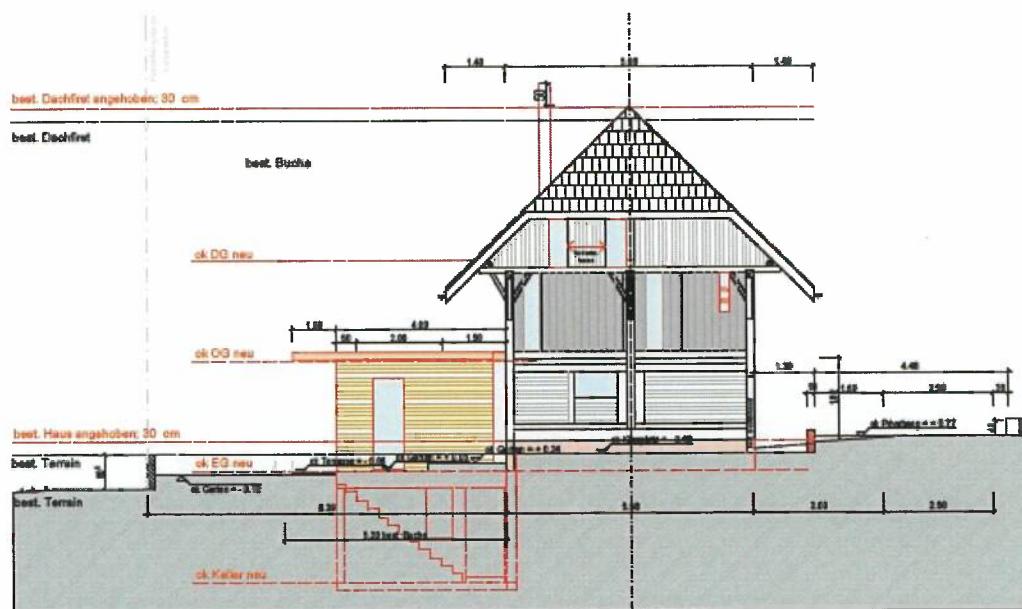


Abbildung 12: Werkplan Südostfassade Mst. 1:100 (C. Wiedmer)

Die Wände werden in Holzrahmen-Bauweise konstruiert. Die bestehende Aussen-schalung wird vollständig übernommen. Neu gebaut werden die Holzrahmen, Wärmedämmung, Lattenrost, Fliese und Beplankungen.

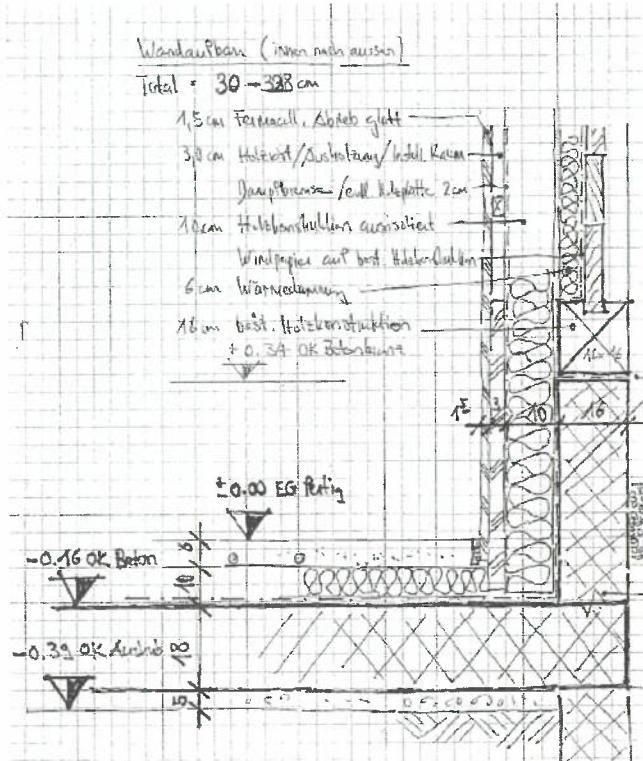


Abbildung 13: Detailskizze Wand- und Bodenaufbau im Erdgeschoss Mst. 1:10 (C. Wiedmer)

Weitere Baupläne befinden sich in Anhang 2.

Die nachfolgenden Bilder zeigen das Bauobjekt in der Rohbauphase (Abbildung 14). Eine besondere Herausforderung ist das Anheben der ganzen Konstruktion um rund 45 cm, damit im Endausbau eine Geschosshöhe von mind. 2,20 m realisiert werden kann.



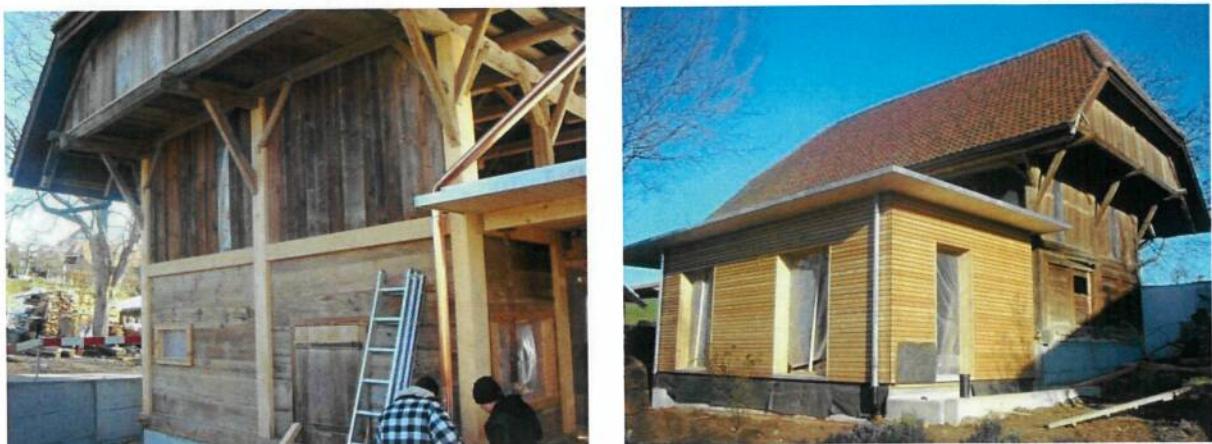


Abbildung 14: Bauobjekt in der Rohbauphase

4.2. Auswahl Bauteile mit Buche

Ziel dieses Projekts ist es unter anderem, eine ökonomische Verwendung von Buchensortimenten zu finden. Deshalb wird grundsätzlich kein (teures) thermisch nachbehandeltes Buchenholz zum Einsatz kommen. Verleimtes Holz soll nur dort eingesetzt werden, wo es unbedingt notwendig ist. Eine chemische Behandlung als Schutz gegen Feuchtigkeit kommt aus ökonomischen und ökologischen Gründen nicht in Frage.

Grundsatzentscheid: Buche soll in für den vor Witterung geschützten Bereich in den Wänden und Böden eingesetzt werden.

Zusammen mit dem Architekten sowie der beauftragten Zimmerei (Hofmann Dänzer AG) werden im Detail die Bauteile festgelegt, welche aus Buchenholz bestehen sollen. Es sind dies die *Stützen für die Holzrahmen sowie die Lattenroste in den Trenn- und Außenwänden und in der Geschossdecke gegen das Dachgeschoss*.

Für den Aufbau des Dachstuhls wird das vorhandene Gebrauchtholz verwendet. Bei der Decke oberhalb EG war der Materialisierungsentscheid bereits getroffen zugunsten einer Massivholzdecke aus Blockbohlen in Fichte/Tanne.

Als Option wird die Möglichkeit abgeklärt, in der Balkenlage oberhalb des Elternschlafzimmers zusätzlich einige Querträger aus *kerngebohrten Vollholz-Balken aus Buche einzusetzen*. Dieses Produkt wird im Rahmen eines Forschungsprojekts der ETH Zürich mit der Holzbaufirma Hedinger AG in Wilchingen SH entwickelt. Das Produkt ist jedoch gemäss telefonischer Auskunft noch nicht marktreif und kann nicht in der gewünschten Frist geliefert werden. Die Variante ‚Brettschichtholz aus Buche‘ für die Balkenlage wird aus ästhetischen Gründen verworfen. Brettschichtholz aus Laubholz wird z.B. von der Firma „Neue Holzbau“ in Lungern angeboten. Die Balkenlage wird mangels Alternative konventionell mit Nadelholz gebaut.

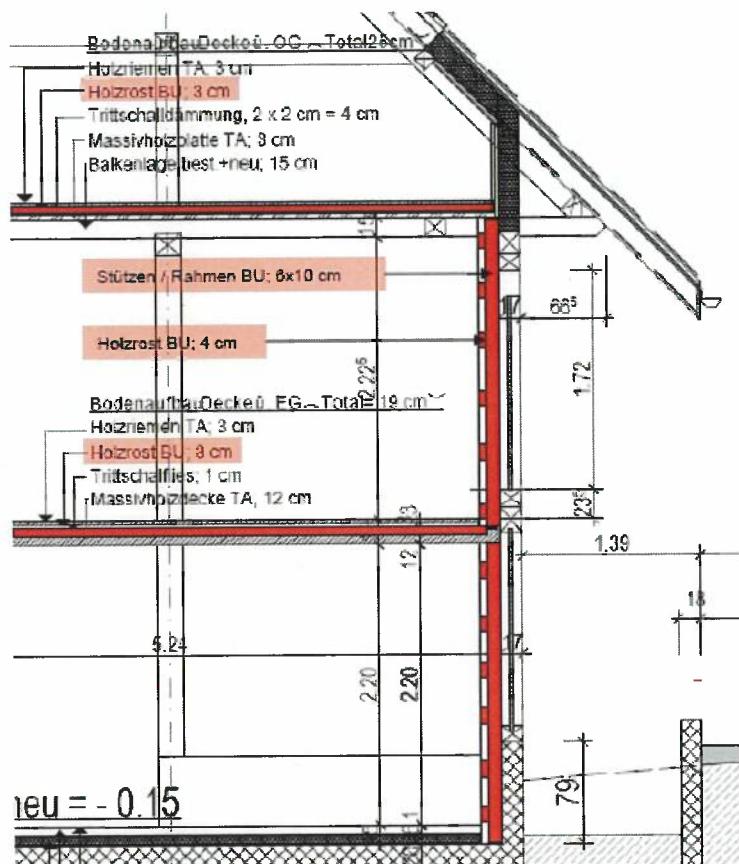


Abbildung 15: Bauteile aus Buche (rot) – Werkplan Querschnitt 1:50

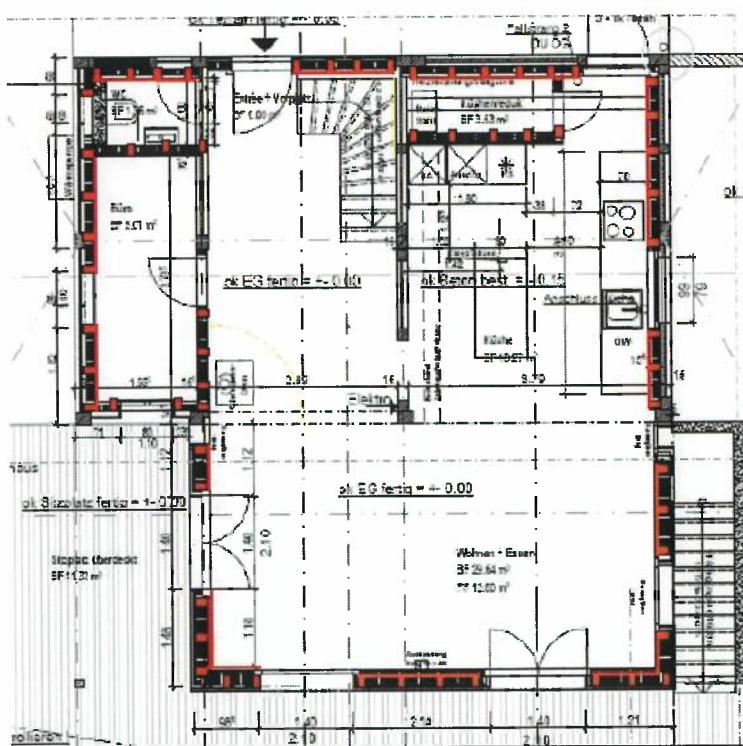


Abbildung 16: Bauteile aus Buche (rot) – Werkplan Grundriss Mst. 1:100

Dimensionierung Latten:

Bedingt durch die vom Planer gewählte Wand- und Deckenkonstruktion sind die Masse der Lattenroste vorgegeben:

- Wandrost 40x60 mm
- Bodenrost 30x60 mm

Dimensionierung Stützen / Holzrahmen:

Aufgrund der hohen Eigenspannungen der Buche besonders bei grossen Dimensionen kommen für die Stützen in den Wänden (Rahmen) nur verleimte Lamellen in Frage. Auch Kolb (2007) empfiehlt, im Holzrahmenbau zwecks Erreichung der nötigen Formstabilität Leimholz (Fi/Ta C24, Einbaufeuchte 12%) einzusetzen.

Durch die höhere Festigkeit von Buche gegenüber Fichte kann der Querschnitt der tragenden Bauteile vermindert werden. Für die Lastabtragung in den Wänden beim Holzrahmenbau ist einerseits die *Biegefestigkeit* $f_{m,d}$ um die stärkere Achse der vertikalen Holzständer massgebend, andererseits die *Querdruckfestigkeit* $f_{c,90,d}$ der horizontalen Bodenschwellen (Kolb, 2007). Wandstützen mit dem Querschnitt 60x120mm sind gemäss Kolb bis zu einer Knicklänge von 2'750mm und einem maximalen Stützenabstand von 650mm in der Lage, die gleichmässig verteilten Lasten bei ein- bis zweigeschossigen Wohnbauten in Lagen bis maximal 800 m.ü.M. (Schneedruck) aufzunehmen. Diese Angaben beziehen sich auf die mechanischen Eigenschaften von Nadelholz.

Der Bemessungswert der Biegefestigkeit $f_{m,d}$ parallel zur Faser von Fichte C24 beträgt 14 N/mm², diejenige von Buche 17 N/mm² (Banhözer et al., 2005). Die Biegefestigkeit von Buche ist also um einen Faktor von rund 1,2 höher. Der Querschnitt von Buche kann damit auf 80% des Fichtenquerschnitts reduziert werden.

Der Bemessungswert der Druckfestigkeit senkrecht zur Faser $f_{c,90,d}$ von Fichte C24 beträgt 1,8 N/mm₂, diejenige von Buche 5,3 N/mm² (Banhözer et al., 2005). Die Buche ist bezüglich Druckfestigkeit um einen Faktor 2,9 belastbarer als Fichte. Für die Dimensionierung des Balkenquerschnitts ist damit die Biegefestigkeit massgebend.

Aufgrund dieser Betrachtungen werden für die Stützen die *Dimension 60x100 mm* gewählt, was 83% des üblichen Querschnitts entspricht.

Als Konstruktionstyp werden verleimte Duo- oder Trio-Balken in Betracht gezogen. Der definitive Entscheid wird später zusammen mit dem Leimbauer getroffen (s. unten).

Holzliste:

Daraus resultiert die Holzliste zuhanden des Sägewerks und des Leimbauers (s. Anhang). Die bestellte Holzmenge beträgt insgesamt $2,64 \text{ m}^3$ und teilt sich wie folgt auf:

Bauteil	H/B [mm]	L [cm]	Laufmeter [m']	Volumen [m ³]	
Lattenrost Wände	40x60	250-400	400	0,96	
Lattenrost Boden	30x60	250-400	100	0,18	
Kantholz/ Holzrahmen	60x100	250	250	1,50	
TOTAL					2,64

Tabelle 4: Übersicht Bestellmenge Buchenholz

5. Produktion der Bauteile

5.1. Konstruktiver Lösungsansatz und Anforderungen an das Rohmaterial

Der konstruktive Lösungsansatz wird in Absprache mit dem Sägewerk und dem Leimbauer wie folgt festgelegt:

Wandrost und Bodenrost werden nicht verleimt (Vollholz)

Begründung:

- Keine besonderen Anforderungen bezüglich Formstabilität bei Lattenrosten
- Kleine Dimensionen können keine sehr hohen Spannungen aufbauen
- Sehr krumme Latten können nach dem Trocknen aussortiert werden.

Kantholz für Holzrahmen wird zu Trio verleimt

Begründung:

- Zweifach verleimt bedeutet höhere Masshaltigkeit
- Lamellendicke kann minimiert werden. Bei stärkeren Lamellen können problematische Eigenspannungen auftreten, was eine erhöhte Delaminierung der Klebfugen sowie Spalten und Risse etc. hervorruft. D. Ohnesorge (2008) zeigt auf, dass bei einer Lamellendicke von <29mm der Anteil Delamination unter 2% fällt. Der Grenzwert der EN 301 für die Nutzungsklasse I und II bei BSH beträgt 10%.

- Befestigungsmittel können in die Mittellamelle versenkt werden, was die Störung der Leimfuge verhindert (inwiefern eine Schraube die Leimfuge tatsächlich beeinträchtigt, wäre vertieft abzuklären).



Abbildung 17: Zu „Trio“ verleimter Balken

Definition Anforderungen an das Rohmaterial (Lamellen) für die Verleimung:

Kriterium	Anforderung
Fertigung	gehobelt, besäumt
Dicke	23 mm
Breite	112 mm
Länge	4000 mm (ideal)
Holzfeuchte	12 %
Astigkeit	Kleine Äste erlaubt

Tabelle 5: Anforderungen an das Rohmaterial für die Verleimung

5.2. Produktion der Lamellen

Die Sägewerke A+C Corbat SA in Vendlincourt und Ets Röthlisberger SA in Glovelier, Kanton Jura, produzieren das Schnittholz für die Bauteile (siehe www.corbat-holding.ch).



Abbildung 18: Zuschnittanlage bei A+C Corbat SA, Vendlincourt (Foto: Ch. Huber)

Nach dem Einschnitt des Rundholzes und der Trocknung der Klotzbretter von mindestens 12 Monaten an der Frischluft werden auf der Zuschnittanlage die lufttrockenen Klotzbretter aufgetrennt und zu Frisen und Parallelbrettern verarbeitet.

Für den Zuschnitt des Bauholzes werden folgende Sortimente verwendet:

- Klotzbretter (italienische Sortimente) für die 30x60 und 40x60mm Latten
- Seitenbretter 27mm als Lamellen für die Trio-Balken

Diese Sortimente kommen normalerweise als Mosaikparkett, Verpackungsware sowie als Blindholz im Möbelbereich in den Handel. Sie gelten als eher schlecht absetzbar.

Am Ende der Nachschnittlinie wird das Holz von Luftfeuchtigkeit künstlich auf die geforderten 12% Feuchte herunter getrocknet. Die künstliche Trocknung beansprucht ca. zwei Wochen.



Abbildung 19: Getrocknete Parallelbretter (Foto: Ch. Huber)

Nach der Trocknung wird das Holz von Vendlincourt nach Glovelier transportiert.

Bei der Firma Ets Röthlisberger SA in Glovelier erfolgt die Endbearbeitung. Das sägerohe Holz wird auf der Vierseiterhobelmaschine auf die gewünschten Dimensionen gehobelt.



Abbildung 20: Endbearbeitung auf Vierseiterhobelmaschine (Foto: Ch. Huber)

Die fertigen Pakete verlassen nach der Qualitätskontrolle das Werk in Glovelier und werden für die Verleimung zur Firma Roth AG nach Burgdorf transportiert.

5.3. Produktion der Trio-Balken

5.3.1. Technische Voraussetzungen des Leimbauers

Die Firma Roth AG gilt als einer der führenden Holzleimbauer in der Schweiz. Die Firma ist spezialisiert auf die Herstellung von grossen Brettschichtholz-Trägern. Referenzobjekte der Firma Roth AG sind z.B. „Welle von Bern“ in Bern BE; Mycorama in Cernier NE; Saldôme in Möhlin AG (siehe www.rothburgdorf.ch).

Auf den Anlagen der Firma Roth AG können Lamellenlängen ab 4,0 m wirtschaftlich bearbeitet werden. Die Keilzinkanlage von Roth AG ist ausgelegt für Nadelholz. Die Keilzinkung von hartem Laubholz würde die Maschine zu stark abnützen.

5.3.2. Testverleimung mit Scherfestigkeitsprüfung

Bei Roth AG werden zur Überprüfung der Klebefugen beim Brettschichtholz laufend Scherfestigkeitsprüfungen durchgeführt. Die Scherfestigkeitsprüfung erfolgt nach der Norm SIA 265 sowie nach der Norm DIN EN 392. Die Produktion des Brettschichtholzes wird nach den Richtlinien der Schweizerischen Fachgemeinschaft Holzleimbau SFH überprüft.

Roth AG verfügt über ein manuell-hydraulisches Scherdruck-Messgerät der Firma Lübbert Warenhandel GmbH & Co.



Abbildung 21: Scherdruck-Messgerät mit Prüfstäben

Aus den zu prüfenden BSH-Trägern werden Prüfstäbe mit den Massen 45x50mm herausgeschnitten. Die Prüfstäbe bilden mehrere möglichst repräsentative Stellen des Trägerquerschnitts ab. Die Anzahl geprüfter Klebefugen muss gemäss Prüfregle-

ment pro Probekörper ≥ 10 betragen, d.h. ein Prüfstab misst mind. 11 Lamellendiicken.

Die Leimfuge muss bei dieser Prüfanlage d.h. bei einer Fläche von $2'250 \text{ mm}^2$ einen minimalen Scherdruck-Bruchwert von $13,5 \text{ kN}$ aufweisen, um gemäss Norm noch als „genügend“ bezeichnet zu werden (entspricht 6 N/mm^2). Der durchschnittliche Bruchwert bei BSH aus Fichte/Tanne beträgt nach Angaben von Roth AG ca. 25 kN .

Prüfung der Scherfestigkeiten mit Buche:

Zur Überprüfung der Scherfestigkeit der verleimten Trio-Kanthölzern aus Buche wird eine Druckscherprüfung mit kleiner Stichprobenzahl durchgeführt. Der Probeumfang lässt keine statistische Auswertung zu. Das Ziel ist eine gutachtliche Feststellung der Scherfestigkeitswerte der Buche im Vergleich mit Fichte/Tanne. Beim Test soll zudem ein geeigneter Leimtyp für die geplante Anwendung ermittelt werden.

Es werden zwei 1K-PUR Klebstoffe der Firma Purbond (www.purbond.ch) ausgewählt und getestet:

Name	Chemische Gruppe	Offene Zeit	Presszeit	Bemerkungen
Purbond HB 181	Isocyanat-Klebstoff	120 min	6 ½ h	Leim wird von Roth AG für Bogenbinder eingesetzt
Purbond HB 440	Isocyanat-Klebstoff	30 min	120 min	Leim wird von Roth AG für Standardverleimungen eingesetzt

Tabelle 6: Verwendete Leimtypen bei der Scherfestigkeitsprüfung

Die nachfolgend ermittelten Werte werden bei Normalklima bei 12% Holzfeuchte erreicht:

	Purbond HB 440	Purbond HB 181
Proben (N geprüfte Fugen)	38 39 19 35 46 42 42 25	26 32 35 30 30 42 43 -
	$\varnothing 35,75$	$\varnothing 34,0$
	<i>Gemessene Scherdruck-Bruchwerte [kN]</i>	

Tabelle 7: Gemessene Scherfestigkeiten pro Leimtyp

Die gemessenen Scherdruck-Bruchwerte liegen im Schnitt (arithmetisches Mittel) um einen Faktor von rund 1,4 über den normalen Werten von Fichte/Tanne und einen Faktor von ca. 2,6 über der Minimalanforderung von 13,5kN. Die Werte zeigen eine gewisse Streuung, wobei alle Werte deutlich über der kritischen Marke von 13,5 KN liegen.

Der Klebstoff Purbond HB 440 schneidet bei beiden Behandlungsarten leicht besser ab als der Purbond HB 181. Demzufolge wird entschieden, für die Verleimung den Purbond HB 440 zu verwenden.

5.3.3. Delaminierungsprüfung

Die Langzeitbeständigkeit einer Verklebung kann mittels Delaminierungsprüfungen ermittelt werden, z.B. nach der Norm DIN EN 391 Verfahren C. Bei dieser Prüfung werden Prüfkörper mit Wasser getränkt und anschliessend wieder auf die Ausgangsholzfeuchte getrocknet. Während dieser Behandlung wirken extreme Quell- und Schwindkräfte auf die Klebstofffuge. Diese darf trotzdem nur zu einem geringen Anteil versagen. Dieses Verfahren ist anerkannt und gültig für die Zulassung von Klebstoffen für die Verklebung von Nadelholz (Ohnesorge & Becker, 2009).

Im Rahmen dieses Projekts wird keine eigentliche Delaminierungsprüfung durchgeführt. Die von Roth AG wegen neuer Prüfvorschriften bestellte Prüfanlage steht noch nicht zur Verfügung. Interessehalber werden dennoch ein paar wenige verleimte Prüfkörper aus Buche über Nacht während ca. 12 h in Wasser getränkt und direkt anschliessend für ca. 4h Stunden auf den Ofen gelegt. Die Holzkörper zeigen teilweise am Schluss leichte Deformationen und Delaminierungen. Die anschliessende Prüfung der Scherfestigkeiten ergeben stark streuende Werte. Die Testergebnisse werden mangels Aussagekraft nicht weiter kommentiert.

Neueste Testergebnisse aus Deutschland zeigen auf, dass sich unter Berücksichtigung bestimmter Verklebungsparameter sowie der Verwendung geringerer Lamellenstärken auch für Buchenholz die gültigen Mindestanforderungen erreichen lassen (Ohnesorge & Becker, 2009). Die Erkenntnisse dieser Untersuchungen fliessen in das vorliegende Projekt ein (vgl. Kap. 5.1).

5.3.4. Weitere Optimierungsmöglichkeiten der Verklebung

Henning, Ohnesorge & Becker (2008) haben zwei Behandlungsvarianten zur Erhöhung der Klebfugenbeständigkeit bei Buchenlamellen untersucht: a) die Behandlung der zu verklebenden Flächen mit einem Primer (chemischer Haftvermittler) und b) Verklebung von thermisch modifiziertem Holz. Vor den Scherfestigkeitsprüfungen wurde ein Teil der Prüfkörper bei Normalklima gelagert, und ein anderer Teil einem künstlichen Alterungsprozess unterworfen (4 Tage gewässert und in Normalklima konditioniert).

Die *Scherfestigkeitsprüfung* ergab eine markante Verbesserung der Klebfugengüte bei beiden Behandlungsarten „Primer“ und „Thermo“ gegenüber der unbehandelten Kontrollvariante. Dieser Effekt kommt durch die erhöhte Dimensionsstabilität des auf diese Weise behandelten Holzes zustande.

Bei der *Delaminierungsprüfung* wurden keine signifikanten Unterschiede gemessen. Der Prozentsatz der Delaminierung liegt jedoch bei allen Varianten auf einem sehr tiefen Niveau und erfüllt problemlos die Anforderungen der massgebenden Norm DIN EN 386.

5.3.5. Produktion auf der Leimanlage



Abbildung 22: Trio-Balken in der Beleimungsstation bei Roth AG (Foto: F. Lenherr)

Die Rohlamellen für die Trio-Kanthölzer werden mit den Massen von ca. 69x112mm angeliefert. Die Länge der Lamellen beträgt nur rund 250cm. Wie sich zeigt, kann die Beleimungsanlage bei diesen kurzen Längen nicht vollautomatisch betrieben werden. Der Nachschub muss in diesem Fall manuell bewerkstelligt werden. Der Produktionsprozess erfolgt damit suboptimal und wenig effizient.

Die Hölzer werden nach der Verleimung auf die Enddimension 60x100mm gehobelt.

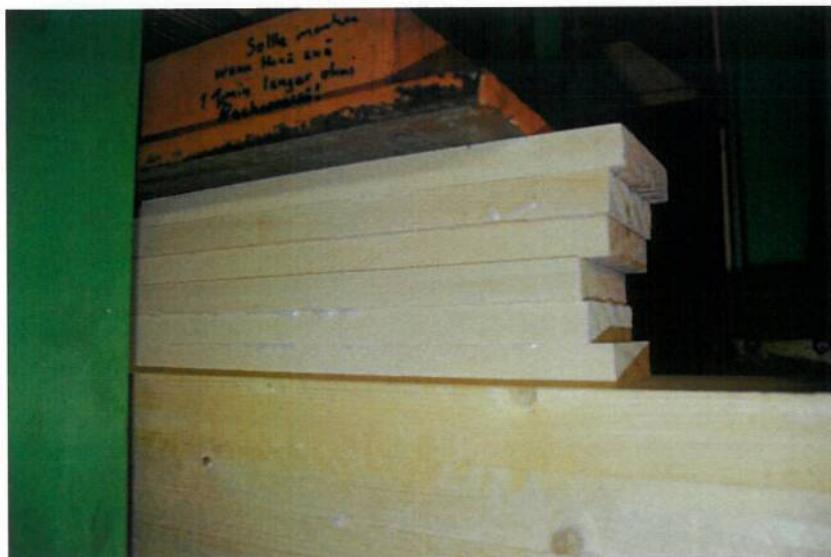


Abbildung 23: Zwei frisch verleimte Triobalken übereinander in der Presse (Foto: F. Lenherr)

5.4. Wichtigste Folgerungen aus der Bauteilproduktion

- **Das Sägewerk Corbat SA kann für die Buchenbauteile Sortimente verwenden, die auf dem Markt eher wenig nachgefragt sind: Klotzbretter für die Latten und Seitenbretter für die Lamellen der Triobalken.**
- **Das von Corbat SA für die Triobalken gelieferte Rohmaterial entspricht den Anforderungen des Leimbauers Roth AG nur zum Teil: Allzu krumme Lamellen müssen nochmals aussortiert werden (Ausschuss!). Problematisch ist insbesondere die Länge der Lamellen von 2,50 m statt mindestens 4,0 m. Roth AG muss die Verleimung zu Trio auf seiner Verleimungsanlage deshalb halbmanuell bewerkstelligen, was auf Kosten der Effizienz geht. Die Keilzinkung der Lamellen bei Roth AG geht nicht, weil die Keilzinkanlage für Hartholz nicht geeignet ist.**
- **Die Keilzinkung auf einer passenden Anlage, z.B. bei einen Fensterbauer, zur Erreichung der für den Leimbauer idealen Länge von wird in diesem Projekt aus Kosten- und Zeitgründen verworfen. Diese Stossrichtung sollte jedoch hinsichtlich einer effizienten Trio-Produktion weiterverfolgt werden.**
- **Die Scherfestigkeitsprüfung ergibt absolut ausreichende Werte für die Klebfugen von Buche mit Buche. Damit ist die Funktionstüchtigkeit der Triobalken gegeben.**

6. Verbindungen

6.1. Problematik von Holz-Metall-Verbindungen bei Hartholz

Buche ist ein relativ hartes, schweres und festes Holz. Die Brinellhärte ist bei Buche mehr als doppelt so hoch als bei Fichte (vgl. Kap. 3.3). Buche hat vergleichsweise hohe Scher-, Zug-, Druck- und Biegefestigkeiten. Die Rohdichte $\rho_{12\dots15}$ von Buche beträgt $0,82\dots1,27 \text{ kg/m}^3$, diejenige von Fichte hingegen nur $33\dots0,68 \text{ kg/m}^3$. Im Folgenden werden einige Betrachtungen angestellt zum Einfluss dieser Kennwerte auf Verbindungen mit Buchenholz.

Beim statischen Nachweis einer Holz-Holz- oder Holz-Metall-Verbindung müssen sowohl die Verbindung selbst (Verbindungsmittel sowie lokale Einbettung im Bauteil) als auch die Holzteile im Anschlussbereich die nötigen Festigkeiten aufweisen. Das lokale Versagen von Holz erfolgt durch Überschreiten des Lochleibungswiderstands, Aufspalten (insbesondere bei mehreren in Faserrichtung hintereinander liegenden Verbindungsmitteln), oder Abscheren. Bei Verbindungen mit stiftförmigen Verbindungsmitteln (Stabdübel, Bolzen, Nägel, Schrauben) ist der Abscherwiderstand in der Regel proportional zur Wurzel der Rohdichte des Holzes (Banholzer et al., 2005). Für Fichte C24 und GL 24k oder höher sind die Mindestabstände für Schrauben und Nägel in den Schweizer Baunormen SIA 265 vorgegeben (Banholzer et al., 2005). Diese Angaben fehlen leider für Hartholz.

Haab (1998) hat im Rahmen seiner Diplomarbeit in Neuseeland die ingeniermäßige Vernagelung untersucht. Er hat in umfangreichen Vernagelungstests mit der in Neuseeland häufig in Plantagen angebauten Nadelholzart *Pinus radiata* folgende Erkenntnisse gewonnen: Dichte und Steifigkeit haben einen massgeblichen Einfluss auf den Spaltwiderstand des Materials. *Je höher die Dichte und die Steifigkeit (E-Modul) des Holzes, desto geringer ist der Spaltwiderstand bzw. desto spaltbarer ist das Material.* Bezuglich Spaltbarkeit des Materials haben noch weitere Eigenschaften einen Einfluss wie die Holzfeuchte, Faserverlauf, Nageldurchmesser, Nageltyp und Einschlaggeschwindigkeit. Buche wird analog zu den Ergebnissen von Haab im Vergleich zur Fichte eher spalten.

Zu beachten ist noch eine weitere Eigenschaft von Hartholz: der Eindringwiderstand für Verbindungsmittel. Ebenfalls bedingt durch die Eigenschaften Dichte und Steifigkeit lassen sich stiftförmige Verbindungsmittel nur mit erhöhtem Kraftaufwand in Hartholz wie Buche eintreiben. Es ist bekannt, dass Schraubenköpfe bei erhöhtem Drehwiderstand im Holz (z.B. Druckholzzone) beim Eindrehen „ohne Vorwarnung“ abbrechen können. Dies gilt es bei der Wahl des Verbindungsmittels und des Bohrgeräts unbedingt zu beachten.

Die genannten Fakten führen zur Hypothese, dass zwar mit Buche solide Verbindungen möglich sind, handelsübliche selbstbohrende Schrauben aber nicht ohne Vorbohren in Buche eingetrieben werden können.

Dieser Hypothese steht beim konkreten Bauprojekt in Neuenegg die Vorgabe bzw. der Wunsch des Zimmermanns gegenüber, dass die Schrauben ohne Vorbohren eingetrieben werden sollten. Ausserdem muss der Schraubkopf vollständig versenkbbar sein.

Der nachfolgend beschriebene Verschraubungsversuch soll Klarheit schaffen darüber, wie sich Buche mit auf dem Markt erhältlichen Verbindungsmitteln tatsächlich verschrauben lässt.

6.2. Verschraubungsversuch

6.2.1. Material und Methode

Der Verschraubungsversuch hat nicht die systematische Überprüfung von Schraubenverbindungen mit Buchenholz zum Ziel. Das Ziel des Verschraubungsversuchs ist eine gutachtliche Analyse einfacher Einbausituationen mit Materialkombinationen, wie sie beim Bauobjekt in Neuengg auftreten werden. Mit der Wahl der Versuchsanlage wird die Einbausituation im Bauobjekt möglichst realitätsnah simuliert. Der Versuch wird mit Unterstützung der Firma SFS unimarket AG durchgeführt (siehe www.sfsunimarket.biz).

Beim Versuch interessieren einerseits Parameter, die in Bezug auf die Verbindung selbst von Bedeutung sind, andererseits solche, die für die Praxistauglichkeit des Verbindungsmittels relevant sind.

Beim Verschraubungsversuch werden folgende *Einbausituationen* simuliert:

		<i>Verbindung</i>
Situation 1	Befestigung Bodenrost auf Massivholzdecke <i>(siehe Abbildung 26)</i>	Buche 30x60mm - Fichte 60x100mm
Situation 2	Befestigung Riemenboden auf Bodenrost <i>(siehe Abbildung 31)</i>	Tanne 30x100mm - Buche 30x60mm
Situation 3	Befestigung Wandrost an Stützen (Rahmen) <i>(siehe Abbildung 36)</i>	Buche 40x60mm - Buche 60x100mm

Tabelle 8: Übersicht Einbausituationen beim Verschraubungsversuch

Für die Versuche wird Holz in geeigneten Dimensionen bereitgestellt, dazu passende Schrauben und ein leistungsfähiges Akku-Schraub-Bohrgerät.

Verwendetes Holz:

Die Querschnitte der Bauhölzer werden gemäss der realen Situation dimensioniert. Es wird bewusst ungedämpfte Buche verwendet, entsprechend dem von der Sägerei Corbat SA bereitgestellten Lamellen. Dabei ist anzumerken, dass die für den Laborversuch verwendete Holzqualität aussergewöhnlich hoch ist (keinerlei Äste, Risse, Verdrehungen).

Holz			
Bauteil	B / H	Länge	Holzart
1 Latte (Wandrost)	40x60mm	150 cm	Buche ungedämpft - Tangentialschnitt - Astfrei
1 Latte (Bodenrost)	30x60mm	150 cm	Buche ungedämpft - Halbrift - Astfrei
1 Kantholz Trio verleimt (Stütze Wand)	60x100mm (3mal 20mm Lamellen)	150 cm	Buche ungedämpft - Aussenlamellen Rift - Innenlamelle Tangentialschnitt - Astfrei
1 Lamelle (Bodenriemen)	30x100mm	150 cm	Tanne - Rift - Astfrei
1 Kantholz (Simulation Massivholzdecke)	60x100mm	150 cm	Fichte - Halbrift - Astfrei

Tabelle 9: Testmaterial Verschraubungsversuch – Übersicht Holz

Verwendete Schraubentypen:

Die beim Versuch eingesetzten Schraubentypen werden vom SFS-Techniker ausgewählt. Es handelt sich bei beiden Typen nach Angaben der Hersteller um *selbstbohrende* Schrauben, d.h. bei denen definitionsmäss kein Vorbohren nötig ist.

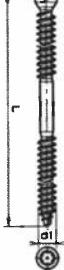
Schraubentypen				
Bezeichnung	Mass	Antrieb	Preis pro 100 Stk (CHF)	
WICO Twist S Universalschraube mit Schneidekerbe, Reibgewinde, Fräsrillen; Stahl Einsatzgehärtet	4,5 x 60mm	T25	8.60	 Bild: SFS unimarket AG
	4,5 x 80mm	T25	13.00	
	5,0 x 60mm	T25	9.80	
	5,0 x 80mm	T25	14.60	
SFS Doppelgewindestraube WT-T mit Bohrspitze; Stahl Durocoat ,S'	4,5 x 40mm	T20	15.20	 Bild: SFS unimarket AG
	4,5 x 60mm	T20	18.10	
	4,5 x 70mm	T20	21.50	

Tabelle 10: Testmaterial Verschraubungsversuch – Übersicht Schraubentypen

Bei der ‚WICO Twist S‘ handelt es sich um eine moderne Profi-Holzbauschraube.

Die spezielle ‚SFS Doppelgewindeschraube WT-T‘ wird v.a. für die Befestigung von Terrassenrosten und Holzfassaden eingesetzt (unauffälliges Schraubbild). Durch das Doppelgewinde ist sie nach Angaben von SFS besonders geeignet bei starkem Schwinden und Quellen. Die Schraube kostet gut doppelt soviel wie die ‚WICO Twist S‘ (vgl. Preisliste SFS, Januar 2009).

Verwendete Schraubgeräte:

Für das Einbringen der Schrauben werden zwei Akku-Schrauber mit unterschiedlicher Leistung verwendet: 14,4V und 24V. Das Bohrfutter wird fixiert (max. Drehmoment).

Wie sich später herausstellt, ist für alle Verschraubungen mit Buche ein Akku-Schrauber 14,4V ausreichend.

Untersuchungsparameter:

A) Anbeissen d. Bohrspitze

Da Buche relativ hart ist, „beissen“ die Schrauben generell weniger gut an als bei weichem Nadelholz. Dadurch ist ein höherer Anpressdruck mit dem Schraubgerät nötig, damit die Schraube nicht wegrutscht. Schlechtes Anbeissen bedeutet Zeitverlust und damit höhere Kosten.

B) Eindrehmoment

Das Kriterium ‚Eindrehmoment‘ hat Auswirkungen auf die Arbeitsergonomie (Verdrehen des Handgelenks), auf die Wahl des Schraubgeräts sowie auf die Qualität der Verbindung (vgl. Kriterien D und E). Ein zu hohes Eindrehmoment hat zur Folge, dass Vorbohren nötig ist, oder ein anderes Verbindungsmitel gewählt werden muss.

C) Versenkbarkeit der Schraube

Dieses Kriterium wird vom Zimmermann explizit vorgegeben. Schrauben müssen vollständig im umgebenden Holz versenkbar sein, damit eine massgenaue Montage möglich ist.

D) Schraubenbruch

Schraubenbruch ist die Folge eines zu hohen Eindrehmoments (s. Kriterium B) und zusätzlich auftretenden Zugkräften, wenn der Schraubkopf kurz vor dem Versenken auf die Holzoberfläche trifft. Infolge des Schwindens und Quellens des Holzes treten während der Lebensdauer des Bauteils zusätzliche Zug- und Scherkräfte auf.

Schraubenbruch wird als Indikator für (mangelnden) Ausziehwiderstand herangezogen und ist damit ebenfalls statisch relevant.

Bei der Beurteilung der Verschraubung wird Schraubenbruch streng beurteilt. Wenn beim Versuch eine einzelne Schraube bricht, wird die Verbindung als „unbrauchbar“ klassiert.

E) Spaltverhalten des Materials bzw. Mindestabstand

Das Spaltverhalten hat einen unmittelbaren Einfluss auf den Ausziehwiderstand der Schraube und ist damit statisch relevant. Damit ein ausreichender Ausziehwiderstand gewährleistet ist, muss die Schraube einen gewissen Mindestabstand von der Kante bzw. von der benachbarten Schraube haben.

Als Referenz werden die in der SIA-Norm 265 vorgegebenen Mindestabstände herangezogen: Bei selbstbohrenden Schrauben müssen gemäss Norm SIA 265 zur Sicherstellung eines genügenden Ausziehwiderstands die Mindestabstände Schrau-

be-Schraube und Schraube-Rand wie folgt bemessen werden (Angaben gültig für Vollholz Fichte C24 oder höher):

		Schraubendicke	
	Formel	$d = 4,5\text{mm}$	$d = 5,0\text{mm}$
Quer zur Faser \perp	4d	18mm	20mm
Parallel zur Faser \parallel	7d	31,5mm	35mm
			Mindestabstände

Tabelle 11: Mindestabstände nach Norm SIA 265 (Banholzer et al., 2005)

Zur Herleitung des Mindestabstands bei Buche *quer zur Faser* (\perp) werden in Anlehnung an die entsprechenden Versuche von Haab (1998) die Schrauben auf den Latten in den Abständen 35, 30, 25, 20, 15, 10, 5 mm gegen die Längskante hin eingebracht (in dieser Reihenfolge). Der Schraubenabstand parallel zur Faser wird 40mm gewählt, damit keine Aufspaltung längs zur Faser das Messresultat beeinflussen kann (vgl. Mindestabstände gemäss SIA-Norm in Tabelle 11).

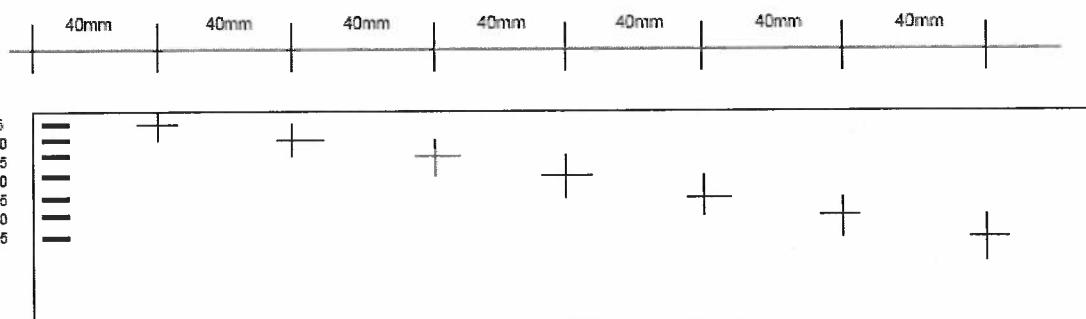


Abbildung 24: Verschraubungsschema Mindestabstand ,quer zur Faser'

Der Mindestabstand des Verbindungsmittels zum Rand *parallel zur Faser* (\parallel) wird ebenfalls untersucht, um Aussagen zur Verschraubung beim Stoss zu erhalten. Gemäss SIA-Normen (Tabelle 11) betragen die Mindestabstände parallel zur Faser bei den gewählten Schraubendicken 31,5 - 35mm. Beim Test wird dieser Grenzwert bewusst unterschritten. Die Abstände zum Rand werden für die WICO Twist Universal-schraube 25 und 20mm gewählt, bei der Doppelgewindeschraube WT-T werden die Abstände 15 und 10mm geprüft. Die Unterscheidung zwischen den Schraubentypen erfolgt spontan, da sich während des Versuchs die Überlegenheit der Schraube WT-T zeigt. Der Schraubenabstand quer zur Faser beträgt 30mm bzw. 15mm, damit keine Aufspaltung quer zur Faser das Messresultat beeinflussen kann (vgl. Mindestabstände gemäss SIA-Norm in Tabelle 11).

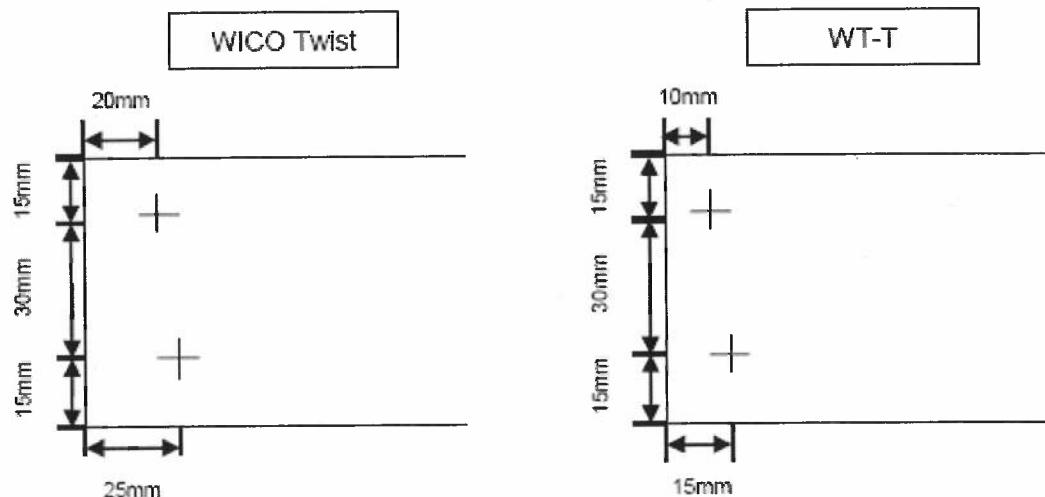


Abbildung 25: Verschraubungsschema Mindestabstand ,längs zur Faser

Im Weiteren gilt es zu prüfen, ob die Mindestabstände gemäss Norm SIA 265 annäherungsweise auch für Buchenholz herangezogen werden können. Die Prüfung erfolgt ausschliesslich gutachtlich aufgrund einer optischen Beurteilung.

6.2.2. Ergebnisse

6.2.2.1 Situation 1: Befestigung Bodenrost auf Massivholzdecke

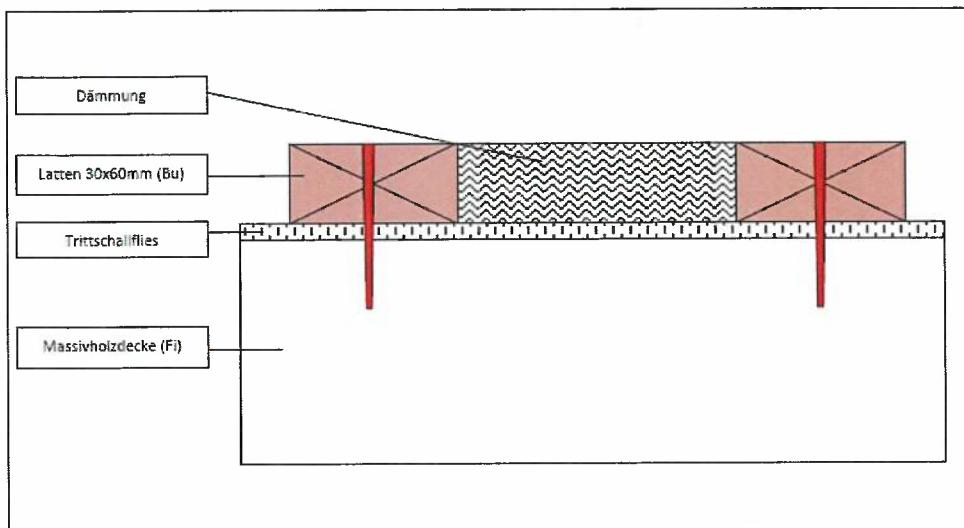


Abbildung 26: Situation 1 - Detailskizze

Verwendetes Material:

Holz	Schraubentyp
Buche 30x60mm	WICO Twist 4,5x60mm
Fichte 60x100mm	WICO Twist 5,0x60mm
	Doppelgewinde WT-T 4,5x60mm

Tabelle 12: Situation 1 - Versuchsmaterial

1A) Verschraubung mit WICO Twist 4,5x60mm



Abbildung 27: Situation 1 – Verschraubung mit WICO Twist 4,5x60mm

Ergebnis:

Kriterium	Beurteilung
Anbeißen d. Bohrspitze	sofort
Eindrehmoment:	mittel
Schraube versenkbar	bündig, bis unter den Rand
Schraubenbruch	nein (0%)
Mindest-Randabstand \perp	10mm (schwache Spaltung bei 5mm)

Tabelle 13: Situation 1 – Testresultate mit WICO Twist 4,5x60mm

Befund: **Schraubentyp für diese Anwendung geeignet.** Angesichts der tieferen Kosten (vgl. Tabelle 10) ist die WICO Twist der Doppelgewindeschraube WT-T (vgl. Test 1C) für diese Anwendung vorzuziehen.

1B) Verschraubung mit WICO Twist 5,0x60mm

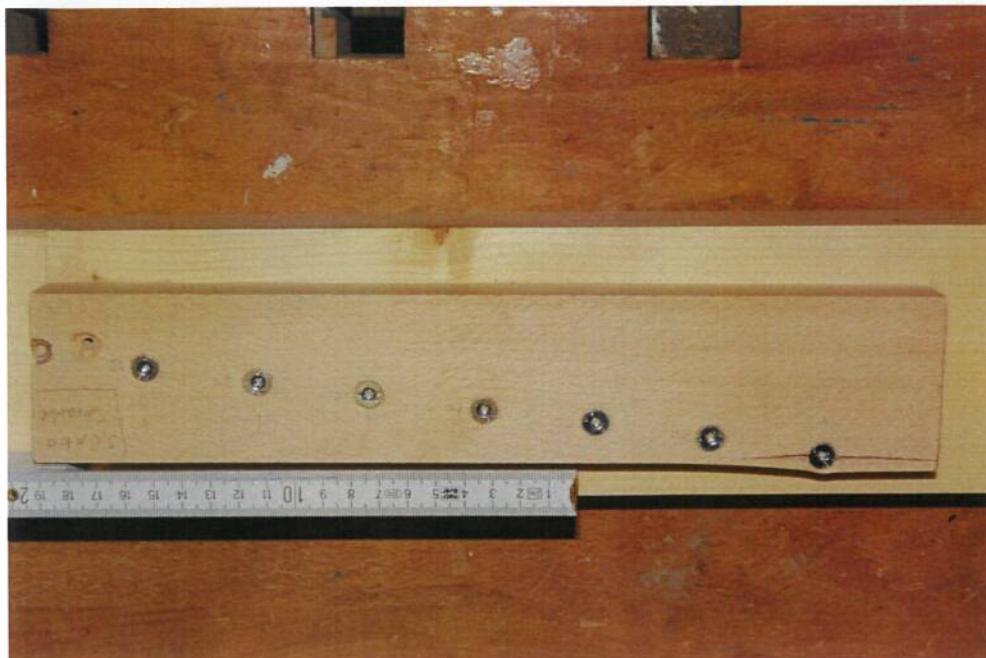


Abbildung 28: Situation 1 – Verschraubung mit WICO Twist 5,0x60mm

Ergebnis:

Kriterium	Beurteilung
Anbeissen d. Bohrspitze	sofort
Eindrehmoment:	gross
Schraube versenkbar	knapp bündig
Schraubenbruch	nein (0%)
Mindest-Randabstand \perp	15mm (starke Spaltung bei 5mm, feiner Riss bei 10mm)

Tabelle 14: Situation 1 – Testresultate mit WICO Twist 5,0x60mm

Befund: **Schraubentyp für diese Anwendung wenig geeignet, aber grundsätzlich möglich.** Problematisch ist das hohe Eindrehmoment wegen des höheren Schaftdurchmessers der Schraube.

1C) Verschraubung mit Doppelgewindeschraube WT-T 4,5x60mm



Abbildung 29: Situation 1 – Verschraubung mit SFS Doppelgewindeschraube WT-T 4,5x60mm

Ergebnis:

Kriterium	Beurteilung
Anbeissen d. Bohrspitze	verzögert, rel. viel Pressdruck nötig
Eindrehmoment:	klein
Schraube versenkbar	bündig, bis unter den Rand
Schraubenbruch	nein (0%)
Mindest-Randabstand \perp	10mm (feiner Riss bei 5mm)

Tabelle 15: Situation 1 – Testresultate mit WT-T 4,5x60mm

Befund: **Schraubentyp für diese Anwendung geeignet.** Die teurere Doppelgewindeschraube WT-T bietet gegenüber der WICO Twist (vgl. Test 1A) keine Vorteile ausser dem etwas geringeren Eindrehmoment.

1D) Verschraubung Stoss mit WICO Twist 4,5x60mm, WICO Twist 5,0x60mm und Doppelgewindeschraube WT-T 4,5x60mm



Abbildung 30: Situation 1 - Verschraubung Stoss mit WICO Twist und Doppelgewindeschraube WT-T

Beurteilung:

Kriterium	Schraube	Beurteilung
Mindest-Randabstand	WICO Twist 4,5x60	< 20mm
	WICO Twist 5,0x60	< 20mm
	Doppelgewinde WT-T 4,5x60	<10mm

Tabelle 16: Situation 1 – Testresultate Stoss

Befund: Alle Schraubentypen für diese Anwendung (Stoss) **geeignet, insbesondere die Doppelgewindeschraube WT-T 4,5x60 mm**, die keinerlei Risse bis <10mm Randabstand verursacht.

6.2.2.2 Situation 2: Befestigung Riemenboden auf Bodenrost

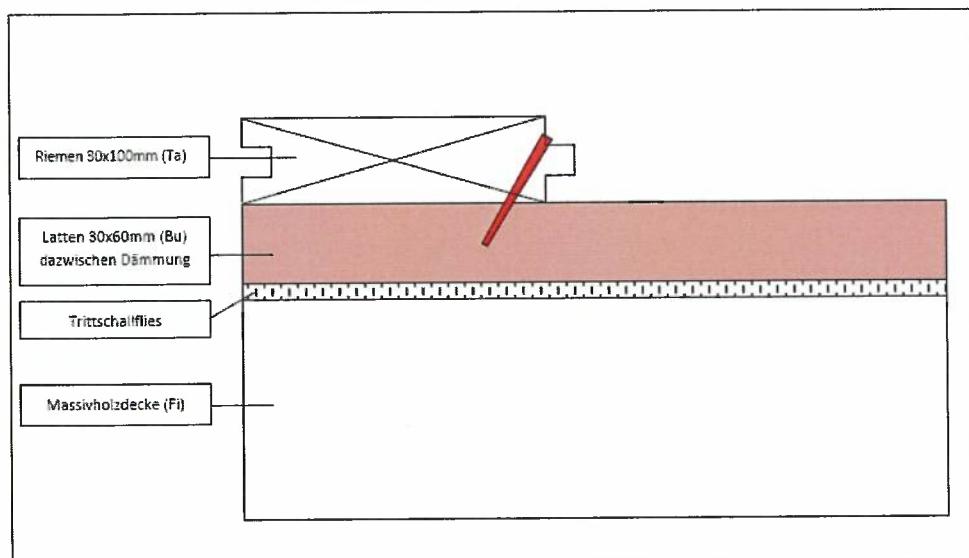


Abbildung 31: Situation 2 - Detailskizze

Verwendetes Material:

Holz	Schraubentyp
Tanne 30x100mm	WICO Twist 4,5x60mm
Buche 30x60mm	WICO Twist 5,0x60mm
	Doppelgewinde WT-T 4,5x40mm

Tabelle 17: Situation 2 - Versuchsmaterial

2A) Verschraubung mit WICO Twist 4,5x60mm



Abbildung 32: Situation 2 - Verschraubung mit WICO Twist 4,5x60mm

Beurteilung:

Kriterium	Beurteilung
Anbeissen d. Bohrspitze	sofort
Eindrehmoment:	klein
Schraube versenkbar	knapp bündig
Schraubenbruch	nein (0%)
Bruch der Feder	ja, aber nur lokal

Tabelle 18: Situation 2 – Testresultate mit WICO Twist 4,5x60mm

Befund: **Schraubentyp für diese Anwendung wenig geeignet, aber möglich.**

2B) Verschraubung mit WICO Twist 5,0x60mm



Abbildung 33: Situation 2 - Verschraubung mit WICO Twist 5,0x60mm

Beurteilung:

Kriterium	Beurteilung
Anbeissen d. Bohrspitze	sofort
Eindrehmoment:	klein
Schraube versenkbar	knapp bündig
Schraubenbruch	nein (0%)
Bruch der Feder	ja, über die ganze Länge

Tabelle 19: Situation 2 – Testresultate mit WICO Twist 5,0x60mm

Befund: **Schraubentyp für diese Anwendung nicht geeignet.** Problematisch ist der vollständige Bruch der Feder.

2C) Verschraubung mit Doppelgewindeschraube WT-T 4,5x40mm



Abbildung 34: Situation 2 - Verschraubung mit SFS Doppelgewindeschraube WT-T 4,5x40mm

Beurteilung:

Kriterium	Beurteilung
Anbeißen d. Bohrspitze	sofort
Eindrehmoment:	klein
Schraube versenkbar	bündig, bis unter den Rand
Schraubenbruch	nein (0%)
Bruch der Feder	nein

Tabelle 20: Situation 2 – Testresultate mit WT-T 4,5x60mm

Befund: **Schraubentyp für diese Anwendung geeignet.**

2D) Verschraubung Stoss mit Doppelgewindeschraube WT-T 4,5x40mm



Abbildung 35: Situation 2 - Verschraubung beim Stoss mit Doppelgewindeschraube WT-T 4,5x40mm

Beurteilung: Bruch der Feder (einmal lokal, einmal über die ganze Länge)

Befund: **Schraubentyp für diese Anwendung (Stoss) wenig geeignet.** Einen massgeblichen Einfluss auf den Bruch der Feder hat der Winkel der Schraube. Dieser beträgt vermutlich im Idealfall zwischen 30-45° betragen (müsste weiter abgeklärt werden). Es wäre deshalb zu prüfen, ob beim Stoss allenfalls die Doppelgewindeschraube WT-T 4,5x60mm bei entsprechend steilem Einbohrwinkel verwendet werden kann. Daneben gibt es spezielle Schrauben für den Einbau von Riemenböden, die besonders geeignet sind.

6.2.2.3 Situation 3: Befestigung Wandrost an Stützen (Rahmen)

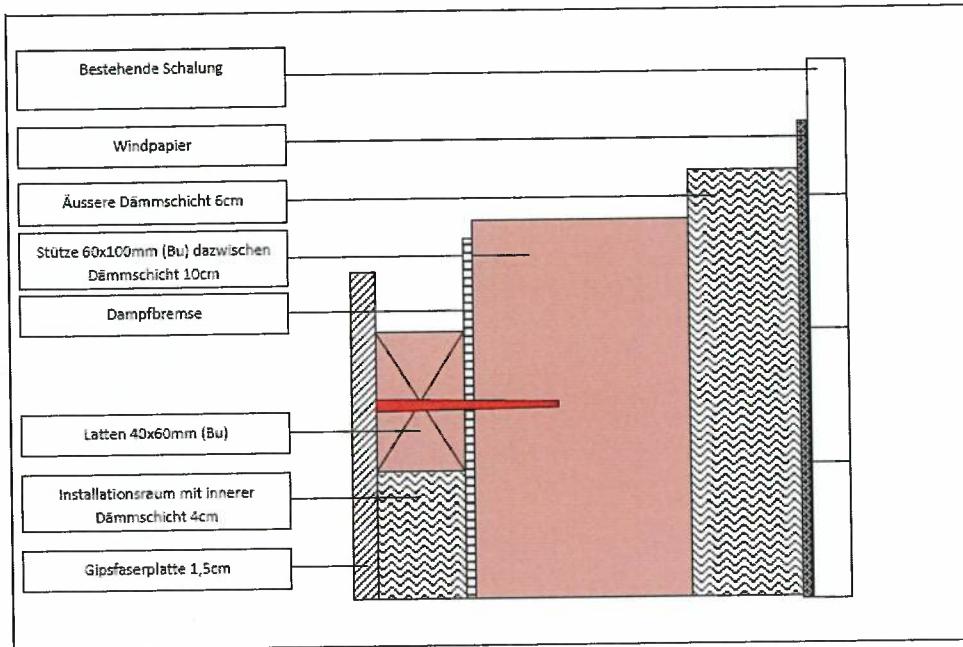


Abbildung 36: Situation 3 - Detailskizze

Der Verschraubungsversuch für Situation 3 erfolgt nach dem gleichen Schema wie bei Situation 1, jedoch mit anderen Schraubendimensionen und beidseitig Buchenholz (Verbindung Buche auf Buche). Für das Testergebnis ist irrelevant, dass in der Realität die Buchenlatten quer auf die Stütze montiert werden und nicht parallel darauf wie im Laborversuch. Auch die beim Test fehlende Dampfbremse zwischen Latte und Stütze hat einen vernachlässigbaren Einfluss auf das Resultat.

Verwendetes Material:

Holz	Schraubentyp
Buche 40x60mm	WICO Twist 4,5x80mm
Buche 60x100mm	WICO Twist 5,0x80mm
	Doppelgewinde WT-T 4,5x70mm

Tabelle 21: Situation 3 - Versuchsmaterial

3A) Verschraubung mit WICO Twist 4,5x80mm

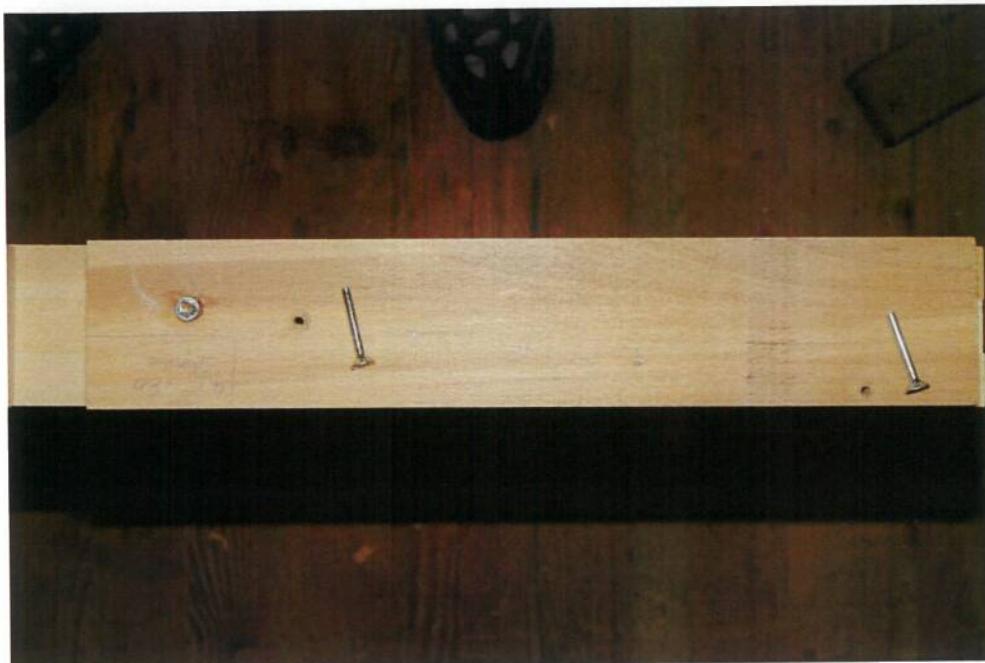


Abbildung 37: Situation 3 - Verschraubung mit WICO Twist 4,5x80mm

Beurteilung:

Kriterium	Beurteilung
Anbeißen d. Bohrspitze	sofort
Eindrehmoment:	gross
Schraube versenkbar	-
Schraubenbruch	ja (100%)
Mindest-Randabstand \perp	-

Tabelle 22: Situation 3 – Testresultate mit WICO Twist 4,5x80mm

Befund: **Schraubentyp für diese Anwendung unbrauchbar.** Sämtliche Schrauben brechen oberhalb des Gewindes ab, sobald der Schraubenkopf die Holzoberfläche erreicht. Die Beigabe von Schmierfett auf die Schraube erzielt keinen Effekt. Der Versuch kann nicht zu Ende geführt werden.

3B) Verschraubung mit WICO Twist 5,0x80mm

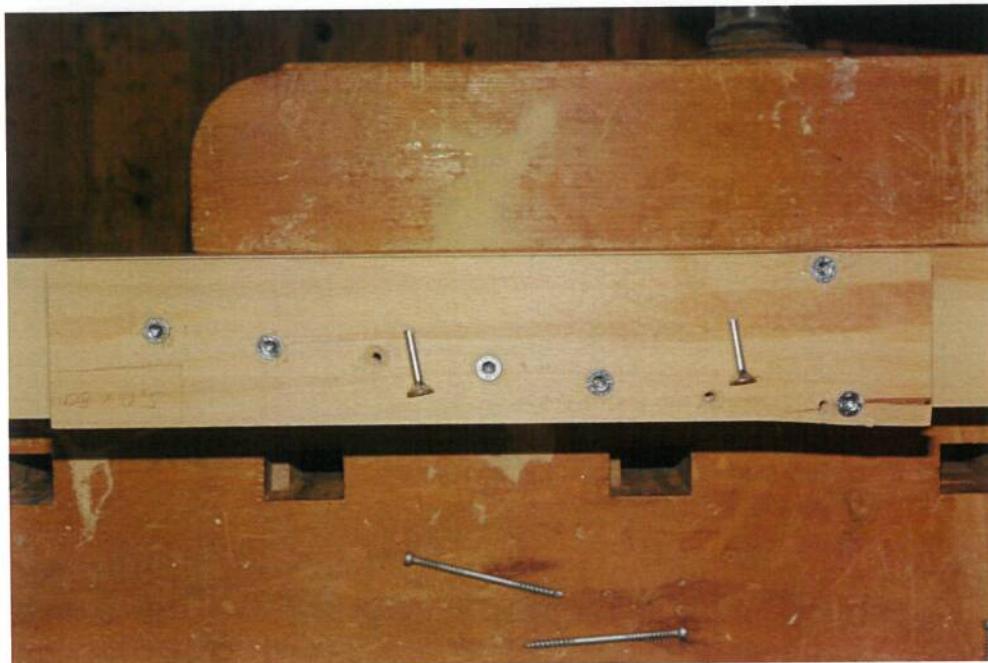


Abbildung 38: Situation 3 - Verschraubung mit WICO Twist 5,0x80mm

Beurteilung:

Kriterium	Beurteilung
Anbeißen d. Bohrspitze	sofort
Eindrehmoment:	sehr gross
Schraube versenkbar	knapp bündig
Schraubenbruch	ja (30%)
Mindest-Randabstand \perp	15mm (starke Spaltung bei 5mm, feiner Riss bei 10mm)

Tabelle 23: Situation 3 – Testresultate mit WICO Twist 5,0x80mm

Befund: **Schraubentyp für diese Anwendung unbrauchbar.** Ca. 30% der Schrauben brechen oberhalb des Gewindes ab, sobald der Schraubenkopf die Holzoberfläche erreicht.

3C) Verschraubung mit Doppelgewindeschraube WT-T 4,5x70mm



Abbildung 39: Situation 3 - Verschraubung mit Doppelgewindeschraube WT-T 4,5x70mm

Beurteilung:

Kriterium	Beurteilung
Anbeissen d. Bohrspitze	verzögert; rel. viel Pressdruck nötig
Eindrehmoment:	klein
Schraube versenkbar	Bündig, bis unter den Rand
Schraubenbruch	nein (0%)
Mindest-Randabstand \perp	10mm (feiner Riss bei 5mm)

Tabelle 24: Situation 3 – Testresultate mit WT-T 4,5x70mm

Befund: **Schraubentyp für diese Anwendung geeignet.**

3D) Verschraubung Stoss mit WICO Twist 4,5x80mm, WICO Twist 5,0x80mm und Doppelgewindeschraube WT-T 4,5x70mm



Abbildung 40: Situation 3 - Verschraubung Stoss mit WICO Twist und Doppelgewindeschraube WT-T

Beurteilung:

Kriterium	Schraube	Beurteilung
Mindest-Randabstand	WICO Twist 4,5x80	-
	WICO Twist 5,0x80	< 20mm
	Doppelgewinde WT-T 4,5x70	<10mm

Tabelle 25: Situation 3 – Testresultat Stoss

Befund: **Die WICO Twist 4,5x80 ist nicht brauchbar**, da die Schraube bricht, siehe Versuch 3A. **Die WICO Twist 5,0x80 ist ebenfalls nicht brauchbar**. Sie lässt sich nicht vollkommen versenken, und das Eindrehmoment ist sehr hoch, z.T. Schraubenbruch, siehe Versuch 3B.

Für die Anwendung (Stoss) geeignet ist die Doppelgewindeschraube WT-T, die keinerlei Risse verursacht, sich leicht eindrehen und vollkommen versenken lässt.

6.2.3. Zusammenfassung Testergebnisse

		Schraubentyp						
		WICO 4,5x60	WICO 5,0x60	WICO 4,5x80	WICO 5,0x80	WT-T 4,5x40	WT-T 4,5x60	WT-T 4,5x70
Situation 1	Befestigung Bodenrost auf Massivholzdecke	3	2	-	-	-	3	-
Situation 2	Befestigung Riemensoden auf Bodenrost	1	0	-	-	1	-	-
Situation 3	Befestigung Wandrost an Stützen (Rahmen)	-	-	0	0	-	-	3

Skala:
 3 = gut
 2 = genügend
 1 = schlecht
 0 = unbrauchbar

Tabelle 26: Übersicht Testergebnisse Verschraubungsversuch

6.3. Wichtigste Folgerungen aus dem Verschraubungsversuch

- Für wissenschaftlich erhärtete Aussagen ist der Versuchsumfang zu klein. Der Test liefert aber eindeutige Resultate, und er wird für die geplante Umsetzung als ausreichend beurteilt.
- Das Problem des Aufspaltens bei der Verschraubung von Buche stellt sich generell als kleiner heraus als angenommen. Für Buche können aufgrund der gutachtlichen Beurteilung die gleichen Mindestabstände wie für Nadelholz gemäss SIA-Norm 265 herangezogen werden, damit die nötigen Ausziehwiderstände gewährleistet sind. Aufgrund der hier gemachten Erfahrungen können die Mindestabstände vermutlich sogar reduziert werden. Dies müsste jedoch in umfassenden Tests überprüft werden.
- Buche-Buche-Schraubverbindungen sind sehr anspruchsvoll. Normale selbstbohrende Schrauben können dazu nicht verwendet werden (Spalten des Holzes, Schraubkopf nicht versenkbar, Schraubenbruch). Für solche Verbindungen steht jedoch mit der SFS Doppelgewindeschraube WT-T ein sehr leistungsfähiges Verbindungsmittel zur Verfügung.
- Für Verbindungen Hartholz-Weichholz bzw. Buche-Fichte Normale können selbstbohrende Schrauben wie die geprüfte WICO Twist Universal-

schraube problemlos verwendet werden. Bedingung ist, dass mind. ½ des zu durchbohrenden Querschnitts aus Weichholz besteht.

- ***Der Einbau des Riemenbodens (mit Nut und Kamm) auf Buche erfordert Vorbohren oder spezielle Schrauben, die beim Test nicht zur Verfügung standen. Der heikle Punkt ist das Spalten des Kamms. Die Buche hat vermutlich keinen besonderen Einfluss auf das Spalten des Kamms.***
- ***Der Test liefert gewisse Anhaltspunkte zum Zeitaufwand für die Herstellung einer Verbindung. Allerdings müssten für vertiefte ökonomische Betrachtungen zur Ermittlung der Wettbewerbsfähigkeit von Buche im Holzbau die Parameter quantitativ erhoben werden (mit Zeitmessungen).***

7. Einbau der Bauteile

7.1. Anlieferung

Am 25.11.2008 werden per LKW die bestellten Trio-Balken und Latten angeliefert:



Abbildung 41: Anlieferung und Entladung

7.2. Montage der Bauteile

7.2.1. Rahmen

Vor dem Montieren des Holzrahmens wird als Feuchteschutz gegen das Erdreich auf die bestehende Fassade im Erdgeschoss bis auf ca. 80 cm Höhe eine Bitumenbahn verlegt. Darüber kommt das Windpapier bis in den Dachstock.

Die Buchen-Kanthölzer werden zu Rahmen von bis zu 250 cm Länge und ca. 200 cm Höhe verschraubt. Das Rastermass zwischen den Stützen beträgt 65 cm.

Die Rahmen werden nach der Montage aufgerichtet und mit dem Tragwerk verschraubt. Mit dieser Konstruktionsart kann auf die Verwendung von Wellennägeln verzichtet werden. Wellennägel könnten vermutlich für das harte Buchenholz nicht eingesetzt werden.



Abbildung 42: Holzrahmen bei Trenn- und Außenwänden

Die Fixierung der Rahmen am Tragwerk erfolgt mit Universalschrauben 8,0x160mm. Allerdings ist Vorbohren nötig. Wie sich am Objekt herausstellt, kann in Buche mit einer Holzdicke von 100 mm die SFS Doppelgewindeschraube WT-T 6,5x130 nicht verwendet werden, da der Antrieb wegen des hohen Drehwiderstands ausreißt.

Um das Restrisiko des theoretisch unwahrscheinlichen Delaminierens der Lamellen infolge von Klimaschwankungen in der Wand zu eliminieren, werden in jede Stütze zusätzlich zwei SFS Doppelgewindeschrauben WT-T 4,5x60 mm eingebbracht (Abbildung 43). Die Schrauben werden senkrecht zur Verleimungsebene auf 1/3 und 2/3 der Stützenhöhe positioniert.

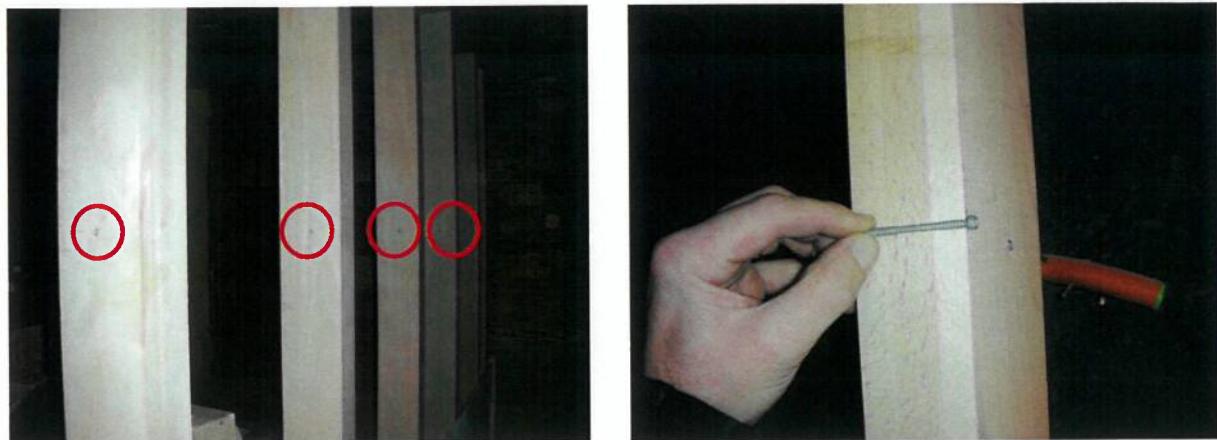


Abbildung 43: Querverschraubung der Stützen mit SFS Doppelgewindeschraube WT-T 4,5x60 mm

Rahmenkonstruktion in den Ecken:



Abbildung 44: Fügen der Holzrahmen; Winkeleisen mit SFS Doppelgewindeschrauben WT-T 4,5x60

Ausbildung der Fenster:



Abbildung 45: Ausbildung der Fenster

Anbringen der Dampfsperre mit Bostitch-Klemmern und Sanitärinstallation:



Abbildung 46: Fixierung des Dampfsperre und Sanitärinstallation

Nach der Fertigstellung des Rahmens im Erdgeschoss wird die Massivholzdecke aus Fichte auf den Rahmen montiert. Für den Anschluss der Massivholzdecke an den Holzrahmen können Buchenlatten 40x60 mm eingesetzt werden.



Abbildung 47: Auslegen der Massivholz-Deckenelemente auf dem Holzrahmen

Ausfachung des Rahmens mit 10cm Dämmstoff und Aufkleben der Dampfsperre:



Abbildung 48: Ausingolierung des Buchenholzrahmens und Aufkleben der Dampfsperre

Der Rahmen wird schlussendlich nur im Erdgeschoss aus Buche gebaut, da die bestellte Holzmenge für das Obergeschoss nicht ausreicht. Im Obergeschoss wird der Rahmen konventionell in Fichte / Tanne gebaut.

7.2.2. Lattenrost Wand

Auf den Stützen der Außenwände - nicht bei den Trennwänden - wird der Lattenrost 40x60 mm angebracht, dazwischen ist die Dampfsperre. Für die Verschraubung des Rosts werden SFS Doppelgewindeschrauben WT-T 4,5x70 verwendet. In den Zwischenräumen / Installationsebene kommt die innere Wärmedämmung (Holzfaserplatten) zu liegen.



Abbildung 49: Wandaufbau mit Dampfsperre, Lattenrost, innere Dämmschicht, Beplankung

7.2.3. Beplankung

Das Fixieren der Fermacell-Gipsfaserplatten (siehe Abbildung 50) auf ist mit normalen Klammern möglich (Produkt „Haubold“ KG 735 CN K, L=35 mm).

Damit die Klammern vollständig versenkt werden können, ist für das Buchenholz ein leistungsfähiges Druckluftklammergerät notwendig (12 bar Kesseldruck, 8 bar Klammergerät).

Das Klammergerät muss bei Setzen der Klammern relativ stark angepresst und möglichst rechtwinklig angesetzt werden.



Abbildung 50: Fixierung der Gipsfaserplatte mit Klemmen am Rahmen

7.2.4. Boden

Die Montage des Lattenrosts und des Riemenbodens erfolgt erst nach Fertigstellung des Diplomarbeit-Berichts.

7.3. Qualitätssicherung

Qualitätssicherung beim Einbau

Beim Einbau werden laufend folgende Aspekte berücksichtigt:

- Korrekter Einbau der Bitumenbahn (gegen aufsteigende Bodenfeuchtigkeit)
- Korrekter Einbau der Dampfbremse (Verhinderung Dampfdiffusion von innen)
- Korrekte Verschraubungen (Mindestabstände vom Rand eingehalten; Verwendung des geeigneten Schraubentyps)

Nachkontrolle

Die Nachkontrolle der eingesetzten Bauteile erfolgt 4, 6 und 8 Wochen nach Einbau und beinhaltet die stichprobeartige und gutachtliche Untersuchung der Klebfugen bei den Stützen.

7.4. Wichtigste Folgerungen aus dem Einbau

- Für die Zimmerleute ist die Verwendung von Buche weniger „komfortabel“ als bei Fichte und damit gewöhnungsbedürftig. Kritisiert werden insbesondere das hohe Eigengewicht der Bauteile (rund 50% höher), das notwendige Vorbohren bei grösseren Querschnitten (vgl. Kap. 7.2.1) sowie die scharfen Kanten.
- Die Verschraubung von Buchenbauteilen mit kleinen Querschnitten ist mit geeigneten Schrauben problemlos möglich.
- Bei Verschraubungen von kleinen Querschnitten mit Buche eignet sich die „Doppelgewindeschraube WT-T“ der Firma ‚SFS unimarket‘ gut. Nicht ganz optimal ist das schlechte Anbeissen der Schraube auf Hartholz. Das Problem wird gelöst durch leichtes Anbohren mit Hammer und Ahle.
- Bei Verschraubungen von grossen Querschnitten mit Buche muss vorgebohrt werden. Hier besteht eindeutig Entwicklungsbedarf für die Schraubenhersteller.
- Für das Fixieren von Flies (Dampfbremse) sowie von Beplankungen (Fermacell) können gewöhnliche Verbindungsmittel verwendet werden.

8. Ökonomische Aspekte

Dass der Einbau von Bauteilen aus Buche unter Berücksichtigung gewisser Rahmenbedingungen technisch möglich ist, konnte mit diesem Projekt gezeigt werden. Ob sich Buchenholz im Bau jemals durchsetzen wird, hängt in erster Linie von ökonomischen Faktoren ab.

Folgende Faktoren wirken sich bei Buche im Vergleich zu konventionellem Bauholz Fi/Ta kostentreibend aus (Liste unvollständig):

- Kleine Verfügbarkeit als Nutzholz beim Rohholz (vgl. Kap. 3.2)
- Hohes Gewicht = hohe Transportkosten
- Lange Trocknungszeit
- Viel Ausschuss infolge von Rissen, Verdrehungen, Ästen etc.
- Dämpfen und/oder Verleimen nötig bei hohen Ansprüchen an Masshaltigkeit

- Fehlendes technisches Know-How und ungeeignete maschinelle Ausstattung bei der Holz verarbeitenden Industrie
- Eher aufwändiger Montage

Die beteiligten Projektpartner äusserten sich zum ökonomischen Aspekt wie folgt:

Nach Corbat SA könnte sich die Produktion von einfachem Bauholz (unverleimt, unbehandelt) aus Buche für die Sägerei lohnen unter der Voraussetzung, dass als Ausgangsmaterial schwer absetzbare Sortimente von eher niedriger Qualität verwendet werden können. Ein grober Kostenvergleich mit Konkurrenzprodukten aus Nadelholz zeigt allerdings, dass Buchenlatten bis zu 50% teurer zu stehen kommen. Es müssen deshalb Wege gefunden werden, die Produktionskosten zu senken, bevor ein Marktauftritt ins Auge gefasst werden kann. Für verleimte Produkte würde Corbat SA Keilzinkungen für Lamellenlängen bis zu 6,0m vorsehen.

Nach Meinung des Leimbauers Roth AG ist die Verleimung von Buchenlamellen zu Duo oder Trio mit den bestehenden, für Nadelholz ausgelegten Anlagen vom Finanziellen her wenig interessant. Das Thema wird deshalb von Roth AG vermutlich in näherer und weiterer Zukunft nicht weiterverfolgt. Roth AG hält jedoch die Stossrichtung für zielführend, kurze Lamellen auf einer speziellen Keilzink-Anlage z.B. bei einem Fensterbauer zu stossen als Vorbereitung für die Längsverleimung.

Der ausführende Zimmermann von Hofmann Dänzer AG kommt zum Schluss, dass der Einbau der Buchenbauteile nicht wesentlich aufwändiger ist.

Bei den heutigen Produktions- und Marktverhältnissen ist zu vermuten, dass der konstruktive Einsatz von Buchenholz nicht wirklich konkurrenzfähig ist gegenüber den marktgängigen Sortimenten aus Nadelholz. Dennoch lohnt es sich für die einzelnen Akteure, die Option zu prüfen. Mit der weiteren Verknappung von Nadelholz könnte sich die Situation wenden. Für eine schlüssige Aussage betreffend Wettbewerbsfähigkeit von Buche im Bauholzsektor müssen die ökonomischen Faktoren vertieft abgeklärt werden. Dabei ist die Kostenstruktur des Produktionsprozesses genau zu analysieren.

9. Diskussion des Projekts

In diesem Kapitel werden die einzelnen Projektteile (vgl. Kap. 2.2) diskutiert, gewertet und zusammenfassend in einen grösseren Kontext gestellt.

Die Suche nach Literatur (Teil A) für den konstruktiven Einsatz von Laubholz und insbesondere Buchenholz erweist sich als sehr schwierig, da es kaum Literatur dazu gibt. Hilfreich waren die Berichte aus der angewandten F+E. Aus der Baupraxis wurden keine Unterlagen gefunden mit Ausnahme einer Broschüre des Varitec-Systems.

Die Planung des Bauholzsortiments (B1) erfolgte rasch und zielgerichtet in Zusammenarbeit mit den Praxispartnern. Es zeigte sich als sehr hilfreich, die Planung anhand eines konkreten Bauobjekts zu machen. So konnten die Lösungsansätze in einem überschaubaren Rahmen entwickelt werden. Die Motivation der Beteiligten war von Anfang an gross.

Die Produktion der Latten und Lamellen für die Triobalken (B2) wurde von Corbat SA selbstständig durchgeführt. Das benötigte Material wurde vollständig von der Firma finanziert. Infolge der guten Auslastung der Anlagen zu dieser Zeit kam es bei der Produktion zu einer kleinen Verzögerung gegenüber der Projekt-Zeitplanung. Damit verzögerte sich entsprechend die Produktion der Triobalken. Weil aber die Baustelle in Neuenegg ebenfalls leicht im Rückstand war, stimmte das Timing wieder.

Die Produktion der Triobalken (B3) bzw. die Schnittstelle mit der Sägerei erwies sich als Knackpunkt bei diesem Projekt. Roth AG hatte einen höheren Aufwand als angenommen infolge der für die Verleimungsanlage zu kurzen Lamellen. Dennoch konnten die Hölzer verarbeitet und termingemäss auf die Baustelle geliefert werden. Die Firma Roth AG übernahm die Kosten für das Material bei der Verleimung.

Der Verschraubungsversuch (C1) lieferte interessante und verwertbare Ergebnisse. Er war jedoch (als Folge des Zeitdrucks?) nicht ganz optimal geplant. So hätte die Einbausituation „Befestigung der Rahmen am Tragwerk“ ebenfalls geprüft werden müssen, wie sich im Nachhinein herausstellte. Beim Einbau zeigt sich, dass weder normale selbstbohrende Schrauben noch die Doppelgewindeschrauben WT-T 6,5x130 mm geeignet sind. Das Problem wird (etwas unbefriedigend) mit Vorbohren und der Verwendung normaler selbstbohrender Schrauben gelöst. Interessant wären auch Versuche mit weiteren Verbindungsmitteln gewesen wie Klammern, Nagelbindern, etc. Mangels Zeit musste darauf verzichtet werden. Die Firma SFS unimarket AG sponserte sämtliche Schrauben für den Versuch sowie für den Einbau.

Projektteil „Optimierung Verbindungsmittel“ (C2) wurde nicht in geplantem Ausmass erreicht. Allerdings waren die Ergebnisse aus Teil C1 so ermutigend, dass die Stossrichtung „Optimierung Verbindungsmittel“ nach der Identifizierung der WT-T Schraube nicht weiter verfolgt wurde.

Der Einbau der Bauteile – Wände (D1) verlief problemlos und plangemäss. Dabei konnten wertvolle praktische Erfahrungen im Umgang mit diesem Werkstoff gesammelt werden. Die Bauteile erfüllen vollumfänglich ihren Zweck, soweit dies während der Projektdauer verfolgt werden konnte.

Wegen zeitlicher Verzögerung auf der Baustelle kann der Projektteil „Einbau der Bauteile – Boden“ (D2) leider nicht dokumentiert werden. Aufgrund der Erfahrungen beim Einbau des Lattenrosts in den Wänden sind keine Komplikationen zu erwarten.

Fazit zum ganzen Projekt:

Das Projekt liefert interessante, aussagekräftige und für weitere Interessierte brauchbare Erkenntnisse über den Einsatz von Buche als Konstruktionsholz. Auch das Endresultat („Buche im Haus“) vermag nach Ansicht des Autors zu überzeugen.

Teilweise geplant, jedoch oft zufällig fügte sich der „Buchenexkurs“ absolut reibungslos in das Bauprojekt in Neuenegg ein. Der Bau konnte ohne Beeinträchtigung und zeitliche Verzögerung vorangetrieben werden. Zum Projekterfolg beigetragen hat insbesondere die grosse Motivation und Bereitschaft der beteiligten Praxispartner, trotz Zeitdruck neue Lösungen zu suchen und auszuprobieren.

10. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Zusammenfassend können folgende Erkenntnisse und Folgerungen aus diesem Projekt abgeleitet werden:

- **Buche kann grundsätzlich für den witterungsgeschützten Bereich (z.B. im Holzrahmenbau) ohne Einschränkungen verwendet werden. Diese Erkenntnis muss sich bei Holzbau-Fachleuten durchsetzen.**
- **Im ein- bis zweigeschossigen Holzhausbau müssen nach SIA-Norm im Normalfall keine statischen Berechnungen gemacht werden, bei grösseren Bauwerken hingegen schon. Für Bauplaner ist Laubholz schwierig zu handhaben, weil es kaum Bemessungsgrundlagen dazu gibt. Das SIA-Normenwerk sollte entsprechend ergänzt werden.**
- **Der Zuschnitt von Bauholz nach Mass ist für eine flexible Laubholzsägerei keine besondere Herausforderung. Dabei können Sortimente eingesetzt werden, die normalerweise schlecht absetzbar sind. Um jedoch Bauholz aus Fichte/Tanne konkurrenzieren zu können, muss der Produktionsprozess in der Sägerei weiter rationalisiert werden.**
- **Die Schnittstelle zwischen der 1. Verarbeitungsstufe (Sägerei) und der Weiterverarbeitung ist problematisch. Die Verleimung von Buche zu Trio ist zwar möglich, kann aber auf Anlagen, die für Nadelholz als Rohmaterial eingerichtet sind, nicht effizient betrieben werden. Hier ist Entwicklungsarbeit zu leisten.**
- **Bei der Montage ist das Arbeiten mit Buchenholz im Prinzip unproblematisch, jedoch gewöhnungsbedürftig. Weiterer Entwicklungsbedarf besteht bei den Verbindungsmitteln.**

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Rotbuche (<i>Fagus sylvatica L.</i>) oder Gemeine Buche (Foto: M. Bolliger).....	13
Abbildung 2: Räumliche Verbreitung der Buche in der Schweiz (LFI c/o WSL, 2008)	13
Abbildung 3: Darstellung Vorratsveränderung LFI2 / LFI3 in Prozent	14
Abbildung 4: Verteilung der Qualitäten bei Buche und Fichte (Pöyry Forest Industry Consulting GmbH, 2007) ...	15
Abbildung 5: Buchenholz	16
Abbildung 6: Knoten eines Fachwerkträgers aus Buchen-BSH (Gehri 1982)	18
Abbildung 7: Raumfachwerksystem Varitec; Pilotanwendung in Mehrzweckgebäude Seeparksaal.....	19
Abbildung 8: Dörflibrücke in Eggwil BE mit Hängern und Querträgern aus Buchen-BSH	20
Abbildung 9: Schubversuch an einem Brettschichtholzträger aus Buche; aus Ohnesorge (2008)	21
Abbildung 10: Scheune in Neuenegg vor dem Umbau; Blick von Süden.....	22
Abbildung 11: Werkplan Südwestfassade Mst. 1:100 (C. Wiedmer).....	23
Abbildung 12: Werkplan Südostfassade Mst. 1:100 (C. Wiedmer)	23
Abbildung 13: Detailskizze Wand- und Bodenaufbau im Erdgeschoss Mst. 1:10 (C. Wiedmer).....	24
Abbildung 14: Bauobjekt in der Rohbauphase	25
Abbildung 15: Bauteile aus Buche (rot) – Werkplan Querschnitt 1:50	26
Abbildung 16: Bauteile aus Buche (rot) – Werkplan Grundriss Mst. 1:100	26
Abbildung 17: Zu „Trio“ verleimter Balken.....	29
Abbildung 18: Zuschnittsanlage bei A+C Corbat SA, Vendlincourt (Foto: Ch. Huber).....	30
Abbildung 19: Getrocknete Parallelbretter (Foto: Ch. Huber)	31
Abbildung 20: Endbearbeitung auf Vierseiterhobelmaschine (Foto: Ch. Huber)	31
Abbildung 21: Scherdruck-Messgerät mit Prüfstäben	32
Abbildung 22: Trio-Balken in der Beleimungsstation bei Roth AG (Foto: F. Lenherr)	35
Abbildung 23: Zwei frisch verleimte Triobalken übereinander in der Presse (Foto: F. Lenherr)	36
Abbildung 24: Verschraubungsschema Mindestabstand ‚quer zur Faser‘	42
Abbildung 25: Verschraubungsschema Mindestabstand ‚längs zur Faser‘	43
Abbildung 26: Situation 1 - Detailskizze.....	44
Abbildung 27: Situation 1 – Verschraubung mit WICO Twist 4,5x60mm	45
Abbildung 28: Situation 1 – Verschraubung mit WICO Twist 5,0x60mm	46
Abbildung 29: Situation 1 – Verschraubung mit SFS Doppelgewindeschraube WT-T 4,5x60mm	47
Abbildung 30: Situation 1 - Verschraubung Stoss mit WICO Twist und Doppelgewindeschraube WT-T.....	48
Abbildung 31: Situation 2 - Detailskizze	49
Abbildung 32: Situation 2 - Verschraubung mit WICO Twist 4,5x60mm	50
Abbildung 33: Situation 2 - Verschraubung mit WICO Twist 5,0x60mm	51
Abbildung 34: Situation 2 - Verschraubung mit SFS Doppelgewindeschraube WT-T 4,5x40mm	52
Abbildung 35: Situation 2 - Verschraubung beim Stoss mit Doppelgewindeschraube WT-T 4,5x40mm	53
Abbildung 36: Situation 3 - Detailskizze	54
Abbildung 37: Situation 3 - Verschraubung mit WICO Twist 4,5x80mm	55
Abbildung 38: Situation 3 - Verschraubung mit WICO Twist 5,0x80mm	56
Abbildung 39: Situation 3 - Verschraubung mit Doppelgewindeschraube WT-T 4,5x70mm	57
Abbildung 40: Situation 3 - Verschraubung Stoss mit WICO Twist und Doppelgewindeschraube WT-T.....	58
Abbildung 41: Anlieferung und Entladung	60
Abbildung 42: Holzrahmen bei Trenn- und Aussenwänden	61
Abbildung 43: Querverschraubung der Stützen mit SFS Doppelgewindeschraube WT-T 4,5x60 mm.....	62
Abbildung 44: Fügen der Holzrahmen; Winkeleisen mit SFS Doppelgewindeschrauben WT-T 4,5x60.....	62
Abbildung 45: Ausbildung der Fenster	62
Abbildung 46: Fixierung des Dampfsperre und Sanitärinstallation.....	63
Abbildung 47: Auslegen der Massivholz-Deckenelemente auf dem Holzrahmen	63
Abbildung 48: Auisolierung des Buchenholzrahmens und Aufkleben der Dampfsperre.....	63
Abbildung 49: Wandaufbau mit Dampfsperre, Lattenrost, innere Dämmschicht, Beplankung	64
Abbildung 50: Fixierung der Gipsfaserplatte mit Klemmern am Rahmen.....	65

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht Arbeitsschritte	11
Tabelle 2: Physikalische Parameter von Buche und Fichte (Kucera & Gfeller, 1994) und (Wagenführ, 2007)	16
Tabelle 3: Mechanische Parameter Nadel- und Laubholz (Banhözer et al., 2005).	17
Tabelle 4: Übersicht Bestellmenge Buchenholz.....	28
Tabelle 5: Anforderungen an das Rohmaterial für die Verleimung.....	29
Tabelle 6: Verwendete Leimtypen bei der Scherfestigkeitsprüfung	33
Tabelle 7: Gemessene Scherfestigkeiten pro Leimtyp.....	33
Tabelle 8: Übersicht Einbausituationen beim Verschraubungsversuch	38
Tabelle 9: Testmaterial Verschraubungsversuch – Übersicht Holz.....	39
Tabelle 10: Testmaterial Verschraubungsversuch – Übersicht Schraubentypen.....	40
Tabelle 11: Mindestabstände nach Norm SIA 265 (Banhözer et al., 2005).....	42
Tabelle 12: Situation 1 - Versuchsmaterial	44
Tabelle 13: Situation 1 – Testresultate mit WICO Twist 4,5x60mm	45
Tabelle 14: Situation 1 – Testresultate mit WICO Twist 5,0x60mm	46
Tabelle 15: Situation 1 – Testresultate mit WT-T 4,5x60mm	47
Tabelle 16: Situation 1 – Testresultate Stoss.....	48
Tabelle 17: Situation 2 - Versuchsmaterial	49
Tabelle 18: Situation 2 – Testresultate mit WICO Twist 4,5x60mm	50
Tabelle 19: Situation 2 – Testresultate mit WICO Twist 5,0x60mm	51
Tabelle 20: Situation 2 – Testresultate mit WT-T 4,5x60mm	52
Tabelle 21: Situation 3 - Versuchsmaterial	54
Tabelle 22: Situation 3 – Testresultate mit WICO Twist 4,5x80mm	55
Tabelle 23: Situation 3 – Testresultate mit WICO Twist 5,0x80mm	56
Tabelle 24: Situation 3 – Testresultate mit WT-T 4,5x70mm	57
Tabelle 25: Situation 3 – Testresultat Stoss.....	58
Tabelle 26: Übersicht Testergebnisse Verschraubungsversuch	59

Literaturverzeichnis

- BAFU [1]. (2008). *Sturmschaden-Handbuch. Vollzugshilfe für die Bewältigung von Sturmschadenereignissen von nationaler Bedeutung im Wald.* (Bde. Umwelt-Vollzug Nr. 08/01). Bern.
- BAFU [2]. (2008). *Ressourcenpolitik Holz. Strategie, Ziele und Aktionsplan Holz.* 30 S. Bern.
- Banholzer et al., e. a. (2005). *Holzbautabellen 1.* Zürich, Le Mont-sur-Lausanne: Lignum Holzwirtschaft Schweiz; Cedotec Office romand de Lignum.
- Brassel, P., & Brändli, U.-B. (1999). *Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der Zweitaufnahme 1993-1995.* (S. u. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Hrsg.) Birmensdorf: Haupt Verlag.
- Brosinger, F., & Tretter, S. (2007). Waldbau im Zeichen des Klimawandels. *LWF aktuell 60/2007*.
- Gehri, E. (1982). *Fachwerkträger aus Buche und Fichte mit Stahlknotenplatten in eingeschlitzten Hölzern.* Zürich: Institut für Baustatik und Stahlbau, ETH Zürich.
- Haab, G. (1998). *Evaluation of the splitting resistance of Radiata Pine when nailed.* Biel-Bienne: Schweizerische Ingenieur- und Technikerschule für die Holzwirtschaft.
- Henning, M., Ohnesorge, D., & Becker, G. (2008). Verklebungsversuche von Rotbuche. *SAH Bulletin Nr. 2*.
- Hidber, A. (9. Januar 2009). Bauhistoriker. Mündliche Aussage.
- Hurst, A. (1991). *NFP 12 - Holz, erneuerbare Rohstoff- und Energiequelle.* Zürich: SAH Bulletin.
- Kolb, J. (2007). *Holzbau mit System.* Zürich / Basel: Lignum, Holzwirtschaft Schweiz / Birkhäuser Verlag AG.
- Kucera, L. J., & Gfeller, B. (1994). *Einheimische und fremdländische Nutzhölzer. Merkmale und Eigenschaften der in der Schweiz gebräuchlichsten Holzarten.* Zürich: Professur Holzwissenschaften der ETH Zürich.
- LFI c/o WSL. (2008). Abgerufen am 19. 09 2008 von Ergebnisse LFI2. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL.: <http://www.lfi.ch/resultate/schweiz.php>
- LFI c/o WSL. (2007). *Erste Ergebnisse des dritten Landesforstinventars LFI3. Wissenschaftliche Fakten zur Medienkonferenz WSL/BAFU vom 9. November 2007 in Bern.* Abgerufen am September 2008 von <http://www.lfi.ch/resultate/lfi3.php>.

- Meyer-Usteri, K. (9. Januar 2009). ehem. Kreisoberingenieur IV Burgdorf; Brückenexperte. Mündliche Aussage.
- Oelhafen, M. (2005). *Untersuchung der Eignung der thermischen Behandlung als Methode zur Farbegalisierung von Holz mit fakultativem Farbkern*. Biel: Hochschule für Architektur, Bau und Holz HSB.
- Ohnesorge, D. (2008). Brettschichtholz aus Buche: neue Einsatzmöglichkeiten für Buchenstarkholz. *COST E40: Large Dimensioned Timber*. , (S. 29). Freiburg D.
- Ohnesorge, D., & Becker, G. (2 2009). Forschung zum Buchen-Brettschichtholz. AFZ-Der Wald .
- Pöhler, E., Klingner, R., & Künniger, T. (2004). *Rotkerniges Buchenholz - Vorkommen, Eigenschaften und Verwendungsmöglichkeiten*. EMPA Dübendorf.
- Pollmeier Massivholz GmbH & Co. KG. (September 2008). *Die Pollmeier-Sortierung, Website*.
- Pöyry Forest Industry Consulting GmbH. (2007). *Zukünftiges Potenzial der Laubholzindustrie in Europa*. Freising, Deutschland.
- Rérat, D. (1992). *Essai de valorisation, par le collage, de sous-produits de hêtre*. Diplomarbeit. Sonvilier/Zürich: ETH Zürich, Forstwissenschaften.
- Schnider, T. (2007). *Eignung mittlerer Stammabschnitte aus Schweizer Laubholz*. ETH Zürich.
- Steurer, A. (9. Februar 2009).
- Steurer, A. (1986). Freies Gestalten - Raumfachwerke in Holz. *Sonderdruck aus Architektur und Technik 12/86* .
- Wagenführ, R. (2007). *Holzatlas*. (6 Ausg.). (C. H. Verlag, Hrsg.) München: Fachbuchverlag Leipzig.
- Wiss, P. (2007). *Die Verwendung von Laubholz im Holzhausbau*. NDS Diplomarbeit, Berner Fachhochschule; Architektur, Holz und Bau, Biel-Bienne.

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich diese Diplomarbeit selbständig und ohne jegliche Hilfe verfasst habe, nicht anderweitig als Diplomarbeit vorgelegt, keine anderen als die angegebenen Quellen oder Hilfsmittel benutzt sowie wörtliche und sinngemäße Zitate als solche gekennzeichnet habe.

Ich habe die Bestimmungen der Abteilung Bachelor Holz über die Sperrfristen und das geistige Eigentum, namentlich über die Urheber-, Publikations-, Verfügungs- und Nutzungsrechte zur Kenntnis genommen.

Ort und Datum:

Unterschrift:

Abnahmeerklärung und Bewertung

Die vorliegende Arbeit ist als Diplomarbeit an der Berner Fachhochschule, Architektur, Holz und Bau, Abteilung Bachelor Holz entgegen genommen worden:

Gesamtbewertung der Diplomarbeit:

(zusammengesetzt aus den gewichteten Teilnoten I, II und III)

Erstprüfender Dozent: Dr. Andreas Hurst Unterschrift:

Zweitprüfender Dozent: Hans-Peter Kolb Unterschrift:

Experte: Hanspeter Wirth Unterschrift:

Ort und Datum

Teilnoten

Teilnote I Fachliche Problemlösung (unter Berücksichtigung des Schwierigkeitsgrades der Aufgabenstellung)

Fachliches Urteil, Qualität der Ergebnisse Schlussfolgerungen), Vorgehen, Logik.

Teilnote I (50 %)

Teilnote II Methodische Problembehandlung

Kreativität, Systematik, Eigeninitiative, eigenkritische Bewertung der Vorgehensweise und der Ergebnisse, Einsatz usw.

Teilnote II (25 %)

Teilnote III Vermittlung der Ergebnisse

Sprache, Sauberkeit, Verständlichkeit der Darstellung, Erfüllung von Formvorschriften, Einsatz von Präsentationsmitteln und Präsentationstechniken während der Verteidigung, Klarheit der Formulierung und Fragebeantwortung, Qualität des Abstracts.

Teilnote III (25 %)

Schriftliche Beurteilung (Stärken und Schwächen)

Ort und Datum:

Unterschrift erstprüfender Dozent:

Unterschrift zweitprüfender Dozent:

Unterschrift Experte:

ANHANG

Anhang 1 Holzliste

Anhang 2 Pläne Bauobjekt „Umbau Schürli“ in Neuenegg

Anhang 1: Holzliste

Für:

EFH Clemens Wiedmer
Brambergstrasse 30
CH – 3176 Neuenegg

Lieferant:

Sägewerk A+C Corbat SA
CH - 2943 Vendlincourt

Bauteil:

Lattenrost Wände

H/B: 40x60 mm
L: zwischen 250-400 cm bzw. keine Vorgaben
Menge: 400 m²
Spezielles: Buche
Anforderung an Masshaltigkeit klein

Bauteil:

Lattenrost Boden

H/B: 30x60 mm
L: zwischen 250-400 cm bzw. keine Vorgaben
Menge: 100 m²
Spezielles: Buche
Anforderung an Masshaltigkeit klein

Bauteil:

Stützen Aussenwand und Trennwände

H/B: 60x100 mm
L: min. 250 cm (Geschosshöhe 220 cm)
Menge: 250 m²
Spezielles: Buche
Erhöhte Anforderung an Masshaltigkeit (→ wird verleimt)
Stützen Aussenwände statisch leicht belastet; nicht bewittert

Für die Balkenlage (Decke ob Elternschlafzimmer im 1. OG) werden entweder konventionelle Balken Fi/Ta oder kerngebohrte / vorgespannte Balken von Hedinger Holzbau, Wilchingen, eingesetzt. BSH aus Buche wird aus ästhetischen Gründen nicht eingesetzt.

Angaben basieren auf Absprache mit Zimmermann (E. Dänzer, Hofmann Dänzer Holzbau) und dem Architekten (C. Wiedmer) vom 16.10.2008.

17.10.2008/M. Gautschi

Anhang 2: Pläne Bauobjekt „Umbau Schürli“ in Neuenegg

- Grundriss EG 1:50
- Grundriss OG 1:50
- Grundriss DG 1:50
- Querschnitt A-A 1:50
- Detail 1A 1:10 (Handskizze)
- Detail 1B 1:10 (Handskizze)

Brambergstr. 30A, Umbau Schüli

Detail M 1:10 01.05.08 cm

(1)

Wandauflbau (innen nach aussen)

Total = 30 - 388 cm

1,5 cm Fertigteil, Abrieb glatt

3,0 cm Holzrost / Ausholzung / Innen Raum

Dampfbremse / v. c. Holzplatte 2 cm

10 cm Holzschalung ausisoliert

Windpapier auf best. Holzschalung

6 cm Wärmedämmung

16 cm best. Holzkonstruktion

+ 0.34 OK Betonkante

best. Holzkonstruktion

anheben ~ 4,5 cm

+ 0.50

-

Feuchtigkeitssperre
"Dachrippe"

Betonkante zur
L-Pralline best. Konst

+ 0.13 Sichtplatte

50 cm

+ 0.00 EG Referenz

- 0.16 OK Beton

V

0

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30

- 0.39 OK Ausstab 00

V

0

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30

Fugenband

Frostriegel

Bodenauflbau FG nicht unterteilt (oben nach unten)

Total = 39 cm

6 cm, Unterlagsboden plast. Spülplatte, gestrichen

10 cm, Wärmedämmung / Sanitärleitungen
Hartpvc Elektro über Boden

Feuchtigkeitssperre

18 cm Beton - Bodenplatte

5 cm, Magazinbeton

Detail A) B

06.03.08 34

Wandauflösung

Feinacell

Holzrost / Install Raum

Wandbeschichtung

Holzkonstruktion / Wärmedämmung

best. Konstr. ausreichet

Windpfeiler

best. Schalung

best. Schalung liegend

best. Schalung

+1.94 Zimmer 1161

24
1

8.13
24/3/3
16

16/3/3
16

16/3/3
16

16/3/3
16

16/3/3
16

16/3/3
16

16/3/3
16

16/3/3
16

16/3/3
16

16/3/3
16

Balkentage best.

+4.70

Bodenauflösung

dito

Schlafzimmer

Eltern

Bodenauflösung

3g Holzriemen TA

3g Holzrost

Tischschaltpliese

2g Schalung TISPA-Platte

+2.50

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

-

