

Frau Ulrike Krafft
Programmleitung Aktionsplan Holz
Bundesamt für Umwelt BAFU
Abteilung Wald, Sektion Holz- und Waldwirtschaft

Tel +41 58 464 40 45
Fax +41 58 464 78 66
ulrike.krafft@bafu.admin.ch

Aktionsplan-Holz Projekt Ref-1011-04200

Einsatz von Buchenbrettsperrholz im Buchenmodulbau

Schlussbericht

Autoren:

Tanja Zimmermann, Empa

Walter Risi, Empa

Luca Baldini, Empa

Stefan Vögtli, Fagus Jura SA

1 Inhalt

2	Vorwort.....	4
3	Zusammenfassung / Schlussfolgerungen.....	4
4	Ausgangslage (Zum Projekt).....	5
5	Ergebnis AP1 - Vorarbeiten für den Einsatz von Buchenbrettsperrholz (BSP) im Holzbau /Modulbaubetrieb (Evaluation der Anforderungen und Erstellen eines Konzeptes).....	6
5.1	Konstruktionskonzept / Verbindungssystem.....	6
5.2	Montagekonzept.....	10
6	Ergebnis AP2 – Herstellung eines hinsichtlich der Produktions-abläufe und Holzqualitäten optimierten Buchenbrettsperrholzes (BSP)	12
6.1	Ausgangslage	12
6.2	Herstellungsprozess in verschiedenen Stationen.....	12
6.3	Vor-/Nachteile der beiden Verfahren im Überblick	13
6.4	Die einzelnen Prozessschritte im Überblick.....	13
6.5	Erkenntnisse zur Wirtschaftlichkeit in der Herstellung.....	15
7	Ergebnis AP3 – Erstellung der Module aus BSP beim Holzbauer und Einbau ins NEST-Modul Vision Wood.....	15
7.1	Modulbau im Werk.....	16
7.2	Technikintegration.....	17
7.3	Schallschutz	18
7.4	Bildstrecke von der Produktion zum Einbau	19
8	Ergebnis AP 4 (Teil 1) - Monitoring des Verhaltens der BSP-Platten in der praktischen Anwendung....	20
8.1	Ausgangszustand	20
8.2	Buchen-Brettsperrholz – Plattenaufbau Wand.....	20
8.3	Monitoring erstes Nutzungsjahr	22
8.3.1	Raumklima	23
8.3.2	Holzfeuchte und Holz-Ausgleichsfeuchte	23
8.3.3	Verformungen	27
8.4	Farbe der Sichtfläche der Buchen-Brettsperrholzplatten	38

8.5	Risse.....	40
9	Ergebnis AP 4 (Teil 2) - Kommunikation der Ergebnisse (Fachtagung).....	41
9.1	S-win Statusseminar: Neue Anwendungen für Holz, 10. April 2017, Akademie Empa Dübendorf.....	41
	Beilage 1: Grundriss Zimmer 1.....	51
	Beilage 2: Grundriss Zimmer 3.....	53
	Beilage 3: Bericht Untersuchung der Probeverklebung.....	54
1	Ausgangslage.....	54
2	Material	54
3	Methoden.....	55
3.1	Bestimmung der Fugendicke.....	55
3.2	Delaminierungsprüfungen nach EN 16351:2015 Anhang C.....	55
3.3	Druckscherprüfungen nach EN 16351:2015 Anhang D.....	55
4	Ergebnisse	56
4.1	Fugendicke.....	56
4.2	Delaminierung	56
4.3	Scherfestigkeit	60
5	Beurteilung.....	61

2 Vorwort

Das Projekt „Einsatz von Buchen-Brettsperrholz im Holzmodulbau“ enthält 4 Fragestellungen, welche im Rahmen von 4 Arbeitspaketen behandelt werden:

1. Eignung von Buchen-Brettsperrholzplatten für den (modularen) Holzbau
2. Eignung von herkömmlichen (oder neu entwickelten) Verbindungssystemen für den Buchen-Brettsperrholzbau im Holzmodulbau
3. Möglichkeiten der maschinellen Verarbeitung von Buchen-Brettsperrholz im Holzmodulbau
4. Verhalten von Buchen-Brettsperrholz nach Einbau in modularer Holzkonstruktion (insbesondere Feuchteverhalten, Dimensionsstabilität).

In diesem Bericht wird auf die verschiedenen Punkte der Fragestellungen eingegangen und die Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete werden vorgestellt. In Punkt 4 werden die Untersuchungen für das erste Nutzungsjahr vom Juni 2016 bis Juni 2017 beschrieben. Ausserdem werden hier die Ergebnisse der vorgängigen Probeverklebung (Scherprüfungen und Delaminierungsprüfungen) behandelt.

3 Zusammenfassung / Schlussfolgerungen

Im Nest, einem Gebäude zum Testen von Innovationen, wurden in der Unit Vision Wood Module mit Decken und Wänden aus Buchen-Brettsperrholzplatten eingebaut. Die Platten wurden speziell für dieses Projekt geplant, hergestellt, zu Modulen zusammengebaut, in das Objekt eingebaut und während zirka eines Jahres einem Monitoring ausgesetzt.

In der Vorprojektphase des Bauvorhabens wurde auf Basis der frisch erarbeiteten Bemessungsgrundlagen für Buchenbrettsperrholzplatten von Fagus Jura SA ein **Konstruktions- und Montagekonzept** entwickelt für Raummodule der Unit Vision Wood. Es hat sich gezeigt, dass die hohe Festigkeit der Buchenbrettsperrholzplatten eine einschalige Konstruktion der Raummodule zulässt, so dass das Buchenbrettsperrholz sowohl Material für die tragende als auch die sichtbare Konstruktion ist. Als Konsequenz der einschaligen Wand- und Deckenkonstruktion mussten sämtliche Installationen im Boden mit Balkenlage geführt werden.

Für den Modulbau wurden grosse **Buchen-Brettsperrholzplatten** gefertigt. Auf Wunsch der EMPA wurde zur Flächenverklebung ein formaldehyd-freies Klebstoffsystem (1K PUR mit Primer anstatt MUF) verwendet. Dies hatte zur Folge, dass das Herstellungsverfahren geändert und ein zusätzlicher Prozessschritt eingefügt werden musste. So wurden aus den Brettern zuerst Einschichtplatten hergestellt, welche danach in einer Vakuumpresse zu Brettsperrholz verklebt werden konnten. Das resultierende Produkt ist dadurch sehr teuer aber entsprechend auch von sehr hoher Qualität. Trotz potentieller Prozessoptimierung wird ein solches Produkt aber als nicht wirtschaftlich angesehen. Diese Erkenntnis führt zur Anpassung der Einschicht-Brettplatten zu Stabholzplatten, welche eine deutlich günstigerer

Rohstoffbeschaffung erlauben. Die daraus resultierenden Stabholzsperrholzplatten können voraussichtlich wirtschaftlich hergestellt werden und eignen sich somit als zukünftiges Produkt.

Die **Bearbeitung der Buchen-Brettsperrholzplatten im Werk** war ohne grosse Probleme möglich, es zeigten sich jedoch einige Unterschiede gegenüber den Plattenwerkstoffen aus Fichten oder Tanne. Hauptsächlich sind dies Mehraufwände beim Handling und bei den Schraubverbindungen. Während aufgrund des höheren Gewichts der Buchenplatten der Vakuumsauger nicht ausreichte und weitere Hilfsmittel notwendig machte, mussten sämtliche Schraubverbindungen vorgebohrt und z.T. gefettet werden, was ein grösserer Zeitaufwand in der Fertigung bedeutet.

Aus dem **Monitoring** lassen sich folgende Erkenntnisse ableiten:

- Die Bretter wurden vor der Verklebung gemäss Angaben auf $8\pm 1\%$ Holzfeuchte getrocknet. Beim Start der Messungen (Juni 2016) wiesen die Platten im Kern eine Holzfeuchte von zirka 7%, an der Oberfläche zirka 9% auf. Während des Monitorings änderte sich die Holzfeuchte aufgrund der hygroskopischen Eigenschaften des Holzes, sie blieb jedoch grösstenteils innerhalb einer Bandbreite von zirka 7% und 9.5%.
- Die relativ geringen Klimaveränderungen führten zu nur kleinen Verformungen in Plattenebene, der Plattendicke und Krümmungen/Durchbiegungen von Wand- und Deckenelementen.
- Während des Monitorings wurden mit Ausnahme an einer exponierten Stelle keine neu entstandenen Risse ermittelt.
- Die Verklebung der Platten zeigt am Ende der Beobachtungszeit gegenüber dem Neuzustand keine Veränderungen.
- Über die einjährige Beobachtungszeit zeigte sich nur eine geringe Farbänderung der Plattensichtflächen.
- Die mit Körnung 100 ausgeführte Schleifgüte der Plattenoberflächen erweist sich als relativ rau und sollte zukünftig mit Körnung 120 ausgeführt werden.

4 Ausgangslage (Zum Projekt)

Die Empa setzt das Grossprojekt NEST um, ein modulares Gebäude mit festem Kern (Backbone) und austauschbaren Wohn- und Arbeitsbereichen (Units). Die NEST-Wohneinheit Vision Wood basiert dabei auf den neuesten Entwicklungen in der Holzforschung wie auch auf dem Know-How des modernen modularen Holzbaus. Die modulare Holzkonstruktion wird mit Schweizer Holz ausgeführt. Dabei soll anstelle des üblicherweise im modularen Holzbau eingesetzten Nadelholzes, eine neuartige Buchenbrettsperrholzplatte (Fagus Jura) eingesetzt und in der Anwendung getestet und charakterisiert werden.

5 Ergebnis AP1 - Vorarbeiten für den Einsatz von Buchenbrettsperrholz (BSP) im Holzbau /Modulbaubetrieb (Evaluation der Anforderungen und Erstellen eines Konzeptes)

Inhalte:

- Erarbeitung eines Konstruktionskonzeptes mit BSP-Platten für das Modul Vision Wood (inklusive Verbindungssystem, Verbindungstechnik)
- Erarbeitung eines Installationskonzeptes der BSP-Module in NEST

Deliverable 1:

Konstruktionskonzept für den Einbau von BSP-Platten ins NEST Modul Vision Wood liegt vor. Eignung von BSP im Modulbau (Festigkeiten, Plattenformate, Dimensionsstabilität, Anpassungsbedarf im Maschinenpark).

->**Status:** abgeschlossen

5.1 Konstruktionskonzept / Verbindungssystem

Die Unit Vision Wood ist so aufgebaut, dass mehrere Raummodule jeweils eine Wohneinheit bilden und einen Gemeinschaftsraum umschliessen, welcher nicht in Modulbauweise erstellt wird. Wohneinheiten 1 und 3 gemäss Abbildung 1 werden von zwei Modulen, Wohneinheit 2 von 3 Modulen gebildet.

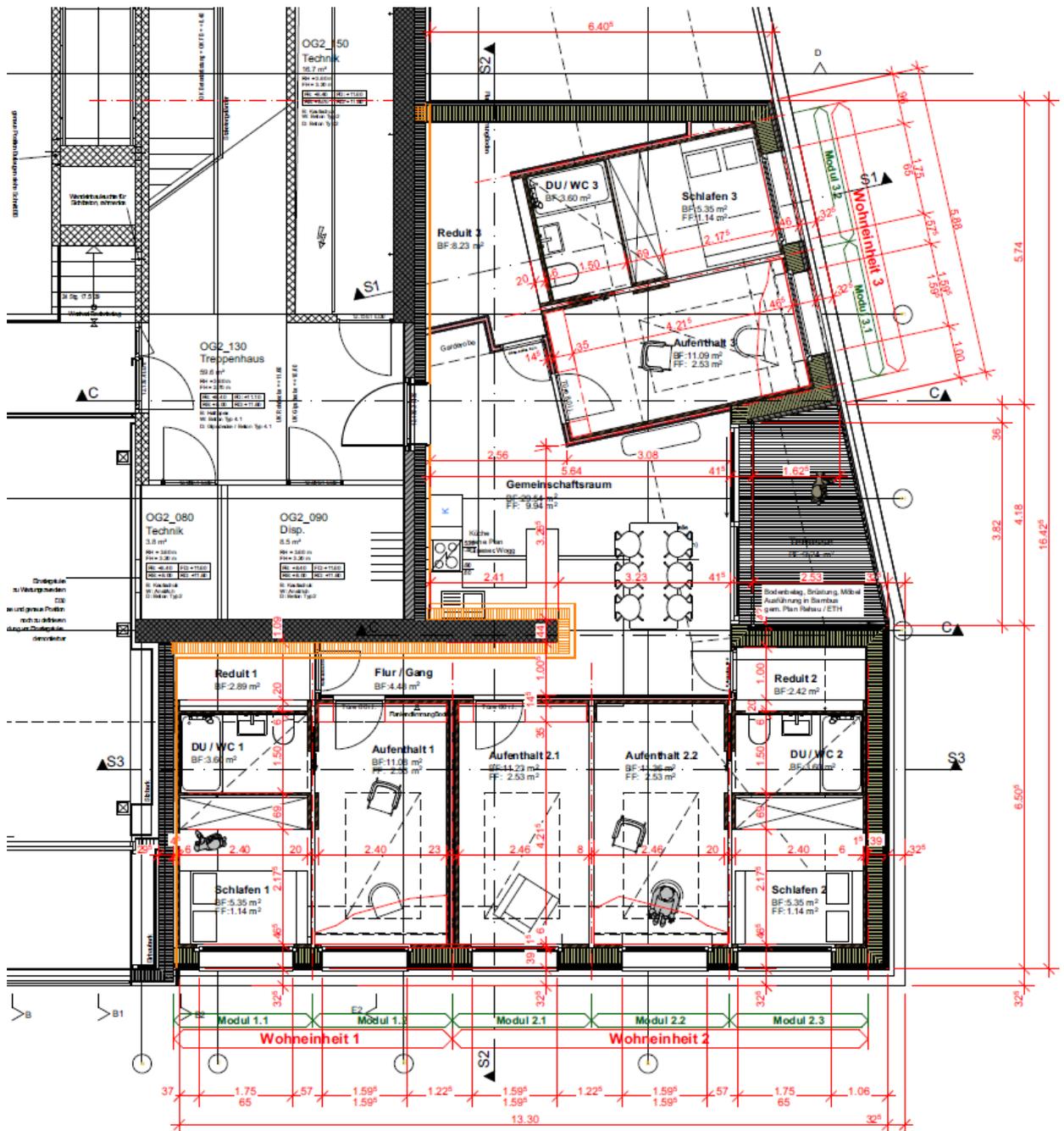


Abbildung 1: Grundrisspläne NEST-Unit Vision Wood (raum GmbH, Planstand Baueingabe)

Die Raummodule werden gegen aussen mit einer Vorhangsfassade abgeschlossen. Abbildung 2 zeigt den Fassadenanschluss an die Raummodule. Die Fenster sind Bestandteil der Aussenfassade, im Modul findet sich lediglich ein entsprechender Ausschnitt. Die Luftdichtigkeit gegen aussen ist ebenfalls an der Fassade, beim Anschluss an die Betonstruktur (Backbone) von NEST realisiert.

Bemessungsgrundlagen für Brettschichtholz und Brettsperrholz aus Buche wurden die Plattenstärken für die Wände und die Decken vom Holzbauingenieur definiert (siehe Abbildung 4). Der kritischste Lastfall wird durch den Transport und den Einbau mittels Kran in NEST definiert.

Die dreilagigen Brettsperrholzplatten weisen Dicken von 60 mm (Wände) bis 70 mm (Decke) auf. Die Bodenkonstruktion ist als Balkenlage ausgeführt die mit Grobspanplatten OSB beplankt und ausgesteift ist (Scheibenwirkung in ihrer Ebene). In Bereichen wo die Module grosse Öffnungen aufweisen (fehlende Wände) werden für die Stabilisierung zusätzlich Träger sowie Zug- und Druckglieder eingebaut. Die Zug- und Druckglieder sind temporär angebracht und werden nach dem Transport und der Montage der Module entfernt. Die Aufhängung der Module erfolgt über Stahl-Stahl-Verbindungen (Gewindestangen und geschweisste Stahlteile) die auf die Brettsperrholzplatten aus Buche angeschlossen werden.

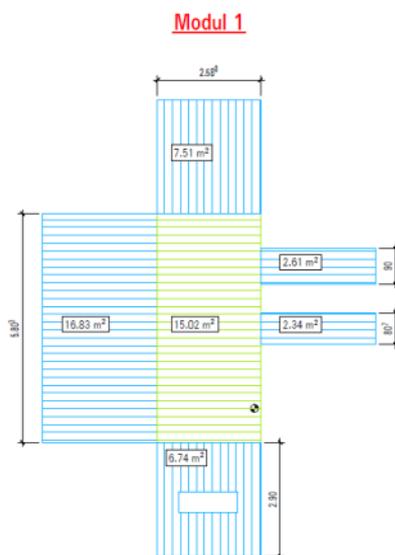


Abbildung 4: Materialbedarf und Plattenformate für den Bau eines Buchen-Moduls. Wandstärke 60 mm, Deckenstärke 70 mm. (Ausschnitt aus Bedarfsermittlung Buchenbrettsperrholz (Pirmin Jung) / Grundlage für Plattenbestellung bei Fagus Jura)

Die Verbindung der Wand- und Deckenelemente wurde mittels einer Schraubverbindung gelöst, wie in Abbildung 5 und Abbildung 6 dargestellt.

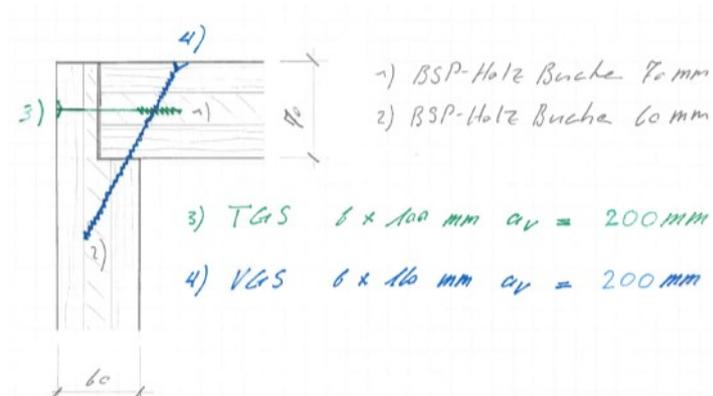


Abbildung 5: Schraubverbindung Decke an Wand (Handskizze Pirmin Jung)

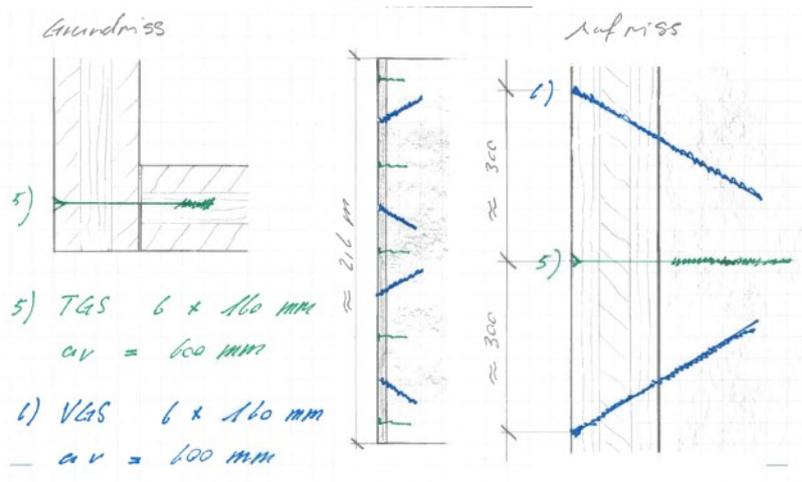


Abbildung 6: Schraubverbindung Wand an Wand (Handskizze Pirmin Jung)

5.2 Montagekonzept

Die ausragenden Plattformen des „Nest“ weisen auf der Oberseite ein starkes Gefälle auf. Für die Montage der Raummodule muss dieses Gefälle ausgeglichen werden. Hierfür wird eine Unterkonstruktion aus nivellierten/ geschifteten Holzbalken, wie in Abbildung 7 gezeigt, erstellt. Die Unterkonstruktion wird in die ausragende Betondecke verankert (max. Bohrtiefe im Beton 6 cm). Die Unterkonstruktion ist auf der Auflagerfläche mit einer gleitfähigen Schicht ausgestattet, damit die Module mit möglichst geringem Reibungswiderstand eingeschoben werden können.

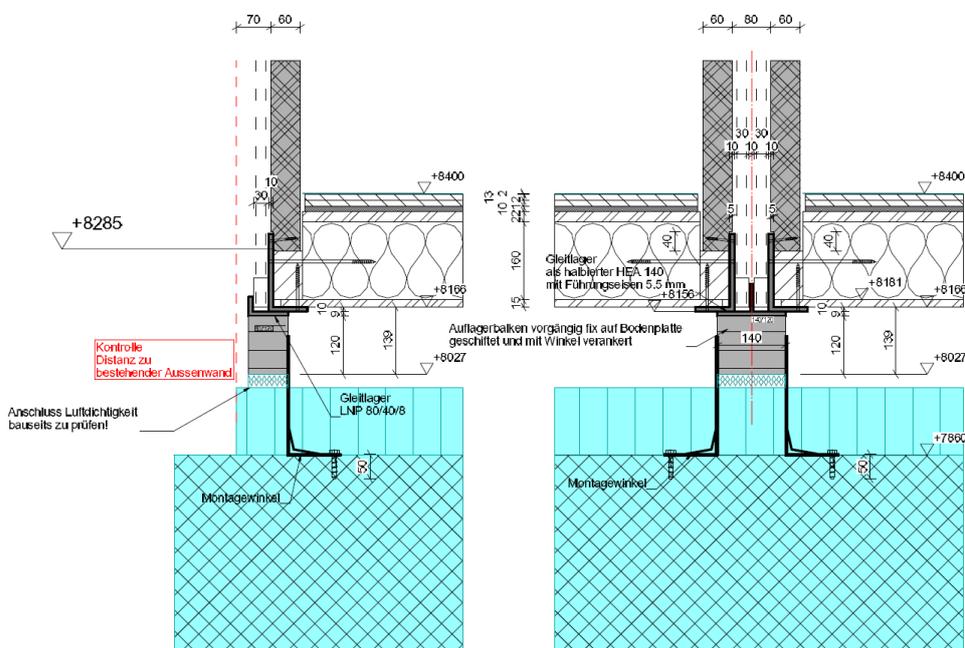


Abbildung 7: Unterkonstruktion für Montage der Buchenmodule auf dem NEST-Backbone (Ausführungspläne Holzbau, Renggli)

Die Versetzung der Module erfolgt, wie in Abbildung 8 gezeigt, über zwei Mobilkräne, welche das einzelne Modul synchron bis auf die Höhe des Deckenrandes der Kragdecke anheben. Nach einer ersten Einschubphase über einen horizontalen Seilzug, der im Innern des „Nest“ angebracht wird, werden die näher am Deckenrand positionierten Krangurten des ersten Krans entlastet und ausgeklinkt. Es folgt die zweite Einschubphase bis die Krangurten des zweiten Krans unmittelbar vor dem Deckenrand der oberen Kragdecke positioniert sind. Nach Entlastung und Ausklinkung der Krangurten erfolgt die dritte und letzte Einschubphase des Moduls mit dem Seilzug. Nach der definitiven Positionierung wird das Modul auf die Unterkonstruktion verankert.

Die gebäudehüllenbildenden Aussenwandelemente werden nach der Montage der Module mittels Mobilkran versetzt und auf die Module/ die Kragdecken angeschlossen/ verankert.

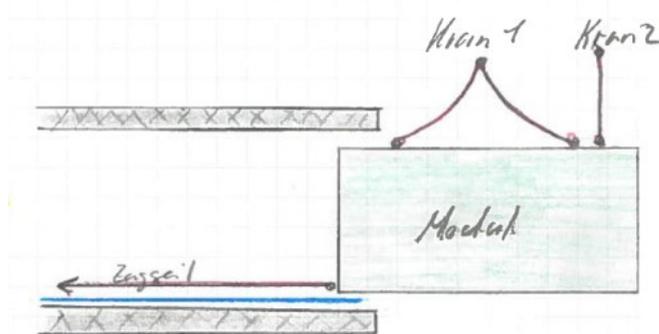


Abbildung 8: Montagekonzept mit zwei Mobilkränen und Seilzug

Fazit:

Das Konstruktionskonzept der Module erweist sich als einfach und gut umsetzbar. Boden, Decke und Seitenwände sind jeweils einzelne statisch wirksame Scheiben, welche über Schraubverbindungen zu Modulen miteinander verbunden werden.

Das Montagekonzept wurde mit dem Fokus auf minimale Investitionskosten entwickelt. Anstelle einer angepassten Plattform und Einschubvorrichtung wurde eine einfache Lösung mit zwei Kränen gewählt. Die Gleitschienen für das Einholen der Module mittels Zugseil reduzieren die Reibung und ermöglichen überdies eine gute Platzierung und Verankerung der Module in der Struktur von NEST. Bei einer Installation mit einer deutlich höheren Zahl von zu platzierenden Modulen käme zwecks Zeitoptimierung bei der Moduleinbringung jedoch eine Lösung mit angepasster Einschubvorrichtung zur Anwendung.

6 Ergebnis AP2 – Herstellung eines hinsichtlich der Produktionsabläufe und Holzqualitäten optimierten Buchenbrettsperrholzes (BSP)

Inhalte:

- Identifizieren von Optimierungspotential bezüglich differenzierter Holzqualitäten (Decklagen, Vor-/Rückseite, Mittellagen), eventuell unter Einsatz vorgefertigter Mittellagen (vorverleimte Lamellen zur Ausbeuteoptimierung)
- Erkenntnisse im Bereich der Maschinenauswahl und –anordnung im Leimholz-/Plattenwerk für die Buchen-Verleimung

Deliverable 2:

Buchenbrettsperrholzplatte für konstruktive Anwendung liegt vor. Untersuchen der Abläufe der Rohmaterialbereitstellung für BSP.

-> **Status:** abgeschlossen

6.1 Ausgangslage

Für das Projekt Vision Wood im Rahmen des NEST der Empa wurden durch die Firma Renggli Schötz insgesamt sieben Raumzellen (Module) aus Buchen-Brettsperrholz gefertigt und eingebaut. Die Fagus Jura SA wurde mit der Herstellung und Lieferung der rund 300 m² Brettsperrholz-Platten (BSP) aus Schweizer Buchenholz beauftragt. Bis dato wurde noch nie eine solche Menge Buchen-BSP hergestellt, weshalb mit diesem Auftrag wichtige Erfahrungen in der Herstellung von flächigen Buchen-Tragelementen gesammelt werden sollten.

6.2 Herstellungsprozess in verschiedenen Stationen

Da die Fagus Jura noch nicht über eigene Fertigungsanlagen verfügte, mussten die einzelnen Prozessschritte an verschiedenen Orten erfolgen. Geplant war auf Grund fehlender Anlagen (Hochfrequenz-Pressen), den Pressvorgang in Österreich zu machen. Kurz vor Produktionsstart wurde jedoch beschlossen, die gesamte Fertigung in der Schweiz zu realisieren. Anstelle der HF-Verleimung mit MUF-Klebstoff wurde eine Verklebung mittels Vakuum-Pressen und PUR Klebstoff (frei von Formaldehyd) gewählt. Dies hatte zur Folge, dass in einem zusätzlichen Zwischenschritt Einschichtplatten produziert werden mussten, welche in der Folge zu BSP verklebt wurden. Dazu wurde im Vorfeld eine Test-Charge verleimt. Im Vorfeld zur definitiven Entscheidung über den Produktionsprozess wurden die beiden Verfahren einander gegenüber gestellt.

6.3 Vor-/Nachteile der beiden Verfahren im Überblick

	Hydraulische HF-Pressen mit MUF (AT)	Vakuumpresse mit PUR (CH)
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> erprobte Technik, bereits mehrere Aufträge mit Buche abgewickelt hoher Pressdruck (> 1N/mm² möglich) durch hydraulische Presse garantiert auch bei krummen Lamellen ein Überpressen der Eigenspannung und damit eine geschlossene Klebefuge geschlossene Fugen in der Oberfläche und in der Mittellage durch Seitendruck sehr gute Oberflächenqualität dank Längs-Schleifmaschine Produktkosten ca. CHF 3'500.--/m³ 	<ul style="list-style-type: none"> 100% CH-Produktion/Wertschöpfung repräsentatives Projekt mit 100% Technologie-Umsetzung und -Entwicklung in der Schweiz → Aushängeschild für den Standortvorteil Schweiz bei der Know-How-Entwicklung und Leadership in einem zukunftssträchtigen Markt kürzere Transportwege Klebstoff mit Zertifizierung (allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-9.1-679) für Verklebung von Buchenholz sehr gute Verklebungsqualität, Erfüllung normativer Anforderungen möglich Klebstoff ohne Formaldehyd und ohne VOC Energiebilanz günstiger durch Aushärtung bei Raumtemperatur (HF nötig).
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> Formaldehyd-haltiger Klebstoff (jedoch Emission gemäss Test 70% unter E1-Grenze) noch keine Zulassung/Zertifizierung für Buchenholz resp. für tragende Holzbauteile ungünstigere Energiebilanz durch Hochfrequenzpresse weite Transportwege nach Österreich mit aufwändigem grenzüberschreitendem Verkehr weniger Wertschöpfung in CH Gefahr von Delaminierung in der Flächenverklebung bei grösseren Feuchteschwankungen 	<ul style="list-style-type: none"> Pressdruck Vakuumpresse max. 0.09 N/mm², nicht regulierbar eine Verarbeitungsstufe mehr (Stabplatte) und dadurch etwas mehr Rohmaterialbedarf. noch keine Erfahrung mit diesem Verfahren Garantie für Verklebung unklar Produktkosten ca. CHF 4'500.--/m³ (Mehrpreis ca. CHF 20k)

6.4 Die einzelnen Prozessschritte im Überblick

Vorgang	Unternehmen/Orte	Erfahrungen	Learnings
Rundholzeinschnitt Trocknung Fräsen zu Lamellen 140 resp. 160 mm breit	Corbat SA, Vendlincourt Keller AG, Unterstammheim	Geringe Holzausbeute, viel „Abfall“ von bereits getrocknetem Holz. Dadurch teure Lamellen (CHF 700.-/m ³).	Holz bereits in frischem Zustand fräsen und als Lamellen trocknen (mit Gewicht).

Kalibrieren (vorhobeln)			Schmälere Lamellen und ev. 2-3 Breiten um Ausbeute zu verbessern.
Keilzinken für tragende Bauteile. Längen 500 - 800 cm SMB-Maschine PUR-Klebstoff	Neue Holzbau AG, Lungern	Teure Verarbeitung da geringe Leistung auf Grund sehr kurze Lamellen. Zusätzlicher Hobelprozess 20 % Ausschuss weil Dickenprobleme. Nachbestellung nötig.	Schmälere Lamellen ergeben weniger Dicken-Probleme. 2 mm stärker einschneiden. Spezial-Hobelmaschine für Laubholz mit besserer Führung einsetzen.
Lamellen 4-S hobeln Verkleben zu Einschichtplatten Weissleim D3	Woodwork AG, Huttwil	Geeignete Hobelmaschine. Personal kennt sich mit Laubholz aus. Nur technische Verklebung nicht statisch.	Lamellenbreite sollte nicht mehr als 140 mm sein. Besser 120 mm oder noch schmaler.
1-S Platten schleifen Primer-Auftrag Flächenverklebung zu 3-Schicht Platten Zuschnitt und Abbund	Schilliger Holz AG, Kussnacht/Haltikon	Aufwändige Zwischenpufferung der Platten nach dem Primer-Auftrag	Sofern auf Primer nicht verzichtet werden kann, muss die Anlagentechnik entsprechend eine Pufferung vorsehen. Henkel ist daran ein System zu entwickeln, wo der Primer keine Einwirkzeit braucht.

Fazit:

Dank guten Zusammenspiels der verschiedenen im Auftrag involvierten Akteure konnten die Brettsperholzplatten termingerecht an die Firma Renggli geliefert werden, wo sie zu Modulen zusammengebaut wurden. Der gesamte Produktionsprozess war sehr aufwendig und die Platten entsprechend teuer. Die Plattenqualität ist sicher auch dank der vorgängigen Verleimung zu Stabplatten sowohl technisch wie optisch hervorragend. Das Endprodukt überzeugt die Bauherrschaft und auch die Besucher des NEST.

6.5 Erkenntnisse zur Wirtschaftlichkeit in der Herstellung

Die ursprünglich budgetierten Kosten zur Herstellung der BSP mussten auf Grund einer Projektänderung nach oben korrigiert werden. Dies weil auf Wunsch der EMPA zur Flächenverklebung ein formaldehyd-freies Klebstoffsystem (1K PUR mit Primer anstatt MUF) verwendet wurde. Das hatte zur Folge, dass das Herstellungsverfahren geändert und ein zusätzlicher Prozessschritt eingefügt werden musste. So wurden aus den Brettern zuerst Einschichtplatten hergestellt, welche danach in einer Vakuumpresse zu Brettsperrholz verklebt werden konnten. Unter Berücksichtigung der im Vorfeld errechneten Mehrkosten konnte der Budgetrahmen eingehalten werden.

Schlussfolgerung:

Mit den ausgewiesenen Gesamtkosten von CHF 4'800.-/m³ Brettsperrholz inkl. Abbund würde das Produkt am Markt nicht wettbewerbsfähig sein. Durch das Zusammenlegen der in diesem Projekt noch dezentral erfolgten Prozessschritte an einen Standort lassen sich zwar massgeblich Kosten einsparen, jedoch wäre die Wettbewerbsfähigkeit dennoch noch nicht gegeben.

Die Fagus hat deshalb, auch auf Grund der Erkenntnisse aus diesem Projekt, das Verfahren angepasst. Anstelle von Brettern (Lamellen) werden Stäbe respektive Latten mit quadratischem Querschnitt als Ausgangsmaterial eingesetzt. Durch die, unabhängig des Endproduktes, einheitliche Rohmaterial-Abmessung, kann die Festigkeits- und Qualitätssortierung sowie die nach Qualitäten getrennte Lagerung wesentlich effizienter erfolgen. So ist es mittels EDV-gestütztem Materialfluss einfach und mit kurzen Durchlaufzeiten möglich, je nach Anforderungen des Endproduktes auch minderwertige Lamellen zu verwenden und damit die Produktkosten zu reduzieren.

Damit wird einerseits die Rohmaterial-Beschaffung vereinfacht und vergünstigt und andererseits können daraus in einem hoch automatisierten Prozess kostengünstig Einschicht-Stabplatten hergestellt werden. Diese Platten können dann als Grundprodukte für verschiedenste Fertigprodukte und Anwendungen, auch für Brettsperrholz (neu Stabsper Holz), eingesetzt werden. Die Kalkulation zeigt, dass sich damit Kosten inklusive Abbund von unter CHF 2'000 realisieren lassen.

Die in diesem Projekt teils sehr aufwendig Verarbeitung des Buchenholzes auf für Nadelholz konzipierten Maschinen hat gezeigt, wo bei den aktuell verfügbaren Anlagen die Schwachstellen sind. Einer der Schlüsselthemen ist die Hobelgenauigkeit. Auf Grund der gemachten Erfahrungen werden für das neue Fagus-Werk vom Hersteller modifizierte Hobelmaschinen zum Einsatz kommen. Dasselbe gilt bei der Pressen-Technologie, welche insbesondere in Bezug auf den Klebstoff und den Pressdruck wesentliche Unterschiede zur Nadelholz-Verarbeitung aufweisen muss.

7 Ergebnis AP3 – Erstellung der Module aus BSP beim Holzbauer und Einbau ins NEST-Modul Vision Wood

Inhalte:

- Entwicklungen/Erfahrungen für Installationen der Haustechnik beim Einsatz von BSP
- Praxistest Buche als Konstruktionsholz im Modulbau: Abbau Skepsis in der Holzbaubranche durch Realisierung in NEST und Kommunikation inner- und ausserhalb der Branche – Feedback der Bewohner von Vision Wood zur Einschätzung der Wohnqualität aus Nutzersicht
- Optische Wirkung bei sichtbarer Verwendung von Konstruktionsholz Buche (Wände, Decke) – u.a. Feedback der Bewohner von Vision Wood
- Eigenschaften Buchenkonstruktion punkto Schallschutz
- Montage von Buchen-Modulen im NEST-Backbone mit/ohne Stahlrahmen

Deliverable 3 (Meilenstein 1):

NEST-Unit Vision Wood mit modularer Buchenkonstruktion eingebaut. Handling der BSP- Modulelemente beim seitlichen Einbringen in NEST (2. Stock – Installation von oben nicht möglich).

-> **Status:** abgeschlossen

7.1 Modulbau im Werk

Die Buchenbrettsperrholzplatten wurden mit den aus der Planung gewünschten Ausschnitten ins Werk geliefert und dort nachbearbeitet. Die Montage erforderte mehr Handarbeit als bei der gewöhnlichen Bauweise. Insbesondere musste bei der Verbindung der Wand- und Deckenelemente für die Verschraubungen vorgebohrt und geölt werden, um eine zu grosse Belastung der Schraube beim Eindrehen zu verhindern.

Die Buchenoberflächen innen wurden zusätzlich behandelt, um im Gebrauch beständiger zu sein, respektive weniger zu verschmutzen. Im Wohnbereich wurde eine Behandlung mit Seife gewählt, während im Nassbereich, wo mit Benetzung durch Wasser gerechnet werden muss, eine Behandlung mit ÖL gewählt wurde.

Der Innenausbau und auch die Installation der Modul-gebundenen Technik wurden vollständig im Werk vorgenommen.

Konkrete Erfahrungen und Feedback des Modulbauers:

1. Eignung von Buchenbrettsperrholzplatten (BSP) für den (modularen) Holzbau
 - BSP eignen sich grundsätzlich für den modularen Holzbau. Abtrag von hohen statischen Lasten möglich (Mehrgeschossigkeit).
 - Fertige und optisch hochwertige Oberflächen möglich. Nicht sichtbarer Einsatz auch möglich.
 - Rissbildung in der Oberfläche möglich. Entsprechende Sensibilisierung der Kundschaft ist notwendig.
 - Zum Zeitpunkt der Umsetzung war die Lieferfrist für BSP wesentlich höher als vergleichbare Plattenmaterialien in Fi/Ta. Dies erforderte eine frühe Detailbereinigung und Bestellungs freigabe.
2. Eignung von herkömmlichen (oder neu entwickelten) Verbindungssystemen für BSP im Holzmodulbau

- Herausforderung bei Schraubenverbindungen. Sämtliche Schraubenverbindungen mussten vorgebohrt und teils gefettet werden. Wesentlicher Nachteil in Bezug auf herkömmliche Plattenmaterialien in Fi/Ta.
 - Verklebung von Längsfuge der Deckenplatte mittels [TS3](#) ergaben gute Resultate in der Umsetzung. Auswertung der Resultate im Betrieb liegen uns nicht vor. Infos allenfalls über TS3.
 - Weitere Verbindungsmittel wurden im vorliegenden Projekt nicht eingesetzt
3. Möglichkeiten der maschinellen Verarbeitung von BSP im Holzmodulbau
- Maschinelles Zuschnitt (CNC-Bearbeitung) vergleichbar mit herkömmlichen Plattenmaterialien in Fi/Ta. Aufgrund der Materialdichte ist Anpassung der Vorschubgeschwindigkeiten und Abtragsmenge anzupassen. Dies führt zu geringen Mehraufwendungen in der Verarbeitung.
 - Sämtliche Schraubenverbindungen mussten vorgebohrt werden.
 - Aufgrund des hohen Platten-Gewichtes können die Platten nicht mit Vakuumheber transportiert werden. Mehraufwendungen im Handling notwendig.

7.2 Technikintegration

Der Technikintegration, insbesondere der Haustechnik musste in diesem Projekt von Anfang an grosse Beachtung geschenkt werden, da sich die Randbedingungen durch den Einsatz von Buchenplatten in der Konstruktion stark verändert haben. Konventionell ging man von einer Rahmenbauweise für die Wandkonstruktion aus. Bei dieser Konstruktionsweise ergibt sich genügend Hohlraum in den Wänden für die Installation der Haustechnik resp. die Leitungsführung. Bei der Massivbauweise ist die Buchenplatte eine einzige statisch wirksame Scheibe, so dass sämtliche Installationen entlang den Wänden Aufputz geführt werden müssen. Eine Leitungsführung entlang der Aussenwände kam nicht in Frage, da diese mit dem Transport und dem Versetzen der Module vor Ort nicht kompatibel wäre.

In Vision Wood hat man versucht die Aufputz-Leitungsführung soweit als möglich zu vermeiden. Dies wurde dadurch gelöst, indem man den Boden der Buchenmodule als Balkenlage ausgeführt hat. Die Elektroverteilung wurde somit zwischen den Balken im Boden geführt. Steckdosen wurden in vorgefertigte und vormontierte Möbel integriert, so dass auf Aufputz-Steckdosen verzichtet werden konnte.

Jede Wohneinheit, bestehend aus mehreren Raummodulen, verfügt bei einem Modul über einen Technikrucksack. Dieser liegt an der Rückwand der Nasszelle der Wohneinheit (siehe auch Abbildung 1, Redit). Da in der Nasszelle die Decke abgehängt ist, konnte die Leitungsführung in diesem Bereich einfach und unsichtbar gelöst werden.

Für die Wärmeabgabe wurden Deckensegel an die Decke eines Raummoduls gehängt. Die Heizleitungen werden an der Decke sichtbar auf die Segel geführt. Nebst den Funktionen des Heizens und Kühlens, sorgt das Deckensegel auch für die Raumbelichtung und die Einhaltung der Nachhallzeiten. Ebenfalls Aufputz geführt sind die Sprinklerleitungen und -köpfe. diese mussten aus Vorschriftsgründen und speziellen Bestimmungen in NEST im Wohnbereich installiert werden und zudem direkt an dem Backbone angehängt sein.

7.3 Schallschutz

In Vision Wood wurden von Seiten Bauherrschaft erhöhte Schallanforderungen gemäss SIA 181 definiert, vergleichbar mit jenem im Eigentumswohnungsbau. Kritisch diesbezüglich ist insbesondere die Schallübertragung zwischen benachbarten Wohneinheiten. Hier kommt einem die höhere Dichte der Buchen-Massivkonstruktion gegenüber der konventionellen Rahmenbauweise mit Fichte zugute. Gemäss SIA 181, Anhang G.1, Luftschall, Stufe 2 muss das Schalldämmmass für Trennbauteile einer Nutzungseinheit (zwischen benachbarten privaten Wohnräumen) 55 dB erreichen. Wenn man bei einer Geige in 1m Abstand einen Schallpegel von ca. 90 dB erwartet, so würde im benachbarten Raum unmittelbar bei der Wand ein Schallpegel von 35 dB, und wiederum 1m davon entfernt von 29 dB erwartet. Dieser Pegel liegt im Bereich von leisem Geflüster.

Um die hohen Schallanforderungen aber erreichen zu können, wurden die benachbarten Modulwände mit zusätzlichen Gipsplatten beplankt und durch eine Isolationsmatte im Zwischenraum schalltechnisch voneinander getrennt. Eine angenehme Raumakustik im Innern wurde durch die Deckensegel erreicht.

Ein messtechnischer Nachweis des Schalldämmmasses der Buchenkonstruktion zwischen zwei benachbarten Wohnräumen wurde nicht gemacht. Dies, weil der Berücksichtigung der Buche in der Berechnung des Schalldämmmasses genügend Rechnung getragen werden kann und eine messtechnische Verifikation somit nicht als notwendig angesehen wurde. Die qualitative Überprüfung durch die Benutzer bestätigt aber das hohe, effektiv erzielte Schalldämmmass im Rahmen der Erwartungen.

Zwei Studenten leben seit Anfang 2017 in der NEST-Unit «Vision Wood». Empa Kommunikations-Praktikantin Ramona Ronner hat Patryk Spera und David Norris in ihrer aussergewöhnlichen Wohnung besucht und mit ihnen über ihr Leben im Forschungsobjekt gesprochen.

Ausschnitt aus News-Beitrag „Zuhause im NEST“ vom 27.2.2017 aufgeschaltet auf der NEST webpage :

«Nachts ist es natürlich auch unglaublich still im Gebäude und auf dem Gelände. Das war am Anfang ein bisschen ungewohnt», so David. Allerdings empfinden die beiden dies nicht unheimlich, sondern vielmehr sogar angenehm und «irgendwie cool», sind sich Patryk und David einig. In «Vision Wood» ist es allgemein nicht hellhörig. David, der in einem Orchester Geige spielt, probt oft in seinem Zimmer. Patryk aber sagt: «Ich höre davon so gut wie nichts. Ich weiss manchmal gar nicht, ob er überhaupt zuhause ist, weil ich ihn einfach nicht höre, sobald die Zimmertüre geschlossen ist.» Sind die Türen offen, verbringen sie gerne Zeit miteinander. Sie kochen zusammen am Mittag oder Abend, schauen fern oder unterhalten sich. Sie würden in Zukunft gerne in einer so modernen Wohnung leben, sagen beide unisono. Bis es soweit ist, geniessen sie es noch hier in NEST.

7.4 Bildstrecke von der Produktion zum Einbau

		
<p>Ausführung der Bodenkonstruktion als Balkenlage</p>	<p>Bepankung der Balkenlage</p>	<p>Montierte Raummodule (Boden, Wände, Decke)</p>
		
<p>Innenausbau der Raummodule (inkl. Möbelbau, Technik)</p>	<p>Verpackung der Raummodule</p>	<p>Transport der Raummodule</p>
		
<p>Abladen der Raummodule mit mobilem Kran</p>	<p>Einbringung der Raummodule mit zwei mobilen Kräne</p>	<p>Einziehen auf NEST Backbone mit Seilzug</p>
		
<p>Platzieren und Montieren der Vorhangfassade</p>	<p>Fertiggestellte Unit Vision Wood (Aussenansicht)</p>	<p>Fertiggestellte Unit Vision Wood (Innenansicht Wohneinheit)</p>

8 Ergebnis AP 4 (Teil 1) - Monitoring des Verhaltens der BSP-Platten in der praktischen Anwendung

Inhalte:

- Periodische Kontrolle Holzfeuchtigkeit (Klima), Dimensionsstabilität, Fugen, Risse

Deliverable 4:

Monitoringwerte über einen mehrmonatigen Zeitraum liegen vor.

-> **Status:** abgeschlossen

8.1 Ausgangszustand

Das Nest besteht aus einem festen Kern (Backbone) mit auskragenden Boden-/Deckenplatten aus Beton. Vision Wood, als eine von mehreren Units, besteht aus 3 Wohneinheiten und einem gemeinsamen Aufenthaltsraum. Die Wohneinheiten bestehen aus Modulen, welche fertig zusammengebaut in das Nest eingeschoben wurden. Die Wände und Decken der Module sind aus Buchen-Brettsperrholz gefertigt. Das Monitoring der Platten erfolgte in zwei der drei Wohneinheiten, nämlich in den Zimmern 1 und 3. Die Grundrisse dieser Wohneinheiten sind in den Beilagen 1 und 2 angefügt.

Die Zimmer 1 und 3 unterscheiden sich unter anderem in der Belüftung und in der Belegung der Zimmer. Zimmer 1 war im Gegensatz zu Zimmer 3 ab zirka November 2016 bewohnt. Im Zimmer 3 (unbewohnt) sind im Gegensatz von Zimmer 1 bei den Fenstern Belüftungssysteme (Ego[®] Fresh von EgoKiefer AG) eingebaut. In den Zimmern 1 und 2 sind dezentrale Zuluftgeräte installiert und die Abluft wird via Überströmöffnung in den Gemeinschaftsraum abgeführt.

8.2 Buchen-Brettsperrholz – Plattenaufbau Wand

Die Platten weisen eine Dicke von 60 mm auf und bestehen aus drei in der Dicke rechtwinklig zueinander verklebten Lagen gleicher Dicke. Die Lagen bestehen aus in der Länge keilgezinkten Brettern mit einer Breite von 140 mm (Abbildung 9, Abbildung 10 und Abbildung 11).



Abbildung 9: Plattenaufbau Buchen-Sperrholzplatte



Abbildung 10: Ausschnitt Oberfläche Wandelement

Bei der Herstellung wurden zuerst durch seitliches Verkleben der Bretter Einschichtplatten (Lagen) mit einer Breite von 1 m gefertigt. Anschliessend wurden aus diesen Lagen durch Verklebung der Flächen die Wandelemente hergestellt. Die nicht verklebten raumseitigen Fugen zwischen den 1 m breiten Lagen wurden nachträglich ausgefräst und durch Einleimer gefüllt (Abbildung 11).

Die Oberflächen der Buchen-Brettsperrholzplatten sind geschliffen (Körnung 100) und mit AURO Holzseife, weiss pigmentiert Nr. 404 behandelt (Vorbehandlung AURO Laubholz Nr. 402).



Abbildung 11: Plattenoberfläche mit Keilzinkung und Einleimer zwischen zwei 1 m breiten Teilplatten

8.3 Monitoring erstes Nutzungsjahr

Methoden

Tabelle 1: Erfasste Messgrößen

Lfd. Nummer	Messgröße	Messmittel	Häufigkeit
1	Holzfeuchte 16 Messstellen 4 Messtiefen	Scantronic Gigamodul	kontinuierlich
2	Raumklima	2 Klimalogger	kontinuierlich
3	Distanzmessung 8 Messstellen Länge 8 Messstellen Breite	Deformeter	periodisch alle 2 bis 4 Wochen
4	Dickenmessung	Messschieber	periodisch alle 2 bis 4 Wochen
5	Durchbiegung Decke	Laser-Entfernungsmesser	periodisch alle 2 bis 4 Wochen
6	Durchbiegung Wand	Laser-Entfernungsmesser	periodisch alle 2 bis 4 Wochen
7	Farbmessung	Minolta-Spektralphotometer	periodisch ca. alle Monate
8	Risse, Veränderungen	Fühllehre, Kamera	periodisch

In der Abbildung 12 ist eines von vier identischen Messfeldern zu sehen. In diesen Feldern wurde die Holzfeuchte in unterschiedlicher Tiefe, das Schwinden/Quellen in Plattenebenen und die Dickenveränderung gemessen.

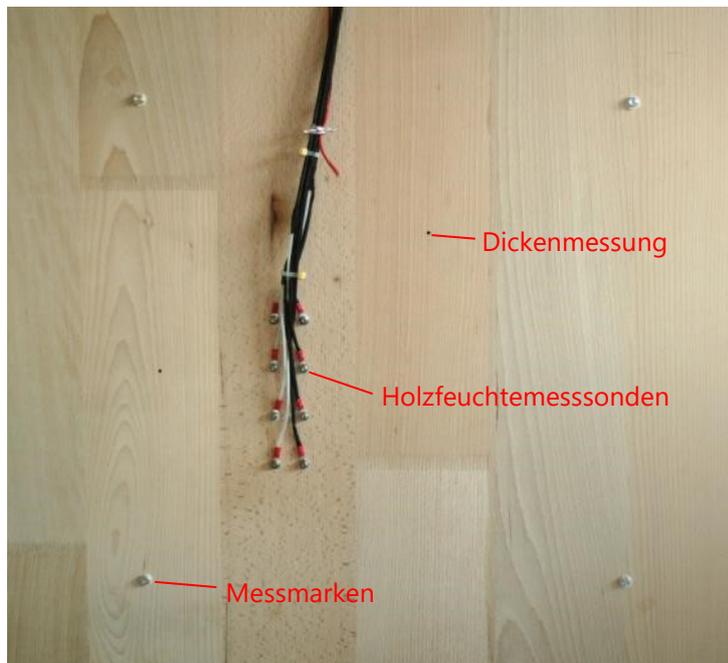


Abbildung 12: Messfeld mit Messmarken, Löcher für Dickenmessung und Holzfeuchte-Messsonden

8.3.1 Raumklima

In den Zimmern 1 und 3 wurden vom 9. Juni 2016 bis 18. Juli 2017 die Temperatur und die rel. Luftfeuchte mit einer Intervallzeit von einer Stunde auf Datenlogger (Rotronic HL-1D) aufgezeichnet (Abbildung 13 und Abbildung 14).

Bewertung/Einordnung der Werte

Mittelwert Zimmer 1: 22.3 °C / 46% RF

Mittelwert Zimmer 3: 23.2 °C / 41% RF.

Die gemessenen Werte liegen damit im für beheizte Innenräume empfohlenen Bereich mit den üblichen kurzzeitigen Schwankungen.

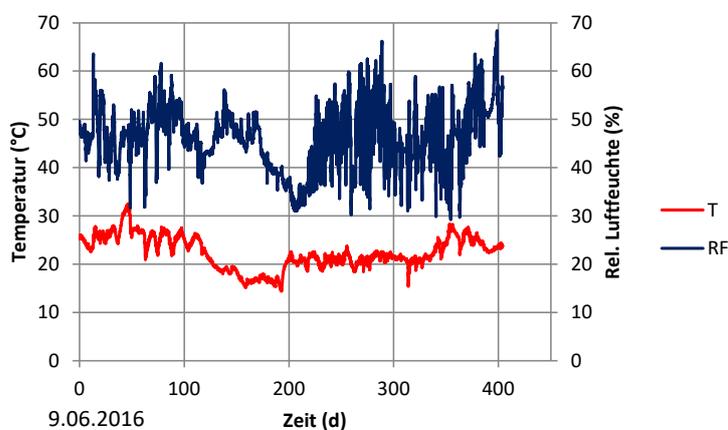


Abbildung 13: Temperatur und relative Luftfeuchte Zimmer 1

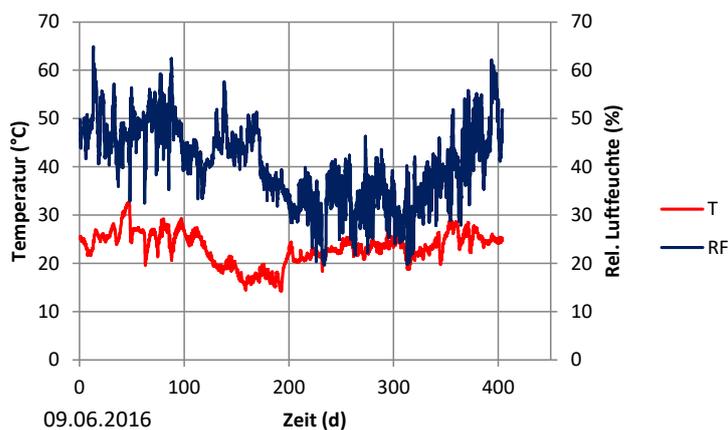


Abbildung 14: Temperatur und relative Luftfeuchte Zimmer 3

8.3.2 Holzfeuchte und Holz-Ausgleichsfeuchte

In den Zimmern 1 und 3 wurden vom 9. (Zimmer 1) bzw. 13. (Zimmer 3) Juni 2016 bis 18.07.2017 die Holzfeuchtigkeit (U) der Buchen-Brettsperrholzplatten an zwei Stellen in Boden- respektive Deckennähe (unten und oben) in unterschiedlichen Tiefen (Oberfläche, 20 mm, 30 mm und 40 mm) im Stundenintervall

erfasst. In der Abbildung 12 ist eines der 4 Messfelder ersichtlich. Die Messung erfolgte mit einem Gerät nach dem Widerstandsmessverfahren (Gigamodul Materialfeuchte, SCANNTRONIC Mugrauer GmbH). Die dargestellten Messwerte enthalten eine Korrektur für Buchenholz, jedoch keine Temperaturkorrektur.

Die Abbildung 15 und Abbildung 16 zeigen den Holzfeuchteverlauf im Zimmer 1, die Abbildung 18 und Abbildung 19 den Holzfeuchteverlauf im Zimmer 3.

In den Abbildung 17 und Abbildung 20 ist die theoretische Holz-Ausgleichsfeuchte (H-AF), berechnet aus der Temperatur und der relativen Luftfeuchte des Raumklimas nach [Wood Handbook], zusammen mit den jeweils gemessenen Holzfeuchtwerten an der Oberflächen der Elemente, dargestellt. Die Holz-Ausgleichskurve wurde mit einem Intervall von 1 Stunde ermittelt. Neben dem Stundenwert zeigen die Abbildungen auch den Tagesmittelwert (gleitenden Durchschnitt 24 Perioden).

Die Abbildungen Abbildung 21 und Abbildung 22 zeigen den Mittelwert und die Spannweite der Holzfeuchte in den verschiedenen Messtiefen, sowie die berechnete Holz-Ausgleichsfeuchte.

Die Abbildungen zeigen, dass

- eine gute Übereinstimmung zwischen der Messung unten und oben besteht
- die Platten innen trockener sind als aussen
- die Holzfeuchte saisonal schwankt (Winter etwas trockener)
- im Zimmer 1 gegenüber Zimmer 3 die Platten insbesondere oberflächlich zirka 0.5 HF-% feuchtere Werte aufweisen (Mittelwert Zimmer 1= 8.9%, Zimmer 3= 8.4%)
- im Zimmer 3 grössere Feuchte-Schwankungen vorhanden waren als in Zimmer 1
- die berechnete Holz-Ausgleichsfeuchte (H-AF) wie erwartet grössere Ausschläge als die gemessene Holzfeuchte an der Oberfläche aufweist.

Bewertung/Einordnung der Werte

Die gemessenen Holzfeuchtwerte liegen mit 8.9% (Zimmer 1) und 8.4% (Zimmer 3) im für beheizte Innenräume erwarteten Bereich. Die Trocknung der Bretter auf eine Holzfeuchte von $8 \pm 1\%$ hat sich als richtig erwiesen.

Beim Start der Messungen (Juni 2016) wiesen die Platten im Kern eine Holzfeuchte von zirka 7%, an der Oberfläche zirka 9% auf. Während des Monitorings änderte sich die Holzfeuchte aufgrund der hygroskopischen Eigenschaften des Holzes, sie blieb jedoch grösstenteils innerhalb einer Bandbreite von zirka 7% und 9.5%.

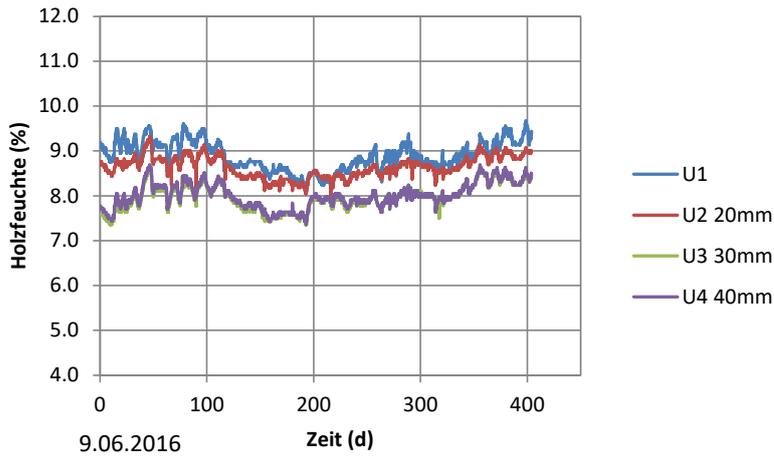


Abbildung 15: Holzfeuchte Buchen-Brettsper Holz in unterschiedlicher Tiefe, Zimmer 1, Messbereich unten

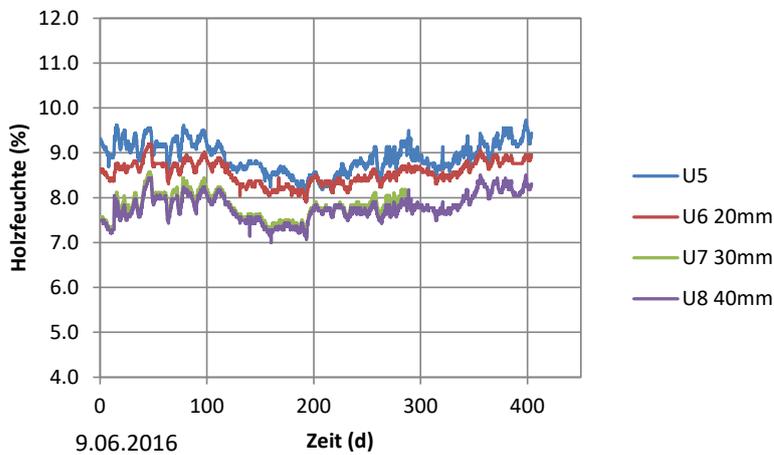


Abbildung 16: Holzfeuchte Buchen-Brettsper Holz in unterschiedlicher Tiefe, Zimmer 1, Messbereich oben

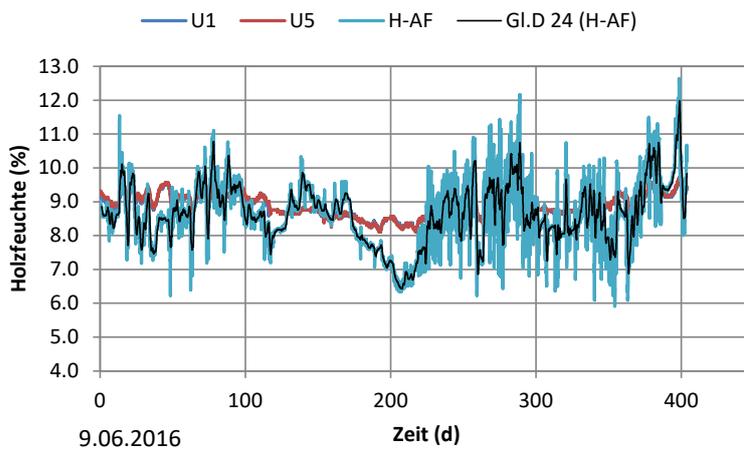


Abbildung 17: Holzfeuchte Buchen-Brettsper Holz an der Oberfläche und Holz-Ausgleichsfeuchte, Zimmer 1

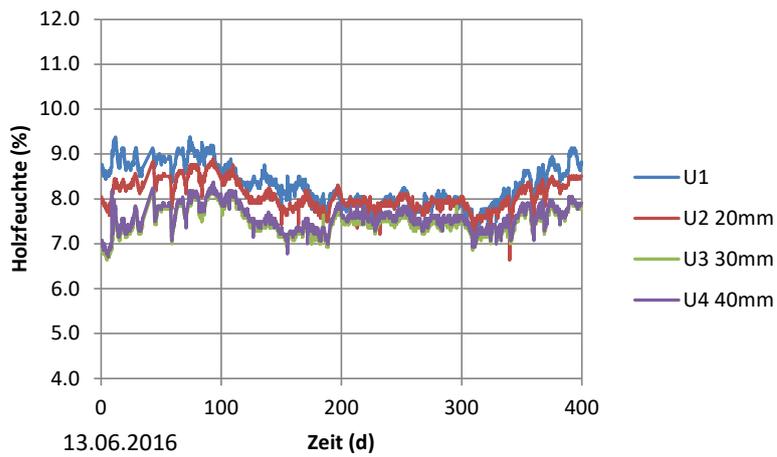


Abbildung 18: Holzfeuchte-Buchenbrettsperrholz in unterschiedlicher Tiefe, Zimmer 3 Messbereich unten

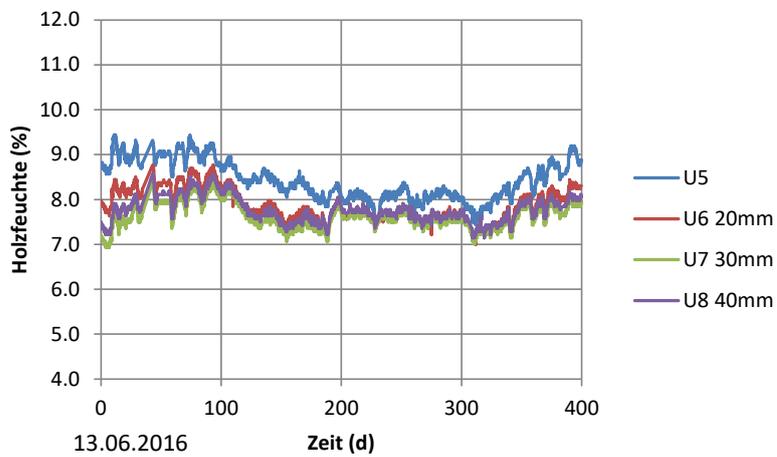


Abbildung 19: Holzfeuchte Buchen-Brettsperrholz in unterschiedlicher Tiefe, Zimmer 3 Messbereich oben

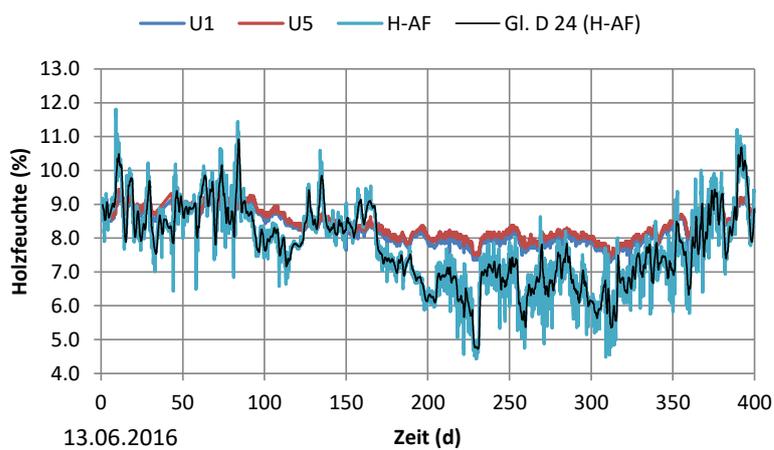


Abbildung 20: Holzfeuchte Buchen-Brettsperrholz an der Oberfläche und Holz-Ausgleichsfeuchte, Zimmer 3

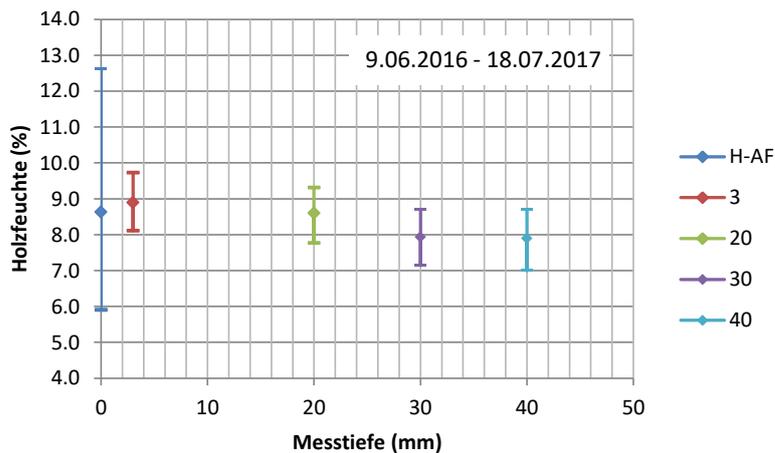


Abbildung 21: Holz-Ausgleichsfeuchte und Holzfeuchte Buchen-Brettsperrholz im Zimmer 1. Mittelwert und Spannweite.

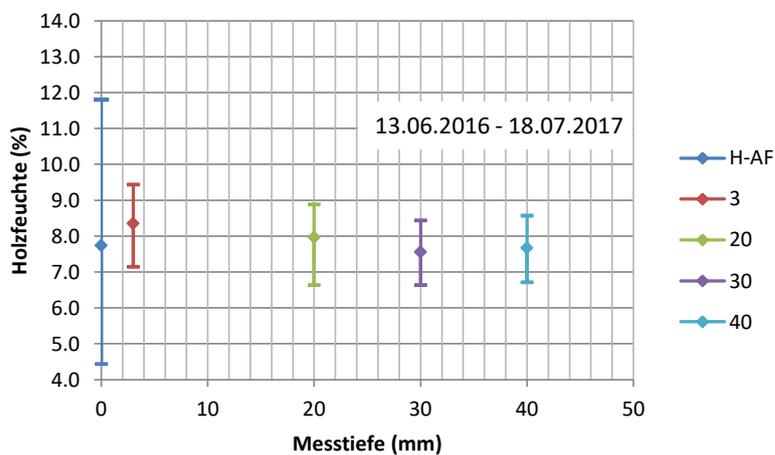


Abbildung 22: Holz-Ausgleichsfeuchte und Holzfeuchte Buchen-Brettsperrholz im Zimmer 3. Mittelwert und Spannweite

8.3.3 Verformungen

Schwind- und Quellbewegungen sind der Ausdruck von Schwankungen des Raumklimas. Insbesondere im nicht bewohnten Zimmer 3 sind die saisonalen Schwankungen gut erkennbar. Im Zimmer 1 sind diese Schwankungen aufgrund der Belegung der Wohnung ab zirka Dezember 2016 und eines anderen Belüftungssystems weniger ausgeprägt als in Zimmer 3.

Schwinden- und Quellen längs und quer zur Faser

In den Zimmern 1 und 3 wurden an zwei Stellen periodisch mit einem Deformeter die Distanzen zwischen den gesetzten Messmarken (Nenn-Messlänge= 500mm) gemessen und daraus das Schwind-/ Quellmass absolut und in Prozent berechnet (Abbildung 12).

Die Abbildung 23 - Abbildung 26 zeigen den Verformungsverlauf der Brettsperrholzplatten in Zimmer 1, die Abbildung 27 - Abbildung 30 den Verformungsverlauf der Platten in Zimmer 3, getrennt nach

Faserrichtung.

Ausserdem wurde von jeder Messstelle die Spannweite (maximaler Wert – minimaler Wert) berechnet und je Messgrösse statistisch ausgewertet.

In Abbildung 31 sind die prozentualen Verformungen in Plattenebene längs (l) und quer (q) zur Faserrichtung dargestellt.

Der ermittelte *Mittelwert der Spannweiten* des Schwind/Quellmasses beträgt (Abbildung 23)

- **in Plattenebene längs 0.024% (Zimmer 1) bzw. 0.025% (Zimmer 3)**
- **in Plattenebene quer 0.037% (Zimmer 1) bzw. 0.040% (Zimmer 3).**

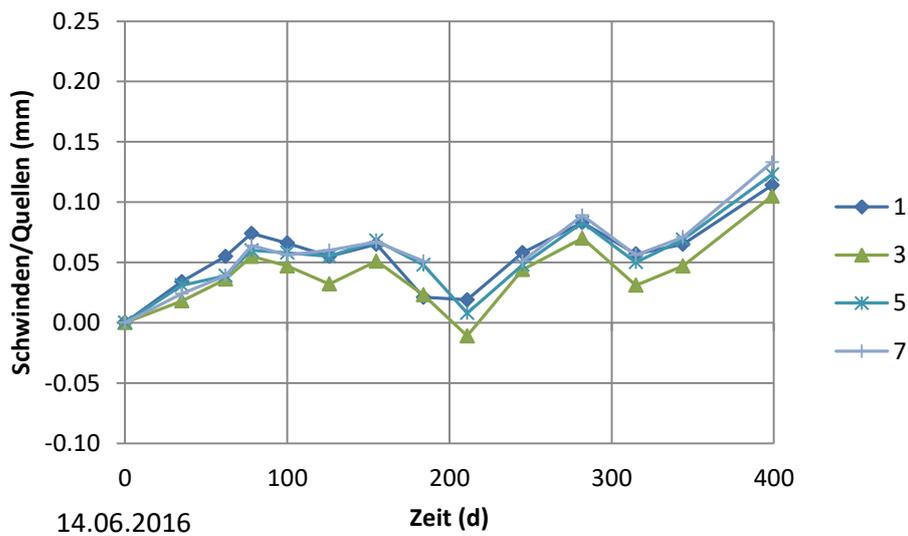


Abbildung 23: Schwinden/Quellen Buchen Brettsperrholzplatten in Plattenebene längs zur Faser Zimmer 1

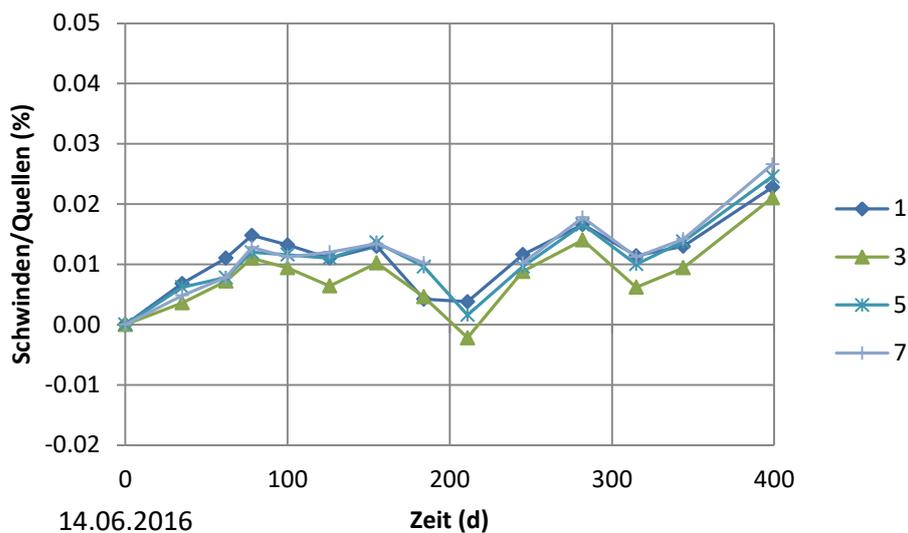


Abbildung 24: Schwinden/Quellen Buchen-Brettsperrholzplatten in Plattenebene längs zur Faser in Prozent, Zimmer 1

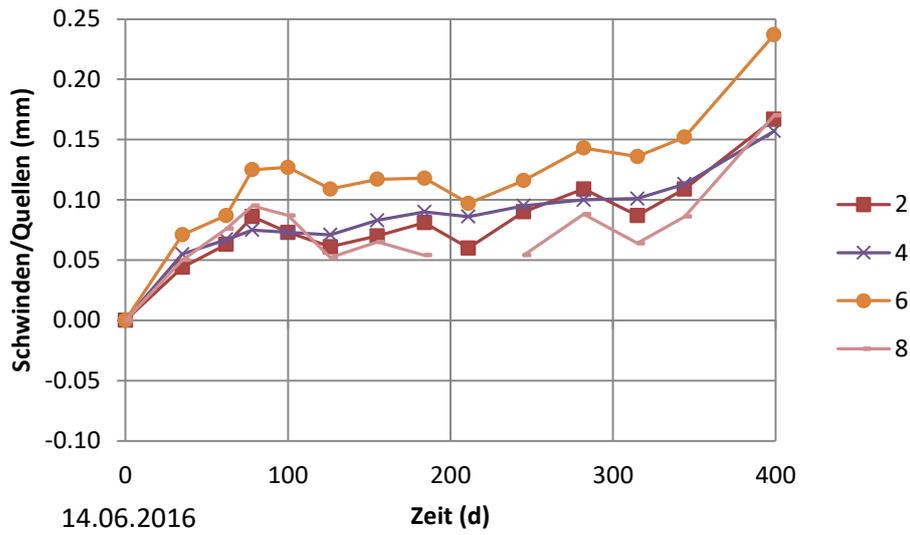


Abbildung 25: Schwinden/Quellen Buchen Brettsper Holzplatten in Plattenebene quer zur Faser Zimmer 1

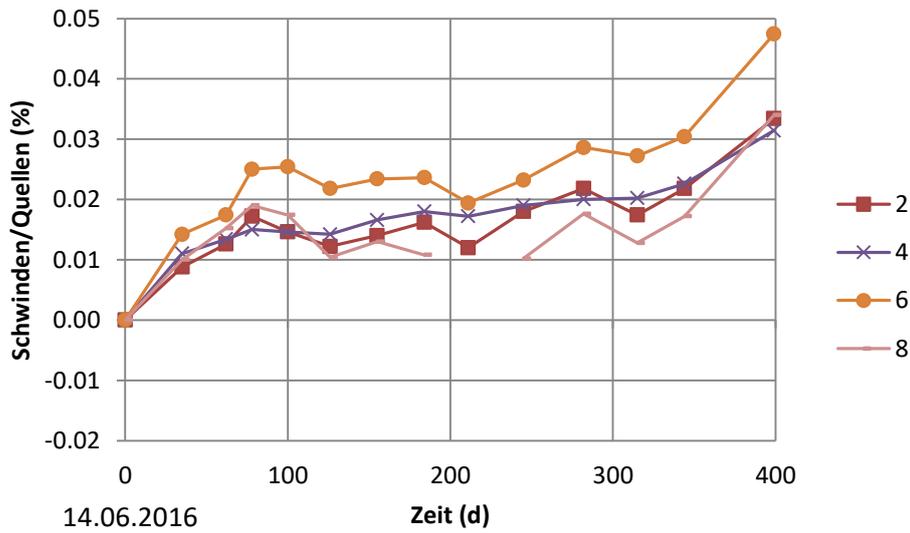


Abbildung 26: Schwinden/Quellen Buchen-Brettsper Holzplatten in Plattenebene quer zur Faser in Prozent, Zimmer 1

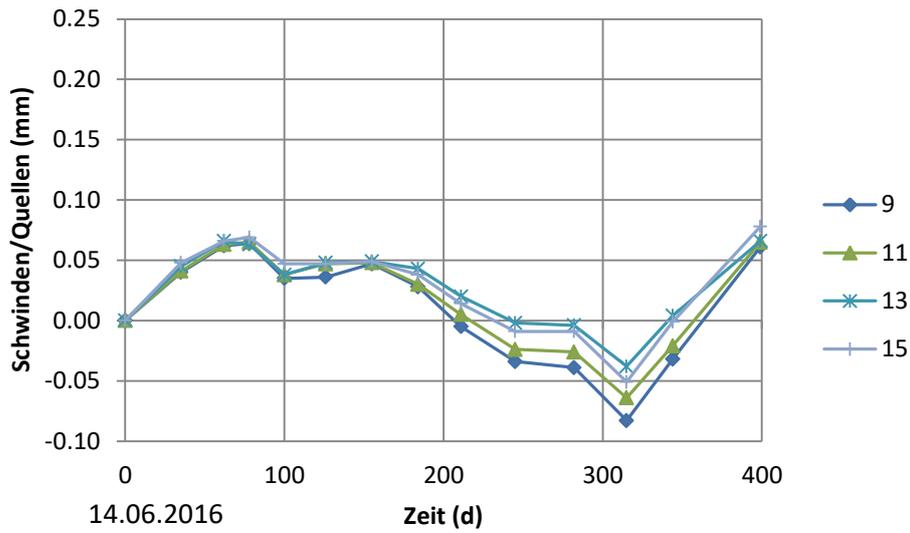


Abbildung 27: Schwinden/Quellen Buchen Brettsper Holzplatten in Plattenebene längs zur Faser Zimmer 3

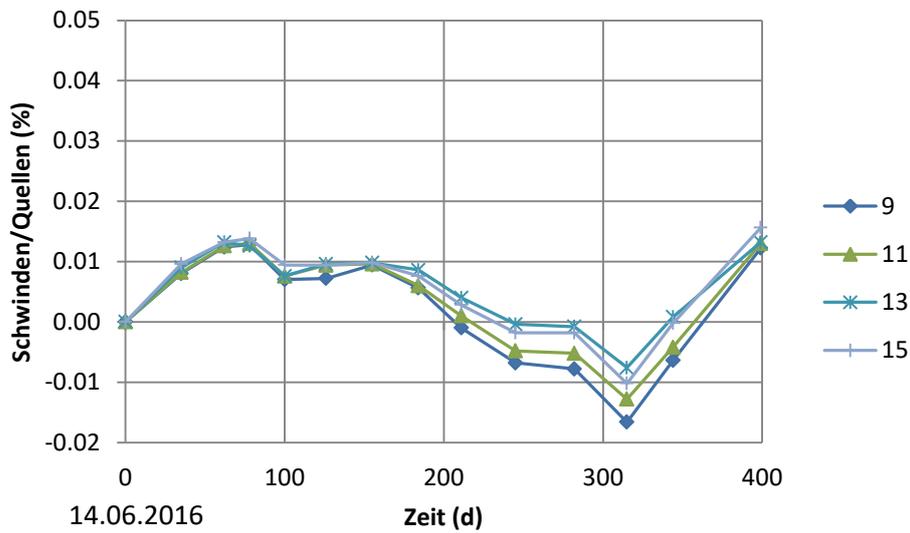


Abbildung 28: Schwinden/Quellen Buchen-Brettsper Holzplatten in Plattenebene längs zur Faser in Prozent, Zimmer 3

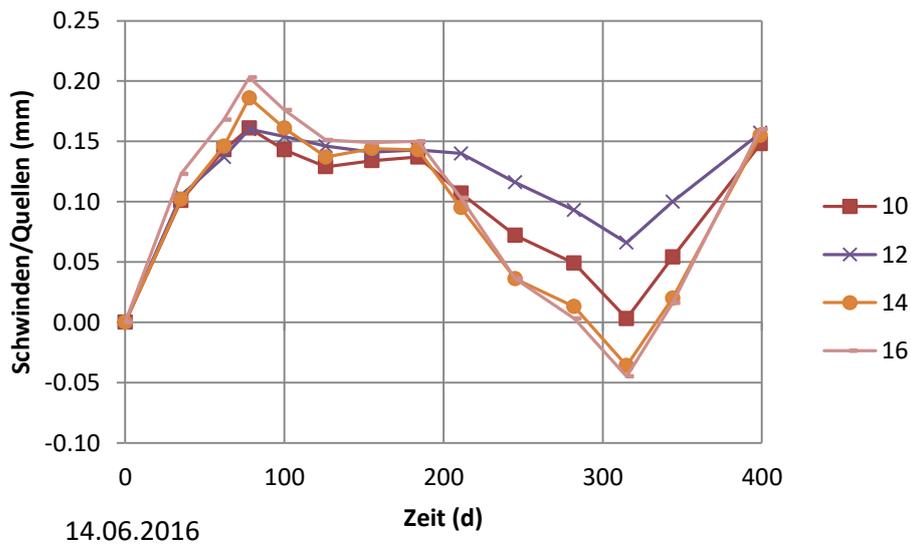


Abbildung 29: Schwinden/Quellen Buchen Brettsper Holzplatten in Plattenebene quer zur Faser Zimmer 3

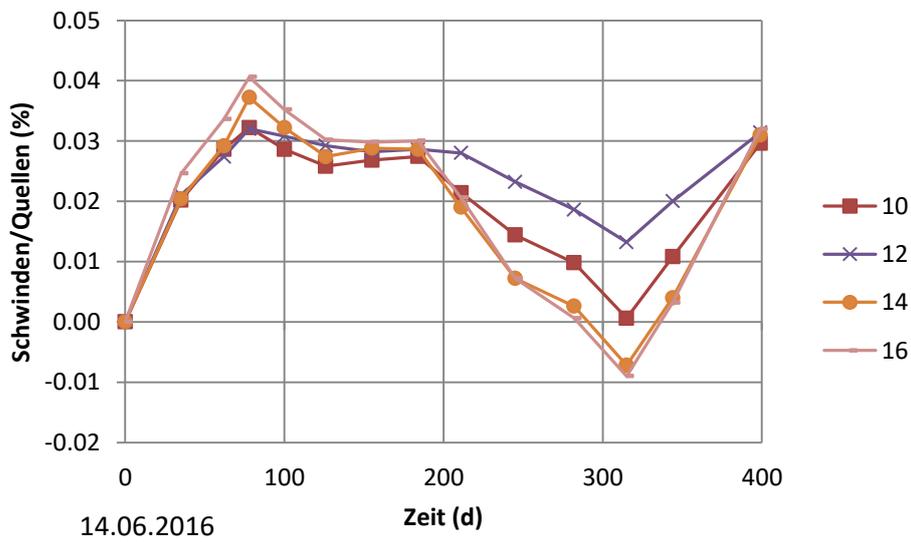


Abbildung 30: Schwinden/Quellen Buchen-Brettsper Holzplatten in Plattenebene quer zur Faser in Prozent, Zimmer 3

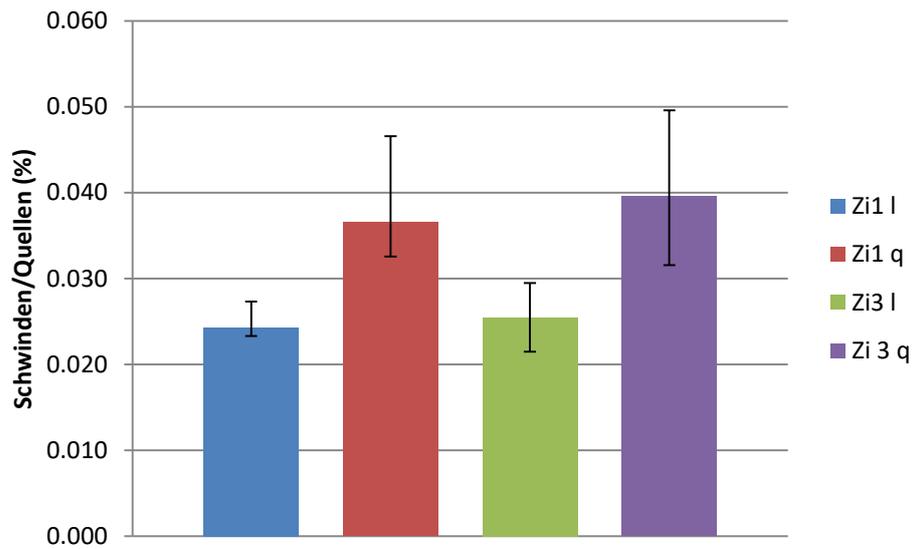


Abbildung 31: Schwinden/Quellen in Plattenebene. Mittelwerte der Spannweiten und minimaler und maximaler Wert

Schwinden und Quellen der Plattendicke

In den Zimmern 1 und 3 wurden an 2 Stellen unten (1, 2 / 5, 6) und 2 Stellen oben (3, 4 / 7, 8) periodisch die Dicke der Platten mit dem Tiefenmass eines Messschiebers via eines 45 bzw. 50. mm tiefen Bohrloches gemessen und daraus das Schwind- und Quellmass absolut und in Prozent berechnet. Der Verlauf der Schwind- und Quellbewegungen ist in Abbildung 32 - Abbildung 35 dargestellt. Abbildung 36 zeigt den Mittelwert und die Spannweite der Messstellen in Zimmer 1 und 3.

Der ermittelte Mittelwert der Spannweiten des Schwind/Quellmasses in Plattendicke beträgt 0.392% (Zimmer 1) bzw. 0.469% (Zimmer 3).

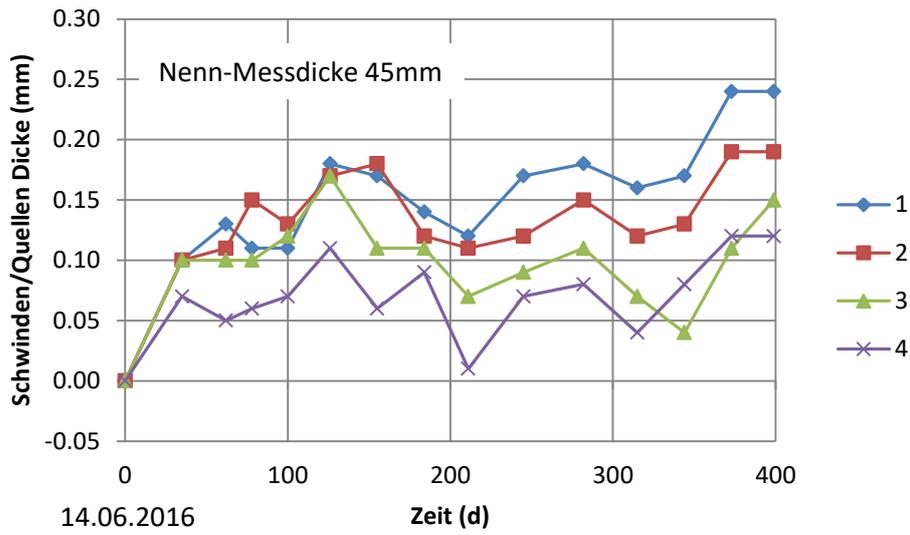


Abbildung 32: Schwinden/Quellen Buche-Brettsper Holzplatten in Plattendicke Zimmer 1

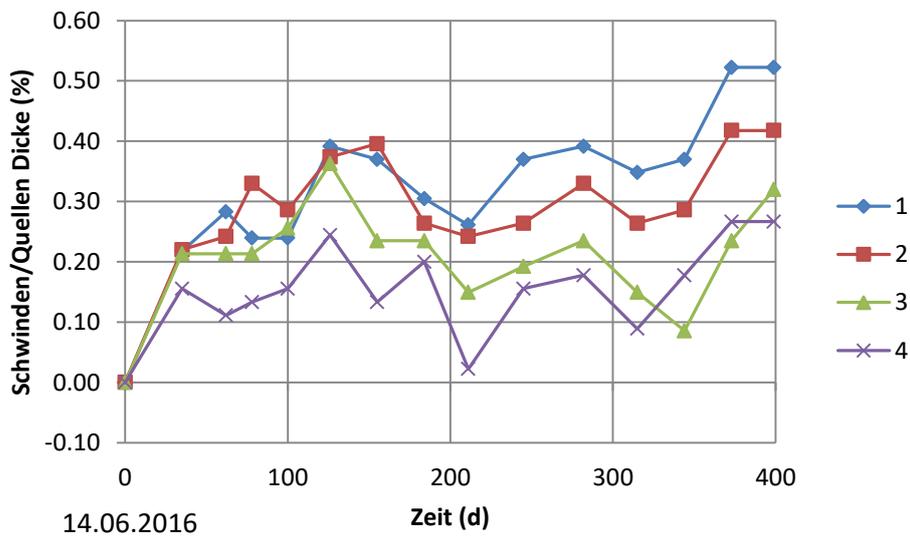


Abbildung 33: Schwinden/Quellen Buche-Brettsper Holzplatten in Plattendicke in Prozent, Zimmer 1

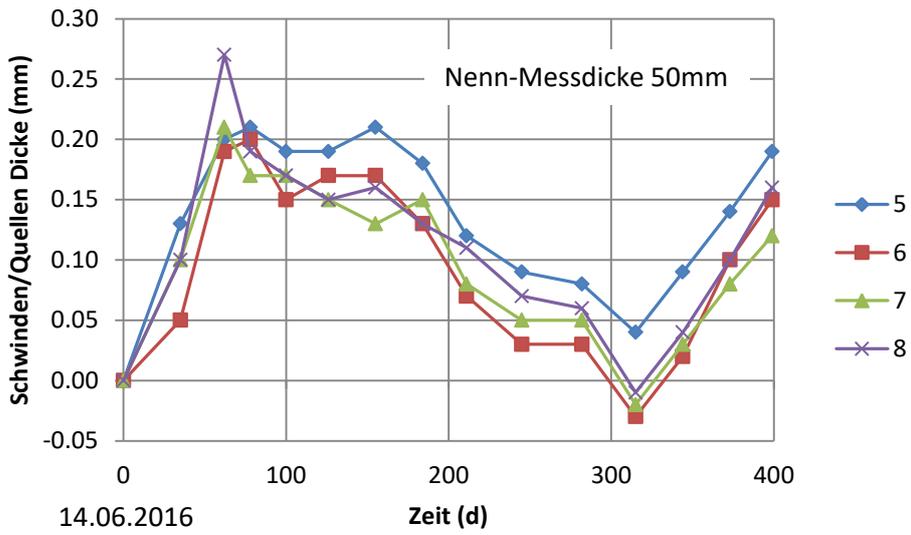


Abbildung 34: Schwinden/Quellen Buche-Brettsper Holzplatten in Plattendicke Zimmer 3

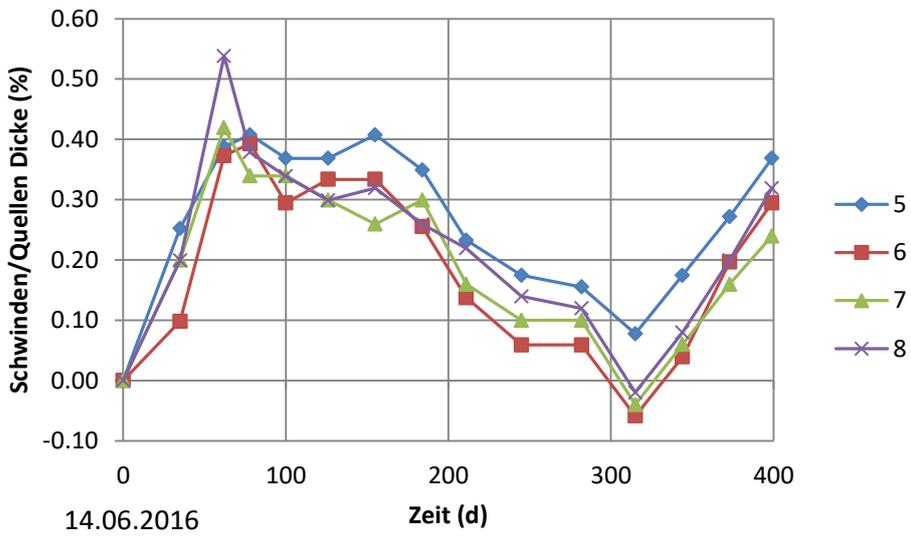


Abbildung 35: Schwinden/Quellen Buche-Brettsper Holzplatten in Plattendicke in Prozent, Zimmer 3

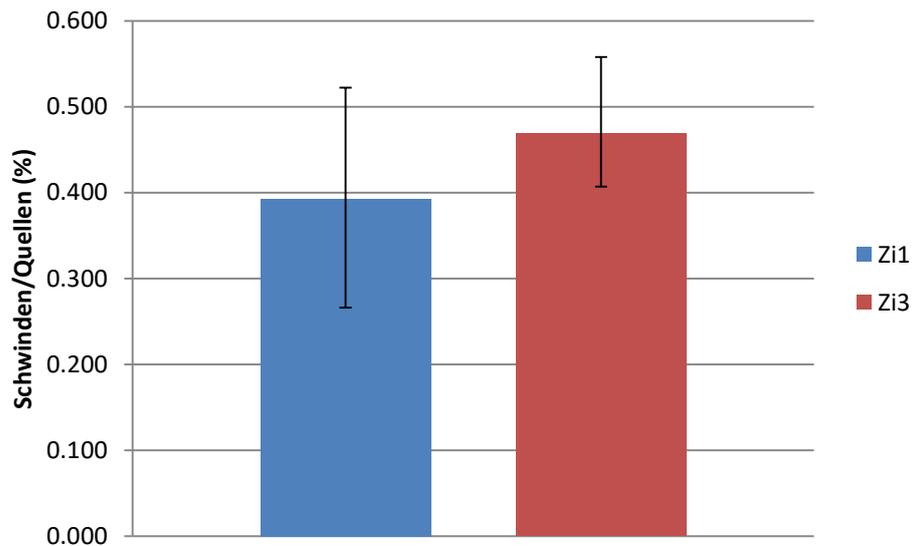


Abbildung 36: Schwinden/ Quellen in Plattendicke. Mittelwert und minimaler und maximaler Wert

Krümmung/Durchbiegung Wand und Decke

In den Zimmern 1 und 3 wurde mit einem Laser und einer Richtlatte an 8 definierten Stellen periodisch die Krümmung/Durchbiegung der Buchen-Brettsperrholzplatten gemessen. Die ermittelten Werte sind in den Abbildung 37 und Abbildung 38 (Zimmer 1) und Abbildung 39 und Abbildung 40 (Zimmer 3) dargestellt. In den Abbildungen wurden folgende Abkürzungen verwendet:

Abbildung 37

- V1 / V2 : Durchbiegung vertikal Messstelle 1 / 2
- H li / H re: Durchbiegung Wandelement horizontal (Wandelement gebaucht, daher Messung am Ende links und rechts der Messlatte)

Abbildung 38 und Abbildung 41

H1 / H2 / H3: Höhe Messstelle 1 / 2 / 3

Abbildung 39 und Abbildung 40

L1 / L2: Messstelle Länge 1 / 2

Abbildung 40

- V1: Durchbiegung vertikal Messstelle 1
- H1: Durchbiegung horizontal Messstelle 1

Wie die Abbildungen zeigen, wurden folgende maximalen Werte registriert:

- Veränderung Durchbiegung Wandelement: 1.7 mm= 0.07% (Abbildung 37)
- Veränderung Abstand Boden - Decke Zimmer: +1 bis -3 (Abbildung 41)
- Veränderung des Wandabstandes: 3 mm= 0.06% (Abbildung 39, Abbildung 42).

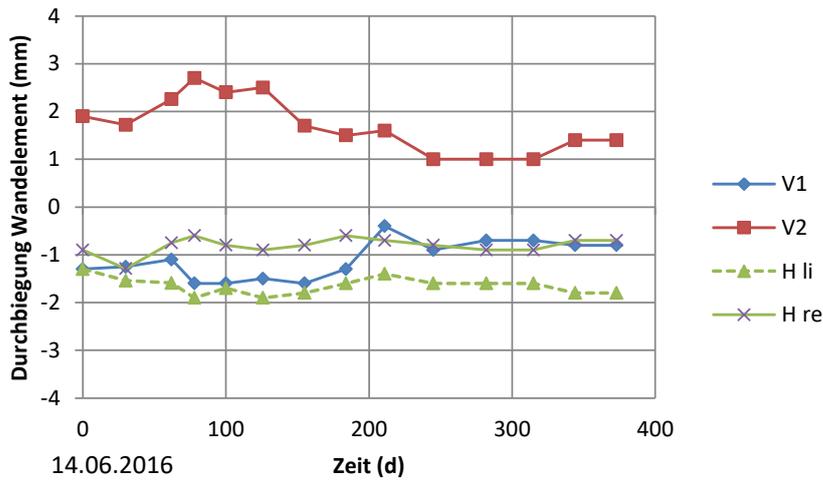


Abbildung 37: Durchbiegung der Buchen-Brettsper Holzplatten (Bezugslänge 2.50 m) Zimmer 1

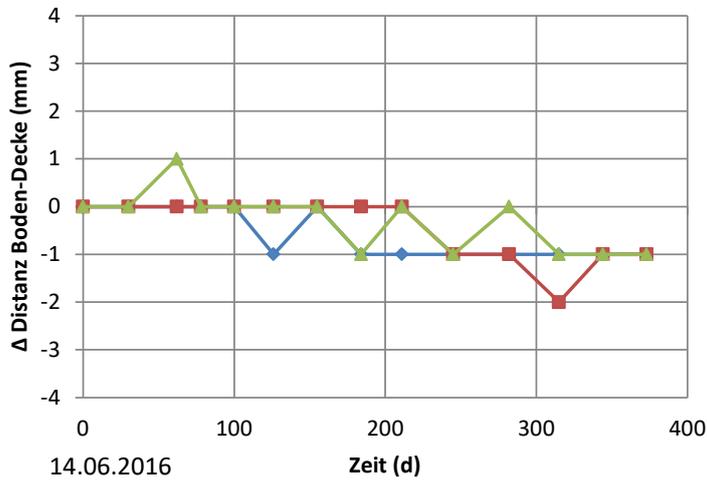


Abbildung 38: Veränderung des Abstandes Boden zur Decke (Nenn-Höhe 2.55m) im Zimmer 1

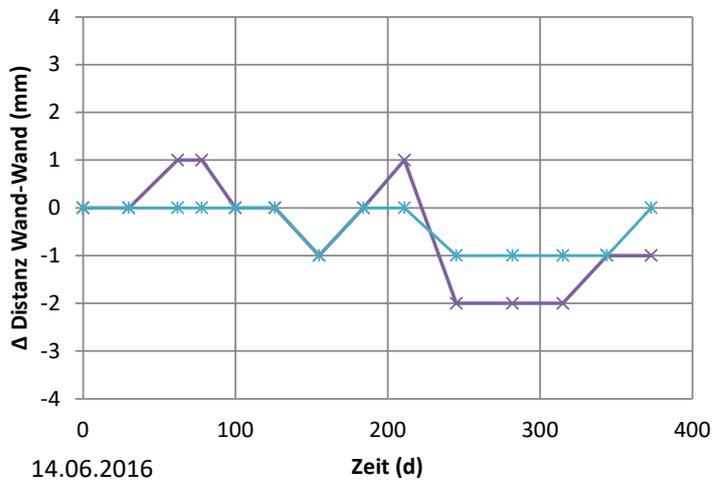


Abbildung 39: Veränderung des Wandabstandes (Nenn-Messlänge L1= 4.98m, L2= 2.39m) im Zimmer 1

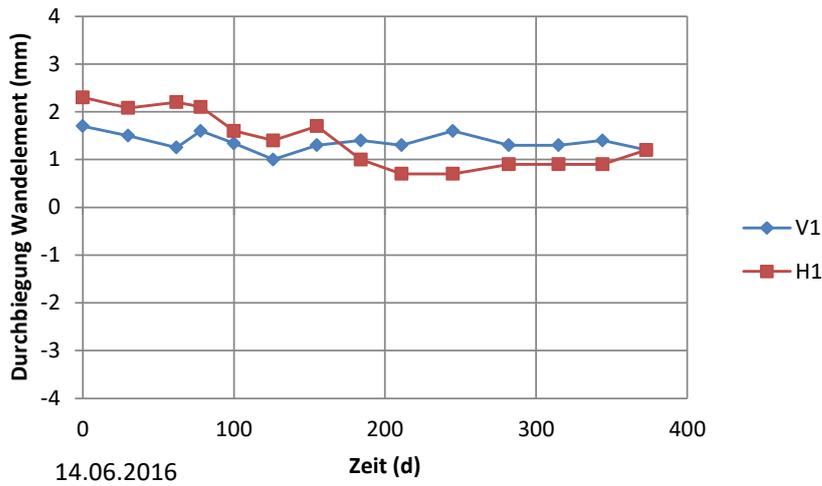


Abbildung 40: Durchbiegung der Buchen-Brettsper Holzplatten (Bezugslänge 2.50 m) Zimmer 3

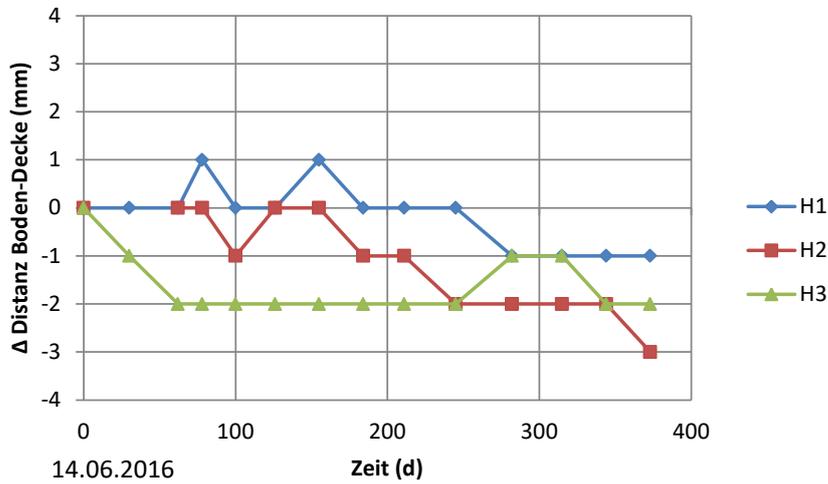


Abbildung 41: Veränderung des Abstandes Boden zur Decke (Nenn-Höhe 2.55m) im Zimmer 3

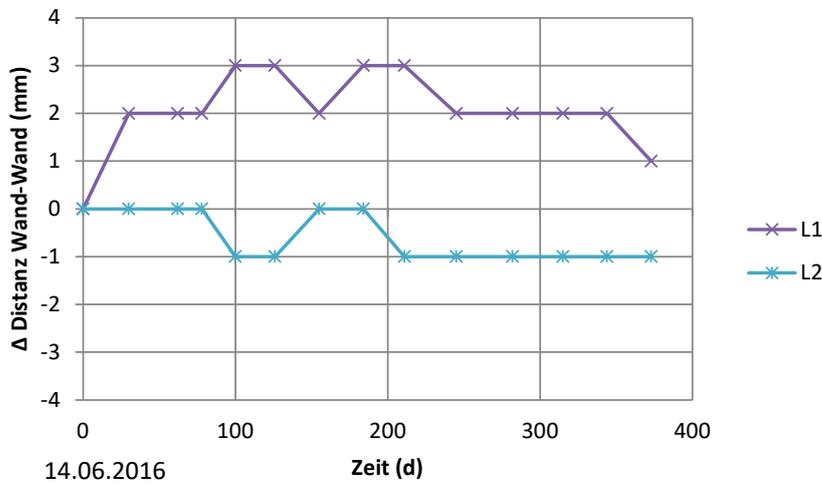


Abbildung 42: Veränderung des Wandabstandes (Nenn-Messlänge L1= 4.98m, L2= 2.39m) im Zimmer 3

Bewertung/Einordnung der Werte

Die relativ geringen Klimaveränderungen führten zu nur kleinen Verformungen in Plattenebene, der Plattendicke und Krümmungen/Durchbiegungen von Wand- und Deckenelementen.

Weil sich in einer Wohnung das Klima ständig ändert, weisen die eingebauten Platten in der Dicke immer Feuchtegradienten auf. Es ist deshalb leider nicht möglich, aus den Messwerten differentielle Schwind- und Quellmasse zu berechnen.

8.4 Farbe der Sichtfläche der Buchen-Brettsperrholzplatten

Im Aufenthaltsbereich der Zimmer 1 und 3 wurde periodisch (alle 2 Monate) mit einem mobilen Spektrophotometer (Minolta CM-2500d) die Farbe der Sichtflächen der Buchen-Brettsperrholzplatten gemessen (CIE Lab System, D65, d/8, 10° Beobachter, sci). Die Messungen erfolgten an je 27 aufeinanderfolgenden Brett lamellen auf 2 m Höhe (ausserhalb des normalen Abnutzungsbereiches), ausgehend von der schmalen Querwand beim Fenster entlang der Längswand bis zur hinteren Querwand (Abbildung 43).

Aus den 3 gemessenen Farbkoordinaten L^* (Helligkeit), a^* (grün-rot Achse) und b^* (blau-gelb Achse), wurden basierend auf ISO 11664-4 als weitere Kennwerte die Buntheit $C^*_{ab} = \sqrt{[a^*]^2 + [b^*]^2}$ sowie die Gesamt-Farbdifferenz $\Delta E^*_{ab} = \sqrt{[L^*]^2 + [a^*]^2 + [b^*]^2}$ berechnet.

Die Ergebnisse der Farbmessungen sind in den Abbildung 44- Abbildung 46 dargestellt.

Bei beiden Zimmern nahm zwischen der Ausgangsmessung und der Messung nach dem ersten Nutzungsjahr die Helligkeit L^* leicht ab, während die Buntheit leicht zu nahm (Abbildung 44 und Abbildung 45). Entlang der Wand ist kein Gradient der Farbänderung ersichtlich.

Die Gesamt-Farbdifferenz ΔE^*_{ab} (Abbildung 46) nahm im Verlauf des Beobachtungsjahres abflachend zu, liegt aber mit maximal 1.8 Einheiten auf einem sehr geringen Niveau.



Abbildung 43: Farbmessung auf der Sichtfläche der Buchen-Brettsper Holzplatten

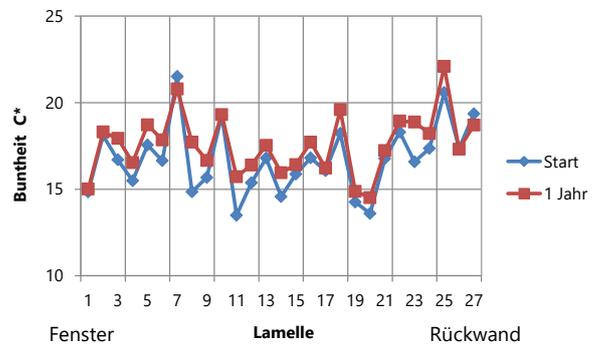
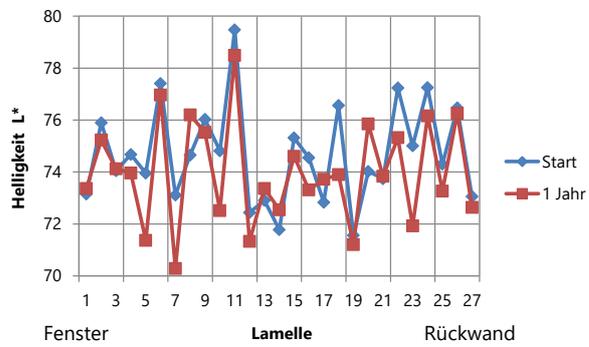


Abbildung 44: Helligkeit und Buntheit im Zimmer 1

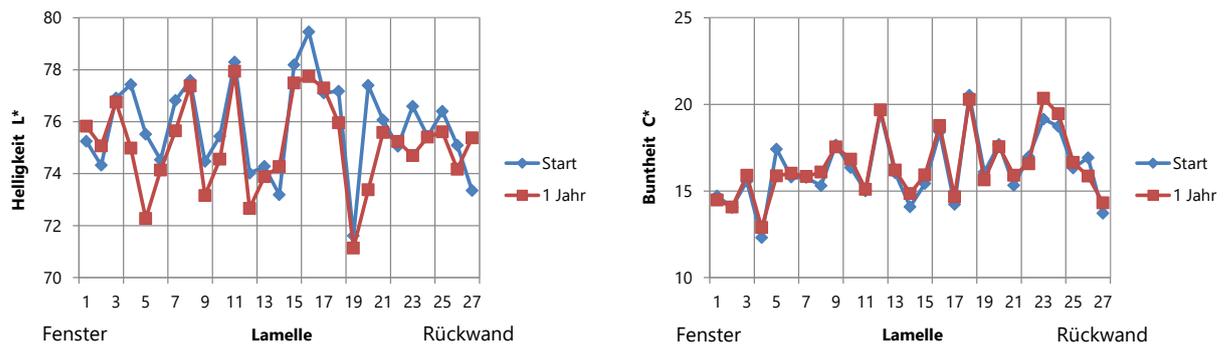
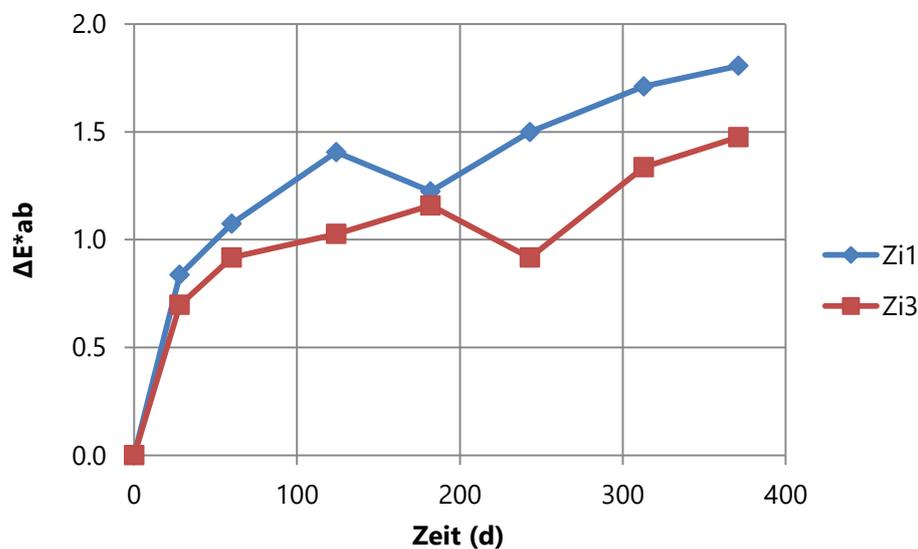


Abbildung 45: Helligkeit und Buntheit im Zimmer 3

Abbildung 46: Verlauf der Gesamtfarbänderung ΔE^*_{ab} in beiden Zimmern

Bewertung/Einordnung der Werte

Über die einjährige Beobachtungszeit zeigten die Plattensichtflächen nur eine sehr geringe Farbänderung. Es sind keine Referenzwerte aus vergleichbaren Objekten verfügbar.

8.5 Risse

Während auf den Oberflächen der Brettsper Holzplatten auch am Ende der Beobachtungszeit keine Risse sichtbar sind, bildeten sich auf der Querschnittsfläche der Platten direkt unter dem Fenster vereinzelte kleine Risse (Abbildung 47). Alle anderen, weniger exponierten Querschnittsflächen zeigen hingegen keine Risse.

Bewertung/Einordnung der Werte

Der Zustand der Oberflächen der Brettsper Holzplatten ist auch am Ende der Beobachtungszeit als sehr gut zu beurteilen und, mit einer Ausnahme, rissfrei.



Abbildung 47: Querschnittsfläche Brettsperrholz unter Fenster mit Riss

Mit Abschluss dieses Projektes wird das Monitoring abgeschlossen. Vision Wood kann weiterhin nach Absprache besichtigt werden und die Zimmer werden weiterhin teilweise bewohnt werden.

9 Ergebnis AP 4 (Teil 2) - Kommunikation der Ergebnisse (Fachtagung)

Deliverable 4 (Teil 2):

Fachtagung wurde durchgeführt.

-> **Status:** abgeschlossen

9.1 S-win Statusseminar: Neue Anwendungen für Holz, 10. April 2017, Akademie Empa Dübendorf

Am 10. April 2017 wurde an der Empa unter der Leitung von Frau Dr. Tanja Zimmermann (Angewandte Holzforschung, Empa Dübendorf) und Herr Prof. Dr. Ingo Burgert (Institut für Baustoffe, ETH Zürich) eine Fachtagung zum Thema Neue Anwendungen für Holz durchgeführt. In diesem Rahmen wurde auch die Anwendung des Buchenbrettsperrholzes in NEST vorgestellt.

Auszug aus dem Fachtagungs-Programm :

Das S-WIN Statusseminar 2017 widmet sich dem Thema «Neue Anwendungen für Holz», angeregt durch die komplett in modularer Holzbauweise mit Buchenbrettsperrholz erstellte und im Mai 2016 eröffnete Wohnung «Vision Wood» im NEST-Gebäude (Next Evolution in Sustainable Building Technology) der Empa. Hier werden funktionale holz- und zellulosebasierte Materialien unter realen Bedingungen getestet und weiter entwickelt. Das Seminar richtet sich sowohl an Forschende

als auch an Unternehmen, die sich mit holzbasierten Material- und Verfahrensentwicklungen im Möbel- oder Baubereich befassen. Es erwartet Sie ein spannendes Vortragsangebot mit Fokus auf der Verwendung von Buchenholz im Bauwesen und wir freuen uns, Sie in Dübendorf begrüßen zu dürfen. Im Anschluss an die Veranstaltung besteht die Möglichkeit, «Vision Wood» zu besichtigen.

08.30 **Registrierung, Begrüßungskaffee**

09.00 **Begrüßung: Aktivitäten Empa/ETH Neue Materialien
in Zusammenhang mit NEST**

Ingo Burgert, Institut für Baustoffe, ETH Zürich

Tanja Zimmermann, Angewandte Holzforschung, Empa Dübendorf

Biomimetik und Charakterisierungsmethoden

09.30 **Learning from Nature for Future Buildings – Biomimetic
Solutions for Building Construction and Architecture**
Thomas Speck, Leiter der Plant Biomechanics Group und Direktor
des Botanischen Gartens, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

10.00 **Neue Analysemethoden zur Charakterisierung der chemisch/
physikalischen Oberflächeneigenschaften auf Mikroebene**
Johannes Konnerth, Institut für Holztechnologie und nachwachsende
Rohstoffe, Universität für Bodenkultur Tulln

10.30 **Kaffeepause**

Neue Materialien für den Bau- und Möbelbereich

11.00 **Brettschichtholz aus Buche: Festigkeitspotential des
Rohmaterials, Keilzinkung und Flächenverklebung**
Thomas Ehrhart, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich

11.30 **Holz-Beton-Verbunddecke aus Buchenfurnierschichtholz**
Andrea Frangi, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich

- 12.00 Fagus-Stabschichtholz – Schweizer Leistungsträger für den Hochleistungs-Holzbau
Stefan Vögli, Projektleiter Fagus Jura SA, Vendlincourt
- 12.30 Mittagessen
- 14.00 Laubhölzer im modernen Ingenieur-Holzbau
Bruno Abplanalp, Neue Holzbau, Lungern
- 14.30 Entwicklung einer bio-basierten ultra-leichten Holzwerkstoffplatte
Heiko Thömen, Leiter Kompetenzbereich Werkstoffe, Möbel und Design, Berner Fachhochschule
- 15.00 Schlusswort, Diskussion
Tanja Zimmermann, Ingo Burgert
- 15.30 Kaffeepause
- 16.00 Besichtigung NEST und Vision Holz
Tanja Zimmermann, Ingo Burgert
- 17.00 Schluss der Veranstaltung

Über die Fachtagung hinaus wird das Projektthema der Verwendung von Buchenholz im modularen Holzbau in einer Vielzahl von Publikationen (print/online) aufgenommen und verbreitet. Auf diese Weise wird nebst dem Fachpublikum eine grosse Zahl von Fach- und Nichtfachleuten erreicht und für dieses Thema sensibilisiert.

Bemerkungen zur Fachtagung:

Neben anderen Themen zeigte die Tagung das grosse Potenzial von neuen Materialien aus Laubholz (v.a. Buche) für das Bauwesen auf. So gab es verschiedene Vorträge von ausgewiesenen Fachpersonen aus dem Forschungs- und Industrieumfeld. Buchenholz weist ausgezeichnete Festigkeitswerte auf und wird als Brettschichtholz, Buchenfurnierschichtholz (auch im Verbund mit Beton) oder Buchenbrettsperrholz eingehend erforscht und in Ingenieur Anwendungen heute schon eingesetzt (*siehe auch korrigierte und ergänzte Pressemitteilung von Swiss Wood Innovation Network am Ende dieses Kapitels*).

Als separates Dokument wird diesem Schlussbericht der Pressespiegel der NEST-Unit Vision Wood, welche Heimat für div. Holzinnovationen inkl. Buchenholz ist, beigelegt. Bilder des Einbaus der Holzmodule in den NEST-Backbone auf dem Empa Campus in Dübendorf sind online unter folgendem Link verfügbar:

<https://www.empa.ch/web/nest/downloads>

Für die Fachtagung wurde kein Tagungsband herausgegeben. Es wurden jedoch die Adressen der Referenten an die Teilnehmer mitgeteilt, so dass bei Interesse die Referate von den Referenten direkt angefordert werden können.



Swiss • Wood • Innovation • Network

Pressemitteilung

11.04.2017

Nachträglich überarbeitet

08.11.2017, Tanja Zimmermann Empa

Swiss Wood Innovation Network S-WIN

Statusseminar 2017 an der Empa, Dübendorf

Neue Anwendungen und neue Wege für Holz

Im NEST-Gebäude der Empa (Next Evolution in Sustainable Building Technology) wurde eine Wohnung für bis zu drei Personen komplett aus Buchenbrettsperrholz in modularer Bauweise eingebaut. Sie dient dazu, funktionale holz- und zellulosebasierte Materialien unter realen Bedingungen zu testen und weiter zu entwickeln. S-WIN hat angeregt durch dieses Grosseperiment das Statusseminar im April 2017 dem Thema «Neue Anwendungen für Holz» gewidmet. Durch die Tagung führten Tanja Zimmermann, Leiterin der Abteilung Angewandte Holzforschung an der Empa Dübendorf, und Ingo Burgert, Professor am Institut für Baustoffe an der ETH Zürich.

Die Funktionalisierung von Holz für ein erweitertes Anwendungsspektrum, die statischen Eigenschaften und die Eigenheiten von Buchenholz für bauliche Zwecke, Möglichkeiten für Verbundbaustoffe, Eigenschaften der Oberflächen auf Mikroebene und die Entwicklung einer biobasierten, ultraleichten Holzwerkstoffplatte standen in Mittelpunkt der Präsentationen in der Empa-Akademie. Fachleute aus dem In- und Ausland stellten ihre Projekte und Forschungsvorhaben vor. Den Beginn machten zwei Referenten aus ausländischen Instituten, und zwar mit Aussagen zu Untersuchungen an Holzstrukturen und auf Mikroebene.

Biomimetik und Charakterisierungsmethoden

Wie eine Ast-Stamm-Anbindung als Vorbild für technische Faserverbundverzweigungen dienen könnte, das skizzierte *Thomas Speck*, Leiter der Plant Bomechanics Group und Direktor des Botanischen Gartens an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg in Breisgau (Deutschland). Dabei dienen Drachenbäume (*Dracaena*) als Ideengeber für den Leichtbau. In Zusammenarbeit mit dem Karlsruher Institut für Technologie KIT (Institut für Mikrostrukturtechnik) wurden Grundlagen erarbeitet, technische Faserverbundverzweigungen nach dem Vorbild der Ast-Stamm-Anbindungen dieser Pflanzen zu entwerfen. Hochauflösende Magnetresonanz-Bildgebungsverfahren machten es möglich an lebenden Drachenbäumen zu beobachten, wie sich das pflanzliche Gewebe bei Belastung verhält. Technische Faserverbundverzweigungen, die sich ähnlich verhalten wie die natürlichen Vorbilder, könnten künftig in architektonischen Tragwerken, Fahrradrahmen oder Fahrzeugkarosserien eingesetzt werden.

Die Wissenschaftler betrachteten sowohl die gesamte Ast-Stamm-Anbindung, aber auch einzelne Leitbündel. Damit werden Veränderungen vom unbelasteten zum belasteten Zustand möglichst genau ergründet. Je nach ihrer Lage in der Verzweigung werden Bündel und Kappen teilweise längsgedreht und nehmen so Zuglasten auf, oder sie werden quer gegen das umliegende Gewebe gedrückt um Druckkräfte abzdämpfen. Diese Erkenntnisse lassen sich in technische Faserverbundverzweigungen übertragen, um sowohl leichte als auch stabile Werkstoffe aufgrund des natürlichen Vorbilds weiter zu entwickeln.

«Neue Analysemethoden zur Charakterisierung der chemisch-physikalischen Oberflächeneigenschaften auf Mikroebene» war das Thema von *Johannes Konnerth* vom Institut für Holztechnologie und nachwachsende Rohstoffe an der Universität für Bodenkultur Tulln (Österreich). Er untersucht mechanische Eigenschaften von Klebstoffen, u.a. deren Kriechverhalten. Die Adhäsion von Klebstoffen an unterschiedlichen Holzoberflächen – z.B. gehobelt oder rau – führt zu unterschiedlichen Hafteigenschaften der Klebstoffe. Grundlage sind neuartige Messmethoden für Oberflächeneigenschaften im Blick auf die Adhäsion. Dabei wurde deutlich, dass auch die Alterung einer gehobelten Oberfläche die Haftfähigkeit von Klebstoffen beeinflusst.

Mit chemisch funktionalisierten Spitzen kann ein Rasterkraftmikroskop (AFM) zu einem Messwerkzeug werden, das Kräfte zwischen Molekülen messen, Oberflächenenergie auf Nanometer Ebene und den pKa (pH) Wert einer Oberfläche (Säure/Basengruppen) bestimmen sowie die Verteilung funktioneller Gruppen und ihren Ionisierungszustand messen/abbilden kann. Dies ist eine der wichtigen Grundlagen für die dargelegten neuen Analysemethoden und erlaubt präzisere Aussagen z.B. über die Eigenschaften von Holzverklebungen.

Neue Materialien für die Bereiche Bau und Möbel

Vor dem Hintergrund der zunehmenden Anteile an Buche in unseren Wäldern - vor allem im östlichen Jura und auch im Tessin - kommt der Forschung bezüglich der Verwendung von Laubholz im Bauwesen grosse Bedeutung zu. Buchenholz weist ausgezeichnete Festigkeitswerte auf, nämlich eine hohe Biege-, Zug- und Druckfestigkeit. Buche kann unter Umständen Stahl und Beton in einigen Anwendungen als Baustoff ersetzen.

Projekte aus der Forschung

Zum Thema «Brettschichtholz aus Buche - das Festigkeitspotenzial des Rohmaterials, Keilzinkung und Flächenverklebung» informierte *Thomas Erhart* vom Institut für Baustatik und Konstruktion IBK der ETH Zürich. Untersucht wurde an rund 300 Proben die Zugfestigkeit von Brettern mit oder ohne Äste. Dasselbe geschah im Hinblick auf das Verhalten von Keilzinkungen in Bezug auf die Zugfestigkeit. Zentral für die entsprechenden Festigkeitswerte erwiesen sich noch vor den Kriterien Sortierklasse, E-Modul und Dichte insbesondere der Faserverlauf und die Jahrringlage. Für eine Bewertung von Keilzinkungen eignen sich vorab Untersuchungen zur Zugfestigkeit. Zum weiteren Vorgehen nannte Erhart Untersuchungen zur Biegefestigkeit, zu homogenisierter Zugfestigkeit sowie zu Schub- und Druckfestigkeit.

Am Beispiel von Untersuchungen am IBK zeigte *Andrea Frangi*, was eine «Holz-Beton-Verbunddecke aus Buchenfurnierschichtholz» zu leisten vermag. Ein Paradox: Holzbetonverbund ist gemäss Frangi deshalb wirtschaftlich, weil dabei Holz durch Beton ersetzt wird. Die Buchenplatten, eingesetzt als Bewehrung der Betonkonstruktion, dienen aber gleichzeitig als Schalung und bilden im Idealfall die fertige Deckenuntersicht im Gebäude. Die kraftschlüssige Verbindung von Holz und Beton geschieht dabei über Kerben in der Platte aus Buchenfurnierschichtholz. Vorausgehende Versuche haben gezeigt, dass diese Art und Weise der Verbindung im Bau praktikabel ist und sie sich mittels punktuell eingesetzter Stahlzugteile (Schrauben) zusätzlich stabilisieren lässt.

Am Neubau für das «House of Natural Resources» der ETH im Campus Höggerberg wurden diese Erkenntnisse erfolgreich baulich umgesetzt. Die je 400 m² messenden Geschosse sind allein über mit Stahl vorgespannte Träger und Stützen stabilisiert, kommen also statisch ohne stabilisierende Wände aus. Es besteht Aussicht darauf, diese technische Entwicklung in nächster Zeit für Wohngebäude in Berlin einzusetzen.

Bautechnische Projekte

Die 2014 gegründete Firma Fagus Jura AG (Vendlincourt, Kanton Jura) plant in einem Produktionscenter die Herstellung von Buchenleimholz. Auf den gemeinsam mit Maschinenbauspezialisten entwickelten Anlagen sollen künftig jährlich bis zu 20'000 m³ hochwertiges Buchenkonstruktionsholz produziert werden. Die Firma engagiert sich für technisch hochstehende Anwendungen von Buchenholz in Bau und Ausbau. Stefan Vöggtli informierte als Projektleiter über die derzeit im Gang befindliche Entwicklung zu «Stabschichtholz als Leistungsträger für den Hochleistungs-Holzbau». Seine Überzeugung: der Markt verlangt statisch leistungsfähige Holzbauprodukte, erweiterte architektonische Möglichkeiten für den Einsatz von Holz sowie standardisierte Halbfabrikate.

Eine dieser Entwicklungen ist eine stabverleimte Konstruktionsplatte, d.h. eine aus gesägten Stäben verleimte Platte aus Buchenholz, welche homogenisierte technische Werte aufweist und somit als hochwertiges Produkt im Bauwesen zu sehen ist. Die Vorarbeiten (Forschung und Entwicklung, Finanzierung und Markteinführung) sind im Gange und im Herbst 2018 soll diese Stabschichtholzplatte aus Buche lieferbar sein. Sie wird Stärken von 30 bis 100 mm, Breiten von 60 bis 1250 mm und Längen von maximal 15 Metern aufweisen. Als weiteres Produkt von Fagus Jura ist das Buchenbrettsperrholz zu nennen, welches in der NEST Unit Vision Wood der Empa in der modularen Holzkonstruktion erfolgreich eingesetzt und in einem durch den Aktionsplan Holz vom Bafu finanziertem Projekt über ein Jahr in Hinblick auf Holzfeuchte, Schwind- und Quellungsbewegungen sowie mögliche Risse überwacht wurde.

«Laubhölzer im modernen Ingenieur-Holzbau» war Thema von *Bruno Abplanalp* von der Firma Neue Holzbau, Lungern. Die Firma produziert bereits seit längerer Zeit Brettschichtholz aus Buche, arbeitet aber auch mit anderen Laubholzarten wie z.B. Esche. Er betonte, dass bei Tragwerken aus Laubholz nicht allein der Vergleich mit herkömmlichen Nadelholzträgern zählt, sondern auch die Verbindungsmittel, die Leistung im Verhältnis zur Bauhöhe der Träger usw. Erst dann erweisen sich die technisch-

wirtschaftlichen Vorteile von Laubholz augenscheinlich, ganz abgesehen vom überzeugenden Erscheinungsbild.

Die Firma Neue Holzbau Lungern sieht sich als reiner Zulieferbetrieb und führt keine Montagearbeiten am Bau aus. Aber der Betrieb weiss genau, was die Bauunternehmen benötigen und es wird auch intensiv in Forschung investiert. Das schlägt sich in grösseren und auch kleineren Bauprojekten nieder, bei denen die schlanken Holzprofile in Laubholz mit ihren nicht mehr sichtbaren Stahlverbindern insbesondere auch den architektonischen Intentionen von Investoren und Gestaltern entgegenkommen.

Neue Perspektiven für die Möbelproduktion

Was die «Entwicklung einer bio-basierten ultra-leichten Holzwerkstoffplatte» bedeutet, erläuterte *Heiko Thömen*, Leiter des Kompetenzbereichs Werkstoffe, Möbel und Design der Berner Fachhochschule. Leichte und stabile Platten mit Holz sind vor allem für die industrielle Möbelproduktion und insbesondere für Mitnahmemöbel von Interesse.

Die Entwicklung basiert auf der Idee, eine Dreischichtplatte zu entwickeln, deren Mittelschicht ein Granulat ist, welches aufgeschäumt werden kann. Ein NFP 66-Projekt (Nationales Forschungsprogramm Ressource Holz) arbeitete mit einem bio-basierten Polymer (Polymilchsäure, PLA) für die Mittelschicht, das nicht brennbar sein darf, beim Aufschäumen eine Temperatur von maximal 100 Grad Celsius benötigt und sich gut mit den Deckschichten verbindet. Der Pressdruck bei der Produktion ist so zu bemessen, dass der Druck im Innern der Platte durch das Aufschäumen des Materials bei der Produktion kontrolliert zu managen ist. Die ersten Versuche sind vielversprechend angelaufen, weitere Versuche sind notwendig, um das Produkt zur Serienreife zu bringen.

Schrittweise Entwicklung

Die Entwicklungen für neue Holzanwendungen bewegen sich schrittweise und vergleichsweise unspektakulär. Das entspricht sinngemäss der Charakteristik von Holz. Wir können das Holz nicht einfach neu erfinden, aber wir können neue Wege und Anwendungen erkunden, die langfristig in Bau und Ausbau, bei Holzchemieprodukten und auch in heute noch gar nicht bekannten Aufgaben zu Lösungen führen, die wirtschaftlich tragfähig und gleichzeitig technisch fortschrittlich, allenfalls bahnbrechend sind. Der Besuch des Moduls Holz im Experimentierbau Nest der Empa führte eindrücklich vor Augen, wie solche praxisbezogene Forschung in Realität aussieht.

Die Holzforschung in der Schweiz und in ganz Europa ist heute gut vernetzt, die Industrie und auch die Gestalter (Architekten, Ingenieure und Designer) sind als interessierte Partner eingebunden. Mehr und mehr erweist sich das Holz als zukunftssträchtiges Material mit ausserordentlichem Potenzial in technischer, gestalterischer, ökonomischer und auch ökologischer Hinsicht.

Charles von Büren, Fachjournalist, Bern

Bildegenden



Bild1

Weil Drachenbäume ein atypisches Dickenwachstum aufweisen, gelten sie nicht als echte Bäume. Aber ihre dabei entwickelte besondere Faseranbindung macht sie zum interessanten Forschungsobjekt. Im Bild ein Drachenbaum (*Dracaena draco*) bei Las Tricias, Garafía, La Palma

Bild: Wiki Commons, Hans-Peter Balfanz (2010)



Bild2

Die Geschosdecke des «House of Natural Ressources» der ETH Zürich im Bau. Die in die Holzfläche taschenförmigen maschinell eingeschnittenen Vertiefungen gewährleisten den Verbund mit der darauf aufgetragenen dicken Betonschicht (16 cm).

Bild: IBK, ETH Zürich



Bild3

Beispiel einer prototypischen Materialkombination am Bau. Die Produktions- und Lagerhallen der Firma RauricaWald in Muttenz sind als nutzorientierte Mischkonstruktion aus Beton und Holz erstellt. Das Dach besteht aus Buchenbrettschichtholz.

Bild: Raurica Wald AG / Felix Jehle

Bild4



Nest Empa, Holzmodul, Einblick in eine Wohneinheit von Vision Wood

Bild: Roman Keller



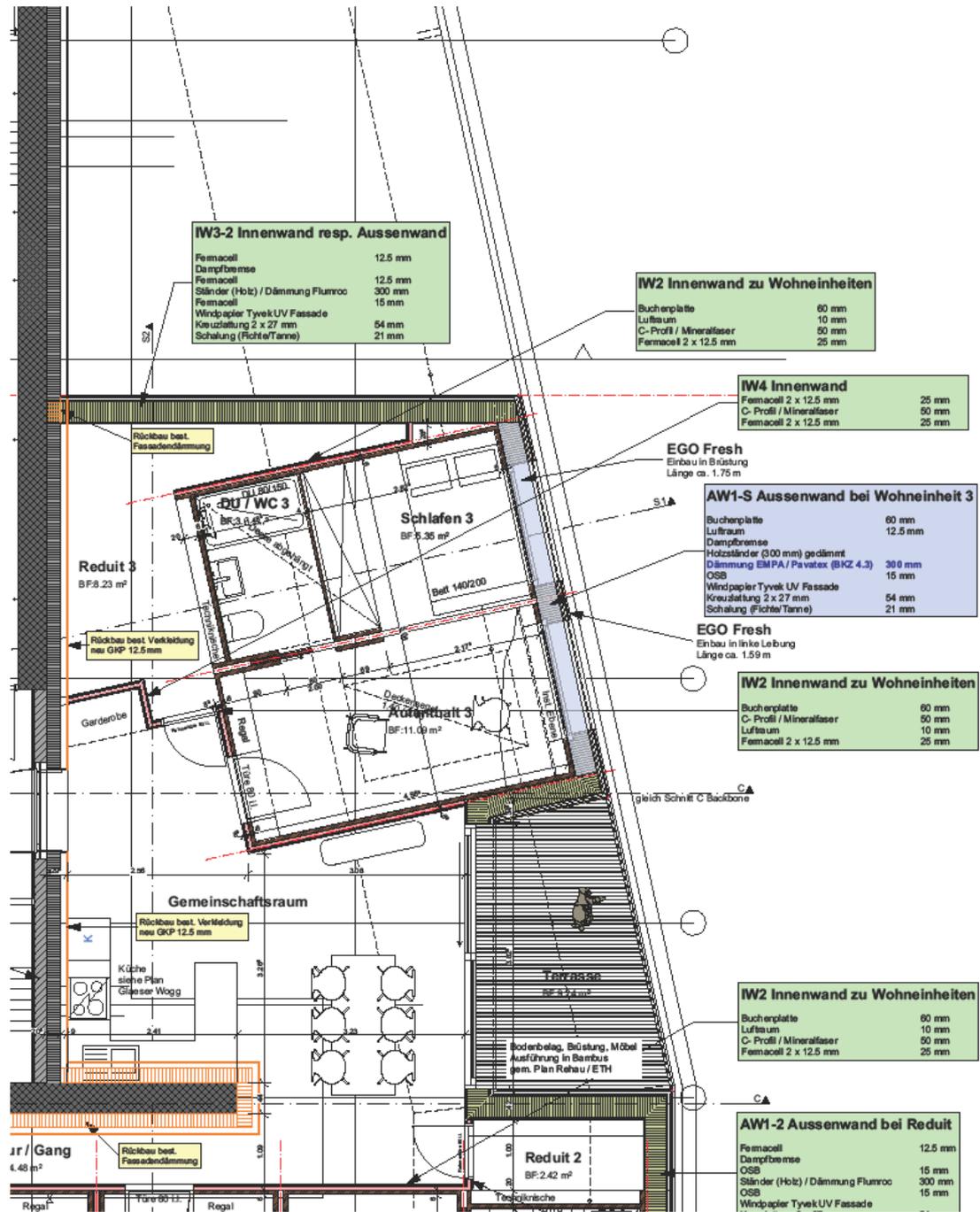
Bild5

In der neuen Halle der Pilatus Flugzeugwerke AG in Stans werden Fachwerkträger aus BauBuche und GSA – Technologie eingesetzt.

Bild: Strüby Konzept AG

Beilage 1: Grundriss Zimmer 1

Beilage 2: Grundriss Zimmer 3



NEST: Unit Vision Wood

EMPA Materials Science and Technologies, Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf

Bauprojekt

1.4 Grundriss Wohneinheit 3

1:50

raum gmbh - Hans-Huber-Strasse 25a - 4500 - Solothurn - +41 (0)32 618 45 45 - info@raumgmbh.ch - www.raumgmbh.ch

Gezeichnet sp
 Datum 3. April 2015
 Format A3
 Revidiert 3. November 2015

raum
 www.raumgmbh.ch

Beilage 3: Bericht Untersuchung der Probeverklebung

1 Ausgangslage

Im NEST werden in der Unit „Vision Wood“ Module aus Buchen Brettsperrholz hergestellt. Die vorgesehenen dreilagigen Platten könnten entweder

- 1) mit erprobter Technik mit einem MUF-Kleber im Ausland oder
- 2) auf einer Vakuumpresse mit einem 1K-PUR-Klebstoff in der Schweiz

hergestellt werden.

Weil die Vakuumpresse bei Variante 2 kein Seitenpressdruck ermöglicht, muss ausserdem bei dieser Variante ein zusätzlicher Verarbeitungsschritt (Breitenverleimung der Einschichtplatten) ausgeführt werden.

Zur Prüfung der Machbarkeit der Verklebung mit der Vakuumpressung wurde eine Probenplatte hergestellt und daraus Prüfkörper entnommen. Die an der Empa Abteilung Angewandte Holzforschung ausgeführten Untersuchungen werden nachfolgend beschrieben.

2 Material

Am 22. Dezember 2015 wurden zwei Buchen-Brettschichtholzabschnitte mit den Abmessungen 1350 mm x 320 mm x 60 mm an die Empa geliefert (Abbildung 1). Die Herstellung der Plattenabschnitte erfolgte gemäss Angaben im Prüfbericht von Dario Salzgeber und Dr. Christian Lehringer, Henkel & Cie. AG, vom 7. Januar 2016 wie folgt:

Buche Brettsperrholz, 3 x 3 m und 60 mm dick, bestehend aus drei Lagen Einschichtplatten (3 x 1 m und 20 mm dick), zugeliefert und am Tag der Verklebung mit Breitbandschleifmaschine (Körnung P60) kalibriert.

Primerauftrag LOCTITE PR 3105 PURBOND	
Auftragsmenge beidseitig von Hand	20 – 30 g/m ²
Konzentration	10%
Einwirkzeit	10 – 15 min
Klebstoffauftrag LOCTITE HB S609 PURBOND	
Auftragsmenge einseitig automatisch	160 g/m ²
Pressdruck Vakuumpresse	ca. 0.09 N/mm ²
Presszeit	180 min

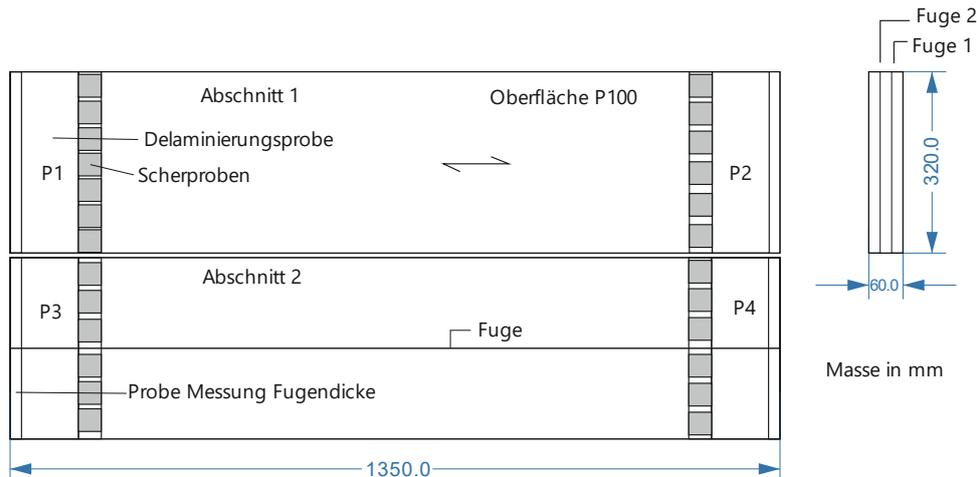


Abbildung 1: Eingegangene Abschnitte und Probenentnahme. Die Bezeichnung der Proben und Abschnitte erfolgte durch die Empa. Die Delaminierungsproben (P1 bis P4) wurden über die ganze Abschnittsbreite entnommen.

3 Methoden

Die Norm DIN EN 16351 *Holzbauwerke - Brettsper Holz – Anforderungen* (gilt eigentlich nur für Nadelholz und Pappel), erlaubt zur Prüfung der Klebfestigkeit von Klebfugen zwischen den Lagen entweder die Delaminierungsprüfung oder die Scherprüfung. Die Scherprüfung ist das Bezugsprüfverfahren.

3.1 Bestimmung der Fugendicke

Die Fugendicke wurde mit einer Messlupe mit 10-facher Vergrößerung gemessen (10 Messungen je Fuge).

3.2 Delaminierungsprüfungen nach EN 16351:2015 Anhang C

Bei der Prüfung der Delaminierung werden die Proben gewässert und anschliessend scharf getrocknet. Die Delaminierung wurde nur an den Klebfugen der langen Querschnittsflächen bestimmt (Norm unklar). Die Trocknung der Proben wurde nach 16 Stunden abgebrochen, obwohl das Gewicht der Proben noch etwas mehr als 110% des Ausgangsgewichtes betrug (feste Programmierung der Anlage).

Nach den Delaminierungsprüfungen wurden die Klebflächen so weit wie möglich aufgetrennt und deren Faserbelag geschätzt (Tabelle 3).

3.3 Druckscherprüfungen nach EN 16351:2015 Anhang D

Aus den Abschnitten wurden nach Norm Prüfkörper mit der Scherfläche von 40 x 40 mm geschnitten. Die Belastung der Prüfkörper Aussenlagen erfolgte in Faserrichtung bzw. rechtwinklig dazu in der Mittellage. Die Scherfestigkeit wurde gemäss Norm auf eine Scherlänge von 50 mm korrigiert.

Die Klebfestigkeit der Klebfugen ist gemäss Norm ausreichend, wenn die Scherfestigkeit jeder Klebfuge 1 N/mm² bzw. die charakteristische Scherfestigkeit mindestens 1.25 N/mm² beträgt.

4 Ergebnisse

4.1 Fugendicke

Tabelle 1: Einzelwerte, Mittelwert und Standardabweichung der Fugendicke

Fuge	Fugendicke (µm)										Mittelwert (µm)	Stabw. (µm)
	Messung	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
P1_1	150	150	150	130	120	180	150	140	150	150	147	15.7
P1_2	200	220	190	130	150	180	200	180	200	140	179	29.6
P2_1	150	180	170	150	160	180	160	130	170	150	160	15.6
P2_2	150	150	170	150	130	180	150	150	140	130	150	15.6
P3_1	130	100	150	300	200	170	140	180	240	150	176	58.3
P3_2	130	150	170	160	200	190	200	180	200	170	175	23.7
P4_1	170	130	170	150	200	180	150	150	150	170	162	19.9
P4_2	150	170	150	160	180	160	150	150	150	150	157	10.6

Es liegen alle Messwerte im Anforderungsbereich von maximal 300 µm.

4.2 Delaminierung

Tabelle 2: Delaminierung von jeder Fuge und gesamt je Probe

Probe	Fuge	Länge Klebstoff.	Delami-	Delami-	Länge Klebstoff.	Delami-	Delami-	Delami-	Delami-
		mm	nierung	nierung	mm	nierung	nierung	nierung	nierung
			mm	%	mm	mm	%	mm	%
		Querschnittfläche A			Querschnittfläche B			A + B	
1	1	320	12	3.8	320	160	50.0	172	26.9
	2	320	0	0.0	320	0	0.0	0	0.0
	ges.	640	12	1.9	640	160	25.0	172	13.4 (10.2)¹
2	1	320	45	14.1	320	212	66.3	257	40.2
	2	320	0	0.0	320	0	0.0	0	0.0
	ges.	640	45	7.0	640	212	33.1	257	20.1 (15.2)¹
3	1	320	195	60.9	320	170	53.1	365	57.0
	2	320	0	0.0	320	132	41.3	132	20.6
	ges.	640	195	30.5	640	302	47.2	497	38.8 (29.6)¹
4	1	320	0	0.0	320	300	93.8	300	46.9
	2	320	20	6.3	320	7	2.2	27	4.2
	ges.	640	20	3.1	640	307	48.0	327	25.5 (19.5)¹

¹ Bei den Werten ohne Klammern wurden nur die langen Querschnittsflächen berücksichtigt. Bei den Werten in Klammern wurde die gesamte Fugenlänge in die Berechnung einbezogen. Dabei wurde angenommen, dass die Fugen auf den kurzen Querschnittsflächen keine Delaminierungen aufweisen.

Gemäss der Norm ist die Klebfestigkeit zwischen den Lagen ausreichend, wenn die maximale Delaminierungslänge 40% der Gesamtlänge einer einzelnen Klebfuge nicht überschreitet und die Gesamt-Delaminierungslänge maximal 10% der Summe der Klebfugen beträgt.

Der Faserbruchanteil jeder aufgetrennten Klebfläche darf 50% nicht unterschreiten, der Faserbruchanteil einer Probe darf 70% nicht unterschreiten.

Die rote Schrift weist darauf hin, dass die Anforderungen überschritten wurden (Tabellen 2 und 3).

Tabelle 3: Geschätzter Faserbruchanteil auf den Klebflächen

Fuge	Faserbruchanteil (%)			
Probe	1	2	3	4
1	100	100	42	81
2	74	69	100	100
Mittelwert	87	84	71	91





Abbildung 2: Lange Seiten der Querschnittsflächen aller Delaminierungsproben (P1, P2, P3 und P4) nach der Trocknung

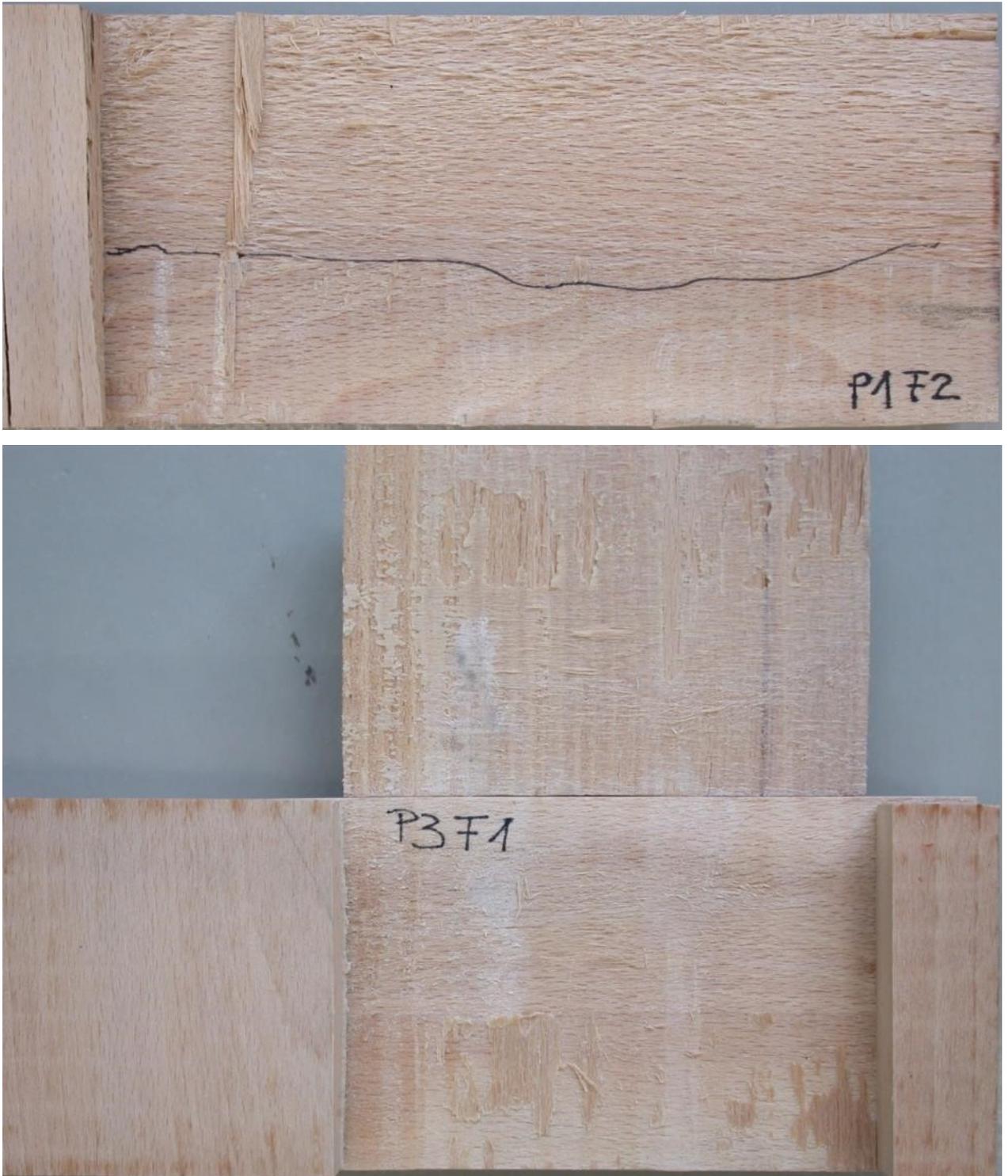


Abbildung 3: Exemplarisch für alle Proben ein Ausschnitt der aufgetrennten Proben P1 Fuge 2 und P3 Fuge 1 zur Schätzung des Faserbelages.

4.3 Scherfestigkeit

Tabelle 4: Scherfestigkeit, Faserbelag und Feuchtegehalt der Prüfkörper

Probe	Höhe mm	Breite mm	F _{max} N	Festigkeit N/mm ²	Festigkeit _{kor} N/mm ²	Faserbelag %	Feuchtegehalt %
1.1 F1	40	40	14814	9.26	8.9	100	10.2
1.1 F2	40	40	11207	7.00	6.7	100	
1.2 F1	40	40	14515	9.07	8.7	100	10.7
1.2 F2	40	40	12804	8.00	7.7	100	
1.3 F1	40	40	13893	8.68	8.3	100	10.8
1.3 F2	40	40	12781	7.99	7.6	100	
1.4 F1	40	40	11937	7.46	7.1	65	10.8
1.4 F2	40	40	13246	8.28	7.9	100	
1.5 F1	40	40	14179	8.86	8.5	100	11.1
1.5 F2	40	40	14643	9.15	8.7	100	
1.6 F1	40	40	12964	8.10	7.7	100	11.6
1.6 F2	40	40	12498	7.81	7.5	100	
1.7 F1	40	40	12773	7.98	7.6	100	11.3
1.7 F2	40	40	13352	8.35	8.0	100	
2.1 F1	40	40	11940	7.46	7.1	100	10.0
2.1 F2	40	40	10500	6.56	6.3	100	
2.2 F1	40	40	13830	8.64	8.3	100	10.3
2.2 F2	40	40	10274	6.42	6.1	100	
2.3 F1	40	40	13434	8.40	8.0	100	10.4
2.3 F2	40	40	13109	8.19	7.8	100	
2.4 F1	40	40	14360	8.97	8.6	100	10.3
2.4 F2	40	40	10662	6.66	6.4	100	
2.5 F1	40	40	13551	8.47	8.1	100	10.3
2.5 F2	40	40	12283	7.68	7.3	100	
2.6 F1	40	40	12606	7.88	7.5	100	10.3
2.6 F2	40	40	11282	7.05	6.7	100	
3.1 F1	40	40	13298	8.31	7.9	85	10.7
3.1 F2	40	40	12541	7.84	7.5	80	
3.2 F1	40	40	13183	8.24	7.9	90	10.8
3.2 F2	40	40	12269	7.67	7.3	95	
3.3 F1	40	40	15913	9.95	9.5	100	10.6
3.3 F2	40	40	12484	7.80	7.5	100	
3.4 F 1	40	40	12080	7.55	7.2	60	11.2
3.4 F2	40	40	14983	9.36	9.0	100	
3.5 F1	40	40	14381	8.99	8.6	100	11.5
3.5 F2	40	40	14326	8.95	8.6	100	
3.6 F1	40	40	13755	8.60	8.2	90	11.2
3.6 F2	40	40	11726	7.33	7.0	95	
4.1 F1	40	40	13113	8.20	7.8	90	10.4
4.1 F2	40	40	11839	7.40	7.1	100	
4.2 F1	40	40	12376	7.73	7.4	90	10.5
4.2 F2	40	40	11031	6.89	6.6	100	
4.3 F1	40	40	15377	9.61	9.2	100	10.5
4.3 F2	40	40	11706	7.32	7.0	100	
4.4 F1	40	40	11975	7.48	7.2	60	10.6
4.4 F2	40	40	10875	6.80	6.5	100	
4.5 F1	40	40	13231	8.27	7.9	100	11.1
4.5 F2	40	40	10304	6.44	6.2	100	
4.6 F1	40	40	10841	6.78	6.5	100	11.0
4.6 F2	40	40	10751	6.72	6.4	100	
Anzahl Werte					50	50	25
Mittelwert					7.6	96	10.7
Standardabweichung					0.83	9,8	0.42
Variationskoeffizient					10.9%	10.2%	3.9%
Mindestwert					6.1	60	10.0
Maximalwert					9.5	100	11.6

5 Beurteilung

- Die gemessenen **Fugendicken** liegen zwischen 100 **165** ... 300 μm . Von den 80 Messwerten liegen 2 Werte über 200 μm . **Anforderungen erfüllt.**
- Die Anforderungen der **Delaminierungsprüfung** wurden von **keinem der 4 Prüfkörper erfüllt.** Die ergänzenden Anforderungen an den Faserbruchanteil der Klebflächen wurden mit einer Ausnahme erfüllt.
- Die ermittelten **Scherfestigkeitswerte** liegen zwischen 6.1 **7.6** 9.5 N/mm^2 (n=50).
Anforderungen erfüllt.