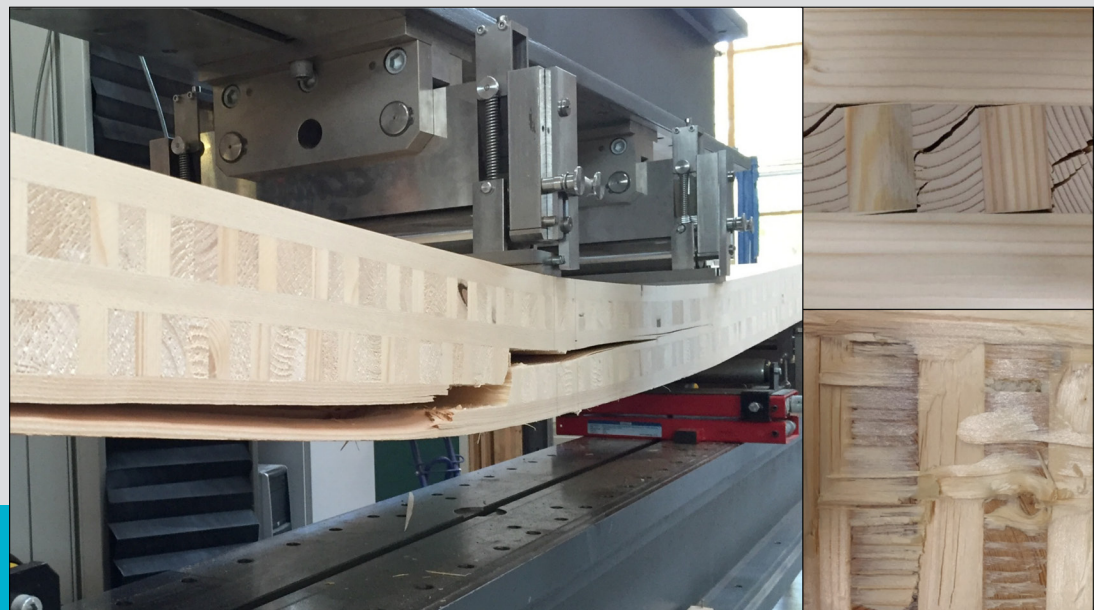


Veredelung von Brettsperrholz-Ausschnitten



M-4-4/2017

Florian de Monte
Institut für Holzbau und Holztechnologie
Technische Universität Graz



Dipl.-Ing. Florian de Monte, BSc

Veredelung von Brettsperrholz-Ausschnitten

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades
Diplom-Ingenieur
Masterstudium Bauingenieurwissenschaften – Konstruktiver Ingenieurbau

Eingereicht an der
Technischen Universität Graz

Betreuer
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerhard Schickhofer
Institut für Holzbau und Holztechnologie
Dipl.-Ing. Helene Bauer
Institut für Holzbau und Holztechnologie

Graz, Mai 2017

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

AFFIDAVIT

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources/resources, and that I have explicitly indicated all material which has been quoted either literally or by content from the sources used. The text document uploaded to TUGRAZonline is identical to the present master's thesis.

Datum / Date

Unterschrift / Signature

Danksagung

An erster Stelle möchte ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerhard Schickhofer, Leiter des Instituts für Holzbau und Holztechnologie, für die Möglichkeit und das Vertrauen bedanken, diese Arbeit auf dem Fundament einer eigenen Idee aufgebaut haben zu dürfen. Ein großer Dank geht auch an die abschließende Begutachtung meiner Masterarbeit sowie an die interessante und praxisnahe Vermittlung des Lehrinhaltes während meiner Studienzeit.

Ein ebenso großes Dankeschön gilt meiner Betreuerin Frau Dipl.-Ing. Helene Bauer. Neben der großartigen Unterstützung möchte ich mich auch für die hilfreichen Anregungen während der Erstellung dieser Masterarbeit danken. Ihre Ideen, Anregungen und Ratschläge haben ganz wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Für die große Hilfsbereitschaft wie auch fachliche Beratung danke ich dem gesamten Team des Instituts für Holzbau und Holztechnologie sowie allen Mitarbeitern der holz.bau forschungs gmbh.

Bei Herrn Ing. Bernd Heißenberger darf ich mich für die Herstellung der Prüfkörper und die Abwicklung der Laborprüfungen bedanken.

Für die Bereitstellung von Klebstoffkomponenten möchte ich Herrn Dipl.-Ing. Bernd Pfeifer, Projektleiter der Firma Henkel Central Eastern Europe GmbH, danken.

Ein herzliches Dankeschön für die Bereitstellung des Rohmaterials sowie der Benützung der Laboreinrichtung darf ich dem gesamten Team der Firma KLH Massivholz GmbH widmen.

Der größte Dank gebührt von ganzem Herzen meiner Familie wie auch meiner Freundin. Ich danke ihnen für die Unterstützung und das Vertrauen, das sie all die Jahre in mich gesetzt haben.

Kurzfassung

Die Herstellung von Brettsperrholzelementen ist aufgrund individueller wie auch projektspezifischer Anforderungen an ein Bauwerk dadurch gekennzeichnet, dass die Bauteile zumeist vollflächig gefertigt und anfallende Fenster- und Türöffnungen von computergesteuerten CNC-Anlagen herausgeschnitten werden. Die entstehenden und durchaus hochwertigen Abfallprodukte werden bis dato aufwändig zerkleinert und thermisch verwertet. Auf diese Weise werden nicht nur wertvolle Ressourcen verschwendet, es tritt auch ein hoher Wertverlust bezogen auf das Ausgangsmaterial ein. Um einerseits dem Wunsch der modernen Architektur in Form von großflächigen Ausschnitten nachkommen und andererseits die hohe Flexibilität und Produktivität bei vollflächiger Fertigung aufrechterhalten zu können, bedarf es einer innovativen Lösung die anfallenden Ausschnitte sinnvoll zu verwerten. Im Zuge dieser Masterarbeit wird ein neuartiger Plattenaufbau, der sich aus maschinell aufgetrennten und schmalseitenverklebten Restplattenelementen zusammensetzt, wissenschaftlich untersucht und analysiert, dessen technische Umsetzbarkeit mittels normierter Prüfverfahren belegt und die Ergebnisse mit dem derzeitigen Stand der Technik gegenübergestellt. Anhand einer Prüfserie von insgesamt 30 Brettsperrholzplatten, welche den erfindungsgemäßen Holzwerkstoff als Querlagenelemente aufweisen, werden die mechanischen Eigenschaften dieses neuartigen Plattenaufbaus mittels Tragfähigkeits- und Steifigkeitsprüfungen gemäß ÖNORM EN 408:2012 ermittelt, interpretiert und dessen Potential abschätzt. Im Fokus dieser Arbeit steht zudem eine theoretische Grundlagenforschung wie auch praktische Durchführung von Delaminierungsprüfungen, welche als Bestandteil der werkseigenen Produktionskontrolle in den derzeit gültigen europäisch technischen Bewertungen von Brettsperrholz-Herstellern verankert sind und zur Beurteilung der Verklebungsqualität einzelner Holzschichten dienen. Abschließend werden die Erkenntnisse dieser Arbeit zusammengefasst, interpretiert und der weitere Forschungsbedarf dokumentiert und aufgezeigt.

Abstract

Due to the individual and project specific requirements of buildings, the production of cross laminated timber panels is characterized by its focus on large-format components with window and door openings cut out by computer-controlled CNC machines. The high-quality waste material generated in the manufacturing process is usually crushed elaborately and thermally recycled. The result is not only a waste of valuable resources but also a significant loss in value with regard to the raw material. In order to satisfy the desire for large-sized openings in modern architectural design, while at the same time maintaining a high degree of flexibility and productivity in the manufacturing process of large-scale elements, innovative solutions are required to make best use of the resulting cutout parts. In the course of this thesis, a new panel design made of mechanically separated and side-bonded residual panel elements is scientifically tested and analyzed. Technical feasibility is verified through standardized test methods and the results are subsequently compared with the current state of technology. The mechanical properties of the new panel design are evaluated, interpreted and its potential assessed according to ÖNORM EN 408:2012 load-bearing capacity and stiffness tests carried out on a total test series of 30 cross laminated timber panels that use the inventive wood material as middle layer element. This study furthermore focuses on basic theoretical research as well as the practical conduct of delamination tests that are part of a factory production control laid down in the currently valid European Technical Assessment (ETA) of cross laminated timber manufacturers in order to evaluate the bonding quality of individual wood layers. In conclusion, the findings of this study are summarized and interpreted and the further research are documented and specified.

Inhaltsverzeichnis

KAPITEL 1: EINLEITUNG.....	1
1-1	MOTIVATION UND ZIELSETZUNG..... 1
1-2	STRUKTUR DER MASTERARBEIT 2
KAPITEL 2: STAND DER TECHNIK	3
2-1	BRETTSPERRHOLZ 3
2-1.1	Allgemeine Beschreibung 3
2-1.2	Ausgangsprodukte..... 3
2-1.3	Herstellung 7
2-1.4	Qualitätssicherung..... 11
2-1.5	Tragverhalten und Einsatzbereiche 12
2-1.6	Technische Regelungen 13
2-2	MARKTANALYSE..... 14
2-2.1	Entwicklung 14
2-2.2	Wachstumsprognose 14
2-2.3	Produktionsvolumen in Österreich..... 17
2-3	BRETTSPERRHOLZ-AUSCHNITTE..... 19
2-3.1	Allgemeine Beschreibung 19
2-3.2	Gesamtmenge in Österreich 20
2-3.3	Aktuelle Verwertung..... 21
2-3.4	Problematik der aktuellen Verwertung 24
KAPITEL 3: VEREDELUNGSKONZEPT	26
3-1	ALLGEMEINE BESCHREIBUNG 26
3-1.1	Ausgangsmaterial – BSP-Ausschnitte..... 26
3-1.2	Endprodukt – REX-Platte 27
3-2	HERSTELLUNG 29
3-2.1	Restplattensortierung..... 29
3-2.2	Restplattenauftrennung 30
3-2.3	Auskappung von Fehlstellen und Endgeometrien..... 31
3-2.4	Plattenerzeugung 32
3-2.5	Oberflächenbearbeitung 34
3-3	EINSATZGEBIETE 34
3-3.1	BSP-Platten 35
3-3.2	BSP-Scheiben..... 35
3-4	VORTEILE UND POTENTIALE FÜR BSP-HERSTELLER..... 37
3-4.1	Erhöhung der internen Wertschöpfung 37

3-4.2	Produktinnovation	38
3-4.3	Recyclingkreislauf.....	38
3-4.4	Vermarktung	39
3-5	SCHWIERIGKEITEN UND RISIKEN FÜR BSP-HERSTELLER	40
3-5.1	Investitionsrisiko	40
3-5.2	Neuartiger Herstellungsprozess	40
KAPITEL 4: MACHBARKEITSSTUDIE		41
4-1	ALLGEMEINE BESCHREIBUNG	41
4-2	PROBEKÖRPERHERSTELLUNG	43
4-2.1	Rohmaterial	43
4-2.2	Arbeitsprozesse	44
4-2.3	Problematik bei der Herstellung.....	49
4-3	PRÜFVERFAHREN.....	50
4-3.1	Allgemeine Prüfverfahren	50
4-3.2	Prüfverfahren – Biegung aus der Plattenebene	51
4-3.3	Prüfverfahren – Rollschub bei Biegung aus der Plattenebene	53
4-4	BERECHNUNG UND AUSWERTUNG.....	54
4-4.1	Grundlagen der Berechnung	54
4-5	PRÜFERGEBNISSE	59
4-5.1	Biegeprüfung.....	59
4-5.2	Rollschubprüfung	64
4-5.3	Scherprüfung in Plattenebene	67
4-5.4	Interpretation der Ergebnisse	70
KAPITEL 5: DELAMINIERUNG.....		72
5-1	THEORETISCHE GRUNDLAGEN	72
5-1.1	Normative und technische Regelung	72
5-1.2	Prüfverfahren der Delaminierung nach ÖNORM EN 16351:2015.....	77
5-1.3	Problematik von Delaminierungsprüfungen bei BSP	82
5-2	PRÜFSERIE A.....	82
5-2.1	Prüfkörper	82
5-2.2	Delaminierungsprüfung und Ergebnisauswertung.....	83
5-2.3	Analyse der Fehlverklebung	87
5-3	PRÜFSERIE B	91
5-3.1	Prüfkörper	91
5-3.2	Delaminierungsprüfung und Ergebnisauswertung.....	95
5-4	INTERPRETATION DER ERGEBNISSE	98
5-4.1	Prüfserie A	98

5-4.2	Prüfserie B.....	98
5-4.3	Gegenüberstellung der Prüfserien.....	99
KAPITEL 6: POTENTIALE UND AUSBLICK		100
6-1	ZUSAMMENFASSUNG UND ERKENNTNISSE	100
6-2	WEITERER FORSCHUNGSBEDARF	102
6-2.1	Mechanische Kenngrößen der REX-Platte	103
6-2.2	BSP-Herstellung und Delaminierung unter realen Produktionsbedingungen.....	105
6-3	AUSBLICK.....	105
ANHANG A VERZEICHNISSE		I
A-1	LITERATURVERZEICHNIS	I
A-2	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	IV
A-3	TABELLENVERZEICHNIS	VIII
ANHANG B DIVERSE ANDERE ANHÄNGE.....		IX
B-1	PRÜFBERICHT LIGNUM TEST CENTER.....	IX
B-2	HENKEL CHECKLISTE – PRODUKTION VON BRETTSPERRHOLZ	IX
B-3	DATENBLATT LOCTITE HB S309 PURBOND	IX

KAPITEL 1: EINLEITUNG

Die Neu- und Weiterentwicklung von Holzbauprodukten sowie die fortlaufende Standardisierung und Systematisierung moderner Holzbausysteme und Verbindungstechniken haben für den Holzbau nicht nur neue Betätigungsfelder erschließen können, zusätzlich konnten steigende Anteile am nationalen wie auch internationalen Bauvolumen erzielt werden. Großen Anteil an dieser positiven Entwicklung trägt ein moderner, flächenhafter, großformatiger und massiver Holzwerkstoff namens Brettsperrholz (kurz: BSP) bei, der Ende des 20. Jahrhunderts an der Technischen Universität in Graz entwickelt wurde und heutzutage vor allem aufgrund seiner technischen und bauphysikalischen Eigenschaften überzeugt. Der Einsatzbereich des massiven Holzbaus ist mittlerweile sehr breit gefächert und reicht vom klassischen Einfamilienhaus, über den mehrgeschossigen Wohnbau, bis hin zu komplexen Industrie- und Ingenieurholzbauten.

1-1 MOTIVATION UND ZIELSETZUNG

Mit der Entwicklung von Brettsperrholz konnte ein modernes Holzbauprodukt geschaffen werden, welches nicht nur hervorragende statische Eigenschaften besitzt, sondern auch zu mehr als 99 % aus einem nachwachsenden Rohstoff hergestellt wird. Das aktuell stark steigende Marktwachstum kann jedoch nur durch einen schonenden und nachhaltigen Umgang mit dem natürlichen Rohstoff Holz abgedeckt werden. Die Herstellung von Brettsperrholz ist vorwiegend dadurch gekennzeichnet, dass BSP-Elemente vollflächig gefertigt werden und anfallende Öffnungen wie beispielsweise Fenster- oder Türausschnitte von computergesteuerten CNC-Anlagen herausgeschnitten werden. Die entstehenden und durchaus hochwertigen Abfallprodukte werden bis dato aufwändig zerkleinert und thermisch verwertet. Auf diese Weise werden nicht nur wertvolle Ressourcen verschwendet, es tritt auch ein hoher Wertverlust bezogen auf das Ausgangsmaterial ein. Um einerseits dem Wunsch der modernen Architektur in Form von großflächigen Ausschnitten nachkommen und andererseits die hohe Flexibilität und Produktivität bei vollflächiger Fertigung aufrechterhalten zu können, bedarf es einer innovativen Lösung die anfallenden Ausschnitte sinnvoll zu verwerten.

Im Zuge dieser Arbeit wird die Veredelung von Brettsperrholz-Ausschnitten zu einem wiederverwendbaren Plattenwerkstoff für die Herstellung von Brettsperrholz untersucht, analysiert und die wissenschaftlichen Erkenntnisse aus Laborprüfungen aufgezeigt und interpretiert. Für die Ermittlung der mechanischen Eigenschaften werden insgesamt 30 Brettsperrholzelemente, welche den erfindungsgemäßen Holzwerkstoff als Querlagen aufweisen, hergestellt und nach ÖNORM EN 408:2012 auf Biege- und Rollschubversagen geprüft. Zusätzlich wird eine theoretische Grundlagenforschung wie auch die praktische Durchführung von Delaminierungsprüfungen abgewickelt, welche als Bestandteil der werkseigenen Produktionskontrolle in den derzeit gültigen europäisch technischen Bewertungen von Brettsperrholz-Herstellern verankert sind und zur Beurteilung der Verklebungsqualität einzelner Holzschichten dienen. Die Erkenntnisse dieser Arbeit werden abschließend zusammengefasst, interpretiert und der weitere Forschungsbedarf bis hin zur Marktreife dokumentiert und aufgezeigt.

1-2 STRUKTUR DER MASTERARBEIT

Die vorliegende Masterarbeit ist in folgende Kapitel gegliedert:

- **Stand der Technik**

Neben einer allgemeinen Beschreibung werden in diesem Kapitel die einzelnen Bestandteile und Prozesse der Herstellung von Brettsperrholz erläutert. Des Weiteren werden die theoretischen Grundlagen zum Tragverhalten aufgezeigt, die vielfältigen Einsatzbereiche dieses hochleistungsfähigen Baustoffes dargestellt und ein kurzer Einblick in die aktuelle Regelung von Brettsperrholz gegeben. Zusätzlich wird das aktuelle Produktionsvolumen auf nationaler wie auch internationaler Ebene erfasst sowie die globale Entwicklung der Produktionskapazität von Brettsperrholz aufgezeigt und erläutert. Abgeschlossen wird dieses Kapitel mit einer allgemeinen Beschreibung sowie einer fundierten Analyse zur aktuellen Verwertung von Brettsperrholz-Ausschnitten.

- **Veredelungskonzept**

In diesem Kapitel wird mit der allgemeinen Beschreibung des Veredelungskonzeptes für Brettsperrholz-Ausschnitte begonnen. In weiterer Folge wird mit der Beschreibung und Darstellung sämtlicher Arbeitsprozesse fortgefahren, die für die Herstellung der erfindungsgemäßen Holzplatten vorgesehen sind. Abschließend werden die vorgesehenen Einsatzbereiche sowie die Vorteile und Potentiale für BSP-Hersteller aufgezeigt und erläutert.

- **Machbarkeitsstudie**

Mit der Abwicklung von normgerechten Laborprüfungen wird versucht, sowohl das Potential als auch die Leistungsfähigkeit des in Kapitel 3 vorgestellten Veredelungskonzeptes mit Hilfe einer Machbarkeitsstudie detailliert zu erfassen. Dazu werden insgesamt 30 Plattenelemente aus Brettsperrholz, welche den erfindungsgemäßen Holzwerkstoff als Querlagen aufweisen, auf Biege- und Rollschubversagen nach ÖNORM EN 408:2012 labortechnisch geprüft. Neben einer allgemeinen Beschreibung des Prüfverfahrens wie auch der Herstellung der Probekörper, wird das Hauptaugenmerk auf die Auswertung der Prüfergebnisse und deren Interpretation gelegt.

- **Delaminierung**

Kapitel 5 beschäftigt sich mit der Delaminierungsprüfung von Brettsperrholz, welche als werkseigene Produktionskontrolle in den europäisch technischen Bewertungen verankert ist. Neben der allgemeinen Beschreibung des Prüfverfahrens werden einerseits normative und technische Regelungen auf nationaler wie auch europäischer Ebene erläutert und gegenübergestellt. Andererseits wird ein besonderes Augenmerk auf die Problematik dieser Prüfung hinsichtlich der Beschaffenheit von Brettsperrholz gelegt. Aufbauend auf die Ergebnisse der ersten Prüferie wird eine detaillierte Analyse der in Serie A beobachteten Fehlverklebung angestellt und wichtige Einflussparameter und dessen Auswirkungen näher untersucht. Abschließend werden die Ergebnisse einer zweiten Prüferie dargestellt und wiederum ausführlich analysiert.

- **Potentiale und Ausblick**

Neben einer Zusammenfassung der wichtigsten Erkenntnisse dieser Arbeit, wird vor allem auf das Potential der Veredelung von Brettsperrholzelementen eingegangen. Abgeschlossen wird dieses Kapitel mit einem Ausblick auf künftigen Forschungsbedarf hinsichtlich der Ermittlung der mechanischen Eigenschaften.

KAPITEL 2: STAND DER TECHNIK

Unter Berücksichtigung nachhaltiger Waldbewirtschaftung ermöglicht der Rohstoff Holz durch seine weltweite Verfügbarkeit die Herstellung und den Einsatz vielzähliger Erzeugnisse, wie beispielsweise den modernen und hochleistungsfähigen Baustoff Brettsperrholz.

In diesem Kapitel wird neben einer allgemeinen Beschreibung vor allem auf die Prozesse der Herstellung von Brettsperrholz eingegangen sowie dessen Tragverhalten, Einsatzbereiche und Normung beschrieben. Des Weiteren wird das aktuelle Produktionsvolumen auf nationaler wie auch internationaler Ebene erfasst und eine Wachstumsprognose von Brettsperrholz erstellt und analysiert. Abschließend wird eine fundierte Analyse zur aktuellen Verwertung von Brettsperrholz-Ausschnitten angestellt.

2-1 BRETTSPERRHOLZ

2-1.1 ALLGEMEINE BESCHREIBUNG

Brettsperrholz ist ein flächenförmiger Holzwerkstoff, der sich aus rechtwinklig angeordneten Einzelschichten zusammensetzt, welche mittels Verklebung kraftschlüssig miteinander verbunden werden. Die Brettlamellen setzen sich aus visuell oder maschinell festigkeitssortierten, gehobelten und keilgezinkten Nadelhölzern wie beispielsweise Fichte, Tanne oder Kiefer zusammen. Die Einzelschichten werden entweder fugenlos, d.h. mit Schmalseitenverklebung oder mit einer Fuge geringer Breite hergestellt. Der entstehende Querschnitt von Brettsperrholz ist meist symmetrisch aufgebaut und weist mindestens drei Einzelschichten auf. Die genaue Anzahl der Schichten unterliegt den statischen, bauphysikalischen sowie brandschutztechnischen Anforderungen und wird i.d.R. projektspezifisch angepasst. Durch die orthogonale Anordnung von Längs- und Querlagen wird ein Sperreffekt erzielt, wodurch das Schwinden und Quellen in Plattenebene auf ein unbedeutendes Minimum reduziert und somit die Formstabilität deutlich gesteigert werden kann. Die Abmessungen von Brettsperrholz sind je Hersteller verschieden und können der europäisch technischen Bewertung entnommen werden. Marktübliche Plattenabmessungen weisen zumeist eine Breite von 1,25 bis 4 m, eine Länge von 8 bis 24 m und eine Plattendicke von 60 bis 500 mm auf, vgl. (Schickhofer, et al., 2010).

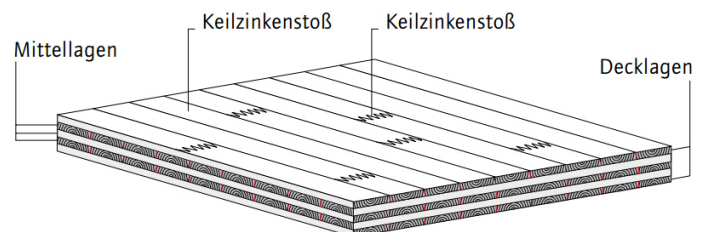
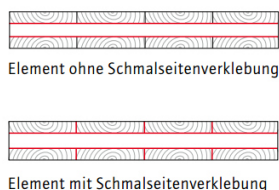


Abbildung 2.1: Brettsperrholz (Guttmann, et al., 2008 S. 14)

2-1.2 AUSGANGSPRODUKTE

Die Ausgangsprodukte zur Herstellung von Brettsperrholz setzen sich im Allgemeinen aus dem Rohstoff Holz sowie einem den Anforderungen entsprechenden Klebstoff zur starren Verbindung der Einzelschichten zusammen. Das Grundmaterial Holz wird zumeist aus keilgezinkten Brettlamellen gebildet. Einzelne Schichten können aber auch durch Holzwerkstoffe wie Einschichtplatten ersetzt werden, um auf diese Weise die Eigenschaften von Brettsperrholz gezielt modifizieren zu können. Da es sich bei all diesen Ausgangsprodukten um eigenständige und normativ geregelte Produkte handelt,

können diese entweder selbst hergestellt oder von Lieferanten zugekauft werden, vgl. (Schickhofer, et al., 2010 S. C-4).

2-1.2.1 Brett

Das Tragverhalten von Brettsperrholz wird maßgeblich durch die Eigenschaften des eingesetzten Rohmaterials in Form von Brettlamellen beeinflusst. Entsprechend der europäisch technischen Bewertung ETB (engl.: European Technical Approval ETA) müssen Bretter einer definierten Festigkeitsklasse angehören, welche gegenwärtig in der ÖNORM EN 338:2016 geregelt ist. Als Holzart wird hauptsächlich Fichte eingesetzt, wobei im selben Sortiment auch Tanne enthalten sein darf. Aus ästhetischen Gründen werden vereinzelt auch Nadelholzarten wie Lärche oder Douglasie sowie ausgewählte Laubholzarten wie Esche, Buche, Eiche, Pappel oder Robinie als außenliegende Deckschicht herangezogen. Die Schnittholzlamellen weisen zumeist eine Festigkeitsklasse von C24 gemäß ÖNORM EN 338:2016 auf, wobei für Querlagen auch C16 oder C18 verwendet werden darf. Die Bretter einer Lage müssen immer einer einheitlichen Festigkeitsklasse entsprechen, da ansonsten das Traglastmodell für Brettsperrholz nicht mehr als gültig anzusehen ist, vgl. (Schickhofer, et al., 2010 S. C-4-5).

2-1.2.2 Keilzinkenverbindung - Endloslamelle

Eine Keilzinkenverbindung wird nach ÖNORM EN 15497:2014 als eine selbstzentrierende Endverbindung beschrieben, die durch die Einfräsung einer Reihe von gleichartigen, symmetrischen und spitz zulaufenden Keilzinken an den Endstücken der Holzbauteile hergestellt wird und auf diese Weise eine Verbindung mittels Verklebung und Verpressung einzelner Bauteile ermöglicht.

Die primäre Aufgabe einer Keilzinkenverbindung wird durch die Längenaddition handelsüblicher Brettlamellen gebildet. Des Weiteren lassen sich mit dieser Verbindungsart Fehlstellen wie beispielsweise Äste, Risse, Insektenbefall oder Wachstumsunregelmäßigkeiten entfernen und somit die Tragfähigkeit des Ausgangsmaterials positiv beeinflussen. Die Form der Keilzinkenprofile wird entsprechend den Anforderungen hinsichtlich der Festigkeit angepasst. In der Produktion von Brettsperrholz kommt zumeist ein auf der Brettflachseite angeordnetes Zinkenprofil zum Einsatz. Aus ästhetischen Gründen werden vereinzelt Flachzinken verwendet, bei denen das Zinkenprofil auf der Schmalseite sichtbar ist, vgl. (Schickhofer, et al., 2010 S. C-5).

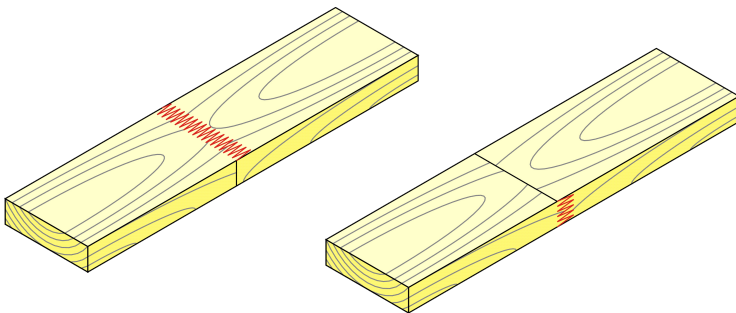


Abbildung 2.2: Keilzinkenverbindung - Zinkenprofil auf der Brettflachseite (links) und auf der Brettschmalseite (rechts) (Schickhofer, et al., 2010 S. C-5)

2-1.2.3 Einzelschicht - Einschichtplatte

Eine Einzelschicht wird entweder aus Brettern oder Einschichtplatten gebildet. Vor allem aus bauphysikalischen aber auch ästhetischen Gründen ist eine Reduktion der Fugen zwischen den Brettlamellen der Einzelschicht anzustreben, wodurch bei vielen BSP-Herstellern eine Schmalseitenverklebung der Brettlamellen im Produktionsprozess vorgesehen ist. Ein Nachteil der Verklebung wird jedoch bei der Verwendung von dicken Decklamellen ersichtlich, da im Falle geringer relativer Luftfeuchtigkeit Trocknungsrisse in den Brettern auftreten. Bei nicht schmalseitenverklebten Einzelschichten werden Feuchteänderungen im Holz hingegen durch ein Verkleinern oder Vergrößern der Fuge sichtbar, vgl. (Schickhofer, et al., 2010 S. C-7).

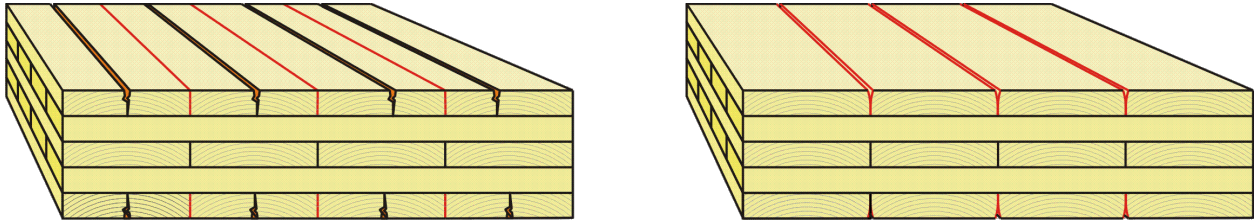


Abbildung 2.3: Schwindverhalten der Decklagen von Brettsper Holz mit und ohne Schmalseitenverklebung (Schickhofer, et al., 2010 S. C-7)

2-1.2.4 Klebstoffe

Für den quasi-starren Verbund von keilgezinkten Endloslamellen bzw. der Flächenverklebung einzelner Holzlagen werden spezielle, den Anforderungen entsprechende Klebstoffe herangezogen.

„Für tragende Zwecke im Bauwesen sind lt. ÖNORM EN 301 feste und dauerhafte Verbindungen herzustellen, sodass die Unversehrtheit der Klebung in der entsprechenden Nutzungsklasse während der erwarteten Lebensdauer des Bauwerks erhalten bleibt.“ (ÖNORM EN 301:2013)

Entsprechend ihrer Eignung zur Verwendung in unterschiedlichen Klimabedingungen werden nach ÖNORM EN 301:2013 zwei Klebstofftypen I und II klassifiziert. Klebstoffe, die den Anforderungen des Typs I nach ÖNORM EN 301:2013 entsprechen, dürfen in allen Nutzungsklassen verwendet werden, wohingegen Klebstoffe, die den Anforderungen von Typ II nach ÖNORM EN 301:2013 entsprechen, ausschließlich in Nutzungsklasse 1 Verwendung finden. Für die Produktion von Brettsper Holz werden ausschließlich Klebstoffe des Typs I nach ÖNORM EN 301:2013 verwendet, mit denen ein sicherer Einsatz in den Nutzungsklassen 1 und 2 ermöglicht wird.

Sehr häufig eingesetzte Klebstoffe dieses Typs sind einerseits einkomponentige Polyurethan Klebstoffe (kurz: PUR) und andererseits Melamin-Harnstoff-Formaldehydklebstoffe (kurz: MUF). Im Gegensatz zu konventionellem Weißleim, der physikalisch abbindet, zählen die genannten Klebstoffe aufgrund ihres Abbinde- und Aushärteverhaltens zu den chemisch reagierenden Arten. Die chemischen Reaktionen finden entweder durch Vorgänge der Polykondensation, der Polyaddition oder der Polymerisation statt. Je nach Anzahl der zugeführten Komponenten können dabei Ein- oder Zweikomponenten-Systeme zum Einsatz kommen. In Abbildung 2.4 ist eine Einteilung der im Holzbau häufig verwendeten Klebstoffe nach ihrem Abbinde- bzw. Aushärtemechanismus dargestellt, vgl. (Hansen, 1969).

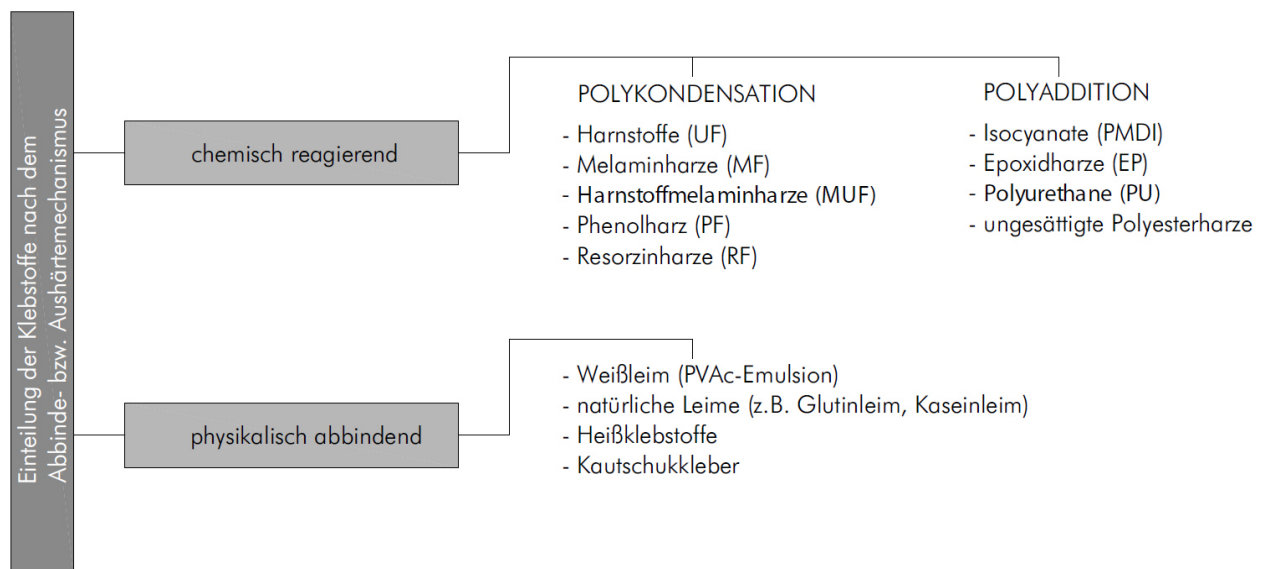


Abbildung 2.4: Einteilung der Klebstoffe nach dem Abbinde- bzw. Aushärtemechanismus (Hansen, 1969)

Polyurethan-Klebstoffe sind durch Polyaddition aushärtende, reaktiv flüssige Einkomponenten-Klebstoffe. Unter Einfluss von Material- und Luftfeuchte härten diese zu einem harten, aber nicht spröden

Klebstofffilm aus, wobei die Mindestfeuchte im Holz 9 % nicht unterschreiten sollte. Die Herstellung erfolgt ohne Zugabe von Lösungsmitteln oder Formaldehyd. Eingesetzt wird PUR-Klebstoff vorwiegend bei Keilzinkenverbindungen sowie bei der Flächenverklebung von Brettsperrholz, wobei die Auftragsmenge in beiden Fällen zwischen 140 g/m² und 180 g/m² liegt. Polyadditionsklebstoffe sind im Allgemeinen nur bedingt hochtemperaturbeständig und vergleichsweise teuer, jedoch flexibel in der Anpassung an die Produktionsbedingungen und einfach in der Anwendung. Melamin-Harnstoff-Formaldehydklebstoffe sind Polykondensationsklebstoffe und in der BSP-Holzwerkstoffherzeugung weit verbreitet. Dieser Zweikomponenten-Klebstoff zeichnet sich durch seine hohe Festigkeit und Altersbeständigkeit aus und härtet durch Zugabe eines Härterers zu einer milchigen, wetterfesten Klebefuge aus. Nachdem der Klebstoff Formaldehyd enthält, müssen die in der ÖNORM EN 14080:2013 definierten Emissionsklassen eingehalten werden. Je nach Herstellungsverfahren beträgt die Auftragsmenge bei der Flächenverklebung zwischen 250 g/m² und 400 g/m², womit verglichen mit PUR-Klebstoffen eine deutlich höhere Menge benötigt wird, vgl. (Hansen, 1969).

Im Allgemeinen ist bei der Verwendung von Klebstoffen auf die Einhaltung der vorgeschriebenen offenen und geschlossenen Zeit zu achten. Unter der offenen Zeit wird jene Zeitdauer verstanden, die für die Vorbereitung und Flächenverklebung des BSP-Elements bis hin zur Aufbringung des Pressdruckes benötigt werden darf. Im Gegensatz dazu wird durch die geschlossene Zeit die Mindestdauer beschrieben, in der das BSP-Element unter vollem Pressdruck gehalten werden muss. Die Zeitdauer zwischen Hobelung und Verpressung sollte entsprechend den Richtlinien nach ÖNORM EN 14080:2013 max. 24 Stunden betragen, um einerseits Krümmungen im Rohmaterial zu vermeiden und andererseits eine Reaktivierung der Oberfläche zur Verbesserung der Verklebungseigenschaften zu erzielen. Die Höhe des Pressdrucks ist in erster Linie von der eingesetzten Pressentechnologie abhängig. Während hydraulische Pressen Drücke bis zu 1 N/mm² erreichen können, liegt das Maximum von Vakuumpressen bei rund 0,1 N/mm². Mit sinkendem Pressdruck steigen im Allgemeinen die Anforderungen an das Ausgangsmaterial hinsichtlich Ebenheit, Krümmungsfreiheit und Dickentoleranzen.

2-1.3 HERSTELLUNG

Die Herstellung von Brettsperrholz setzt sich aus einer bestimmten Anzahl unterschiedlicher Produktionsprozesse zusammen. In Abbildung 2.5 sind die grundlegenden Bestandteile einer BSP-Fertigung dargestellt.

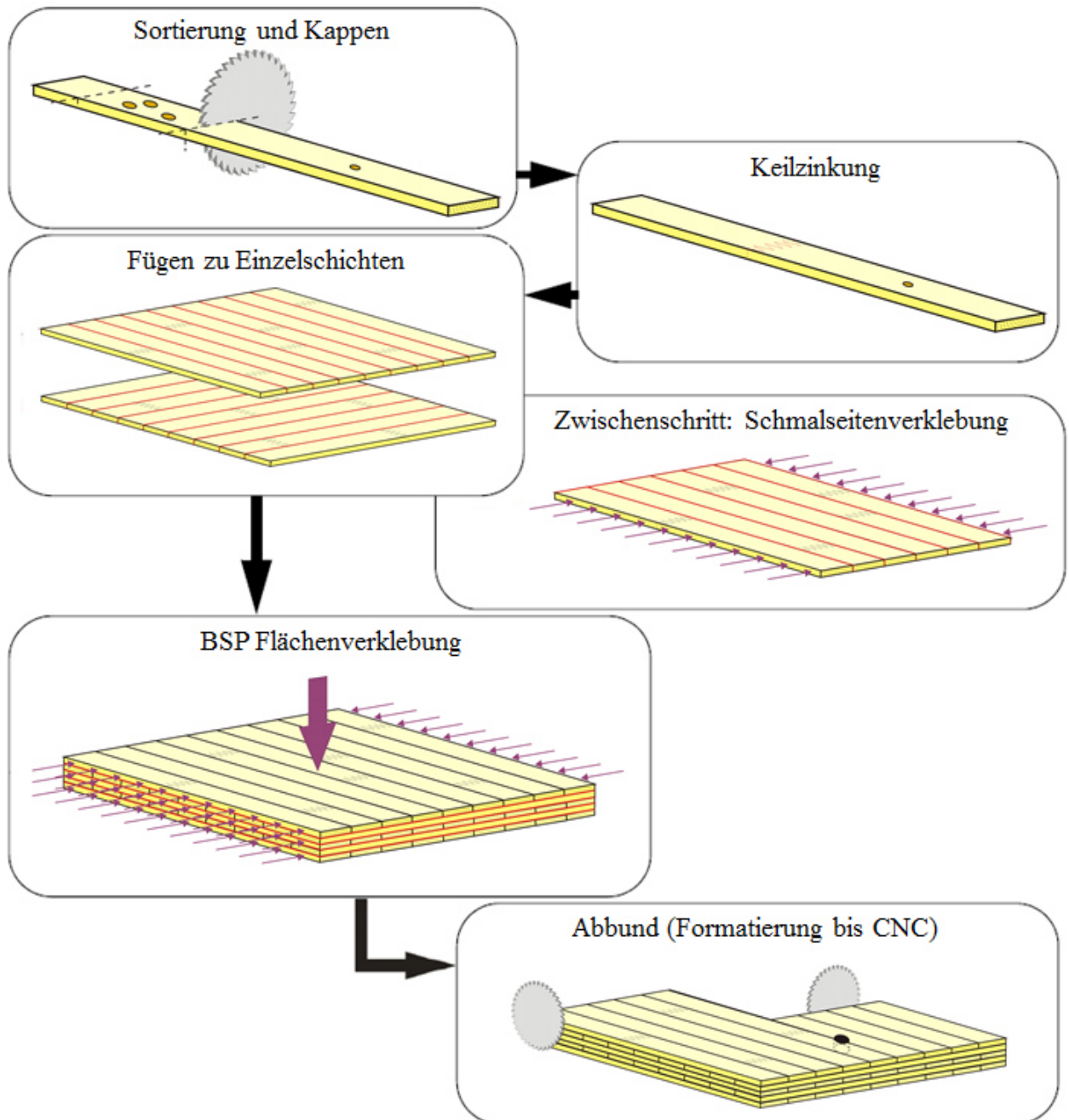


Abbildung 2.5: Produktionsprozess von Brettsperrholz (Schickhofer, et al., 2010 S. C-11)

2-1.3.1 Schnittholzsortierung

Für die Herstellung von Brettsperrholz werden technisch getrocknete und festigkeitssortierte Schnittholzlamellen als Ausgangsprodukt herangezogen, wobei der Trocknungsprozess sowie die Festigkeitssortierung zumeist an den Schnittholzproduzenten ausgelagert werden. Die Holzfeuchtigkeit wird an die Vorgaben des Klebstoffherstellers angepasst und variiert i.d.R. zwischen 10 und 14 %. Wie in Kapitel 2-1.2.1 beschrieben, werden überwiegend Schnittholzlamellen der Festigkeitsklasse C24 nach

ÖNORM EN 338:2016 eingesetzt. Für Querlagen können aber auch niedrigere Festigkeitsklassen wie beispielsweise C16 oder C18 verwendet werden. Die vorwiegend eingesetzte Holzart ist Fichte, wobei auch Tanne im gleichen Sortiment enthalten sein darf. Andere Nadelholz- oder auch Laubholzarten werden nur in Ausnahmefällen bzw. für ästhetische Zwecke herangezogen, vgl. (Schickhofer, et al., 2010 S. C-11).

2-1.3.2 Herstellung von Brettlamellen

Für die Herstellung von großformatigen Brettsperrholzelementen werden Brettlamellen mittels Keilzinkung in ihrer Länge addiert. Gleichzeitig kann die Festigkeitsklasse der Rohlamellen im Zuge dieses Arbeitsschrittes gesteigert werden, indem unerwünschte Fehlstellen wie beispielsweise Äste, Risse, Verfärbungen oder Wuchsunregelmäßigkeiten entfernt werden. Aufgrund der hohen Anforderungen an die Verklebung, kommt vor allem einer exakten Dickenhobelung der Brettlamellen eine besondere Bedeutung zu, da bei ungleichmäßigen Brettstärken innerhalb einer Schicht kein gleichmäßiger Anpressdruck erreicht wird und somit unzulässig dicke Klebstoffugen resultieren, die nicht über die geforderte Bindefestigkeit verfügen, vgl. (Schickhofer, et al., 2010 S. C-8).

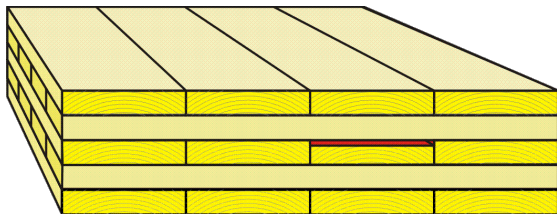


Abbildung 2.6: Brettsperrholzquerschnitt mit einer fehlerhaft ausgehobelten Brettlamelle (Schickhofer, et al., 2010 S. C-12)

2-1.3.3 Einzelschicht – Brettschmalseitenverklebung

Das Fügen zu Einzelschichten kann im Allgemeinen auf zwei unterschiedliche Arten durchgeführt werden. Entweder werden die Schnittholzlamellen mittels Schmalseitenverklebung zu einer Einschichtplatte vorbereitet, oder die Bretter werden lose nebeneinander aufgelegt. In beiden Fällen wird besonders auf die Reduktion von Fugen zwischen den nebeneinanderliegenden Brettlamellen geachtet, da einerseits eine deutliche Verbesserung der bauphysikalischen wie auch ästhetischen Eigenschaften von Brettsperrholz eintritt und andererseits ein idealer Untergrund für die Verwendung stiftförmiger Verbindungsmittel geschaffen werden kann.

Das Konzept der Schmalseitenverklebung sieht die Herstellung von Einschichtplatten vor der Flächenverklebung zu Brettsperrholz vor. Da die Längskrümmung vorgefertigter Einschichtplatten im Gegensatz zu Brettlamellen wesentlich geringer ausfällt, kann eine Fugenbreite von max. 2 mm sichergestellt werden.

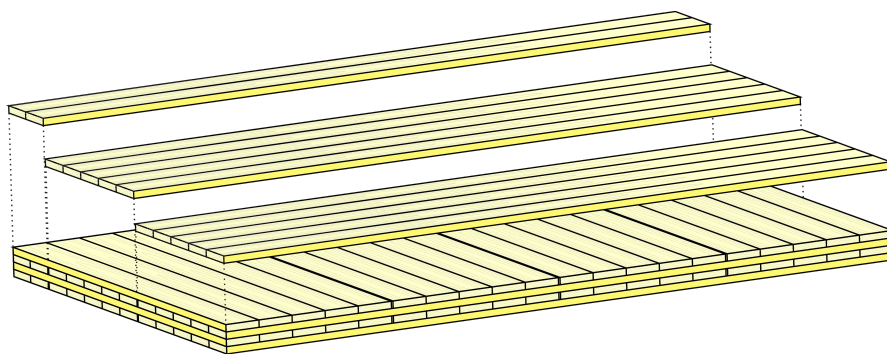


Abbildung 2.7: Brettsperrholz aus Einschichtplatten mit minimalen Fugenbreiten (Schickhofer, et al., 2010 S. C-13)

Alternativ dazu können die Fugen während dem Prozess der Flächenverklebung minimiert bzw. beseitigt werden, indem ein vordefinierter Pressdruck auf die Schmalseiten der Brettsperrholzplatte aufgebracht

wird. Dabei muss jeweils die Gesamtbreite der zu pressenden Schichten größer als die Länge der orthogonal angeordneten Schichten sein. Das Aufquellen des flächig aufgetragenen Klebstoffes sorgt zusätzlich für eine bestimmte, jedoch unvollständige Breitenverklebung während dem Pressvorgang, vgl. (Schickhofer, et al., 2010 S. C-12-13).

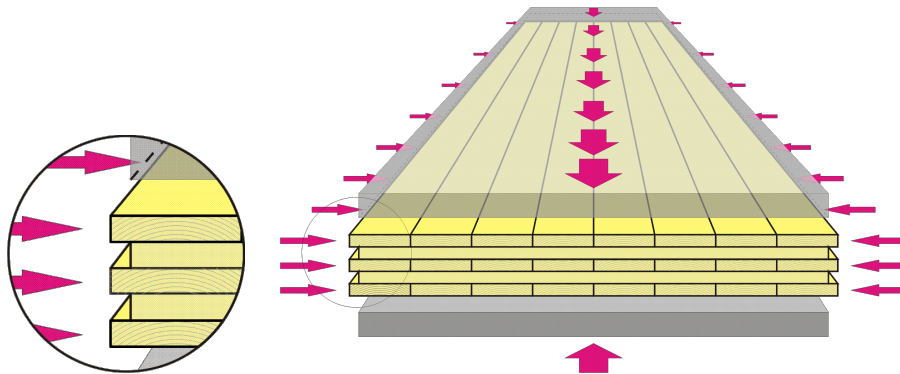


Abbildung 2.8: Schmalseitenpressung im Flächenpressbett (Schickhofer, et al., 2010 S. C-13)

2-1.3.4 Flächen – Klebstoffauftrag

Der Arbeitsprozess der Flächenverklebung setzt sich im Allgemeinen aus der abwechselnden und symmetrischen Schichtung von Längs- und Querlagen zusammen, wobei zwischen jeder Lage eine genau definierte Auftragsmenge eines bestimmten Klebstofftyps aufgebracht wird. Die Hersteller von Klebstoffen weisen in ihren Verarbeitungsrichtlinien auf weitere Randbedingungen wie beispielsweise Pressdruck, Holzfeuchte, Verarbeitungstemperatur wie auch Aushärtezeit sehr genau hin.

Der Klebstoffauftrag für die Flächenverklebung kann grundsätzlich auf zwei verschiedene Arten abgewickelt werden. Das aus der Brettschichtproduktion bekannte Lamellen-Durchlaufverfahren sieht vor, die einzelnen Brett lamellen durch eine stationäre Anlage mit Klebstoff zu benetzen und anschließend vereinzelt am Pressbett zu positionieren, siehe Abbildung 2.9.

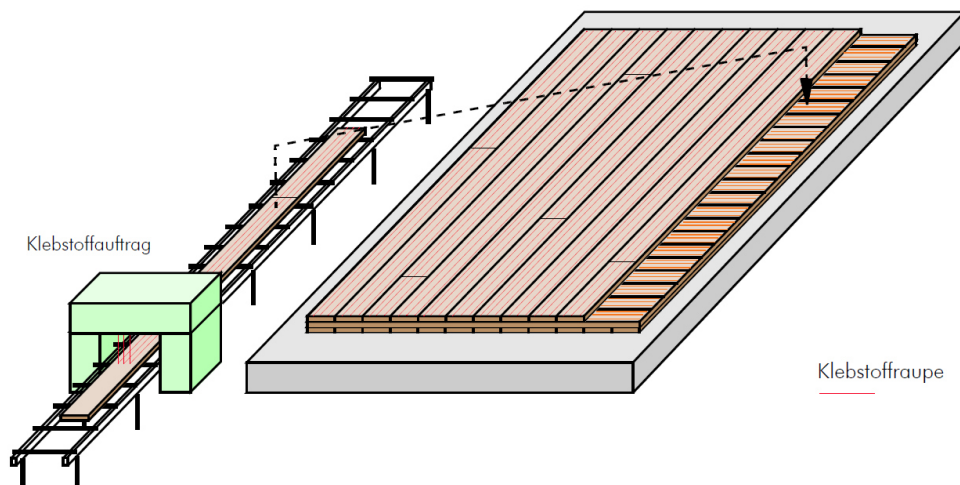


Abbildung 2.9: Flächenverklebung – stationäre Anlage zum Klebstoffauftrag (Schickhofer, et al., 2010 S. C-14)

Alternativ dazu kann die Schichtung der einzelnen Längs- und Querlagen mit Hilfe eines Vakuumhebers und die Klebstoffbenetzung mittels mobiler Auftragsvorrichtung abgewickelt werden, siehe Abbildung 2.10, vgl. (Schickhofer, et al., 2010 S. C-13-14).

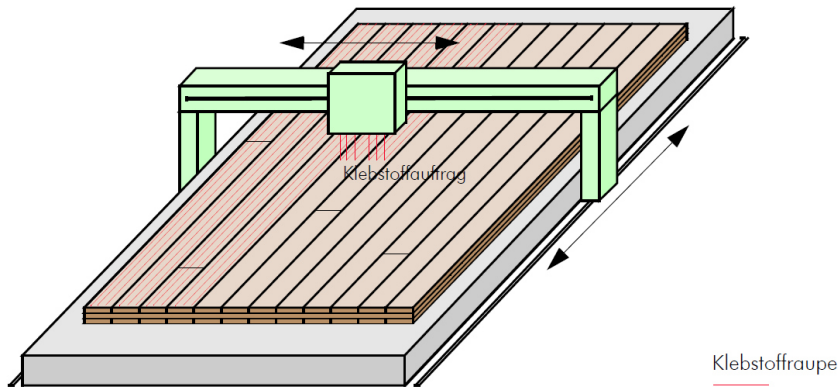


Abbildung 2.10: Flächenverklebung – mobile Anlage zum Klebstoffauftrag (Schickhofer, et al., 2010 S. C-14)

2-1.3.5 Flächenverpressung

Die Anforderungen an die Flächenverpressung von Brettsperrholz stammen aus der geschichtlichen Entwicklung der Klebstofffugengüte für Brettschichtholz (kurz: BSH). Eine dieser Anforderungen nach ÖNORM EN 14080:2013 sieht einen Mindestpressdruck von $0,6 \text{ N/mm}^2$ bis $0,8 \text{ N/mm}^2$ vor, der i.d.R. hydraulisch aufgebracht wird. Durch den hohen Pressdruck kann sichergestellt werden, dass die einzelnen Schichten während des Pressvorgangs dicht aneinander liegen, auch wenn die Bretter vereinzelt verdreht oder auch gekrümmt sind. Um einerseits Krümmungen im Rohmaterial zu vermeiden und andererseits eine Reaktivierung der Oberfläche zur Verbesserung der Verklebungseigenschaften zu erlangen, sollte die Zeitdauer zwischen Hobelung und Verpressung gemäß den Richtlinien nach ÖNORM EN 14080:2013 24 Stunden nicht überschreiten. Das zweite Verfahren der Flächenverklebung funktioniert mittels Vakuumtechnik. Die mit Klebstoff versehenen und zu Brettsperrholz geschichteten Einzellagen werden in eine luftdichte Folie eingehüllt. Indem die Luft während des Pressvorgangs abgesaugt wird, können Drücke bis zu $0,1 \text{ N/mm}^2$ aufgebaut werden. Aufgrund des vergleichsweise geringen Flächendruckes müssen die Brettlamellen mit Entlastungsnuten versehen werden, die jedoch zu einer Reduktion der Rollschubfestigkeit führen. Sollten die Anforderungen des Rohmaterials betreffend Ebenheit, Verdrehung sowie Längs- und Querkrümmung entsprechend hoch angesetzt werden, können die Entlastungsnuten auch entfallen. Zusammengefasst kann festgehalten werden, dass beide Verfahren der Flächenverpressung gewisse Vor- und Nachteile mit sich bringen. Ausschlaggebend ist jedoch die Tatsache, dass bei Verringerung des Flächendruckes deutlich höhere Anforderungen an das Rohmaterial resultieren, da ansonsten eine Reduktion der systembedingten Rollschubfestigkeit anhand von Entlastungsnuten in Kauf genommen werden muss, vgl. (Schickhofer, et al., 2010 S. C-15).

2-1.3.6 Generalkeilzinkenverbindung

Die Generalkeilzinkenverbindung verfolgt im Gegensatz zur großformatigen Herstellung von Brettsperrholz das Ziel, in erster Linie kleinformatige BSP-Elemente herzustellen und in weiterer Folge mittels Keilzinkung zu verbinden. Aufgrund des geringeren Produktionsformates müssen auf diese Weise deutlich geringere Kräfte aufgebaut bzw. von den Maschinen aufgenommen werden. In der Praxis wird zumeist das aus der BSH-Produktion bekannte Generalkeilzinkenprofil mit einer Zinkenlänge von 50 mm übernommen, welches in der ÖNORM EN 14080:2013 verankert ist. Die Norm schreibt zudem an den Stellen der Keilzinkenverbindung eine Abminderung der Biegefestigkeit um 25 % vor, was jedoch bereits in der Planung berücksichtigt werden kann und somit kaum negative Auswirkungen mit sich führt, vgl. (Schickhofer, et al., 2010 S. C-16).

2-1.3.7 Abbund – Finish

Nach der Verklebung bzw. Verpressung der Brettsperrholzelemente erfolgt der abschließende Arbeitsprozess des Abbunds. Der Zuschnitt wird zumeist mittels hochmoderner CNC-gesteuerter (engl.: computerized numerical control) Portalbearbeitungsmaschinen millimetergenau abgewickelt. Je nach

projektspezifischen Anforderungen an das Bauteil kann sich der Abbund aus mehreren Arbeitsschritten zusammensetzen. Begonnen wird zumeist mit der rechtwinkligen Formatierung der Elemente, gefolgt von dem Herausschneiden von Öffnungen wie beispielsweise Fenster- oder Türen, der Abwicklung von Fräsarbeiten sowie den abschließenden Bohrungen von Steckdosenöffnungen und Anbringungsmöglichkeiten von Hebeschlaufen. Für die Entfernung von Klebstoffresten bzw. der Endbearbeitung von Sichtoberflächen werden zusätzlich großformatige Zylinderschleifmaschinen eingesetzt. In Abbildung 2.11 ist der laufende Abbund eines BSP-Herstellers dargestellt, wobei in der linken Bildhälfte eine Maschine für das Herausschneiden von Öffnungen und in der rechten Bildhälfte eine Anlage für die finale Bearbeitung der Plattenoberfläche platziert ist.

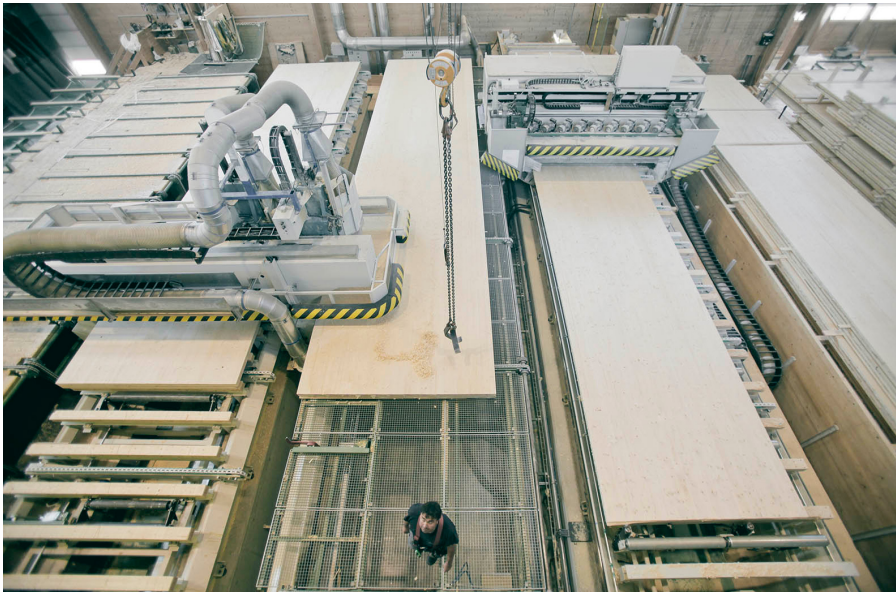


Abbildung 2.11: Abbund von Brettsperrholz (KLH Massivholz GmbH, 2017)

2-1.3.8 Logistik /Montage

Durch den hohen Vorfertigungsgrad der großformatig hergestellten BSP-Elemente kann die Rohbauzeit eines Einfamilienhauses innerhalb von ein bis zwei Werktagen abgeschlossen werden. Die Grundlage dieser verkürzten Montagedauer wird durch eine exakte Planung der Baustellenabwicklung gebildet. Auf diese Weise lassen sich sowohl bedarfsgestaffelte Verladereihenfolgen als auch geeignete Verbindungsmittel für die BSP-Elemente ableiten, wodurch unnötiger Material- wie auch Zeitaufwand verhindert werden kann und die Gesamtkosten der Baustelle kalkulierbar bleiben, vgl. (Schickhofer, et al., 2010 S. C-16).

2-1.4 QUALITÄTSSICHERUNG

Die Qualitätssicherung dient einerseits zur Einhaltung der in den technischen Bewertungen verankerten Mindestanforderungen und andererseits zur Sicherstellung einer hochwertigen und gleichbleibenden Produktqualität. Die für die werkseigene Produktionskontrolle wie auch Fremdüberwachung durchzuführenden Materialprüfungen sind in den Europäischen Technischen Bewertungen (kurz: ETB) geregelt.

2-1.4.1 Werkseigene Produktionskontrolle

Laut den Europäischen Technischen Bewertungen ist in jedem Herstellwerk eine werkseigene Produktionskontrolle einzurichten und durchzuführen. Unter einer werkseigenen Produktionskontrolle wird die vom Hersteller vorzunehmende kontinuierliche Überwachung der Produktion verstanden. Dadurch sollte sichergestellt werden, dass die hergestellten Bauprodukte den Bestimmungen der ETB auf Grundlage des European Assessment Documents EAD 130005-00-0304: 2015-03 für Brettsperrholz

entsprechen. Die werkseigene Produktionskontrolle setzt sich einerseits aus der Überprüfung der Biegefestigkeit von Keilzinkenverbindungen und andererseits aus der Überprüfung der Bindefestigkeit der Flächenverklebung zusammen. Zusätzlich sollten in jeder Arbeitsschicht die Dimensionen mindestens einer BSP-Platte kontrolliert werden.

▪ **Biegefestigkeit der Keilzinkenverbindung**

Die Biegefestigkeit von Keilzinkenverbindung wird nach den Vorgaben gemäß ÖNORM EN 14080:2013 festgestellt. Laut EAD 130005-00-0304: 2015-03 sind jeweils drei Proben je Arbeitsschicht aus der laufenden Produktion zu entnehmen und einer Biegeprüfung nach ÖNORM EN 408:2012 zu unterziehen.

▪ **Bindefestigkeit der Flächenverklebung**

Die Überprüfung der Bindefestigkeit der Flächenverklebung muss laut EAD 130005-00-0304: 2015-03 anhand von Delaminierungsprüfungen nach ÖNORM EN 14080:2013-Methode B abgewickelt werden. Je Pressgang ist mindestens ein Prüfkörper zu entnehmen, dessen Gesamtdelaminierung einen Anteil von maximal 25 % aufweisen darf. Einzelne Klebstoffschichten des Prüfkörpers dürfen einen Delaminierungsanteil von 50 % nicht überschreiten.

2-1.4.2 Fremdüberwachung

In jedem Herstellwerk ist neben einer werkseigenen Produktionskontrolle auch die Fremdüberwachung durch eine notifizierte Produktzertifizierungsstelle vorzusehen. Diese setzt sich einerseits aus einer Erstinspektion im Werk und andererseits aus einer kontinuierlichen Überwachung, Bewertung und Evaluierung der werkseigenen Produktionskontrolle zusammen.

Bei der Erstinspektion hat sich...

„...die notifizierte Produktzertifizierungsstelle gemäß dem festgelegten Prüfplan zu vergewissern, dass das Herstellwerk, insbesondere Personal und Einrichtung und die werkseigene Produktionskontrolle geeignet sind, eine kontinuierliche und fachgerechte Herstellung von Brettsperrholz nach den in den besonderen Teilen sowie in den Anhängen der Europäischen Technischen Bewertung angegebenen Vorgaben sicherzustellen.“ (ETA-14/0349 von Stora Enso Wood Products S. 8)

Bei der kontinuierlichen Überwachung hat die notifizierte Produktzertifizierungsstelle gemäß EAD 130005-00-0304: 2015-03 mindestens zweimal im Jahr eine routinemäßige Überwachung im Herstellwerk durchzuführen.

„Es ist nachzuweisen, dass die werkseigene Produktionskontrolle und das festgelegte Herstellungsverfahren unter Berücksichtigung des festgelegten Prüfplans aufrechterhalten werden.“ (ETA-14/0349 von Stora Enso Wood Products S.8)

2-1.5 TRAGVERHALTEN UND EINSATZBEREICHE

Das Tragverhalten von Brettsperrholz kann im Allgemeinen durch zwei verschiedene Belastungsarten gegliedert werden. Eine Plattentragwirkung entsteht aus einer Belastung senkrecht zur Plattenebene (Decke), wohingegen eine Scheibentragwirkung aus einer Belastung in ihrer Ebene (Wandscheibe) resultiert. Seit der Produktentwicklung bzw. Markteinführung vor rund 20 Jahren hat sich Brettsperrholz als ein vielseitig einsetzbares Bauprodukt etabliert. Die Elemente werden vorwiegend als tragende, aussteifende oder auch nicht tragende Bauteile bei der Errichtung von Ein- und Mehrfamilienhäuser, mehrgeschossigen Wohnbauten, Industrie- und Gewerbebauten sowie Umbauten und Aufstockungen verwendet. Vereinzelt können BSP-Elemente auch für den Bau von Brücken herangezogen werden, vgl. (Schickhofer, et al., 2010 S. B-1).

Zur Veranschaulichung des Potentials dieser Bauweise ist in Abbildung 2.12 eine Studie des derzeit im Bau befindlichen und weltweit höchsten Gebäudes in Holz dargestellt, das mit insgesamt 24 Stockwerken eine Gesamthöhe bis zu 84 Metern erreichen wird.



Abbildung 2.12: Holzhochhaus in Wien (Woschitz, 2017)

2-1.6 TECHNISCHE REGELUNGEN

Obwohl die Forschung zum Thema Brettsperrholz kontinuierlich vorangetrieben wird und bereits eine Vielzahl an wissenschaftlichen Arbeiten vorliegt, gibt es nach wie vor keine einheitliche Produktstandardisierung auf europäischer Ebene. Die Kennzeichnung und Bemessung von Brettsperrholz erfolgt derzeit nach den Europäischen Technischen Bewertungen einzelner Hersteller, wobei keine einheitliche Regelung für die angegebenen Festigkeits- und Steifigkeitskenngrößen vorliegt und somit herstellernerneutrale Ausschreibungen kaum umsetzbar sind. Das Verlangen nach einer europäisch einheitlichen Regelung steigt aus den genannten Gründen weiter an. Mit der ÖNORM EN 16351:2015 liegt zwar bereits eine Produktnorm für BSP vor, aufgrund der fehlenden Harmonisierung erfolgt die CE-Kennzeichnung von Brettsperrholz auf Basis von Europäischen Technischen Bewertungen, die wiederum über ein Europäisches Bewertungsdokument EAD 130005-00-0304: 2015-03 geregelt sind. Die Harmonisierung von Normen wird im Amtsblatt der Europäischen Union bekannt gegeben, wobei auch der Termin fixiert wird, ab dem die Anwendung dieser Norm möglich ist.

2-1.6.1 Europäisch Technische Bewertung ETB (engl.: ETA)

Seit Inkrafttreten der Europäischen Bauproduktenverordnung EUV 305/2011 am 1. Juli 2013 werden bis dahin gültige Europäische Technische Zulassungen (ETZ) durch Europäische Technische Bewertungen (ETB) abgelöst und dienen als allgemein anerkannter Nachweis zur technischen Brauchbarkeit eines Bauproduktes im Sinne der Bauproduktenverordnung in den Mitgliedsstaaten der EU. Eine Europäische Technische Bewertung (ETB) wird nur für Bauprodukte vorgenommen, die nicht durch den Anwendungsbereich einer nach der Bauprodukteverordnung EUV 305/2011 harmonisierten Europäischen Norm abgedeckt sind. Die Grundlage für die Erstellung der Europäischen Technischen Bewertung (ETB) wird durch das Europäische Bewertungsdokument EAD 130005-00-0304: 2015-03 gebildet. Die Bewertungen beruhen auf Prüfungen, Untersuchungen und technische Gutachten durch Institutionen Technischer Bewertungsstellen (engl.: technical assessment body TAB), die von der Europäischen Organisation für Technische Bewertungen (engl.: European Organisation of Technical Assessment EOTA) anerkannt sind. In Österreich wird die technische Bewertungsstelle durch das Österreichische Institut für Bautechnik (OIB) repräsentiert. Mit der erteilten ETB/ETA ist der Produkthersteller befähigt sein Bauprodukt mit der CE-Kennzeichnung zu vermerken, wodurch ein ungehinderter Zugang zum europäischen Markt bzw. deren Vertragsstaaten gegeben ist. Neben der Europäischen Technischen Bewertung gibt es die Möglichkeit einer nationalen Zulassung, wie beispielsweise für Deutschland. Als Zulassungsstelle ist hierfür das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) benannt, vgl. (Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB), 2017).

2-1.6.2 Europäische Normung

Für das Bauprodukt Brettspertholz ist derzeit die Europäische Norm ÖNORM EN 16351:2015 gültig. Nachdem diese Norm bisweilen nicht harmonisiert ist, bedarf es der herstellereinspezifischen Ausstellung Europäischer Technischer Bewertungen (ETB) durch eine Technische Bewertungsstelle, wie beispielsweise in Österreich das OIB, als Nachweis zur technischen Brauchbarkeit eines Bauproduktes im Sinne der Bauproduktenverordnung EUV 305/2011. Sobald eine Harmonisierung durch das Europäische Komitee für Normung (engl.: European Committee for Standardisation CEN) erfolgt, werden die Europäischen Technischen Bewertungen (ETB) von der ÖNORM EN 16351:2015 abgelöst, wodurch die Leistungserklärung der Produkthersteller ausschließlich auf Grundlage dieser Norm erfolgt.

2-2 MARKTANALYSE

2-2.1 ENTWICKLUNG

Die Entwicklung von Brettspertholz kann im Grunde genommen auf den Gedanken zurückgeführt werden, eine verbesserte Nutzung der in der Sägeindustrie anfallenden Seitenware zu erzielen. Ein positiver Aspekt dieser Entwicklung zugutekommt beruht auf der Tatsache, dass die mechanischen Festigkeitseigenschaften der im äußeren Stammbereich befindlichen Seitenware höher sind als jene im Umkreis der Markröhre. Die Entwicklung von Holzwerkstoffen wie Brettspertholz wurde zudem durch den Einsatz von Klebstoffen zur kraftschlüssigen Verbindung einzelner Lagen bzw. Schichten maßgeblich vorangetrieben. Ein weiterer Aspekt dieser positiven Entwicklung kann in der massiven Gestalt von BSP-Elementen ausgemacht werden. Durch die orthogonale Anordnung einzelner Lagen wird nicht nur das Schwinden und Quellen des Holzes auf ein Minimum reduziert, zusätzlich können Lasten zweidimensional abgetragen werden. Im Gegensatz zur Holzleichtbauweise erfolgt bei der Holzmassivbauweise eine klare Trennung zwischen tragendem Element sowie Dämm- bzw. Installationsebene, wodurch eine Vielzahl an ausführungstechnischen Vorteilen resultiert. Mit der Entwicklung von Brettspertholz konnte nicht nur ein Holzprodukt geschaffen werden, das verbesserte Festigkeitseigenschaften aufweist, zusätzlich konnten erhebliche Verbesserungen die den Brandschutz, Schallschutz wie auch die Luftdichtigkeit betreffen, erzielt werden. Mit der Kombination von Brettspertholz als flächiges Bauteil mit Brettschichtholz als stabförmiges Bauteil gelingt es die großen Anforderungen der Architektur spielend zu erfüllen. Das Angebot ursprünglich angedachter Seitenware war aufgrund eines stark steigenden Marktwachstums von Brettspertholz sehr schnell ausgeschöpft, wodurch heutzutage vermehrt auf Hauptware zurückgegriffen wird, vgl. (Schickhofer, et al., 2010).

2-2.2 WACHSTUMSPROGNOSE

Die Produktion von Brettspertholz folgt eindeutig dem stark steigenden Bedarf. Ein rasantes jährliches Marktwachstum gemessen an der Gesamtproduktion von Brettspertholz kann Abbildung 2.13 entnommen werden. Während noch zu Beginn der Markteinführung Anfang der 90er Jahre eine Gesamtkapazität von rund 25.000 m³ zur Verfügung stand, wird bereits im Jahre 2018 eine Überschreitung der Grenze von 1.000.000 m³ Brettspertholz prognostiziert. Aktuell werden rund 770.000 m³ Brettspertholz produziert, wobei mit einer Jahresproduktion von 500.000 m³ rund zwei Drittel der Menge aus Österreich stammen, vgl. (Schickhofer, et al., 2017 S. 9).

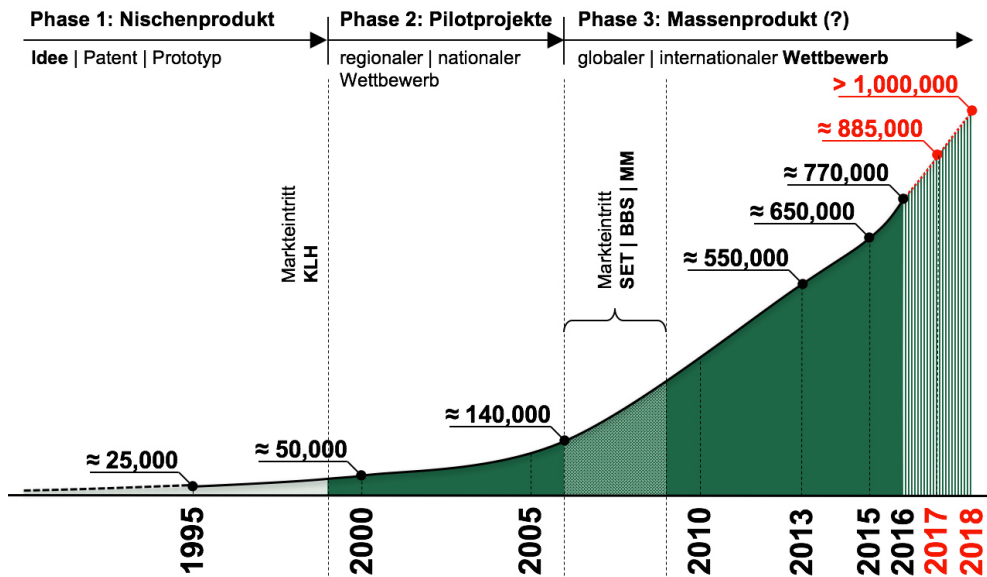


Abbildung 2.13: Wachstumsprognose von Brettsperrholz (Schickhofer, et al., 2017)

Die vorliegende Wachstumskurve von Brettsperrholz kann im Allgemeinen in drei Phasen unterteilt werden. Phase 1 beschreibt die Zeitdauer von der Idee bis hin zum Prototyp. In jener Phase wird das Produkt Brettsperrholz lediglich als Nischenprodukt angesehen und muss sich während des Übergangs zu Phase 2 mit diversen Pilotprojekten behaupten. Im Jahre 1997 erfolgt der Markteintritt der Fa. KLH Massivholz in Katsch a. d. Mur. Beinahe gleichzeitig wird die Produktion der Fa. Santner in Unternberg, mittlerweile Binderholz, eröffnet. Anhand steigender Produktionskapazitäten wird der regionale wie auch nationale Wettbewerb verschärft, wodurch das Produkt weiter an Attraktivität gewinnt. Alleine in Österreich wird die heimische Kapazität im Jahre 2008 durch den Markteintritt von Stora Enso Timber (kurz: SET) und Mayr Melnhof Holz (kurz: MM) deutlich gesteigert. Auch die Kapazitäten von KLH und Binderholz werden kontinuierlich ausgebaut. In Phase drei werden bereits internationale Projekte abgewickelt und BSP-Werke europaweit errichtet, durch die ein internationaler bzw. globaler Wettbewerb entsteht. Die aktuelle Tendenz der Wachstumskurve lässt sehr stark darauf hinweisen, dass weitere Kapazitätserweiterungen folgen und der Weg zu einem globalen Massenprodukt geebnet ist.

2-2.2.1 Aktuelle Kapazitätserweiterung

Die Vielzahl der Vorteile von Brettsperrholz steigert nicht nur die Akzeptanz und Attraktivität dieser Bauweise, zur Abdeckung der Nachfrage werden mittlerweile weltweit neue Produktionsstätten errichtet. In vielen Ländern, in denen erste Vorzeigeprojekte in BSP-Bauweise errichtet wurden, ist ein Streben nach der Errichtung einer eigenen BSP-Industrie erkennbar. Auf diese Weise sollten einerseits lange Transportwege und Lieferzeiten vorwiegend europäischer Firmen vermieden und andererseits die Wertschöpfung im eigenen Land behalten werden. Ein großer Vorteil dieses Produktes besteht darin, dass der Rohstoff Holz, der für die Herstellung von Brettsperrholz benötigt wird, in beinahe jedem Land der Erde zur Verfügung steht und die Produktion relativ einfach aufgebaut und betrieben werden kann. In Abbildung 2.14 ist die derzeitige Neubauaktivität von BSP-Produktionsstätten dargestellt.



Abbildung 2.14: Zuwachs von BSP-Produktionsstätten (Jauk, 2017)

In Abbildung 2.14 ist gut zu erkennen, dass nicht nur in Europa an einer kontinuierlichen Kapazitätserweiterung festgehalten wird, sondern Produktionsstätten für Brettsperrholz mittlerweile in vielen Ländern der Welt errichtet und betrieben werden. Die wichtigsten europäischen Investitionen sind mit den Nummern 1 bis 4 gekennzeichnet, wobei Nummer 1 die Kapazitätserweiterung der Firma Martinson im Norden von Schweden betrifft. Nummer 2 charakterisiert die von der Fa. CLT Finland Oy geplante Neuerrichtung des bis dato größten BSP-Werkes in Finnland. Nummer 3 kennzeichnet die von der österreichischen Firma Binderholz getätigte Umrüstung einer Brettschichtholzfertigung auf die Herstellung von Brettsperrholz in Burgbergheim, Deutschland. Mit Nummer 4 ist der Ausbau der Produktionskapazität von Hasslacher Norica Timber in Stall im Mölltal in Verbindung zu bringen. In Nordamerika gibt es zurzeit vier industrielle Fertigungen von Brettsperrholz. Mit Nummer 5 sind zwei weitere Fertigungen, die sich zurzeit im Aufbau befinden und bis 2018 fertiggestellt werden, gekennzeichnet. Noch heuer startet mit Nummer 6 eine BSP-Fertigung in Australien. In Summe wird eine Produktionskapazität von 60.000 m³ pro Jahr zur Verfügung stehen. Auch in Japan, Nummer 7, wird massiv in die Errichtung einer eigenen BSP-Industrie investiert. Bis zum Jahre 2024 sollte die derzeitige Produktionskapazität von rund 60.000 m³ auf bis zu 500.000 m³ ausgebaut werden, vgl. (Jauk, 2017).

2-2.2.2 Ausblick

Branchenexperten sind sich einig und sehen vor allem in Nordeuropa aber auch Frankreich großes Wachstumspotential von Brettsperrholz. In Skandinavien wird besonders Norwegen als großer Hoffungsmarkt betrachtet. Neben dem Kapazitätsausbau von Martinson befasst sich zurzeit auch Stora Enso mit der Ausarbeitung einer Machbarkeitsstudie für ein weiteres BSP-Werk in Schweden, welches eine jährliche Gesamtkapazität von 75.000 m³ aufweisen sollte. Auch die russische Segezha-Gruppe plant die Errichtung des ersten BSP-Werkes in Russland. In Leeds, Großbritannien geht noch im Jahr 2017 eines der größten BSP-Werke mit einer Jahreskapazität von 120.000 m³ in Betrieb. Vor allem in Nordamerika ist zurzeit eine intensive Forschungsaktivität von Brettsperrholz erkennbar, was ein klares Indiz für die Errichtung weiterer Produktionsstandorte darstellt. Auch in Ländern wie Japan und Australien ist ein kräftiger Ausbau der Produktionskapazität von BSP erkennbar.

In Abbildung 2.15 ist ein aktueller Ausblick zur weltweiten Entwicklung von BSP-Produktionsstätten abgebildet, wobei die Höhe der Markierungen die Produktionskapazitäten einzelner Standorte symbolisiert.

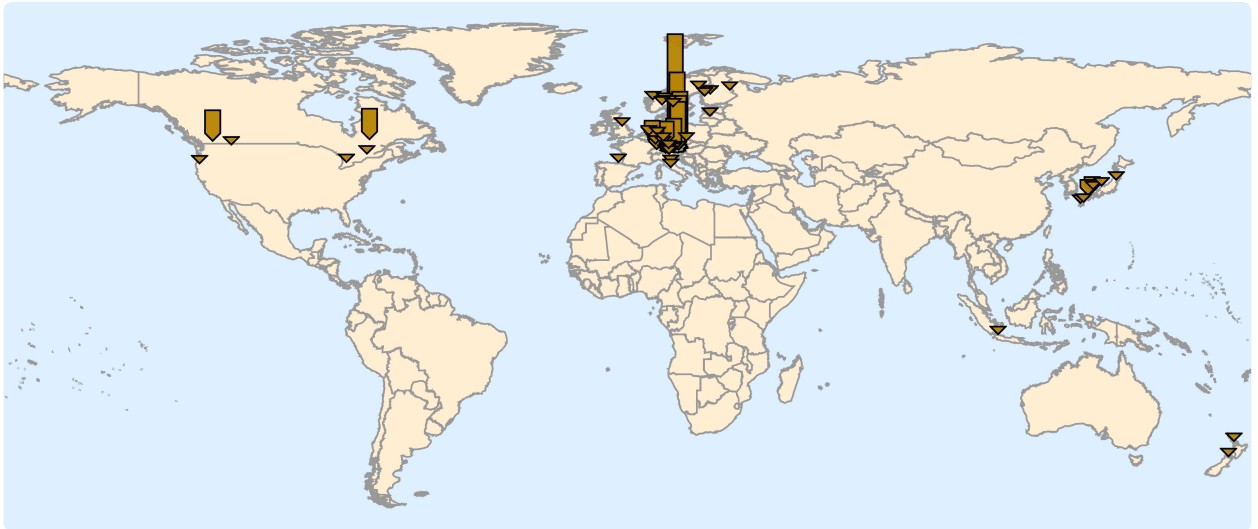


Abbildung 2.15: Prognostizierter Zuwachs von BSP-Produktionen (Schickhofer, et al., 2017 S. 8)

Aus Abbildung 2.15 kann abgeleitet werden, dass neben Europa vor allem Nordamerika, Kanada, Australien, Neuseeland und Japan die wichtigsten Zukunftsmärkte von Brettspertholz darstellen.

Tabelle 2.1 fasst die erwartete Entwicklung von BSP-Produktionsstandorten in Europa, Nordamerika (kurz: NA), Japan (kurz: JP) und Australien/Neuseeland (kurz: AUS/NZ) zahlenmäßig zusammen.

Tabelle 2.1: Prognostizierter Zuwachs von BSP-Produktionen (Schickhofer, et al., 2017 S. 8)

Herstelleranzahl in	2016	2017	2018
Europa	~ 29	~ 32	~ 37
NA, JP, AUS/NZ	~ 15	~ 16	~ 17
Summe	~ 44	~ 48	~ 54

Während 2016 rund 29 Standorte in Europa und ca. 15 weitere Standorte in wichtigen Zukunftsmärkten angesiedelt sind, sollten bereits im Jahre 2018 weitere 8 BSP-Werke in Europa und weitere zwei Werke außerhalb Europas errichtet werden. Auf diese Weise wird die international verfügbare Gesamtkapazität von Brettspertholz nach und nach ausgebaut und weiter in die Höhe getrieben.

2-2.3 PRODUKTIONSVOLUMEN IN ÖSTERREICH

Wie bereits aus Kapitel 2-2.2 zu entnehmen ist, liegt die aktuell hochgerechnete Gesamtproduktion von Brettspertholz in Österreich bei rund 500.000 m³ pro Jahr. Aufgrund des nach wie vor steigenden Marktzuwachses wird kontinuierlich in den Ausbau der heimischen Produktionskapazität investiert. In Abbildung 2.16 ist eine vom Fachmagazin Holzkurier erstellte BSP-Landkarte von Österreich dargestellt, wobei die zugehörigen Produktionsmengen je Hersteller anhand der Größe eines rot eingefärbten Kreises ausgemacht werden können.

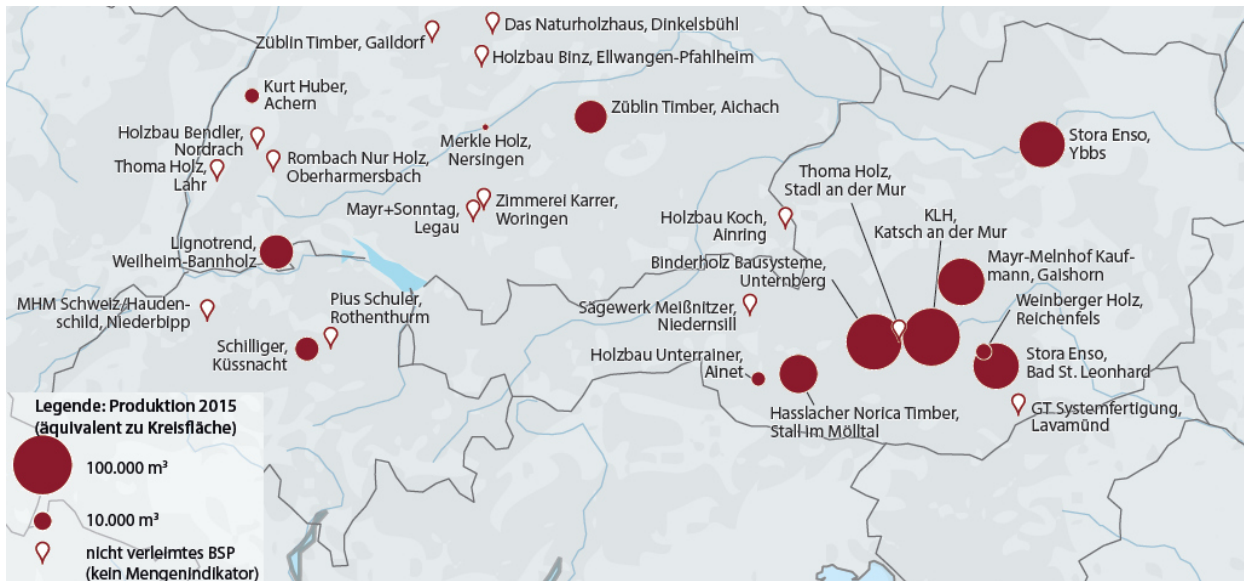


Abbildung 2.16: BSP-Landkarte von Österreich (Holzkurier BSP-Special, 2016 S. 7)

Abbildung 2.16 zeigt, dass sich das gesamte Produktionsvolumen von Brettsperrholz in Österreich annähernd aus der Herstellmenge der fünf größten Produzenten zusammensetzt. In Tabelle 2.2 sind die aus dem Jahr 2015 stammenden Produktionsmengen österreichischer BSP-Hersteller mit einer Prognose für das Jahr 2016 dargestellt.

Tabelle 2.2: Produktionsvolumen von BSP in Österreich (Holzkurier BSP-Special, 2016 S. 6)

Hersteller	Standort	Produktion 2015 [m³]	Planmenge 2016 [m³]	1-Schicht Kapazität [m³]
Binderholz	Unternberg	85.000	95.000	45.000
Hasslacher Norica	Stall im Mölltal	35.000	40.000	k.A.
Holzbau Unterrainer	Ainet	4.500	10.000	10.000
KLH Massivholz	Katsch a. d. Mur	83.000	88.000	42.000
Mayr-Melnhof Holz	Gaishorn	44.000	60.000	25.000
Stora Enso	Bad St. Leonhard Ybbs	100.000	130.000	46.000
Weinberger Holz	Reichenfels	5.500	5.500	k.A.
Summe		357.000	428.500	

Tabelle 2.2 veranschaulicht, dass im Jahr 2015 eine Gesamtmenge von 357.000 m³ BSP in Österreich produziert wurde. Für das Jahr 2016 wurde ein Gesamtvolumen von rund 428.500 m³ prognostiziert. Im Vergleich zu der von (Schickhofer, et al., 2017) angegebenen österreichischen Gesamtproduktionsmenge von rund 500.000 m³ BSP pro Jahr, kann eine Differenz von rund 70.000 m³ festgestellt werden. Diese Differenz beruht einerseits auf der Tatsache, dass die vorliegenden Zahlen der Markterhebung einer vor mittlerweile zwei Jahren durchgeführten Prognose entsprechen und andererseits darauf, dass der von

(Schickhofer, et al., 2017) angenommene österreichische Marktanteil von zwei Dritteln an der globalen Gesamtproduktion ebenfalls auf einer Schätzung beruht. Abschließend kann davon ausgegangen werden, dass die österreichische Produktionsmenge aufgrund kontinuierlicher Kapazitätserweiterungen schon bald die Grenze von 500.000 m³ pro Jahr erreichen wird. Aufgrund internationaler Investitionstätigkeiten in die Neuerrichtung von Brettsperrholzproduktionen wird der österreichische Anteil am Gesamtvolumen jedoch konstant geschmälert.

2-3 BRETTSPERRHOLZ-AUSCHNITTE

2-3.1 ALLGEMEINE BESCHREIBUNG

Aufgrund individueller wie auch projektspezifischer Anforderungen an ein Bauwerk ist die Herstellung von Brettsperrholz dadurch gekennzeichnet, dass die Bauteile im ersten Schritt vollflächig gefertigt werden. Zur Erhöhung des Vorfertigungsgrades werden bereits im BSP-Werk Öffnungen für Fenster, Türen oder Giebelwandabschnitte mittels computergesteuerten CNC-Anlagen herausgeschnitten.

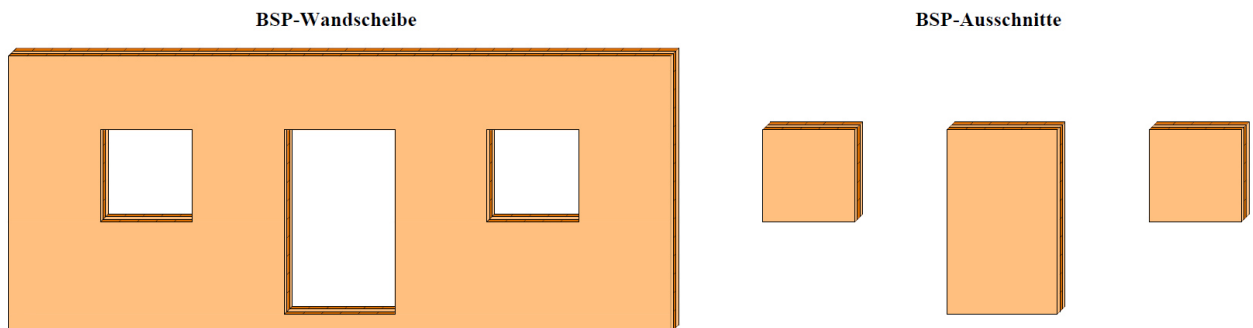


Abbildung 2.17: BSP-Wandscheibe inkl. BSP-Ausschnitte

Nachdem die Ausschnitte aufgrund der vollflächigen Fertigung einen Teil der Verrechnungsfläche bilden, können diese auch im Lieferumfang enthalten sein. Üblicherweise stellen die Ausschnitte für den Kunden jedoch keinen besonderen Mehrwert dar, wodurch der Großteil der Restplatten im Herstellwerk verbleibt und gesammelt als Abfallprodukt gelagert wird. Abbildung 2.18 zeigt die aktuelle Lagerung von BSP-Restplatten am Gelände eines österreichischen Herstellers.



Abbildung 2.18: Lagerung von BSP-Ausschnitten (Fa. KLH Massivholz GmbH)

2-3.1.1 Geometrie

Die Geometrie von BSP-Ausschnitten hängt zur Gänze vom auftragsbezogenen Enderscheinungsbild der Brettsperrholzplatten ab. Zu den häufigsten Geometrien können jedoch die Rechtecks- oder Dreiecksform gezählt werden. Vereinzelt treten auch Ausschnitte mit runder Endgeometrie auf. Neben den soeben beschriebenen großflächigen Ausschnitten fallen beim Formatieren der Platten Besäumabschnitte an, die eine Breite von bis zu 10 cm aufweisen können. In Abbildung 2.19 sind die soeben beschriebenen Geometrieformen von BSP-Ausschnitten dargestellt.

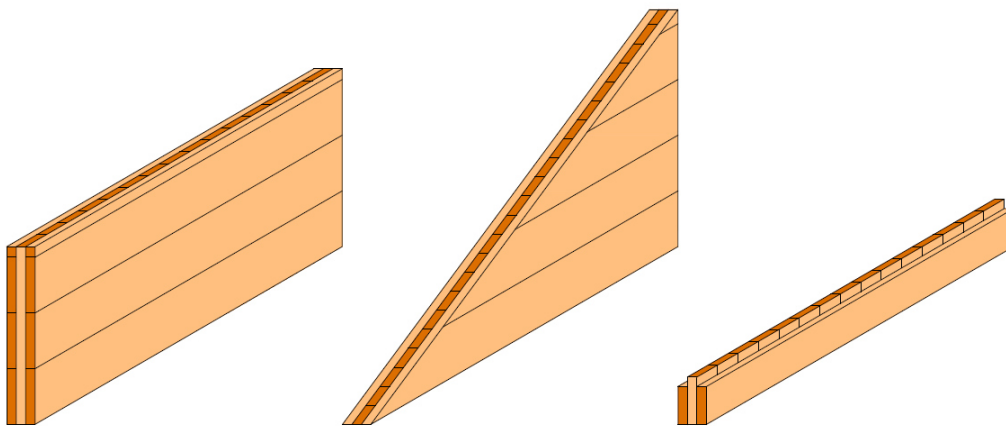


Abbildung 2.19: Häufige Geometrieformen von BSP-Ausschnitten

Das in Abbildung 2.19 links dargestellte Rechteck beschreibt die am häufigsten auftretende Geometrieform von BSP-Ausschnitten. Sehr häufig entstehen solche Ausschnitte durch das Herausschneiden von Fenster- und Türöffnungen aus BSP-Wandscheiben. Diese Geometrieform kann jedoch auch bei der Herstellung eines Stiegenaufgangs bei BSP-Deckenplatten entstehen. Die Dreiecksform in der Mitte resultiert vorwiegend beim Zuschnitt einer Giebelwand. Das Reststück rechts stellt einen Besäumabfall dar, der im Grunde genommen bei jedem Element in unterschiedlicher Breite anfällt.

2-3.1.2 Abmessungen und Plattenaufbau

Die Abmessungen der BSP-Ausschnitte hängen im Allgemeinen von der Architektur des zu erzeugenden Projektes ab. Die Länge und Breite rechteckiger Ausschnitte variiert i.d.R. zwischen einem halben und zwei Meter. Dreieckig geformte Giebelwandausschnitte können abhängig vom Winkel eine Seitenlänge von drei bis vier Meter erreichen. Besäumabschnitte, die bei der rechtwinkligen Formatierung von BSP-Platten anfallen, werden aus Gründen einer vereinfachten Manipulationsmöglichkeit auf eine Länge von rund drei bis vier Meter abgelängt. Der Aufbau der BSP-Elemente wird den statischen Anforderungen an ein Projekt angepasst. Abbildung 2.20 zeigt die häufigsten Aufbauten von Brettsperrholz.

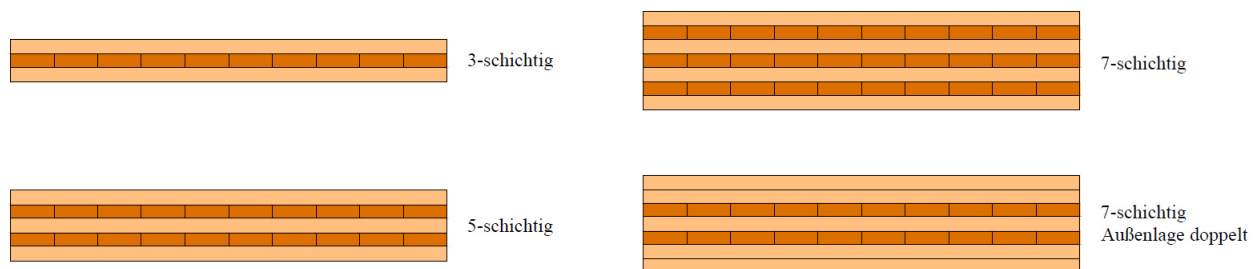


Abbildung 2.20: Plattenaufbauten von BSP-Ausschnitten

Wie in Abbildung 2.20 ersichtlich, wird Brettsperrholz je nach konstruktiven Anforderungen 3-, 5- oder 7-schichtig aufgebaut. Ja nach statischer Anforderung kann auch eine Verdoppelung der beiden äußeren Lagen angeordnet werden, um eine erhöhte Lastabtragung in Spannrichtung zu erzielen. Am häufigsten werden BSP-Elemente als 3- bzw. 5-schichtige Platten aufgebaut, wodurch auch der Großteil der Ausschnitte diesen Plattenaufbau besitzt.

2-3.2 GESAMTMENGE IN ÖSTERREICH

Die jährliche Gesamtmenge von BSP-Ausschnitten hängt im Wesentlichen vom Bearbeitungsaufwand bzw. der Gesamtfläche von Öffnungen in Brettsperrholzelementen ab. Aus dem Fachmagazin (Holzkurier, 2013 S. 30) geht hervor, dass der durchschnittliche Anteil von BSP-Ausschnitten gemessen

an der gesamten Produktionsmenge von Brettsperrholz bei ca. 10-15 % liegt. Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass vom Kunden mindestens 50% der BSP-Ausschnitte im Herstellwerk zurückgelassen werden.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Ausschnittmengen aller in Tabelle 2.2 gelisteten österreichischen BSP-Hersteller für das Jahr 2016 dargestellt, wobei der angenommene Prozentsatz für BSP-Ausschnitte von 10 % je nach Auftragslage und Hersteller variieren kann.

Tabelle 2.3: BSP-Ausschnittmenge je Hersteller in Österreich 2016 (Holzkurier BSP-Special, 2016 S. 6), (Holzkurier, 2013 S. 30)

Hersteller	Planmenge 2016 [m ³]	BSP-Ausschnitte Ø 10%	BSP-Ausschnitte Ø > 50% im Werk
Binderholz	95.000	9.500	4.750
Hasslacher Norica	40.000	-	-
Holzbau Unterrainer	10.000	1.000	500
KLH Massivholz	88.000	8.800	4.400
Mayr-Melnhof Holz	60.000	6.000	3.000
Stora Enso	130.000	13.000	6.500
Weinberger Holz	5.500	550	275
Summe	428.500	38.850	19.425

Wie der Tabelle 2.3 entnommen werden kann, sind im Jahr 2016 alleine bei österreichischen Herstellern rund 38.850 m³ an BSP-Ausschnitten angefallen. Der Anteil an Restplatten, d.h. Ausschnitte die im Werk zurückgelassen werden, beläuft sich mit angenommen Anteil von 50 % auf rund 19.425 m³. In Tabelle 2.3 ist ebenfalls zu sehen, dass bei der Firma Hasslacher Norica Timber keine Ausschnitte bzw. Restplatten anfallen, da auf eine Produktionstechnologie gesetzt wird, bei der die Öffnungen schon während der Produktion mitberücksichtigt respektive ausgelassen werden. Bei Hochrechnung der vorliegenden Zahlen auf das von (Schickhofer, et al., 2017) angenommene Produktionsvolumen von rund 500.000 m³ BSP pro Jahr, würde bei einem Anteil von 10 % unter Abzug der Produktionsmenge von Hasslacher eine jährliche Ausschnittmenge von rund 45.000 m³ alleine in Österreich resultieren. Die Menge an Restplatten würde bei einem angenommenen Anteil von 50 % rund 22.500 m³ betragen. Den erhobenen Daten kann eindeutig entnommen werden, dass die ständige Erweiterung der BSP-Kapazitäten eine kontinuierliche Erhöhung der Ausschnittmengen mit sich bringt, wodurch annähernd das Produktionsvolumen eines mittelgroßen BSP-Werkes mit einer Jahreskapazität von rund 45.000 m³ abgebildet wird.

2-3.3 AKTUELLE VERWERTUNG

Heimische Hersteller sind aufgrund des aktuell stark steigenden Marktwachstums von Brettsperrholz primär daran interessiert die eigene Produktionskapazität weiter auszubauen, um der steigenden Nachfrage nachkommen zu können. Das unterschiedliche Erscheinungsbild von Brettsperrholz-Ausschnitten und die Tatsache, dass die Ausschnittflächen vom Kunden mitbezahlt werden, sind weitere Gründe dafür, dass eine potentielle Veredelung als nicht besonders wichtig angesehen wird. Nach aktuellen Erkenntnissen werden zurzeit zwei verschiedene Ansätze der Verwertung von BSP-

Ausschnitten verfolgt und weitere drei Konzepte phasenweise getestet, die in den nachfolgenden Abschnitten 2-3.3.1 bis 2-3.3.5 näher erläutert werden.

2-3.3.1 Thermische Verwertung

Beim Großteil aller BSP-Hersteller werden die Ausschnitte auf einem am Firmengelände vorgesehenen Lagerplatz gesammelt. Nach Erreichen einer bestimmten Menge wird ein externes Unternehmen damit beauftragt die Ausschnitte zu Hackschnitzeln aufzutrennen. Diese Arbeit wird zumeist von einer mobilen Anlage verrichtet. Dabei werden die Ausschnitte im ersten Arbeitsschritt einem Schredder zugeführt, der das Rohmaterial zu Holzhackgut verarbeitet. Die beiden Prozesse der Ausschnittauftrennung sind der Abbildung 2.21 zu entnehmen.



Abbildung 2.21: Zerkleinerung von BSP-Ausschnitten. Links (KLH Massivholz GmbH), rechts (White Skip, 2017)

Die erzeugten Hackschnitzel werden in weiterer Folge an umliegende Biomasseheizkraftwerke ausgeliefert und dort einer thermischen Verwertung zugezogen.

2-3.3.2 Auslassen der Ausschnittflächen

Der Ansatz des Auslassens von Ausschnittflächen beruht auf der Grundlage, dass bereits vor der Produktion von Brettsperrholz feststeht, an welchen Stellen sich Öffnungen wie beispielsweise Fenster oder Türen befinden. Bereits im Zuge der BSP-Produktion werden die einzelnen Brettlamellen unter Berücksichtigung der Öffnungen exakt abgelängt und mittels Breitenverklebung zu einer Einzelschicht zusammengepresst. In Abbildung 2.22 ist die Erzeugung einer Querlage mit ausgelassenen Fenster- und Türausschnitten dargestellt.



Abbildung 2.22: Auslassen von Öffnungen bei der Herstellung von BSP (Plackner, 2017)

Bisher macht lediglich ein österreichischer BSP-Hersteller von dieser Herstellungstechnologie Gebrauch. Obwohl im Vergleich zur vollflächigen Herstellung von Brettsperrholz deutlich weniger Rohstoff benötigt wird, resultiert eine wesentlich komplexere Fertigung mit gleichzeitigen Einbußen in der Flexibilität. All diese zusätzlichen Aufwendungen führen beinahe zu einer vollständigen Neutralisierung des Vorteils der Materialeinsparung, wodurch auch bei dieser Herstellungstechnologie die Bruttofläche der BSP-Elemente, d.h. die Fläche des umschlossenen Rechtecks, an den Kunden weiterverrechnet wird.

2-3.3.3 Auftrennen der Klebstoffugen

Ein weiterer durchwegs interessanter Ansatz zur Veredelung von BSP-Ausschnitten, der bereits bei einem italienischen BSP-Hersteller angewendet jedoch nach kurzer Zeit wieder verworfen wurde, sieht die Auftrennung der Abfälle entlang der Klebstoffugen vor. Das Sägeblatt einer exakt arbeitenden Horizontalbandsäge wird dabei in Höhe der Klebstoffugen positioniert und entlang der Ausschnitte geführt. Auf diese Weise kann ein BSP-Element erneut in seine Grundbestandteile in Form von losen Schnittholzlamellen zerlegt werden. Die einzelnen Lamellen werden in weiterer Folge vom Bediener aufgesammelt und erneut der Hobel- und Keilzinkenanlage für die Herstellung von Brettsperrholz zugeführt. In Abbildung 2.23 ist die Arbeitsweise des vorliegenden Verwertungskonzeptes bildlich dargestellt, vgl. (Holzkurier, 2013 S. 30).



Abbildung 2.23: Auftrennung von BSP-Ausschnitten mittels Blockbandsäge (Holzkurier, 2013 S. 30)

Ein exaktes Auftrennen entlang der Klebstoffuge ist nicht einfach umzusetzen, wodurch ein hoher Nachbearbeitungsaufwand für die Herstellung einzelner Brettlamellen entsteht und zusätzlich ein hoher Ausbeuteverlust bezogen auf das Ausgangsprodukt resultiert. Zudem kann diese Form der Auftrennung nur bei nicht fugenverklebten Einzelschichten vorgenommen werden, da für die Erzeugung einzelner Brettlamellen ansonsten ein zusätzlicher Arbeitsschritt nötig wäre. In der Praxis hat sich herausgestellt, dass auch trotz nicht vorhandener Schmalseitenverklebung ein weiterer Arbeitsschritt zu Auftrennung der Lamellen benötigt wird, da sich Klebstoff aus der Flächenverklebung im Zwischenraum der Brettlamellen ansammelt und diese kraftschlüssig verbindet. Obwohl die Idee der Ausschnittverwertung durchaus positiv zu bewerten ist, konnte sich dieses Konzept aufgrund vieler Nachbearbeitungsmaßnahmen nicht weiter durchsetzen.

2-3.3.4 Holzziegel aus BSP-Ausschnitten

Bei der Herstellung von Holzziegeln werden die Ausschnitte je nach Projektanforderungen zu annähernd gleich großen Ziegeln zugeschnitten und an den Längsseiten mit Bohrlöchern versehen. Zur kraftschlüssigen Verbindung werden Holzdübel verwendet. Bei der Montage der Holzziegel sollte lediglich auf ein korrektes Fugenbild geachtet werden, um die Stabilität dieser Konstruktion nicht zu gefährden, vgl. (Holzcluster Steiermark, 2012 S. 8).



Abbildung 2.24: BSP-Holzziegel (HIZ, 2017)

Die Herstellung einheitlicher Holzriegeln ist aufgrund der unterschiedlichen Geometrieformen wie auch Plattenaufbauten von BSP-Ausschnitten nur bedingt umsetzbar.

2-3.3.5 Bank- und Tischgarnitur aus BSP-Ausschnitten

Die Idee aus BSP-Ausschnitten Bank- und Tischgarnituren zu gestalten, stammt ursprünglich von privaten Errichtern eines Eigenheims. Die mitgelieferten Ausschnitte wurden teilweise schon während der Baustellenphase zu Sitzmöglichkeiten für Handwerker und Baustellenhelfer umfunktioniert. Auch nach Fertigstellung des Eigenheims können die Bank- und Tischgarnituren weiterhin als Gartenmöbel in Verwendung bleiben. Mittlerweile gibt es vereinzelt Zimmerei- und Holzbaubetriebe, die sich mit einer derartigen Verwertung von BSP-Ausschnitten auseinandersetzen und Möbel aus den vom Kunden zurückgelassenen BSP-Ausschnitten fertigen und zum Verkauf anbieten. Beispielhaft ist in Abbildung 2.25 eine Bank- und Tischgarnitur bestehend aus BSP-Ausschnitten dargestellt.



Abbildung 2.25: BSP-Gartenmöbel (Holzbau Riedlsperger GesmbH, 2017)

Wie bereits beim Konzept zur Veredelung von BSP-Ausschnitten zu Holzriegeln, kommt auch hier die grundlegende Problematik zum Vorschein, dass Brettsperrholz auftragsbezogen gefertigt wird und somit kein einheitliches Erscheinungsbild aufweist. Eine serielle Fertigung von Bank- und Tischgarnituren ist aus den genannten Gründen kaum rentabel, zusätzlich wird die Attraktivität des vorgesehenen Einsatzes durch das hohe Gewicht und die geringe Wetterbeständigkeit von Fichtenholz erheblich geschwächt.

2-3.4 PROBLEMATIK DER AKTUELLEN VERWERTUNG

Bei sämtlichen Ansätzen der Veredelung von BSP-Ausschnitten kann die Hauptproblematik im Grunde genommen auf das nicht einheitliche Erscheinungsbild des Ausgangsmaterials in Form von Geometrie und Plattenaufbau zurückgeführt werden. Sowohl beim Versuch Gartenmöbel zu erzeugen als auch beim Konzept die Ausschnitte zu Holzriegeln umzuwandeln, wird eine serielle Fertigung im Wesentlichen durch die unterschiedlichen Abmessungen der Rohware in Kombination mit den verschiedenen

Plattenaufbauten deutlich erschwert. Auch bei der technisch innovativen Herstellungstechnologie, die ein Auslassen der Ausschnitte bereits während dem Produktionsprozess vorsieht, hat sich ergeben, dass der entstehende Mehraufwand in der Produktion die Vorteile der Materialeinsparung beinahe zur Gänze neutralisiert. Einzig bei der Erzeugung von Hackschnitzeln spielen die Geometrie und der Aufbau der BSP-Ausschnitte keine wesentliche Rolle. Aufgrund des geringen Marktpreises von Holzhackgut, welcher aktuell rund ein Zehntel des Brettsperrholzpreises beträgt, tritt auf diese Weise ein massiver Wertverlust bezogen auf das Ausgangsmaterial ein. Zur Steigerung der ökonomischen und ökologischen Attraktivität von Brettsperrholz bedarf es somit einer Lösung, die eine technisch und preislich hochwertige Veredelung von Brettsperrholz vorsieht. In Kapitel 3 wird ein entsprechendes Konzept vorgestellt, das viele dieser Erwartungen grundlegend erfüllen bzw. bedienen sollte.

KAPITEL 3: VEREDELUNGSKONZEPT

Die Herstellung von Brettsperrholzelementen ist aufgrund individueller wie auch projektspezifischer Anforderungen an ein Bauwerk dadurch gekennzeichnet, dass die Bauteile zumeist vollflächig gefertigt werden und anfallende Öffnungen wie beispielsweise Fenster- oder Türausschnitte von computergesteuerten CNC-Anlagen herausgeschnitten werden. Aus Gründen einer fehlenden Veredelung werden die hochwertigen Ausschnittflächen in erster Linie aufwändig zerkleinert und in weiterer Folge einer thermischen Verwertung zugezogen. Auf diese Weise werden nicht nur wertvolle Ressourcen verschwendet, es tritt auch ein hoher Wertverlust bezogen auf das Ausgangsmaterial ein. Um einerseits dem Wunsch der modernen Architektur in Form von großflächigen Ausschnitten nachkommen zu können und andererseits die hohe Flexibilität und Produktivität bei vollflächiger Fertigung aufrechterhalten zu können, bedarf es einer innovativen Lösung die anfallenden Ausschnitte sinnvoll zu verwerten.

Im Zuge dieses Kapitels wird ein innovativer Plattenwerkstoff vorgestellt, der aus einem neuartigen Ansatz der Veredelung von BSP-Ausschnitten resultiert. Zudem werden die wesentlichen Prozesse der Herstellung sowie alle möglichen Einsatzbereiche näher erläutert. Abschließend werden die Vorteile und Risiken, die sich bei der Umsetzung dieses Konzeptes für BSP-Hersteller ergeben, aufgelistet und analysiert.

3-1 ALLGEMEINE BESCHREIBUNG

Im Gegensatz zu den in Kapitel 2-3.3 beschriebenen Ansätzen der aktuellen Verwertung von BSP-Ausschnitten wird beim vorliegenden Konzept darauf abgezielt, aus einem inhomogenen Ausgangsprodukt ein homogenes Zwischenprodukt zu schaffen, welches mit möglichst geringem Aufwand in die Fertigung von Brettsperrholz rückgeführt werden kann. Das vorliegende Konzept sieht die maschinelle Auftrennung von BSP-Ausschnitten mit anschließender Schmalseitenverklebung der entstehenden Streifen zu einem neuartigen Plattenwerkstoff vor, wodurch eine geometrie- und aufbauunabhängige Veredelung der Ausschnittflächen resultiert. Aufgrund der beinahe vollständigen Nutz- und Verarbeitbarkeit sämtlicher Ausschnittformen kann zudem ein Endprodukt mit verhältnismäßig hoher Ausbeute geschaffen werden. Durch die Möglichkeit der Rückführung des resultierenden Plattenwerkstoffes in den eigentlichen Prozess der BSP-Fertigung kann zudem die bereits vorhandene Qualität in Form von technisch getrocknetem, qualitäts- und festigkeitssortiertem Holz vollständig wiedergenutzt werden. In den nachfolgenden Abschnitten wird neben einer kurzen Beschreibung des Ausgangsmaterials noch detaillierter auf das entstehende Endprodukt eingegangen.

3-1.1 AUSGANGSMATERIAL – BSP-AUSSCHNITTE

Das Ausgangsmaterial setzt sich aus BSP-Ausschnitten zusammen, die vorwiegend als Fenster- oder Türöffnungen bei der Herstellung von Brettsperrholzelementen anfallen. Durch die projektspezifische Fertigung von Brettsperrholz weist das Ausgangsmaterial ein vorwiegend nicht einheitliches Erscheinungsbild auf. Nicht nur die Geometrie kann unterschiedliche Formen annehmen, auch der Aufbau der Brettsperrholzplatten variiert je nach statischen Erfordernissen. In Abbildung 3.1 wird anhand der beispielhaften Abbildung eines Lagerplatzes von BSP-Ausschnitten ein Überblick des zu verarbeiteten Ausgangsmaterials gegeben. Eine detailliertere Beschreibung des Ausgangsmaterials kann in Kapitel 2-3.1 nachgelesen werden.



Abbildung 3.1: Ausgangsmaterial BSP-Ausschnitte (Fa. KLH Massivholz GmbH)

In Abbildung 3.1 ist erkennbar, dass es sich bei BSP-Ausschnitten um ein stark inhomogenes Ausgangsmaterial handelt. Aufgrund der projektspezifischen Auftragsabwicklung stimmen bereits bei geringer Stückzahl weder die Geometrie noch der Aufbau der Ausschnitte überein.

3-1.2 ENDPRODUKT – REX-PLATTE

In Anlehnung an die Patentschrift (de Monte, 2012) wird im Zuge dieser Masterarbeit ein Veredelungskonzept vorgestellt, das im Grunde genommen die beiden ausschlaggebenden Problematiken des Ausgangsmaterials in Form von unterschiedlicher Geometrie und Plattenaufbau beseitigt. Mit der sogenannten REX-Platte wird ein neuartiger Plattenwerkstoff entworfen, der in die eigentliche Produktion von Brettsperrholz rückgeführt werden kann. Die Bezeichnung REX ist als Arbeitstitel zu verstehen und setzt sich aus den Begriffen Recycling und X-Lam (alternative Bezeichnung für Brettsperrholz) zusammen. Beim vorliegenden Konzept der Veredelung wird primär das Ziel verfolgt, die BSP-Ausschnitte in sogenannte Streifen gleicher Stärke aufzutrennen und mittels Schmalseitenverklebung wiederum zu einer einschichtigen Massivholzplatte zusammenzufügen. Unabhängig von Geometrie und Plattenaufbau kann somit jedes Abfallstück verwendet und wiederverwertet werden.

Auftrennung der BSP-Ausschnitte zu Streifen

Herstellung von REX-Platten

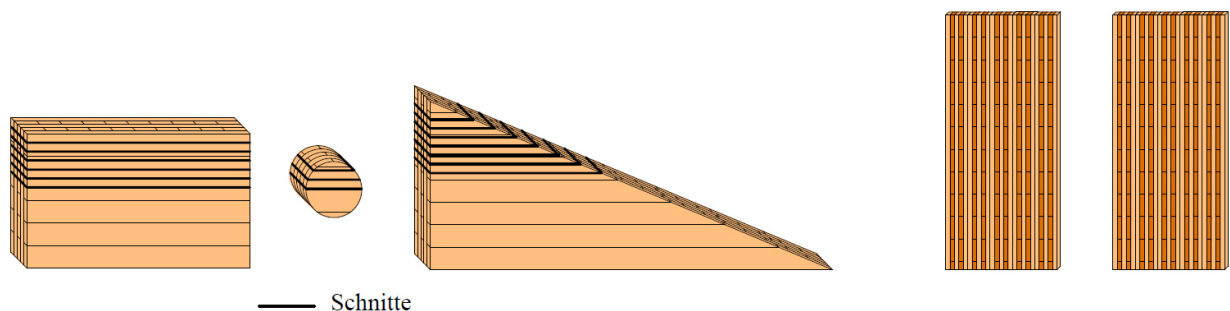


Abbildung 3.2: Veredelungsprozess von BSP-Ausschnitten

Aus Abbildung 3.2 geht hervor, dass für die Veredelung von BSP-Ausschnitten im Wesentlichen zwei Arbeitsschritte erforderlich sind. Der erste Arbeitsprozess umfasst die Auftrennung des Rohmaterials zu Streifen gleicher Dicke. Obwohl sich die Geometrie der Ausschnitte deutlich unterscheiden kann, wird mit dieser Form der Auftrennung lediglich die Endgeometrie wie auch die Länge der Streifen beeinflusst. Der nächste Arbeitsschritt betrifft bereits die Herstellung der einschichtigen REX-Platten. Dieser Arbeitsprozess setzt sich aus der Schmalseitenverklebung der anfallenden Streifen zusammen, wobei abschließend noch eine exakte Bearbeitung der Oberflächen vorgesehen wird. Auf diese Weise können

die Anforderungen einer Flächenverklebung eingehalten werden. Eine Beschreibung der Herstellungsprozesse wie auch der Einsatzbereiche, die sich aus der Rückführung in die Produktion von Brettspertholz ergeben, können Kapitel 3-2 und 3-3 entnommen werden. Im nachfolgenden Abschnitt 3-1.2.1 werden die resultierenden Plattenaufbauten wie auch Abmessungen der veredelten REX-Platte erläutert.

3-1.2.1 Aufbau und Abmessungen von REX-Platten

Der Aufbau bzw. das Erscheinungsbild von REX-Platten hängt unmittelbar mit dem Schichtaufbau der zur Veredelung herangezogenen BSP-Ausschnitte zusammen. Aus Abbildung 3.3 geht hervor, dass eine strikte Trennung unterschiedlich aufgebauter BSP-Streifen vorgesehen ist, die dem geplanten Produktionsprozess der Schmalseitenverklebung geschuldet ist. Ebenso wichtig ist eine einheitliche Breite der Restholzstreifen.

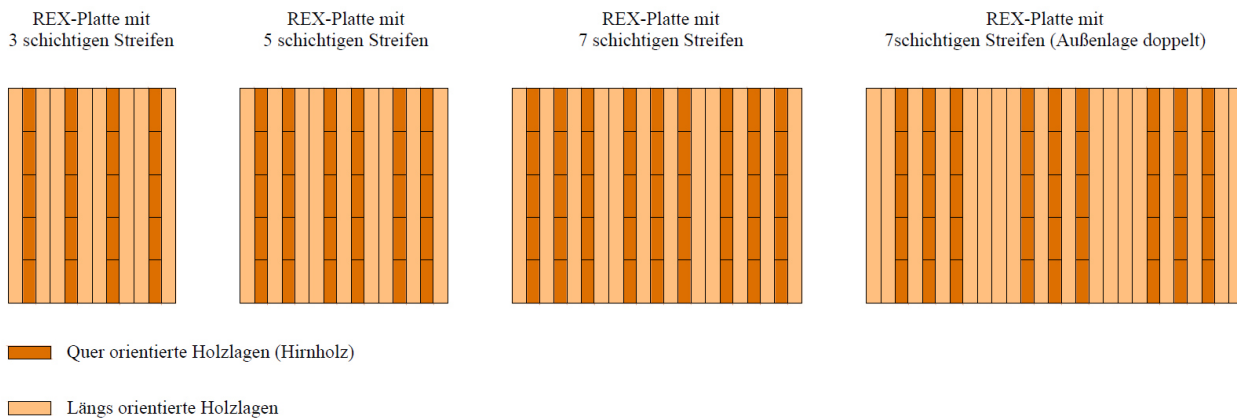


Abbildung 3.3: Aufbau der REX-Platten mit überwiegend längsorientierten Holzlagen

Wie in Abbildung 3.3 ersichtlich, resultieren aufgrund der unterschiedlich aufgebauten BSP-Ausschnitte auch verschieden zusammengesetzte REX-Platten mit ungleichem Hirnholzanteil. Beeinflusst wird der resultierende Hirnholzanteil durch die Schichtstärke sowie dem Aufbau der BSP-Ausschnitte. Es kann aber auch eine Anpassung durch die Änderung der Schnittrichtung im Zuge der Plattenauftrennung erfolgen. In Abbildung 3.3 wird die Schnittrichtung beispielsweise derart gewählt, dass die Streifen beidseitig mit längsorientierten Holzlagen abschließen. Bei Beachtung der einzelnen Schichtdicken kann der Hirnholzanteil auf diese Weise möglichst gering gehalten werden. Auf Basis aktuell angebotener BSP-Aufbauten resultiert ein Hirnholzanteil zwischen 30 % und 60 %, wobei ein Mittelwert von rund 40 % angenommen werden kann.

Bei orthogonaler Schnittrichtung kann hingegen eine Maximierung des Hirnholzanteils im Plattenaufbau erzielt werden, wobei wiederum die einzelnen Schichtdicken zu beachten sind. In Abbildung 3.4 sind beispielhafte Aufbauten mit orthogonaler Schnittrichtung dargestellt.

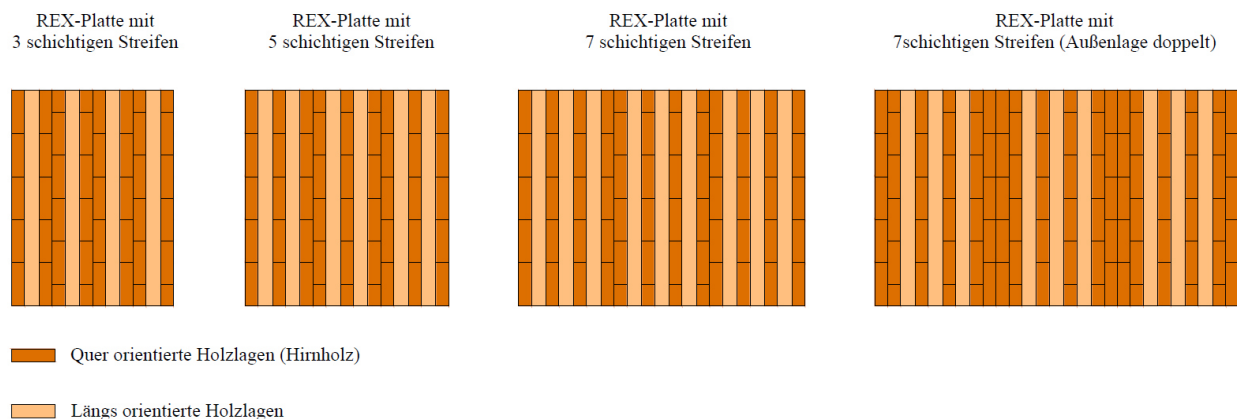


Abbildung 3.4: Aufbau der REX-Platten mit überwiegend quer orientierten Holzlagen

Bei erneuter Betrachtung der BSP-Aufbauten kann durch diese Form der Auftrennung eine deutliche Erhöhung des Hirnholzanteils bewirkt werden. Während die Bandbreite des Hirnholzanteils auf 40 % bis max. 70 % ausgedehnt wird, kann ein Mittelwert von rund 50 % erzielt werden.

Die Plattenabmessungen der REX-Platten sind in erster Linie durch die maximalen Produktionsformate der Maschinenanlagen eingeschränkt, werden jedoch bestmöglich an die Abmessungen von Schnittholz angepasst, um den Verschnitt im Zuge der BSP Produktion zu optimieren. Brettsperrholz wird je nach Kundenwunsch mit einer Breite von 2,50, 2,72 oder 2,95 m hergestellt. Wie in Abbildung 3.5 ersichtlich, ist ein Übermaß von rund 5 cm vorgesehen, welches für die finale Bearbeitung der BSP-Platten in Form von rechteckiger Formatierung benötigt wird. Die Breite der REX-Platten hängt in erster Linie vom Aufbau des aufgetrennten Rohmaterials ab, sollte jedoch 50 cm nicht überschreiten, um einen möglichst reibungsfreien Transport der Platten innerhalb des BSP-Werkes sicherzustellen. Auch die Dicke der Platten wird den Lamellenstärken von Schnittholz exakt angepasst und beträgt somit 20, 30 und 40 mm.

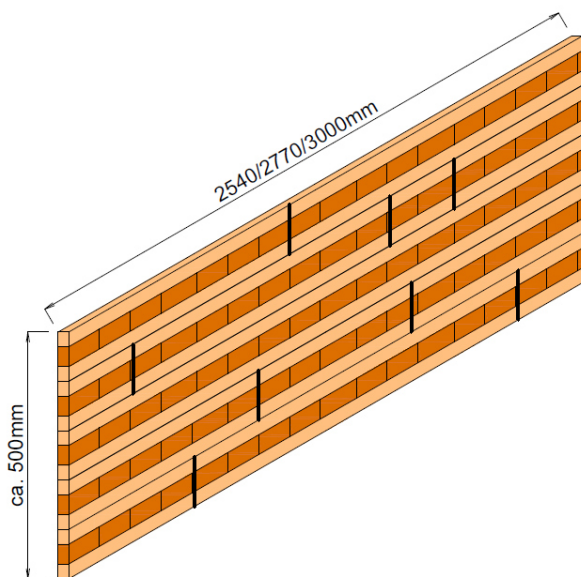


Abbildung 3.5: Abmessungen von REX-Platten

3-2 HERSTELLUNG

Für die Herstellung von REX-Platten werden in Summe fünf Arbeitsprozesse benötigt, die sich im Wesentlichen aus der Sortierung und Auftrennung der Restplatten, der Endkappung der Streifen, der Plattenerzeugung sowie der finalen Oberflächenbearbeitung zusammensetzen. In den Abschnitten 3-2.1 bis 3-2.5 folgt eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Herstellungsprozesse, wobei das verwendete Bildmaterial von der Erzeugung der benötigten Einschichtplatten für die durchgeführten Laborprüfungen stammt. Eine genaue Produktionsplanung ist in der vorliegenden Masterarbeit nicht enthalten, die nachfolgende Beschreibung des Produktionsflusses kann jedoch als geeignete Basis angesehen werden.

3-2.1 RESTPLATTENSORTIERUNG

Der erste Arbeitsprozess wird durch die Sortierung der BSP-Ausschnitte gebildet. Durch die projektspezifische Fertigung von Brettsperrholz resultiert eine Vielzahl an Ausschnitten mit unterschiedlichem Aufbau bzw. Erscheinungsbild. Nachdem die aktuelle Verwertung wie in Kapitel 2-3.3.1 beschrieben, zumeist die Kombination aus einer aufwändigen Zerkleinerung mit anschließender Verbrennung darstellt, kommt der Lagerung am Firmengelände kein besonderer Wert entgegen. Die Ausschnitte werden paketweise aus der Fertigung entnommen und unsortiert am Firmengelände gesammelt, wie beispielsweise in Abbildung 3.1 ersichtlich. Für die Herstellung der erfindungsgemäßen REX-Platten muss jedoch im Vorfeld eine Sortierung der Ausschnitte erfolgen. Dies betrifft jedoch nur den Aufbau bzw. die Dicke der Platten, die Geometrie bzw. das Erscheinungsbild ist in diesem Fall nicht

von Bedeutung. Die Ausschnitte können einerseits bereits während der Lagerung nach ihrem Aufbau getrennt werden, wodurch aber ein höheres Platzangebot am Firmengelände benötigt wird. Andererseits besteht die Möglichkeit, die aktuelle Form der Lagerung aufrechtzuerhalten, wodurch in erster Linie kein wesentlicher Mehraufwand für den jeweiligen Hersteller von Brettsperrholz entsteht. Aufgrund der notwendigen Trennung unterschiedlich aufgebauten BSP-Ausschnitten müsste jedoch eine nachträgliche und somit deutlich aufwändigere Sortierung der Elemente in Kauf genommen werden. Das für die Laborprüfungen ausgewählte Ausgangsmaterial ist in Abbildung 3.6 dargestellt.



Abbildung 3.6: BSP-Ausschnitte, getrennt nach ihrem Plattenaufbau

Das in Abbildung 3.6 gezeigte Rohmaterial setzt sich aus Restplatten mit fünfschichtigem Aufbau und einer Gesamtdicke von 95 mm zusammen. Die Geometrie bzw. das Erscheinungsbild der Ausschnitte reicht von einer quadratischen über eine rechteckige bis hin zu einer dreieckigen Form, was jedoch für das vorliegende Konzept der Veredelung keine wesentlichen Einschränkungen darstellt.

3-2.2 RESTPLATTENAUFTRENNUNG

Der zweite Arbeitsschritt setzt sich aus der Auftrennung der BSP-Ausschnitte zu Streifen gleicher Dicke zusammen. Im Zuge der Materialvorbereitung für die Laborprüfungen wurde eine Horizontalbandsäge für diesen Arbeitsprozess herangezogen. Gegenüber einer Vertikalbandsäge können mit einer Horizontalbandsäge einerseits größere und andererseits mehrere Elemente gleichzeitig in einem Arbeitsgang verarbeitet werden. In Abbildung 3.7 ist die Herstellung der für die Laborprüfung benötigten 34 mm dicken BSP-Streifen dargestellt.



Abbildung 3.7: Auftrennung der BSP-Ausschnitte mittels Horizontalbandsäge

Wie in Abbildung 3.7 ersichtlich, können pro Arbeitsgang jeweils mehrere Ausschnittplatten gleichzeitig verarbeitet werden, wodurch die Produktionskapazität für die Erzeugung der Streifen erheblich gesteigert wird. Optional kann diese Anlage auch mit einem beidseitig verzahnten Sägeblatt ausgerüstet werden, wodurch sowohl beim Vor- als auch beim Rückschnitt Streifen erzeugt werden. Bei gleicher Schnittgeschwindigkeit kann zudem eine Verdoppelung der Kapazität erzielt werden. Bei der maschinellen Fertigung ist sowohl die Aufgabe der vorbereiteten Ausschnittpakete als auch die exakte Positionierung der Pakete auf der Bandsäge automatisiert. Auch der Weitertransport der Rohware zum nächsten Arbeitsprozess kann vollständig mannos abgewickelt werden. Ausschließlich für die Bedienung der Horizontalbandsäge wird mindestens eine Arbeitskraft benötigt.

3-2.3 AUSKAPPUNG VON FEHLSTELLEN UND ENDGEOMETRIEN

Bereits aus Abbildung 3.6 geht hervor, dass aufgrund der unterschiedlichen Ausschnittgeometrie BSP-Streifen entstehen, die kein rechtwinkliges Ende aufweisen. Aus diesem Grund setzt sich der dritte Arbeitsschritt aus der Auskappung von Fehlern in den Streifen zusammen. Ähnlich wie bei der Herstellung einer Keilzinkenverbindung muss auch bei der Erzeugung eines stumpfen Stoßes ein scharfkantiges Ende vorliegen. In Abbildung 3.8 ist die Auskappung der Fehlstellen mittels Kreissäge angedeutet.



Abbildung 3.8: Endkappung der Streifen

Die Auskappung der Streifenenden bzw. Fehlstellen kann auf zweifache Weise erfolgen. Bei einer vollautomatisierten Fehlerauskappung werden die Streifen über ihre gesamte Länge gescannt und auf Unregelmäßigkeiten untersucht. Die erkannten Fehler werden direkt an die anschließende Kreissäge weitergeleitet und ausgekapt. Als kostengünstigere Variante steht die Verwendung einer speziellen Kreide zur Markierung der Fehlstellen zur Auswahl. Die Markierungen werden von einer nachgeschalteten Kreissäge vollautomatisch erkannt und dort die Schnitte gesetzt.

3-2.3.1 Fehlstellen von aufgetrennten BSP-Streifen

Für den Abbund bzw. Zuschnitt von BSP-Platten werden vorwiegend CNC gesteuerte Fräs- und Schneidwerkzeuge zur Hilfe genommen. Speziell in den Eckbereichen von Fenster- wie auch Türausschnitten erfolgt der Einsatz eines Fräswerkzeuges, womit der benötigte Platzbedarf eines Kreissägeblattes für den Längsschnitt geschaffen wird. In Abbildung 3.9 ist ein Fensterausschnitt mit der entsprechenden Endgeometrie in Folge des Plattenzuschnitts zu sehen. Zusätzlich sind das resultierende Schnittbild sowie sämtliche Streifen mit einer Fehlstelle am Lamellenende farblich markiert und dargestellt.

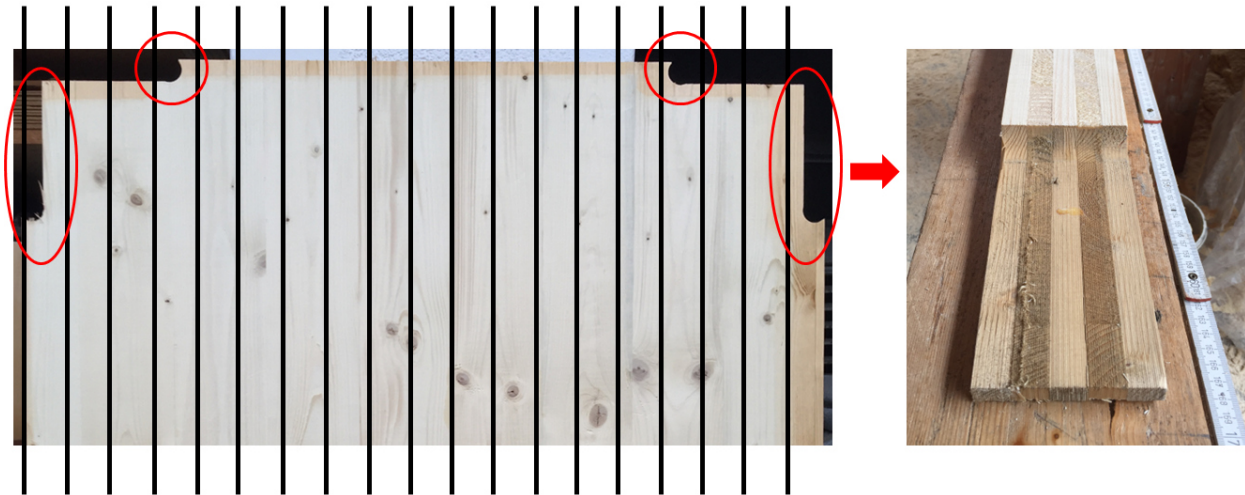


Abbildung 3.9: Eckbereich von BSP-Ausschnitten nach der Auftrennung

Nicht nur bei Fenster- und Türausschnitten muss an manchen Stellen das Ende der Streifen zugeschnitten werden, auch bei dreieckig oder rund geformten Ausschnitten sind die Streifenenden für die Weiterverarbeitung entsprechend zu bearbeiten. Typische Enden bzw. Fehlstellen werden u.a. auch durch Stufenfalzverbindungen oder häufig wiederkehrende Einfräsungen bzw. Bohrlochentnahmen für die interne Produktionskontrolle gebildet. In Abbildung 3.10 sind häufig auftretende Fehlstellen von aufgetrennten BSP-Streifen ersichtlich. Ein Großteil der Streifen kann jedoch aufgrund der Beschaffenheit der BSP-Ausschnitte ohne Endkappung weiterverarbeitet werden, da die Streifen bereits ein scharfkantiges Ende aufweisen.



Abbildung 3.10: Fehlstellen von aufgetrennten BSP-Ausschnitten

3-2.4 PLATTENERZEUGUNG

Nachdem die aufgetrennten BSP-Streifen mit einem scharfkantigen Ende versehen und somit frei von Fehlstellen sind, wird im nächsten Arbeitsschritt der Prozess der Plattenerzeugung eingeleitet. Dieser setzt sich im Grunde genommen aus einer bestimmten Anordnung stumpf gestoßener Streifen zusammen, die entlang ihrer Schmalseite mit Klebstoff benetzt und mittels Seitendruck verpresst werden. Bei der Anordnung der Stöße ist besonders darauf zu achten, dass über die gesamte Plattenfläche ein ausreichend großer Versatz zwischen den Stößen vorherrscht, um die Stabilität der Platte nicht zu gefährden. Für die Herstellung der Probepplatten wurde eine spezielle Anlage zur Breitenverklebung verwendet, die eine Presszeit von zwei Minuten pro Pressgang benötigt. In Abbildung 3.11 sind die fertiggestellten Platten dieser Anlage dargestellt.

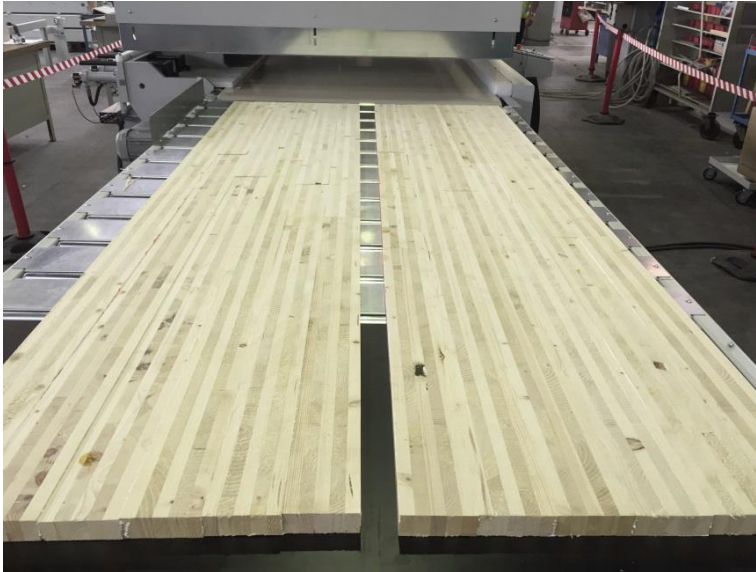


Abbildung 3.11: Plattenerzeugung mittels Schmalseitenverklebung

Für die Verklebung der einzelnen Stränge wird wasserfester Weißleim vorgesehen, der im Gegensatz zu Polyurethan-Klebstoffen, siehe Kapitel 2-1.2.4, deutlich kostengünstiger und für die geplante Anwendung ausreichend tragfähig ist.

3-2.4.1 Alternative zur Plattenerzeugung: Keilzinkung der Streifen

Alternativ kann der Produktionsprozess der Plattenerzeugung mit einer Keilzinkung der einzelnen Streifen ersetzt werden. In Abbildung 3.12 sind die Keilzinkenergebnisse eines Kleinversuches beispielhaft dargestellt. Die Verbindung wurde mit der vertikalen Zinkenfräse einer Kompaktanlage durchgeführt.

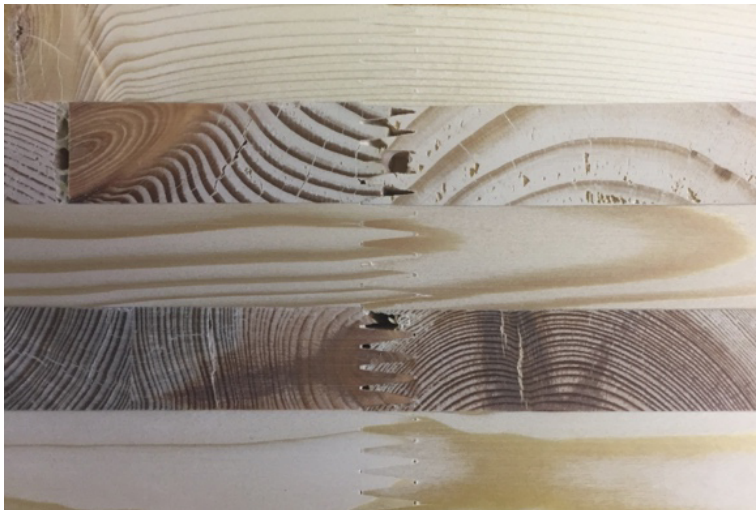


Abbildung 3.12: Keilzinkenverbindung von aufgetrennten BSP-Ausschnitten

Wie in Abbildung 3.12 ersichtlich, kommt es beim Fräsvorgang speziell im Bereich des Hirnholzes vermehrt zu Ausrissen. Im Querschnitt des liegenden Holzes kann jedoch eine ausreichend kraftschlüssige Verbindung hergestellt werden, wodurch die Keilzinkung der Streifen eine erwähnenswerte Alternative darstellt. Im Zuge dieser Arbeit wird die Keilzinkung nicht weiterverfolgt, da die Herstellung stumpf gestoßener Einschichtplatten als flexibler und auch wirtschaftlich günstiger angesehen wird.

3-2.5 OBERFLÄCHENBEARBEITUNG

Der abschließende Prozess der Herstellung setzt sich aus der exakten Bearbeitung bzw. Finalisierung der Plattenoberflächen zusammen. Im ersten Schritt ist hierfür die Verwendung einer Dickenhobelmaschine vorgesehen. Zur Erzielung einer planen Oberfläche werden ein bis maximal zwei Millimeter je Seite abgehobelt, wie beispielsweise in Abbildung 3.13 ersichtlich. Den Abschluss der Oberflächenbearbeitung bildet die Verwendung einer Zylinderschleifmaschine, mit der maximal zwei- bis drei Zehntelmillimeter je Seite abgenommen werden, um eine ausreichend plane Oberfläche als Endresultat zu erhalten.



Abbildung 3.13: Oberflächenbearbeitung mittels Dickenhobelmaschine

Aufgrund des speziellen Aufbaus der in Abbildung 3.13 dargestellten REX-Platten, der sich aus einer wechselnden Anordnung von stehend und liegend orientierten Holzlagen zusammensetzt, sind einige wichtige Kriterien bei der finalen Oberflächenbearbeitung in Bezug auf eine geplante Flächenverklebung dieser Elemente genauestens zu beachten. Zur Einhaltung der Maßgenauigkeit während der Lagerung von Holzprodukten ist vor allem das Umgebungsklima von wichtiger Bedeutung, da aufgrund der wechselnden Faserorientierung im Plattenaufbau ein unterschiedliches Schwind- und Quellverhalten hervorgerufen wird, das zu nicht erwünschten Unebenheiten im Plattenaufbau führt. Auch die Zeitspanne zwischen Oberflächenbearbeitung und Weiterverarbeitung kann die Güte der Plattenoberfläche wesentlich beeinflussen. Die wichtigsten Kriterien zur Erzielung einer exakten Oberflächengüte werden in Kapitel 5 ausführlich beschrieben.

3-3 EINSATZGEBIETE

Die Einsatzgebiete von einschichtigen Massivholzplatten sind im Allgemeinen sehr umfangreich. Alleine in der Möbel- bzw. Türenindustrie gibt es eine Vielzahl an Produkten, die entweder aus einschichtigen Massivholzplatten gebildet werden oder eine solche als Mittellage aufweisen. Im Zuge der Veredelung von BSP-Ausschnitten wird der Fokus jedoch gezielt auf die Wiederverwendbarkeit für die Erzeugung von Brettsperrholz gelegt. Die Möglichkeit der Zuführung in den Produktionsprozess scheint durchaus gegeben zu sein, da die Herstellung von Brettsperrholz nach aktuellem Stand der Technik überwiegend durch die Herstellung und orthogonale Schichtung von Einschichtplatten geprägt ist. Wie in Kapitel 3-1.2.1 ersichtlich, werden die Abmessungen von REX-Platten mit einer maximalen Länge von 3 m gezielt für den Einsatz als Querlage ausgelegt. Die möglichen Anwendungsbereiche, die sich aus der Rückführung in die Produktion von Brettsperrholz ergeben, sind im weiteren Verlauf dieses Kapitels aufgelistet und beschrieben.

3-3.1 BSP-PLATTEN

Der primäre Anwendungsbereich von REX-Platten umfasst den Einsatz als Querlage bei BSP-Deckenelementen. Auf diese Weise kann das Gesamterscheinungsbild von Brettspertholz unverändert bleiben, da die Außenflächen von konventionellen Vollholzlamellen gebildet werden. Nachdem die Lastabtragung von Deckenplatten zumeist in Richtung der keilgezinkten Längslagenlamellen verläuft, werden die REX-Querlagen in der Lastabtragung nicht berücksichtigt. Von den Querlagen sind vorwiegend die aus der Biegung resultierenden Rollschubspannungen aufzunehmen. Anhand des speziellen Aufbaus der REX-Platten, der durch eine wechselnde Anordnung von liegend und stehend orientierten Holzlagen geprägt ist, wird einerseits der Rollschubmodul und andererseits die Rollschubfestigkeit der gesamten BSP-Platte nachweislich erhöht, womit ein ideales Anwendungsgebiet geschaffen wird. Eine Erläuterung zu den Erkenntnissen der mechanischen Wirkungsweise von REX-Querlagen kann Kapitel 4-4 entnommen werden.

In Abbildung 3.14 ist beispielhaft eine fünfschichtige Brettspertholzplatte dargestellt, deren Aufbau zwei REX-Querlagen beinhaltet.

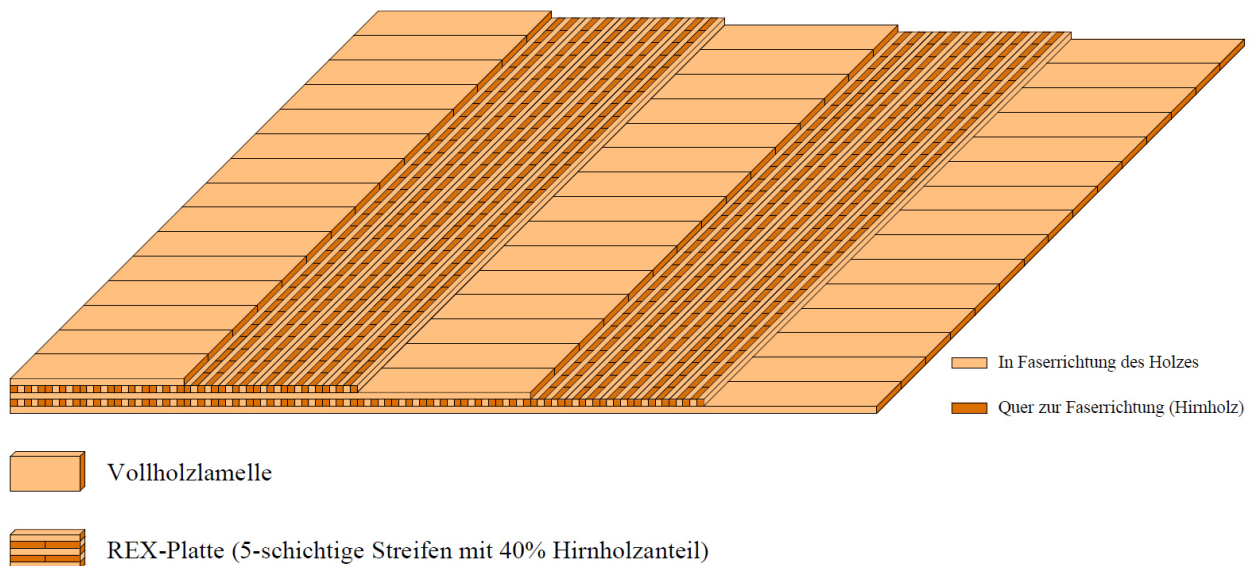
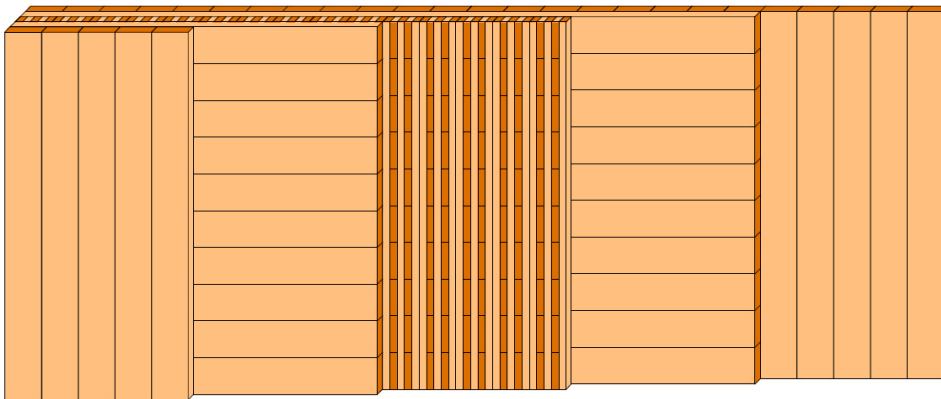


Abbildung 3.14: BSP-Deckenplatte mit REX-Querlagen

3-3.2 BSP-SCHEIBEN

Neben dem Einsatz als Querlage bei BSP-Deckenelementen kann auch der Einsatz als Querlage bei BSP-Wandscheiben in Betracht gezogen werden.

Je nach Anzahl und Orientierung der einzelnen Schichten können REX-Platten als Deck- oder Querlagen eingesetzt werden. In Abbildung 3.15 ist beispielhaft der Aufbau einer fünfschichtigen BSP-Wandscheibe dargestellt, dessen innere Mittellage aus einer REX-Platte besteht. Der Einbau von REX-Mittellagen ist auch bei einer höheren Schichtzahl möglich.







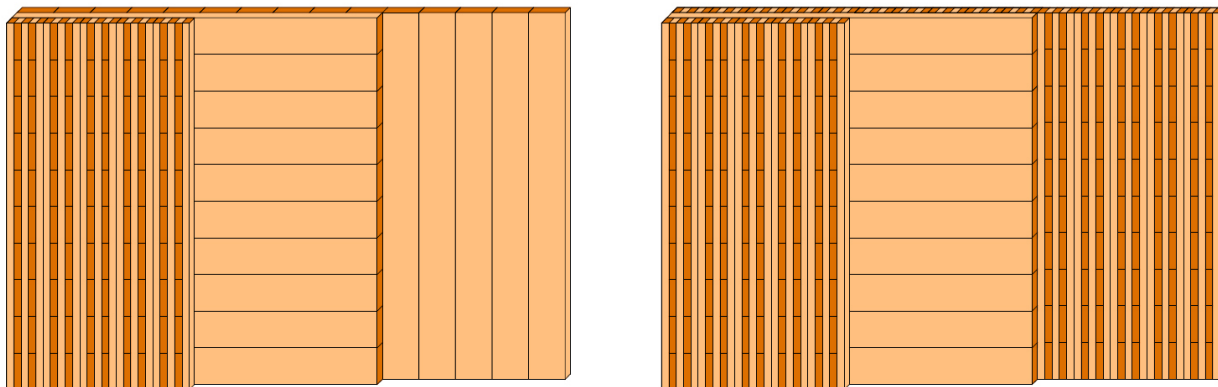
-  Vollholzlamelle  In Faserrichtung des Holzes
-  REX-Platte (5-schichtige Streifen mit 40% Hirnholzanteil)  Quer zur Faserrichtung (Hirnholz)

Abbildung 3.15: BSP-Wandscheibe mit nicht sichtbarer REX-Mittellage

Bei 3-schichtigem Aufbau ist der Einbau der REX-Platten nur als Mittellage möglich, da die Produktion der Querlagen nur eine Breite von 3 m zulässt. Dadurch ist ein Einsatz als mittragende Wandelemente mit neuartiger Sichtoberfläche möglich, siehe Abbildung 3.16.







-  Vollholzlamelle  In Faserrichtung des Holzes
-  REX-Platte (5-schichtige Streifen mit 40% Hirnholzanteil)  Quer zur Faserrichtung (Hirnholz)

Abbildung 3.16: BSP-Wandscheibe mit REX-Decklagen (links einseitig, rechts beidseitig)

Bei Wandbauteilen mit einer ausgeprägten Auskragung werden sehr häufig die Richtungen der Decklagen um 90° gedreht. Aus dem in Abbildung 3.17 beispielhaft dargestellten fünfschichtigen Plattenaufbau geht hervor, dass die REX-Platten im Falle dieser Anwendung stets als Querlagen eingesetzt werden, da die außenliegenden Schichten aus keilgezinkten Schnittholzlamellen gebildet werden.

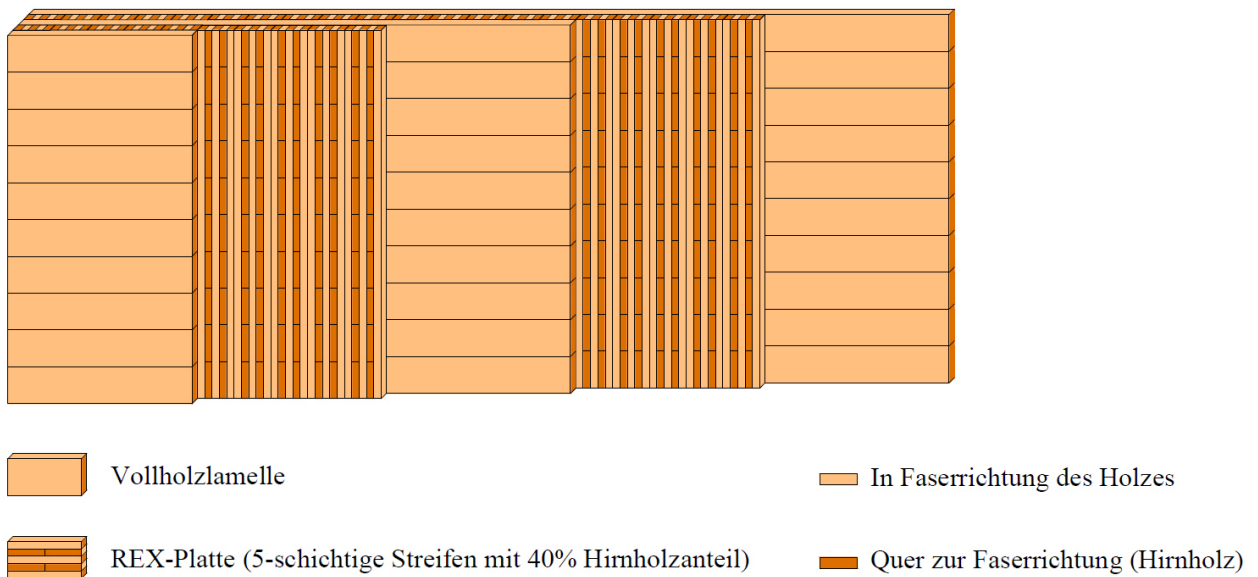


Abbildung 3.17: BSP-Wandscheibe für Auskrägung mit REX-Querlagen

Die Lasteinwirkung von Wandscheiben setzt sich vorwiegend aus Normal- und Schubkräften in der Scheibenebene zusammen. Durch Belastungen quer zur Plattenebene, wie beispielsweise in Folge Wind, resultieren zusätzliche Biegekräfte, die von der BSP-Scheibe aufzunehmen sind. Die entstehende Plattenbiegung kann vor allem bei dreischichtig aufgebauten BSP-Elementen mit beidseitiger Anordnung von REX-Querlagen zu Stabilitätsproblemen führen, da die stumpfen Stöße innerhalb des Plattenaufbaus kein Biegemoment übertragen können. Zudem wird die horizontale wie auch vertikale Lastübertragung vom Anteil der stehend und liegend orientierten Holzlagen im Aufbau der REX-Platten beeinflusst. Alle gezeigten Aufbauten stellen theoretische Überlegungen zum Einsatz der REX-Platten und deren Anwendungsmöglichkeiten dar und bedürfen noch weiterer genauerer Betrachtungen hinsichtlich der Lastabtragung und Stabilität.

Bei der im Zuge dieser Masterarbeit durchgeführten Machbarkeitsstudie werden die REX-Platten ausschließlich als Querlagen von einachsig gespannten BSP-Platten vorgesehen. Die Ergebnisse der Auswertung können Kapitel 4 entnommen werden.

3-4 VORTEILE UND POTENTIALE FÜR BSP-HERSTELLER

Die Veredelung von Brettsperrholz-Ausschnitten wie beispielsweise Fenster- oder Türöffnungen zu einschichtigen REX-Platten lässt eine Vielzahl an Vorteile und Potentiale für BSP-Hersteller entstehen. Produzenten von Brettsperrholz profitieren vor allem von der Möglichkeit das entstehende Endprodukt in die Fertigung von Brettsperrholz rückführen zu können. Ein weiterer großer Vorteil wird durch eine geometrie- und aufbauunabhängige Verwertung eines nicht einheitlichen Ausgangsmaterials erzielt. Zusätzlich kann von einer hohen Ausbeute ausgegangen werden, die sich positiv auf die Wirtschaftlichkeit dieses Veredelungskonzeptes auswirkt. Im Vergleich zum derzeitigen Ansatz in Form von thermischer Verwertung, kann durch die Wiederverwertung ein ressourcenschonenderer Umgang mit dem wertvollen Rohstoff Holz sichergestellt werden. In den Abschnitten 3-4.1 bis 3-4.4 wird speziell auf die Vorteile bzw. Potentiale der im Zuge dieser Masterarbeit beschriebenen Ausschnittverwertung eingegangen, die sich für Hersteller von Brettsperrholz ergeben.

3-4.1 ERHÖHUNG DER INTERNEN WERTSCHÖPFUNG

Anhand der Veredelung eines bisherigen Abfallproduktes zu einem in die Produktion rückführbaren Zwischenprodukt kann eine deutliche Erhöhung der internen Wertschöpfung für BSP-Hersteller erzielt werden. Anstelle einer thermischen Verwertung, durch die der monetäre Wert eines grundlegend hochwertigen Ausgangsproduktes deutlich gesenkt wird, kann durch die Veredelung zu massiven

Einschichtplatten zumindest der Wert von Vollholzlamellen erzielt werden. Unter Beachtung der sich anhäufenden Herstellungskosten würde ein erheblicher Mehrwert für das Unternehmen entstehen.

3-4.2 PRODUKTINNOVATION

Im Gegensatz zu handelsüblichen einschichtigen oder mehrschichtigen Massivholzplatten ist der erfindungsgemäße Plattenwerkstoff dadurch gekennzeichnet, dass durch die Auftrennung von BSP-Ausschnitten eine Wechselwirkung zwischen liegenden und stehenden Holzlagen im Plattenaufbau resultiert. In Abbildung 3.18 ist der Aufbau einer einschichtigen REX-Platte beispielhaft dargestellt, der sich aus der Auftrennung von fünfschichtigen BSP-Platten zusammensetzt.

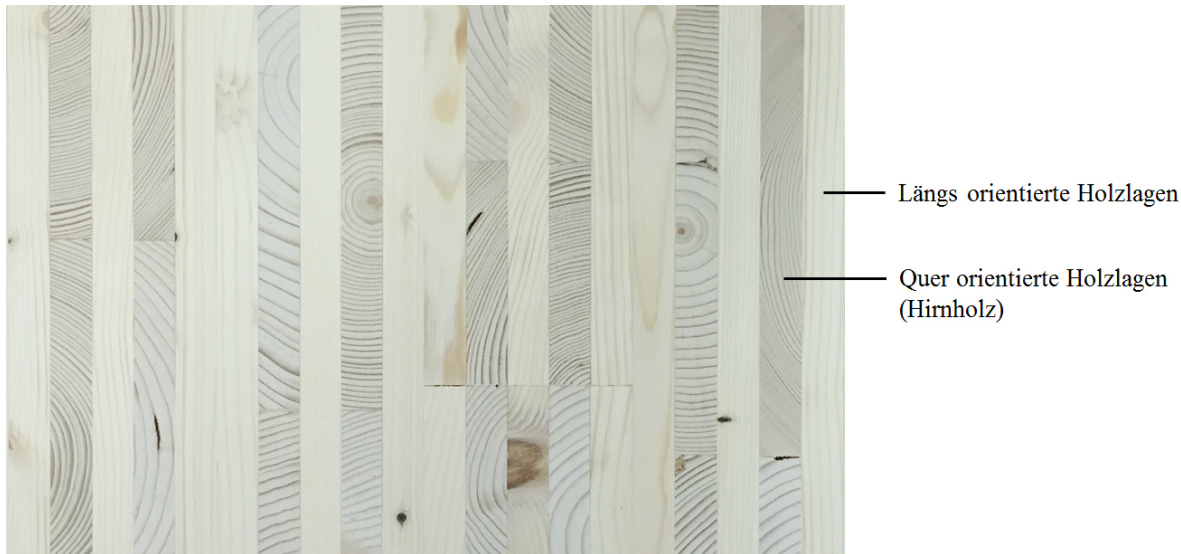


Abbildung 3.18: REX-Platte bestehend aus fünfschichtigen Streifen

Dieser neuartige und innovative Plattenaufbau bringt nicht nur eine andere Optik zum Vorschein, durch den Einsatz als Querlage bei Brettsperrholz können bestimmte Festigkeitseigenschaften verändert werden, siehe Kapitel 4. Die mit der Veredelung von BSP-Ausschnitten einhergehenden Produktinnovationen führen nicht nur zu einer Erhöhung der internen Wertschöpfung, durch den gezielten Einsatz als Querlage kann zudem die Leistungsfähigkeit von BSP verändert oder auch gezielt verbessert werden.

3-4.3 RECYCLINGKREISLAUF

Mit dem vorgesehenen Konzept der Veredelung von BSP-Ausschnitten gelingt es einen geschlossenen Kreislauf für die Produktion von Brettsperrholz zu schaffen. Mit dieser aufbau- und geometrieunabhängigen Veredelung von BSP-Ausschnitten kann ein Lösungsansatz gefunden werden, der einerseits eine thermische Verwertung wertvoller Ressourcen verhindert und andererseits eine deutlich wertschöpfungsreichere Herstellung von Brettsperrholz ermöglicht. In Abbildung 3.19 ist der angedachte Recyclingkreislauf von Brettsperrholzausschnitten schematisch dargestellt.

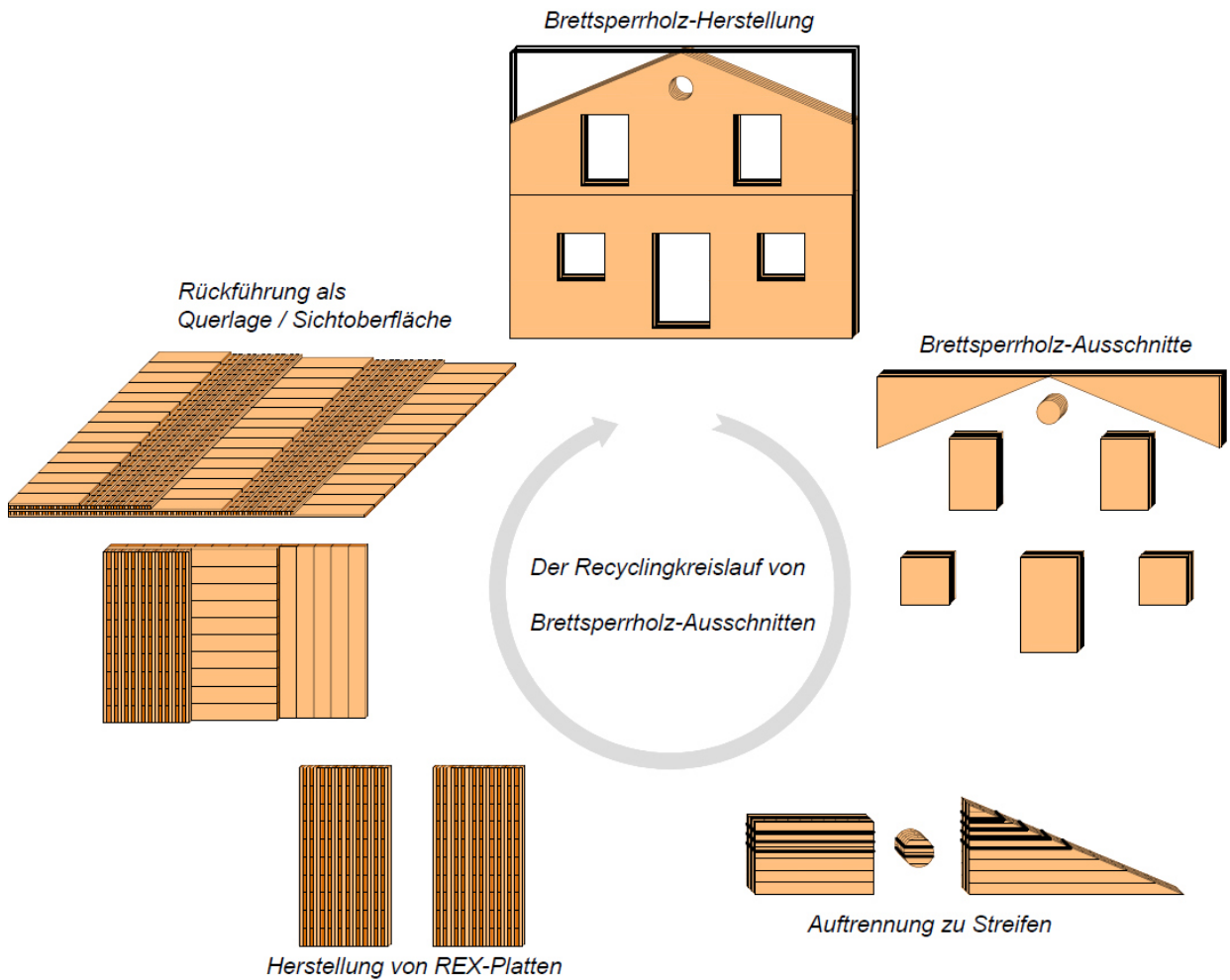


Abbildung 3.19: Recyclingkreislauf von Brettsperrholzausschnitten

Der Beginn dieses Recyclingkreislaufes wird von einer nach aktuellem Stand der Technik vollflächigen Fertigung von Brettsperrholzelementen gebildet. Die projektabhängigen und somit nicht einheitlichen Tür- oder Fensterausschnitte werden im nächsten Schritt zu Streifen gleicher Dicke aufgetrennt und mittels Schmalseitenverklebung zu Einschichtplatten verbunden. Geschlossen wird der Recyclingkreislauf durch die Rückführung des entstehenden Holzwerkstoffes in die eigentliche Fertigung von Brettsperrholz.

3-4.4 VERMARKTUNG

Durch die Veredelung eines bisher als Abfall deklarierten Rohstoffs zu REX-Platten, die wiederum in die Produktion von Brettsperrholz rückgeführt werden können, entsteht eine Erhöhung der Wertschöpfung für den Hersteller. Der entstehende Vorteil kann direkt an den Kunden weitergegeben werden. Hierfür stehen grundsätzlich zwei unterschiedliche Varianten zur Verfügung.

- **Brettsperrholz mit veränderten Eigenschaften**

Aus den Prüfergebnissen in Kapitel 4 geht hervor, dass der Einsatz dieser neuartigen REX-Platten aufgrund der wechselnden Anordnung von längs- und querorientierten Holzlagen zu einer Veränderung der mechanischen Eigenschaften von Brettsperrholz führt. Diese veränderten Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte könnten beispielsweise einen Nutzen in der statischen Dimensionierung von BSP-Elementen hervorrufen. Im Vergleich zu herkömmlichen Brettsperrholzelementen besteht das Potential eines reduzierten Plattenquerschnitts für spezielle Anwendungsfälle. Die resultierende Materialersparnis könnte somit direkt an den Kunden weitergegeben werden. Bei Verfolgung dieses Ansatzes muss jedoch berücksichtigt werden, dass die jährige Menge an BSP-Ausschnitten begrenzt ist und je nach

Auftragslage stark variieren kann. Zudem ist der Hirnholzanteil der REX-Platten vom Aufbau der verwendeten BSP-Ausschnitte abhängig, wodurch unterschiedliche mechanische Eigenschaften resultieren können. Für eine exakte Beurteilung sind weitere Materialprüfungen sowie FE-Analysen notwendig, die das mechanische Verhalten von REX-Platten als Querlagen von Brettsperholz exakt beschreiben.

▪ **Preisreduktion auf Ausschnittflächen**

Anstelle einer vollflächigen Verrechnung von BSP-Elementen könnte der entstehende Mehrwert aus der Veredelung auf eine prozentuelle Kostenersparnis der Ausschnittflächen umgelegt werden. Dies könnte nicht nur im Allgemeinen die Konkurrenzfähigkeit von Brettsperholz weiter erhöhen, sondern auch für den Kunden eine preislich attraktivere Gestaltung der Ausschnittflächen mit sich bringen, die ohnehin meist nicht benötigt werden.

3-5 SCHWIERIGKEITEN UND RISIKEN FÜR BSP-HERSTELLER

Neben all den Vorteilen und Potentialen, die mit der Veredelung von BSP-Ausschnitten einhergehen, können auch bestimmte Schwierigkeiten und Risiken für BSP-Hersteller auftreten, die im nachfolgenden Abschnitt näher erläutert werden.

3-5.1 INVESTITIONSRISIKO

Das im Zuge dieser Masterarbeit untersuchte Veredelungskonzept von BSP-Ausschnitten sieht eine möglichst effiziente und somit weitestgehend maschinelle Verarbeitung des vorliegenden Rohstoffes vor. Nachdem die Herstellung von Brettsperholz durch den Einsatz eines einheitlichen Rohstoffes in Form von Schnittholzlamellen ähnlicher Dicke, Breite und Länge geprägt ist, kann die Veredelung eines uneinheitlich geformten Ausgangsmaterials in Form von BSP-Ausschnitten nicht mit der vorhandenen Maschinenausrüstung umgesetzt werden, wodurch eine entsprechende Investitionssumme für die Herstellung von REX-Platten benötigt wird. Für eine aussagekräftige Beurteilung der Wirtschaftlichkeit, die im Wesentlichen auf eine Minimierung des Investitionsrisikos abzielt, bedarf es einer detaillierten Planung des Arbeitsablaufes inkl. Berechnung der Herstellungskosten.

3-5.2 NEUARTIGER HERSTELLUNGSPROZESS

Die Veredelung von BSP-Ausschnitten zu REX-Platten stellt gewissermaßen eine Produktneuheit bzw. Produktinnovation dar. Infolgedessen können im Zuge der Realisierung Risiken und Schwierigkeiten resultieren, die sich aufgrund der fehlenden Erfahrungen im Herstellungsprozess einstellen. Diese fehlenden Erfahrungen können sich vor allem auf die richtige Zusammenstellung der einzelnen Maschinenkomponenten bzw. der Gestaltung eines optimalen Arbeitsablaufes auswirken. Ein gestörter Produktionsablauf würde zu Einbußen in der Produktivität führen, die wiederum eine Erhöhung der Herstellungskosten nach sich ziehen und somit die Wirtschaftlichkeit der Veredelung gefährden könnten. Die Erzeugung eines neuartigen Produktes setzt somit eine detaillierte Sondierung des Marktes an Maschinenherstellern inkl. der Durchführung von Probeläufen voraus, um das Risiko einer möglichen Fehlinvestition weitestgehend zu minimieren und einen produktiven und störungsfreien Produktionsablauf zu gestalten.

KAPITEL 4: MACHBARKEITSSTUDIE

Kapitel 4 beinhaltet die Durchführung einer Machbarkeitsstudie des in Kapitel 3 vorgestellten Veredelungskonzeptes. Insgesamt wurden 30 Stück BSP-Deckenelemente hergestellt und einer Biege- wie auch Rollschubprüfung unterzogen. Neben einer allgemeinen Beschreibung des Prüfverfahrens sowie der Herstellung der Probekörper, wird das Hauptaugenmerk auf die Auswertung und Interpretation der Prüfergebnisse gelegt.

4-1 ALLGEMEINE BESCHREIBUNG

Für die Abschätzung der Leistungsfähigkeit des in Anlehnung an die Patentschrift (de Monte, 2012) vorliegenden Veredelungskonzeptes für BSP-Ausschnitte, wurde eine bestimmte Anzahl an Probekörper mittels Laborprüfungen untersucht und deren Ergebnisse anhand von Festigkeits- und Steifigkeitskenngrößen ausgewertet und interpretiert. Die Machbarkeitsstudie umfasste die Herstellung von 30 Probekörpern in Form von BSP-Platten, wobei die erfindungsgemäßen REX-Platten als Querlagen vorgesehen waren. Das für die Herstellung der Prüfkörper benötigte Ausgangsmaterial wurde zur Gänze von der Firma KLH Massivholz GmbH zur Verfügung gestellt. Als Plattenaufbau wurde ein fünfschichtiges BSP-Element vorgesehen, dessen Aufbau in Abbildung 4.1 dargestellt ist.

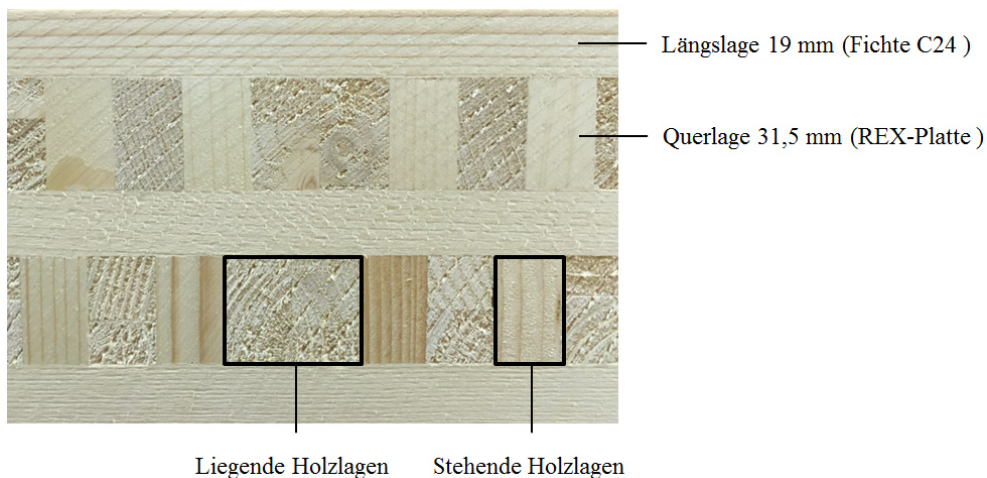


Abbildung 4.1: Aufbau der BSP-Prüfkörper

Wie Abbildung 4.1 entnommen werden kann, setzte sich der fünfschichtige Aufbau der Brettsperrholzplatten mit einer Gesamtstärke von 120 mm aus drei Längslagen mit den Querschnittsabmessungen 19 x 120 mm und der Festigkeitsklasse C24 sowie zwei Querlagen bestehend aus den erfindungsgemäßen REX-Querlagen mit einer Stärke von 31,5 mm zusammen. Im Zuge der Laborprüfungen wurden jeweils 15 Prüfkörper auf Biegung und Rollschub geprüft. Die Ermittlung der mechanischen Eigenschaften erfolgte nach ÖNORM EN 408:2012 bzw. in Anlehnung an die ÖNORM EN 16351:2015. Insgesamt wurden zwei BSP-Aufbauten mit einem unterschiedlichen Anteil von stehenden und liegenden Hölzern in den REX-Platten geprüft. Bei Abgleich praxisnaher BSP-Aufbauten stellt sich heraus, dass die bei der Auftrennung von BSP-Ausschnitten anfallenden Streifen einen beinahe gleichbleibenden Hirnholzanteil von rund 40 % aufweisen und der maximale Hirnholzanteil annähernd 60 % beträgt. Die Grundlage dieser Prozentzahlen wird durch die Auftrennung der Ausschnitte in Plattenlängsrichtung gebildet, wodurch im Randbereich der einzelnen Streifen jeweils

eine längsorientierte Holzlage angeordnet ist. Für die Vorbereitung der Laborprüfung wurden fünfschichtige BSP-Elemente mit einer konstanten Schichtstärke von 19 mm herangezogen. Durch die Auftrennung der Platten in Längs- und Querrichtung wurden die gewünschten Hirnholzanteile von 40 % und 60 % im Aufbau der REX-Platten erzeugt, siehe Abbildung 4.2.

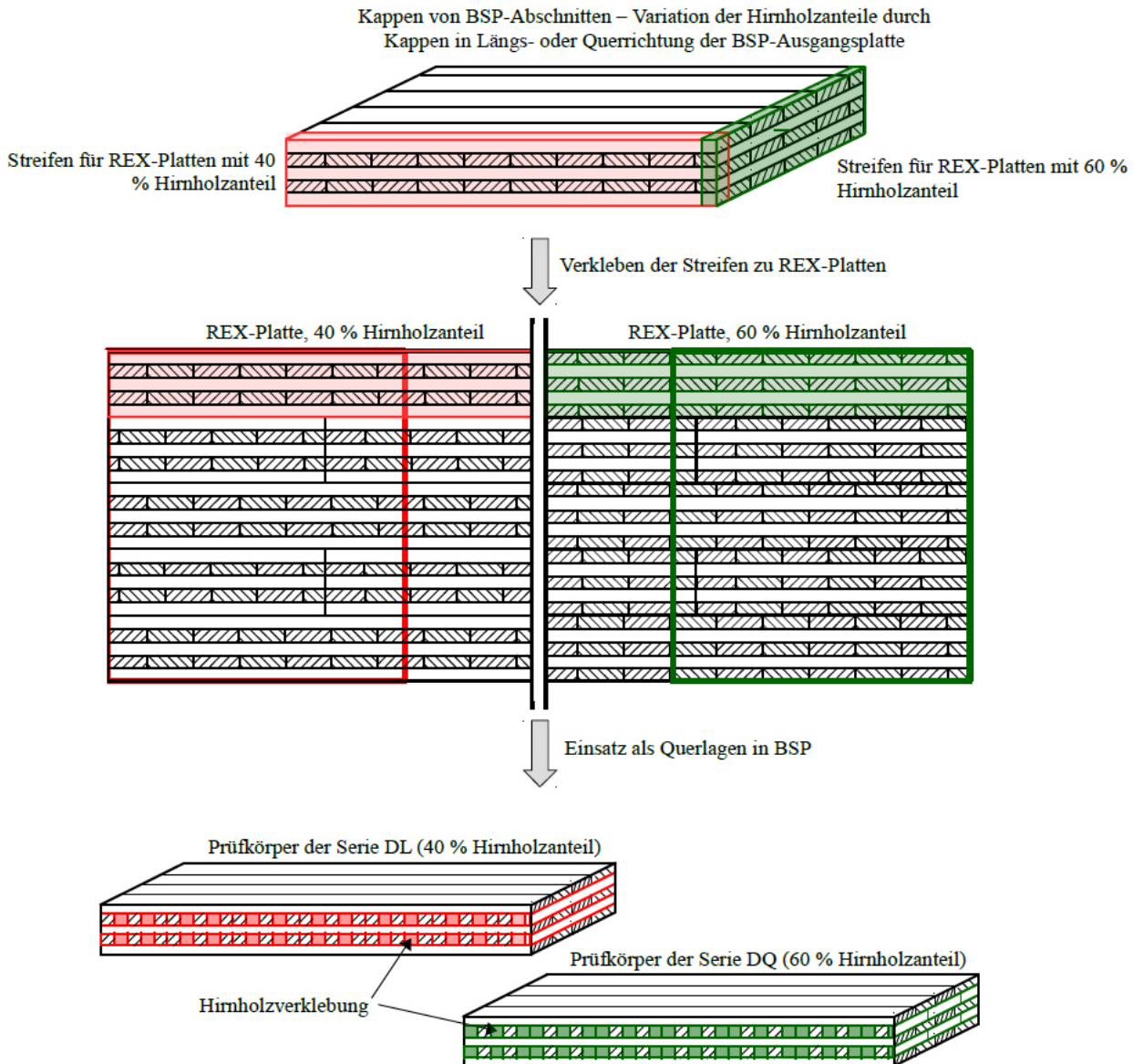


Abbildung 4.2: Herstellungsprozess der Querlagen und Prüfkörper für die Laborversuche (Lignum Test Center, 2016 S. 5)

Abbildung 4.2 zeigt die Herstellung der REX-Platten mit unterschiedlichem Hirnholzanteil sowie den vorgesehenen Einsatz als Querlage bei fünfschichtig aufgebauten BSP-Elementen.

4-2 PROBEKÖRPERHERSTELLUNG

Für die Durchführung der Biege- und Rollschubprüfungen wurden jeweils 10 fünfschichtige BSP-Prüfkörper mit zwei REX-Querlagen für die Prüfserie DL-B hergestellt, deren Hirnholzanteil 40 % betrug. Zusätzlich wurden jeweils fünf BSP-Prüfkörper für die Prüfserie DQ-B hergestellt, deren REX-Querlage einen Hirnholzanteil von 60 % aufwies. Die Plattenabmessungen entsprechen der Prüfkonfiguration nach ÖNORM EN 408:2012, wobei die für die Biegeprüfung vorgesehenen Elemente ein Fertigmaß von 120 x 460 x 26400 mm und die für die Rollschubprüfung vorbereiteten Elemente ein Endmaß von 120 x 460 x 1200 mm aufwiesen.

4-2.1 ROHMATERIAL

Das Rohmaterial der Probekörper setzte sich aus jenen drei Komponenten zusammen, die bereits aus der Herstellung von konventionellem Brettsperrholz bekannt sind. Bis auf den Aufbau der Querlagen stimmte die Beschaffenheit aller übrigen Komponenten mit jenen aus der Praxis überein. In Abschnitt 4-2.1.1. und 4-2.1.2 sind die einzelnen Komponenten des Rohmaterials genauer beschrieben.

4-2.1.1 Längslage

Die Längslagen bestanden aus Fichtenlamellen der Festigkeitsklasse C24. Die Querschnittsabmessung der gehobelten Lamellen betragen 19 x 120 mm und die Holzfeuchtebereich lag konstant zwischen 10 % und 14 %. In Abbildung 4.3 sind die Längslagen aus feinjährig gewachsener Seitenware ersichtlich. Das verwendete Rohmaterial wurde für die Herstellung der Probekörper nicht extra aussortiert.



Abbildung 4.3: Längslagenlamellen der BSP-Probekörper

4-2.1.2 Querlage

Die Querlage bestand aus aufgetrennten BSP-Ausschnitten, die zu REX-Platten veredelt werden. Um den Einfluss eines unterschiedlichen Hirnholzanteils in der Querlage erfassen zu können, wurden zum einen REX-Platten mit einem Hirnholzanteil von 40 % und zum anderen REX-Platten mit einem Hirnholzanteil von 60 % hergestellt.



REX-Querlage mit 40 % Hirnholzanteil
 (Prüfserie DL)

REX-Querlage mit 60 % Hirnholzanteil
 (Prüfserie DQ)

Abbildung 4.4: REX-Querlagen für Laborversuche

Aus Gründen einer effizienten Fertigung wurden die Platten mit einer vielfachen Länge erzeugt. Direkt vor der Flächenverklebung erfolgte der Zuschnitt auf das geforderte Längenmaß. Die Dicke der REX-Platten beträgt 31,5 mm.

4-2.1.3 Klebstoff

Als Klebstoff wurde ein Einkomponenten Polyurethanklebstoff der Fa. Loctite Henkel herangezogen, welcher auch in der BSP-Industrie und im Allgemeinen zur Herstellung von tragenden Holzbauteilen verwendet wird. Konkret wurde ein PU-Klebstoff der Serie HB vom Typ S309 gewählt, der mit einer offenen Zeit von 30 min und einer geschlossenen Zeit von 75 min ideal an den geplanten Herstellungsablauf angepasst werden konnte. Die Auftragsmenge von 200 g/m² sowie der erforderliche Pressdruck von 0,5 N/mm² wurden an die Vorgaben des zugehörigen Datenblattes angepasst.

4-2.2 ARBEITSPROZESSE

Die Herstellung der Prüfkörper setzte sich aus mehreren Arbeitsprozessen zusammen, die zur Gänze in den Werkstättenräumlichkeiten des Instituts für Holzbau und Holztechnologie an der TU Graz abgewickelt wurden. Insgesamt wurden 30 Stück fünfschichtig aufgebaute BSP-Elemente bestehend aus drei Längslagen mit einer Dicke von 19 mm und zwei Querlagen mit einer Dicke von 31,5 mm gefertigt. In den nachfolgenden Abschnitten 4-2.1 bis 4-2.4 werden die einzelnen Komponenten der Probekörperherstellung näher erläutert. Die Arbeitsprozesse, die zur Herstellung der REX-Querlagen erforderlich sind, können Kapitel 3 entnommen werden.

4-2.2.1 Materialvorbereitung

Die Materialvorbereitung umfasste den Zuschnitt der Längs- und Querlagen. Das Rohmaterial wurde mit einem geringen Längen- und Breitenüberstand im Vergleich zu den Endabmessungen der Prüfkörper hergestellt. Bei der Vorbereitung der REX-Querlagen musste besonders auf eine Trennung der unterschiedlichen Hirnholzbereiche im Plattenaufbau geachtet werden, um einen den Vorgaben entsprechenden homogenen BSP-Aufbau erhalten zu können. In Abbildung 4.5 ist der Zuschnitt der REX-Platten auf das gewünschte Längenmaß beispielhaft dargestellt.



Abbildung 4.5: Plattenzuschnitt der REX-Querlage

Sowohl die Breite als auch die Dicke der einzelnen Lagen wurde bereits im Zuge der Herstellung bzw. Materialauswahl an die späteren Endabmessungen der Probekörper angepasst, wodurch lediglich ein Längenzuschnitt erforderlich war. Zusätzlich wurde auch die Einhaltung der geforderten Holzfeuchte stichprobenartig überprüft, welche nach Vorgaben des Klebstoffherstellers zwischen 10 % und 15 % liegen sollte.



Abbildung 4.6: Überprüfung der Holzfeuchte mittels Hydromette M 2050 (elektr. Widerstandsmessverfahren)

4-2.2.2 Flächenverklebung

Der Arbeitsprozess der Flächenverklebung wurde an die vorhandene Laborausstattung angepasst. Mittels spezieller Gießrohrvorrichtung sowie einem automatisch angetriebenen Rollgang wurde eine Klebstoffauftragsmenge von 200 g/m² auf die Längslagen aufgetragen, siehe Abbildung 4.7.



Abbildung 4.7: Klebstoffauftrag der Längslagen

Der Klebstoffauftrag der REX-Querlagen erfolgte manuell mittels Spachtel, da die Auftragsmaschine nicht auf die verhältnismäßig großflächigen Abmessungen der vorgefertigten Querlagen ausgelegt ist. Wie Abbildung 4.8 entnommen werden kann, erfolgte auch die Schichtung der einzelnen Lagen per Hand.



Abbildung 4.8: Flächenverklebung zu BSP-Platten

Es wurden jeweils zwei nebeneinanderliegende Platten für die anschließende Verpressung vorbereitet, um die vorgeschriebene offene Zeit von 30 min einhalten zu können.

4-2.2.3 Verpressung

Für die Verpressung der Elemente wurde eine hydraulische Presse verwendet, mit der ein Pressdruck von 0,5 N/mm² aufgebracht werden kann. Entsprechend dem Datenblatt des verwendeten PU-Klebstoffes vom Typ HB S309 ist eine minimale Presszeit von 75 min vorgeschrieben. Im Zuge der Plattenherstellung wurde die Presszeit auf 90 min erhöht.



Abbildung 4.9: Verpressung der BSP-Probekörper

Zur Einhaltung der vorgeschriebenen Aushärtedauer wurden die Platten nach Beendigung des Pressvorgangs über einen Zeitraum von 24 h gesammelt gelagert.

4-2.2.4 Plattenzuschnitt und Abmessungen

Der finale Arbeitsschritt betrifft den Zuschnitt der Probekörper auf die geforderten Abmessungen laut Prüfkonfiguration, siehe Abbildung 4.10.



Abbildung 4.10: Längenzuschnitt der BSP-Probekörper

In Tabelle 4.1 sind neben dem Plattenaufbau auch die Abmessungen der für die Biege- und Rollschubprüfung vorgesehenen Probekörper dargestellt. Die geführten Bezeichnungen gelten in erster Linie als interne Kurzzeichen, die einerseits auf den Hirnholzanteil in der Querlage und andererseits auf die Art der Prüfserie hinweisen.

Tabelle 4.1: Abmessungen der BSP-Probekörper für die Biegeprüfung

Bezeichnung	Lagen	Aufbau [mm]	Hirnholzanteil in der REX-Querlage [%]	l/b/d [mm]	Anzahl Prüfkörper
DL-B	5	19-31,5-19-31,5-19 LL-QL-LL-QL-LL	40 %	2640/460/120	10
DQ-B	5	19-31,5-19-31,5-19 LL-QL-LL-QL-LL	60 %	2640/460/120	5

In Tabelle 4.1 wird der vorgesehene Umfang der Biegeprüfserie DQ-B und DL-B aufgezeigt, der sich aus insgesamt 10 Prüfkörpern mit einer REX-Querlage bestehend aus 40 % Hirnholzanteil und fünf Prüfkörpern mit einer REX-Querlage bestehend aus 60 % Hirnholzanteil zusammensetzt. Tabelle 4.2 zeigt den Umfang und die Abmessungen der Prüfkörper für die Rollschubprüfung.

Tabelle 4.2: Abmessungen der BSP-Probekörper für die Rollschubprüfung

Bezeichnung	Lagen	Aufbau [mm]	Hirnholzanteil in der REX-Querlage [%]	l/b/d [mm]	Anzahl Prüfkörper
DL-S	5	19-31,5-19-31,5-19 LL-QL-LL-QL-LL	40 %	1200/460/120	10
DQ-S	5	19-31,5-19-31,5-19 LL-QL-LL-QL-LL	60 %	1200/460/120	5

Abschließend wurden die Platten auf das vorgegebene Breitenmaß zugeschnitten, welches für beide Prüfserien einheitlich 460 mm betrug.



Abbildung 4.11: Breitenzuschnitt der BSP-Prüfkörper

Nach Fertigstellung des Plattenzuschnitts wurden die BSP-Platten in einer Klimakammer bei 20 °C Lufttemperatur und 65 % relativer Luftfeuchte zwischengelagert, damit sich die Holzfeuchtigkeit der BSP-Probekörper bei einer sich einstellenden Ausgleichfeuchtigkeit von 12 % bis zur Durchführung der Laborprüfungen nicht wesentlich ändert.

4-2.3 PROBLEMATIK BEI DER HERSTELLUNG

Da die Arbeitsprozesse für die Herstellung der BSP-Probekörper überwiegend in Form von Handarbeit geprägt waren, entstehen im Vergleich zu einer industriellen Fertigung gewisse Unterschiede, die vor allem das Erscheinungsbild aber auch die Qualität des Endproduktes wesentlich beeinflussen können. Aufgrund einer fehlenden Schmalseitenverklebung bzw. eines nicht vorhandenen Seitendruckes in der Presse entstehen im Zuge der Verklebung zum Teil große Fugen zwischen den Längslagenbrettern, die zu einer Abminderung der mechanischen Eigenschaften führen können.



Abbildung 4.12: Große Fugen zwischen den Längslagen durch fehlende Schmalseitenverklebung

Bei der Herstellung der REX-Querlagen resultierte vereinzelt ein ungünstiges Fugenbild mit zu großen Öffnungen zwischen den Streifen, siehe Abbildung 4.13. Die Ursache liegt in der Benützung einer Fertigungsanlage, die eigentlich für die Herstellung anderer Produkte konzipiert ist und somit nicht hundertprozentig auf die Anforderungen der REX-Platten abgestimmt werden konnte.



Abbildung 4.13: Offene Fugen und ungünstiges Fugenbild der REX-Querlagen

Ein weiterer Nachteil, der sich im Vergleich zur maschinellen Fertigung einstellte, betraf den Auftrag der Klebstoffmenge von 200 g/m². Nachdem die REX-Platten aufgrund ihrer Abmessungen nicht durch den automatisch steuerbaren Klebstoffauftrag geführt werden konnten, erfolgte dieser händisch. Aufgrund der knapp bemessenen offenen Zeit erfolgte keine exakte Bestimmung der Auftragsmenge, wodurch zumeist eine zu große Menge an Klebstoff verwendet wurde, die zu einem erhöhten Klebstoffaustritt führte, siehe Abbildung 4.14.



Abbildung 4.14: Hoher Klebstoffaustritt bei einem BSP-Element

Abschließend wird auf die Problematik des Umgebungsklimas im Zuge der Verklebung hingewiesen. Obwohl das Rohmaterial vom Zeitpunkt der Anlieferung bis hin zur Verklebung in einem geeigneten Ausgleichsklima gelagert wurde, stellte sich heraus, dass die während der Verklebung vorherrschende relative Luftfeuchtigkeit den vorgeschriebenen Kennwert von 65 % deutlich unterschritt, womit das Risiko einer Fehlverklebung erhöht wurde.

4-3 PRÜFVERFAHREN

Die im Zuge dieser Masterarbeit abgewickelten Materialprüfungen setzten sich einerseits aus einer Prüfserie für die Bestimmung der Biegekenngößen und andererseits aus einer Prüfserie zur Ermittlung der Rollschubkenngößen zusammen. Die Prüfkfiguration für die Bestimmung der Festigkeits- und Steifigkeitskenngößen von BSP-Elementen wurde an die Vorgaben gemäß ÖNORM EN 408:2012 angelehnt. Des Weiteren erfolgte die Überprüfung der Bindefestigkeit von Klebefugen einzelner Schichten anhand von Delaminierungsprüfungen nach ÖNORM EN 14080:2013 in Anlehnung an ÖNORM EN 16351:2015 wie auch die Abwicklung von Scherprüfungen gemäß ÖNORM EN 789:2005. In Summe resultierte folgendes Prüfprogramm, wobei die Auswertung der Delaminierungsprüfungen Kapitel 5 zu entnehmen ist.

- Bestimmung der mechanischen Eigenschaften
 - Biegekenngößen
 - Rollschubkenngößen
- Delaminierungsprüfung
- Scherprüfung

4-3.1 ALLGEMEINE PRÜFVERFAHREN

4-3.1.1 Bestimmung der Probekörperabmessungen

Die Bestimmung der Probekörperabmessungen erfolgte mit Hilfe eines Maßbandes, wodurch eine Fehlergrenze von 1 % eingehalten werden konnte. Die Breiten- wie auch Dickenmaße wurden aus dem arithmetischen Mittel von drei Einzelmessungen ermittelt. Das Längenmaß wurde durch eine Messung in Plattenlängsrichtung erfasst. Sämtliche Messungen wurden unmittelbar vor der Laborprüfung durchgeführt und dokumentiert.

4-3.1.2 Bestimmung des Holzfeuchtegehalts der Prüfkörper

Die Bestimmung der Holzfeuchtigkeit der Brettsperrholzelemente wurde entsprechend den Vorgaben nach ÖNORM ISO 3130:1994 abgewickelt. Nach Beendigung der Materialprüfungen wurde von jedem

einzelnen BSP-Prüfkörper ein Reststück entnommen und in weiterer Folge einem Darrverfahren zugeführt. Das Darrverfahren besteht im Wesentlichen aus zwei Arbeitsschritten. Sowohl vor Beginn als auch nach Beendigung des Trocknungsvorgangs wird die Masse der Probekörper bestimmt und aus dem Masseverhältnis der Feuchtegehalt berechnet.

$$u = \frac{m_u - m_0}{m_0} \quad [\%] \quad 4.1$$

- u ... Holzfeuchtigkeit [%]
 m_u ... Masse Holz feucht [g]
 m_0 ... Masse Holz trocken [g]

Für den Trocknungsprozess wird ein speziell geeigneter Trocknungssofen zur Hilfe genommen.

4-3.1.3 Bestimmung der Rohdichte der Prüfkörper

Für die Bestimmung der Rohdichte wurde die Masse der Probekörper mit Hilfe einer Waage erfasst. Anhand der aufgenommenen Abmessungen konnte das Volumen sämtlicher Probekörper errechnet werden. Aus dem Verhältnis von Masse und Volumen resultiert die Rohdichte jedes einzelnen Probekörpers.

4-3.2 PRÜFVERFAHREN – BIEGUNG AUS DER PLATTENEbene

Die Biegeprüfungen wurden entsprechend den Vorgaben nach ÖNORM EN 408:2012 bzw. ÖNORM EN 16351:2015 abgewickelt. In Tabelle 4.3 sind die geforderten Abmessungen der Probekörper, die Messlänge des lokalen E-Moduls und der Auflagerabstand bzw. die Entfernung der Lasteinleitungspunkte dargestellt. Obwohl in ÖNORM EN 408:2012 eine freie Spannweite von $18 \cdot h$ verankert ist, wurde die Spannweite auf $21 \cdot h$ vergrößert. Auf diese Weise sollte die Wahrscheinlichkeit eines Biegebruchs erhöht werden. Die Messlänge des lokalen E-Moduls befindet sich mit einer Länge von $5 \cdot h$ zwischen den Lastangriffspunkten im querkraftfreien Bereich der BSP-Elemente.

Tabelle 4.3: Abmessungen der Prüfkfiguration für die Biegeprüfung

Bezeichnung	Zeichen [-]	Wert [mm]	Anmerkung [-]
freie Spannweite	l	2520	$21 \cdot h$
Messlänge E-Modul	l_1	600	$5 \cdot h$
Abstand Auflager zur Lasteinleitung	a_1	900	$7,5 \cdot h$
Abstand der Lasteinleitungspunkte	a_2	720	$6 \cdot h$
Nennbreite	b	460	
Nennhöhe	h	120	
Gesamtlänge	L	2640	$\geq 22 \cdot h$
Auflagerbreite	b_a	60	$\leq h/2$

Die Materialprüfung der gesamten Biegeprüfserie erfolgte an der Universalprüfmaschine Zwick Universal 275, die eine stufenlos steuerbare weg- und/oder kraftgesteuerte Aufbringung von Kräften bis maximal 275 kN erlaubt. Mittels verwendeter Belastungsvorrichtung wurde die auf den Prüfkörper aufgebrachte Last mit einer Fehlergrenze von weniger als einem Prozent gemessen. Die lokale Verformungsmessung erfolgte in der Mitte des Referenzbalkens mit induktiven Wegaufnehmern des Typs WA 10, vgl. (Lignum Test Center, 2016 S. 7).

In Abbildung 4.15 ist das Schema der Prüfkfiguration zur Ermittlung der mechanischen Biegeeigenschaften nach ÖNORM EN 408:2012 mit lokaler Verformungsmessung bei Belastung aus der Plattenebene dargestellt.

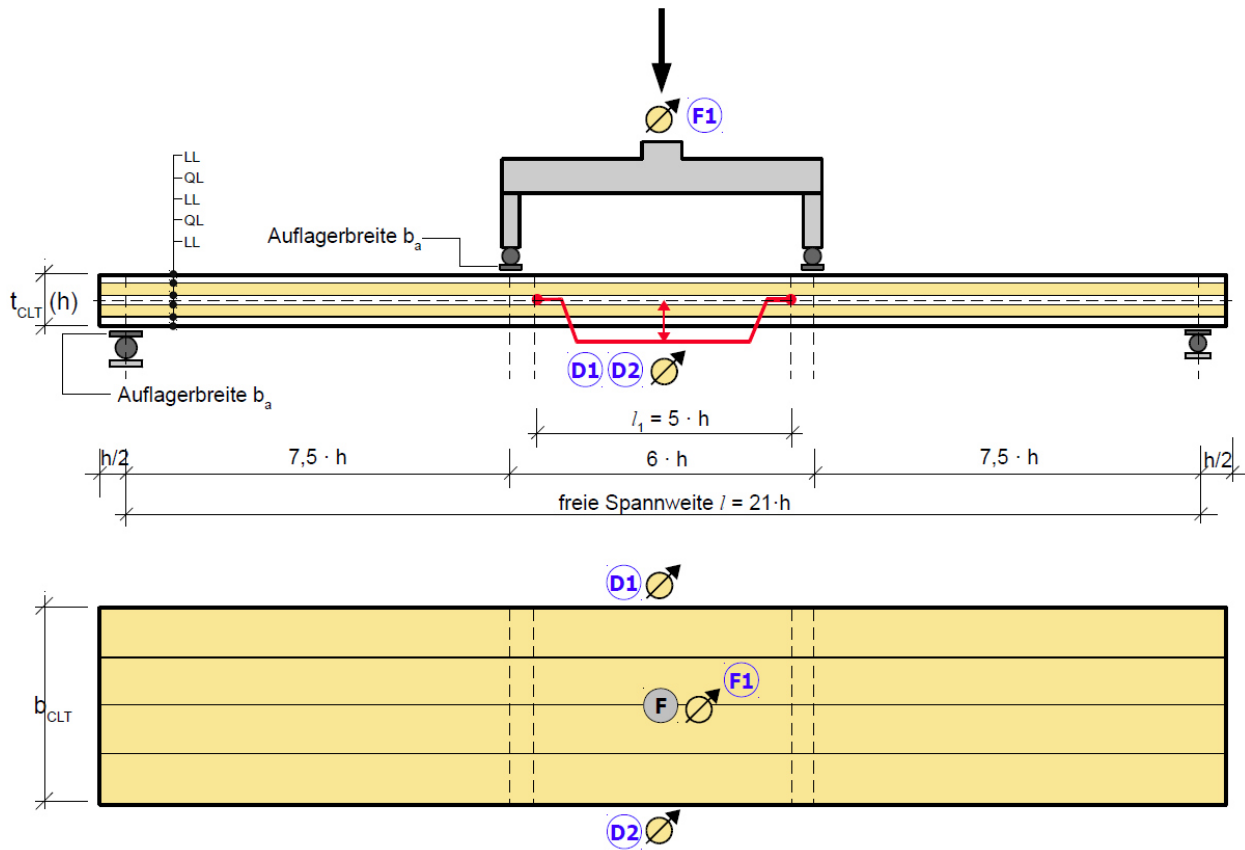


Abbildung 4.15: Schema der Prüfkongfiguration zur Ermittlung der mechanischen Biegeeigenschaften mit lokaler Verformungsmessung bei Belastung aus der Plattenebene gemäß ÖNORM EN 408:2012 (Lignum Test Center, 2016 S. 7)

Um einen möglichen Einfluss auf die Ermittlung der Steifigkeit durch lokale Störstellen zu vermeiden, wurde im Zuge der Biegeprüfung eine Hystereseschleife bis zu einem bestimmten Lastniveau gefahren, das in etwa 40 % des geschätzten Bruchlastniveaus entspricht. Die Prüfungsgeschwindigkeit wird derart gewählt, dass die Gesamtprüfzeit ab dem zweiten Ast der Hysterese bis zum Erreichen der Höchstlast 300 ± 120 Sekunden beträgt und in diesem Zeitraum auch der Bruch des Probekörpers eintritt, vgl. (Lignum Test Center, 2016 S. 7).

In Abbildung 4.16 ist beispielhaft das Kraft-Zeit-Diagramm eines der Prüferie zugehörigen Probekörpers DL-B-01 dargestellt.

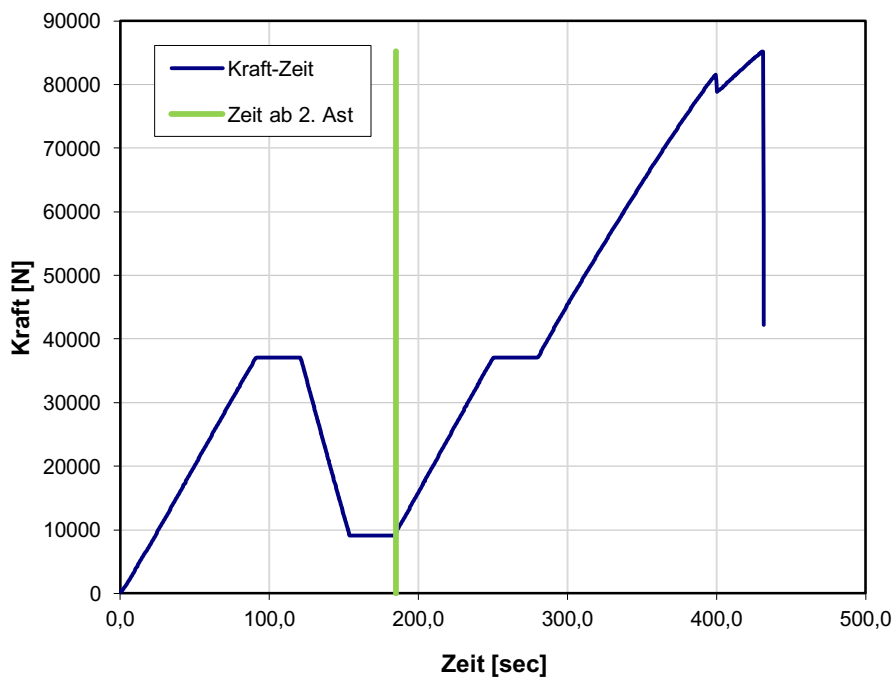


Abbildung 4.16: Kraft-Zeit-Diagramm einer Biegeprüfung der Prüferie DL-B-01 (Lignum Test Center, 2016)

4-3.3 PRÜFVERFAHREN – ROLLSCHUB BEI BIEGUNG AUS DER PLATTENEbene

Die Rollschubfestigkeit der Probekörper wurde ebenfalls anhand einer Vier-Punkt-Biegeprüfung in Anlehnung an die ÖNORM EN 408:2012 bzw. ÖNORM EN 16351:2015 ermittelt. Im Gegensatz zur Biegeprüfkonfiguration wurde der Abstand zwischen den Auflagern und den nächstgelegenen Lastenleitungsstellen auf $a_1 = 3 \cdot h$ reduziert, um auf diese Weise einen gewünschte Rollschubbruch in der REX-Querlage zu erhalten. Die Verkürzung des Abstandes der Lastenleitungsstellen auf $a_2 = 3 \cdot h$ führt jedoch dazu, dass lediglich der globale Elastizitätsmodul ermittelt werden konnte, da die Bezugslänge für die Messung des lokalen E-Moduls laut ÖNORM EN 408:2012 $a_2 = 5 \cdot h$ beträgt. Im Gegensatz zum lokalen E-Modul wird beim globalen E-Modul die Durchbiegung über die gesamte Trägerlänge bestimmt und somit der Einfluss aus Querkraft mitberücksichtigt. Es konnte somit keine vergleichende Betrachtung beider Kenngrößen angestellt werden. In Tabelle 4.4 sind die geforderten Abmessungen der Probekörper, die Messlänge des globalen E-Moduls und der Auflagerabstand bzw. die Entfernung der Lastenleitungsstellen detailliert dargestellt.

Tabelle 4.4: Abmessungen der Prüfkonfiguration für die Rollschubprüfung

Bezeichnung	Zeichen [-]	Wert [mm]	Anmerkung [-]
freie Spannweite	l	1080	$9 \cdot h$
Messlänge E-Modul	l_{global}	1080	$9 \cdot h$
Abstand Auflager zur Lastenleitung	a_1	360	$3 \cdot h$
Abstand der Lastenleitungsstellen	a_2	360	$3 \cdot h$
Nennbreite	b	460	
Nennhöhe	h	120	
Gesamtlänge	L	1200	$\geq 10 \cdot h$
Auflagerbreite	b_a	60	$\leq h/2$

In Abbildung 4.17 ist das Schema der Prüfkongfiguration zur Ermittlung der mechanischen Biege- und Rollschubeigenschaften dargestellt.

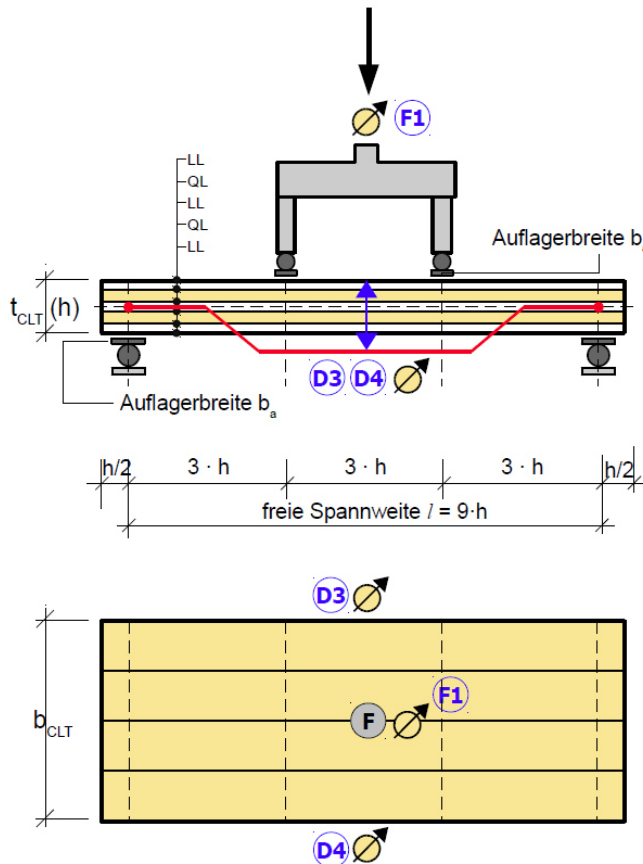


Abbildung 4.17: Schema der Prüfkongfiguration zur Ermittlung der mechanischen Rollschub- und Biegeeigenschaften mit globaler Verformungsmessung bei Belastung aus der Plattenebene gemäß ÖNORM EN 408:2012. (Lignum Test Center, 2016 S. 9)

Um einen negativen Einfluss auf die Ermittlung der Steifigkeit zu vermeiden, der zumeist durch lokale Störstellen gebildet wird, erfolgte auch im Zuge dieser Rollschubprüfserie die Anordnung einer Hystereseschleife, die ungefähr 40 % des Bruchlastniveaus entspricht. Die Prüfungsgeschwindigkeit wurde wiederum derart gewählt, dass die maximale Last und der Bruch innerhalb von 300 ± 120 Sekunden auf der zweiten Belastungskurve eintraten, vgl. (Lignum Test Center, 2016 S. 9).

4-4 BERECHNUNG UND AUSWERTUNG

In Abschnitt 4-4 werden die Berechnungsgrundlagen des in Kapitel 4-3 beschriebenen Vierpunkt-Biegeprüfversuchs beschrieben, der nach ÖNORM EN 16351:2015 zur Ermittlung der mechanischen Eigenschaften von Brettsperrholzelementen herangezogen wird.

4-4.1 GRUNDLAGEN DER BERECHNUNG

Als Grundlage für die Berechnung der mechanischen Eigenschaften von Brettsperrholz mit REX-Querlagen wurden die in Abbildung 4.18 dargestellten Materialkenngrößen herangezogen, wobei zwischen den unterschiedlichen Hirnholzanteilen in den Querlagen zu differenzieren ist.

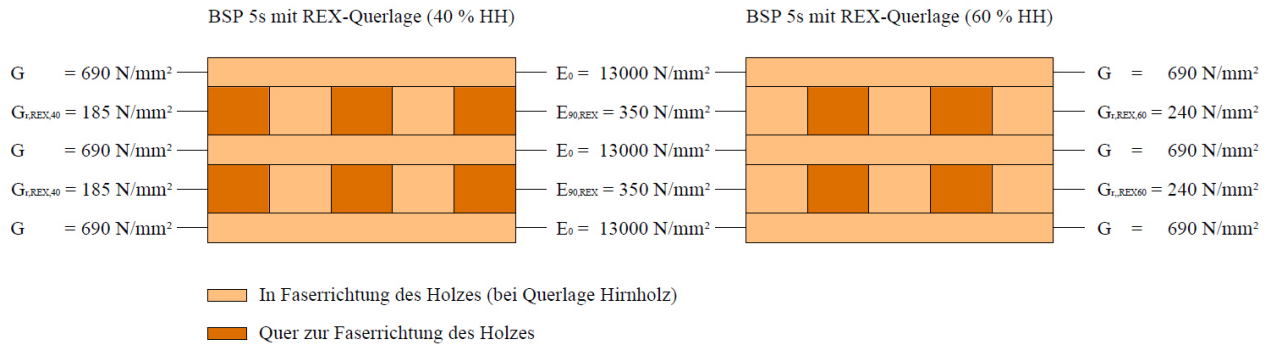


Abbildung 4.18: Kenngrößen für Berechnung der mechanischen Eigenschaften von BSP mit REX-Querlagen

Wie in Abbildung 4.18 ersichtlich, wird für die Längslagen ein E-Modul von $E_0 = 13000 \text{ N/mm}^2$ und ein Schubmodul von $G = 690 \text{ N/mm}^2$ angenommen. Ohne eine Materialprüfung durchgeführt zu haben, stützt sich diese Annahme auf die Verwendung feinjähriger Seitenware-Brettern, die im Vergleich zu Kernbrettern deutlich höhere mechanische Eigenschaften aufweisen.

Aufgrund des variierenden Faserwinkels im Plattenaufbau der REX-Querlagen können die Materialeigenschaften von herkömmlichen Schnittholzlamellen nicht übernommen werden. Die in Abbildung 4.18 dargestellten Kenngrößen beziehen sich auf die elastischen Eigenschaften von Holz, welche besagen, dass sowohl bei den E-Moduln als auch G-Moduln eine ausgeprägte Richtungsabhängigkeit vorliegt. Für Nadelhölzer stehen die Kennzahlen der einzelnen E-Moduln tangential, radial und längs der Faser in einem Verhältnis von $E_T \div E_R \div E_L = 1 \div 1,7 \div 20$. Für die Schubmoduln beträgt das Verhältnis $G_{LT} \div G_{RL} \div G_{RT} = 1 \div 1 \div 0$, siehe Abbildung 4.19, vgl. (Schickhofer, 2006 S. A-4/35-36).

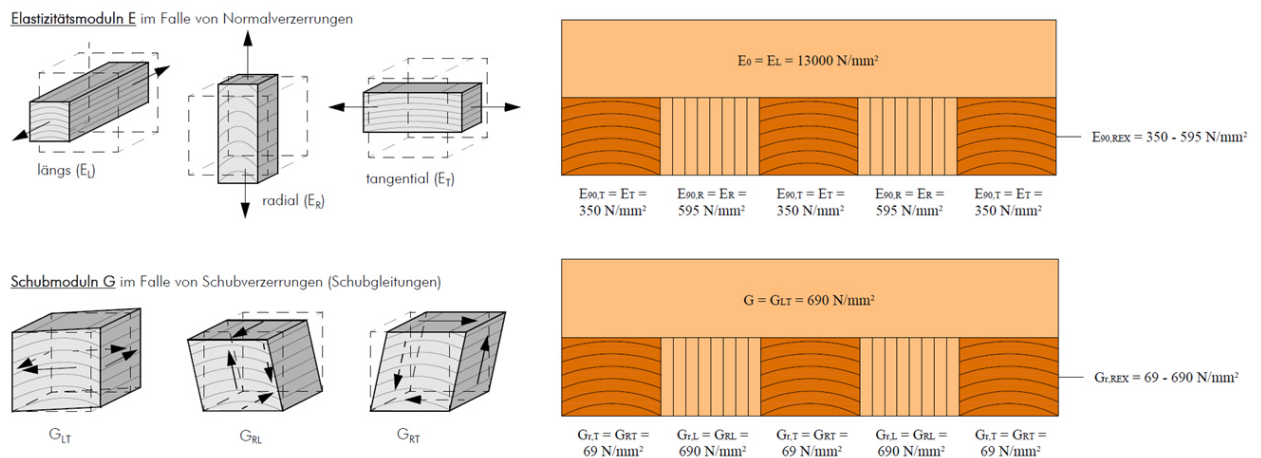


Abbildung 4.19: Elastische Eigenschaften des Holzes (links) (Schickhofer, 2006 S. A-4/35), Materialeigenschaften von Brettsperrholz mit REX-Querlage (rechts)

Die Kenngröße des Elastizitätsmoduls quer zur Faser wird bei herkömmlichen Fichtenlamellen mit einer Festigkeitsklasse C24 mit $E_{90} = 350 \text{ N/mm}^2$ definiert. Abgeleitet aus dem Verhältnis der E-Moduln nach (Schickhofer, 2006) ergibt sich, dass der Elastizitätsmodul der stehend orientierten Holzlagen den 1,7 fachen Wert der liegend orientierten Holzlagen in der REX-Platte annimmt. Mit dieser Erkenntnis kann darauf zurückgeschlossen werden, dass der E-Modul der REX-Querlagen zumindest zwischen $350 \text{ N/mm}^2 < E_{90,REX} < 595 \text{ N/mm}^2$ liegt, siehe Abbildung 4.19. Nachdem eine Beurteilung weitere Materialprüfungen sowie eine FE-Modellierung erfordert, wurde im Zuge der Berechnung eine konservative Annahme von $E_{90,REX} = 350 \text{ N/mm}^2$ getroffen. Unter Berücksichtigung wichtiger Einflussfaktoren wie beispielsweise dem Anteil der stehend und liegend orientierten Holzlagen sowie deren Geometrieverhältnis im Aufbau der REX-Platten kann jedoch von einer Erhöhung des E-Moduls quer zur Faser ausgegangen werden, auch wenn dadurch kein großer Einfluss auf die Steifigkeit der BSP-Platte gegeben ist.

Die Kenngröße des Rollschubmoduls G_r wird erneut durch die wechselnde Anordnung von liegend und stehend orientierten Holzlagen im Aufbau der REX-Platten beeinflusst. Aus dem Verhältnis der Schubmoduln nach (Schickhofer, 2006) geht hervor, dass der Schubmodul der stehend orientierten Hirnholzlagen den 10-fachen Wert der liegend orientierten Holzlagen annimmt. Mit dieser Erkenntnis kann darauf zurückgeschlossen werden, dass der Schubmodul der REX-Querlage im Bereich von $69 \text{ N/mm}^2 < G_{r, \text{REX}} < 690 \text{ N/mm}^2$ liegt, siehe Abbildung 4.19. Für die Berechnung der Prüfergebnisse wurde der Rollschubmodul eines fiktiven BSP-Elements mittels FE-Studie so lange erhöht, bis die modellierte Verformung mit der gemessenen Verformung am Prüfkörper übereinstimmte. Während für REX-Querlagen mit einem Hirnholzanteil von 40 % ein verschmierter Rollschubmodul von $G_{r, \text{REX}, 40} = 185 \text{ N/mm}^2$ ermittelt wurde, konnte für REX-Querlagen mit einem Hirnholzanteil von 60 % ein Kennwert von $G_{r, \text{REX}, 60} = 240 \text{ N/mm}^2$ festgestellt werden.

Für eine exakte Ermittlung des Rollschubmoduls der REX-Querlagen ist jedoch eine Vielzahl weiterer Einflussgrößen zu beachten. Neben dem unterschiedlichen Anteil von stehend und liegend orientierten Holzlagen im Aufbau der REX-Platten kommt auch dem von (Erhart, 2014) untersuchten Geometrieverhältnis (b/t) der einzelnen Holzlagen eine wichtige Bedeutung zu. Aus der Forschungsarbeit von (Feichter, 2013) geht zudem hervor, dass auch die Lage der Jahrringe die Kenngröße des Rollschubmoduls beeinflusst, wobei liegend orientierte Jahrringe den geringsten Wert aufweisen. Der größte Rollschubmodul wird bei einem Winkel von 30° bis 60° erzielt, wodurch bei Seitenware-Brettern zumindest ein b/d – Verhältnis von 4 vorliegen sollte, siehe Abbildung 4.20.

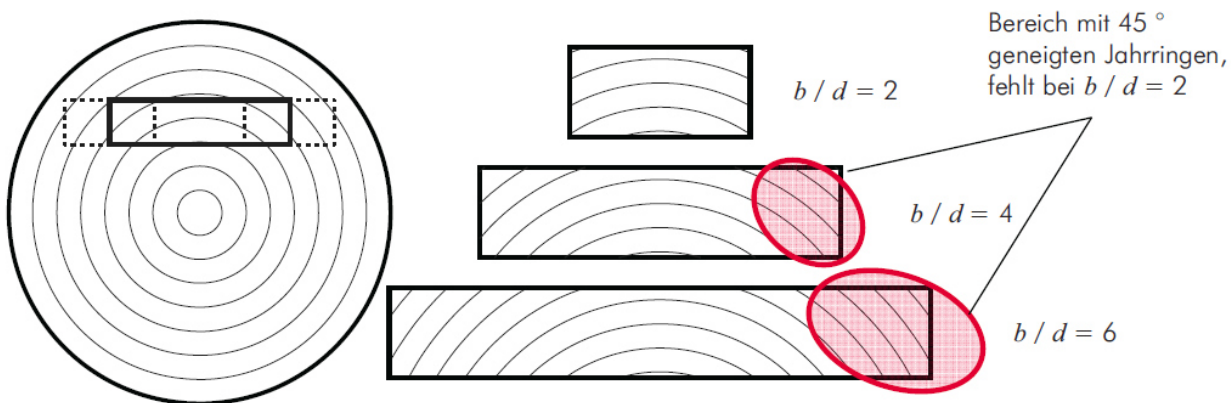


Abbildung 4.20: Einfluss des b/d -Verhältnisses bei Schnittholzlamellen auf den Rollschubmodul von BSP (Erhart, 2014 S. 125)

Die zur vertieften Analyse der mechanischen Kenngrößen von REX-Querlagen notwendigen Forschungsaktivitäten können Kapitel 6-2 entnommen werden.

Die in den Abschnitten 4-4.1.1 bis 4-4.1.6 angeführten Formeln stammen aus dem Prüfbericht (Lignum Test Center, 2016).

4-4.1.1 Biegesteifigkeit K_{CLT}

Basierend auf dem Timoschenko-Balken wurde die Biegesteifigkeit (bei BSP: K_{CLT}) nach der elastischen Verbundtheorie mit Formel 4.2 berechnet.

$$K_{CLT} = \sum(E_i \cdot I_i) + \sum(E_i \cdot A_i \cdot e_i^2) \quad 4.2$$

K_{CLT}	...	Biegesteifigkeit Brettsperrholz
E_i	...	E-Modul der Lage i ; Annahme: $E_0 = 13000 \text{ N/mm}^2$, $E_{90, \text{REX}} = 350 \text{ N/mm}^2$
I_i	...	Eigenträgheitsmoment der Lage i
A_i	...	Querschnittsfläche der Lage i
e_i	...	Schwerpunktsabstand der Lage i vom Schwerpunkt des Querschnitts

Die Kenngröße der Biegesteifigkeit, in dessen Berechnung die angenommenen E-Moduln von $E_0 = 13000 \text{ N/mm}^2$ und $E_{90, \text{REX}} = 350 \text{ N/mm}^2$ einfließen, wird in weiterer Folge für die Ermittlung der lokalen und globalen E-Modulen sowie der Biege- Schub- und Rollschubspannung der neuartig aufgebauten BSP-Elemente herangezogen.

4-4.1.2 Schubsteifigkeit S_{CLT}

Die Schubsteifigkeit S_{CLT} eines geschichteten Querschnitts hängt einerseits von der Schubsteifigkeit eines wölbfreien Querschnitts nach Formel 4.4 und andererseits vom Schubkorrekturfaktor κ nach Formel 4.5 ab.

$$S_{CLT} = \frac{S_{tot}}{\kappa} \quad 4.3$$

$$S_{tot} = \sum(G_i \cdot b_i \cdot t_i) = \sum(G_i \cdot A_i) \quad 4.4$$

$$\kappa = \frac{\sum G_i \cdot t_i}{K_{CLT}^2} \cdot \sum_{t_i} \frac{t_i}{60 \cdot G_i} \cdot (60 \cdot S_0^2 + 20 \cdot E(z) \cdot S_0 \cdot t_i \cdot (t_i + 3 \cdot z_0) + E(z)^2 \cdot t_i^2 \cdot (3 \cdot t_i^2 + 15 \cdot t_i \cdot z_0 + 20 \cdot z_0^2)) \quad 4.5$$

S_{CLT}	...	Schubsteifigkeit Brettsperrholz
S_{tot}	...	Schubsteifigkeit eines wölbfreien Querschnitts
κ	...	Schubkorrekturfaktor für den gesamten Querschnitt
G_i	...	Schubmodul der Lage i (G_i , $G_{r,i}$), je nach Orientierung; Annahme $G = 690 \text{ N/mm}^2$ REX-Querlage (40%-Hirnholz): $G_{r, \text{REX}, 40} = 185 \text{ N/mm}^2$; REX-Querlage (60%-Hirnholz): $G_{r, \text{REX}, 60} = 240 \text{ N/mm}^2$
b_i , t_i	...	Breite der Lage i, Dicke der Lage i
S_0	...	Statisches Moment der Lage i, abhängig vom Abstand z
z_0	...	Randabstand der Lage i

Der Schubkorrekturfaktor κ berücksichtigt den Verlauf der Schubspannungen über den Querschnitt. Bei geschichteten Querschnitten ist es notwendig einen Schubkorrekturfaktor einzuführen, der das Verhalten einzelner Schichten mitberücksichtigt. Besitzt der Querschnitt besonders schubweiche Lagen, steigen der Schubkorrekturfaktor und damit die berechnete Verformung an. Für homogene Querschnitte, beträgt der Schubkorrekturfaktor 1,2. Bei Brettsperrholz wird der Schubkorrekturfaktor vom Höhenverhältnis der Längs- und Querlagen beeinflusst und beträgt im Mittel 3,5 bis 4, vgl. (Feichter, 2013 S. 30-33).

Aufgrund der aus der FE-Studie stammenden Rollschubmoduln der REX-Querlage von $G_{r, \text{REX}, 40} = 185 \text{ N/mm}^2$ und $G_{r, \text{REX}, 60} = 240 \text{ N/mm}^2$, wird eine deutliche Reduktion des Schubkorrekturfaktors erzielt. Bei einem Hirnholzanteil von 40 % wird ein Wert von 1,89 und bei einem Hirnholzanteil von 60 % ein Wert von 1,61 berechnet.

4-4.1.3 Lokaler Biege-Elastizitätsmodul

Der lokale E-Modul wird durch die Erfassung der Durchbiegungen im querkraftfreien Bereich in Trägermitte bestimmt und anhand von Formel 4.6 berechnet.

$$E_{m,0,lokal} = \frac{a_1 \cdot l_1^2}{16 \cdot \frac{K_{CLT}}{E_0}} \cdot \frac{\Delta F}{\Delta w} \quad 4.6$$

- a_1 ... Abstand Auflager-Lasteinleitung
- l_1 ... Bezugslänge für lokalen E-Modul
- K_{CLT} ... Biegesteifigkeit Brettsperrholz
- E_0 ... Bezugs-E-Modul, Annahme $E_0 = 13000 \text{ N/mm}^2$
- $\frac{\Delta F}{\Delta w}$... Verhältnis von Kraft- und Wegänderung im linear elastischen Bereich

In Abbildung 4.21 ist die Ermittlung des Verhältnisses von Kraft- und Wegänderung (kurz: $\Delta F/\Delta w$) im linear elastischen Bereich eines beispielhaft ausgewählten Prüfkörpers DL-B-01 dargestellt, der ein Belastungsniveau von 10 % bis 40 % der Bruchlast abdeckt.

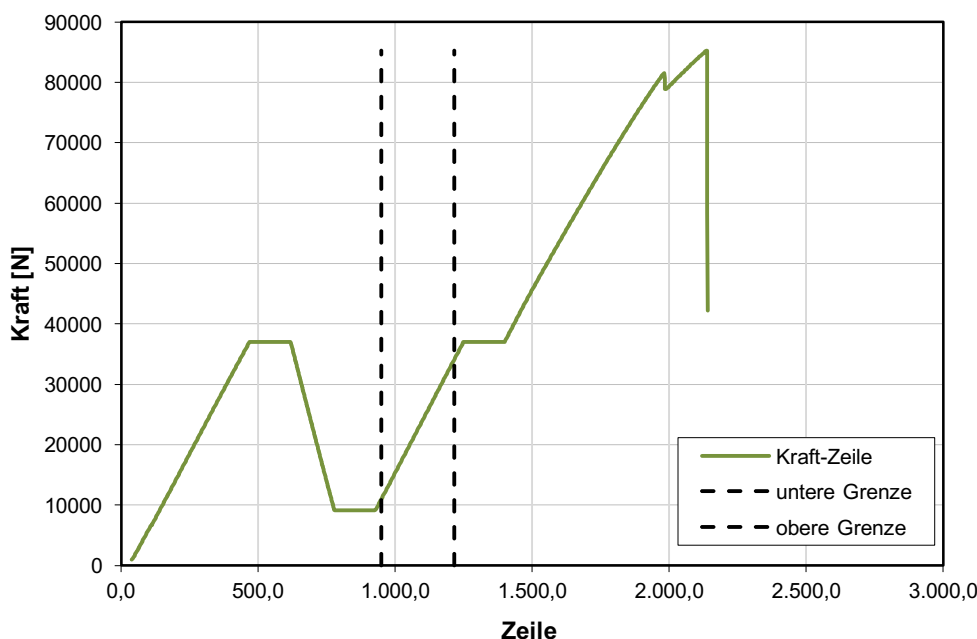


Abbildung 4.21: Verhältnis $\Delta F/\Delta w$ von Kraft- und Wegänderung zur Ermittlung des lokalen Biege-E-Moduls von Prüfkörper DL-B-01 (Lignum Test Center, 2016)

4-4.1.4 Globaler Biege-Elastizitätsmodul

Im Gegensatz zur Bestimmung des lokalen Elastizitätsmoduls wird bei der Ermittlung des globalen E-Moduls die Durchbiegung über die gesamte Trägerlänge bestimmt und somit der Einfluss der Querkraft mitberücksichtigt.

$$E_{m,0,global} = \frac{3 \cdot S_{CLT} \cdot l^2 \cdot a_1 - 4 \cdot S_{CLT} \cdot a_1^3}{\frac{\Delta w}{\Delta F} \cdot 48 \cdot \frac{K_{CLT}}{E_0} \cdot S_{CLT} - a_1 \cdot 24 \cdot \frac{K_{CLT}}{E_0}} \quad 4.7$$

- S_{CLT} ... Schubsteifigkeit Brettsperrholz
- l ... Gesamtlänge Prüfkörper
- a_1 ... Abstand Auflager-Lasteinleitung
- K_{CLT} ... Biegesteifigkeit Brettsperrholz
- E_0 ... Bezugs-E-Modul, Annahme $E_0 = 13000 \text{ N/mm}^2$

Der globale E-Modul wurde durch die einfließende Schubsteifigkeit S_{CLT} und den Schubkorrekturfaktor κ stark beeinflusst. Die Schubsteifigkeit wird sowohl von den Materialeigenschaften der Längs- als auch der Querlage beeinflusst, die in beiden Fällen, im Besonderen bei der REX-Querlage, auf einer Annahme beruhen. Auch die für die Berechnung des Schubkorrekturfaktors benötigten Rollschubmoduln der REX-Platten sind nicht bekannt und basieren auf einer FE-Modellierung, in der die gemessenen Verformungen an einem fiktiven BSP-Querschnitt angenähert wurden.

4-4.1.5 Biegespannung

Für die Berechnung der Biegespannung wurde Formel 4.8 herangezogen, die im Allgemeinen für symmetrisch aufgebaute BSP-Elemente zur Bestimmung der maximal auftretenden Biegespannung im Randbereich herangezogen wird.

$$\sigma_m = \frac{M}{K_{CLT}} \cdot z \cdot E_0 \quad 4.8$$

M	...	Biegemoment
K_{CLT}	...	Biegesteifigkeit Brettsperrholz
z	...	Schwerpunktsabstand
E_0	...	Bezugs-E-Modul, Annahme $E_0 = 13000 \text{ N/mm}^2$

4-4.1.6 Schub- und Rollschubspannung

Für die Ermittlung der Schub- wie auch Rollschubspannung kann einheitlich die nachfolgende Formel herangezogen werden, wobei sich die Ergebnisse durch das jeweilige statische Moment unterscheiden.

$$\tau_{v(r),d} = \frac{V \cdot \sum S_{m,i} \cdot E_i}{K_{CLT} \cdot b_i} \quad 4.9$$

V	...	Querkraft
$S_{m,i}$	...	Statisches Moment der Lage i
E_i	...	E-Modul der Lage, Annahme $E_0 = 13000 \text{ N/mm}^2$ / $E_{90,REX} = 350 \text{ N/mm}^2$
K_{CLT}	...	Biegesteifigkeit Brettsperrholz
b_i	...	Breite Brettsperrholzelement

4-5 PRÜFERGEBNISSE

Abschnitt 4.5 beinhaltet einerseits die Ergebnisauswertung der durchgeführten Vier-Punkt-Biegeprüfungen nach ÖNORM EN 408:2012, die aus dem Prüfbericht (Lignum Test Center, 2016) stammen. Andererseits sind die Ergebnisse von Scherprüfungen nach ÖNORM EN 789:2005 angeführt, die von der Firma KLH Massivholz GmbH ermittelt wurden.

Den Spannungs- und Verformungsberechnungen wurde der Timoschenko-Balken zugrunde gelegt. Die charakteristischen Biege- und Rollschubkenngrößen, welche nach ÖNORM:EN:14358:2016 ermittelt wurden, basieren auf einer logarithmischen Normalverteilung mit einem Vertrauensniveau von 75 %. Die zugehörigen Kraft-Zeit wie auch Kraft-Zeit-Diagramme können dem Prüfbericht (Lignum Test Center, 2016) im Anhang entnommen werden.

4-5.1 BIEGEPRÜFUNG

Die Biegeprüferie setzte sich 15 Prüfkörpern zusammen, wobei 10 Stück mit einer REX-Querlage bestehend aus einem Hirnholzanteil von 40 % und fünf Prüfkörper mit einer REX-Querlage bestehend aus einem Hirnholzanteil von 60 % hergestellt wurden. In Abbildung 4.22 sind die für die Biegeprüfung

vorgesehenen Probekörper beispielhaft dargestellt, wobei keine klare Trennung zwischen den unterschiedlichen Hirnholzanteilen in den REX-Querlagen erkennbar ist.



Abbildung 4.22: Prüfkörper der Biegeprüfserie

4-5.1.1 Biegekenngößen Prüfserie DL-B (REX mit 40% Hirnholzanteil)

Die Biegeprüfserie setzt sich aus 10 BSP-Prüfkörpern zusammen, deren REX-Querlagen einen Hirnholzanteil von 40 % aufwiesen. Die zugehörigen Ergebnisse der Biegeprüfung wurden aus dem Prüfbericht (Lignum Test Center, 2016) entnommen. Wie in Tabelle 4.5 ersichtlich, umfassen diese Kennzahlen wie beispielsweise die Abmessungen der Versuchskörper, die Holzfeuchte sowie die daraus resultierende Rohdichte.

Tabelle 4.5: Probekörperabmessungen, Holzfeuchte und Rohdichte – Biegung aus der Plattenebene, Querlagen mit 40 % Hirnholzanteil (Lignum Test Center, 2016 S. 18)

Bezeichnung	Breite b [mm]	Dicke d [mm]	Länge L [mm]	Holzfeuchte u [%]	Rohdichte ρ [kg/m ³]
DL-B-01	460,7	118,8	2.642	13,1%	491
DL-B-02	460,6	118,7	2.642	13,4%	481
DL-B-03	361,1	118,7	2.642	12,9%	607
DL-B-04	360,5	119,1	2.641	13,1%	623
DL-B-05	460,5	118,7	2.647	13,5%	492
DL-B-06	460,2	118,4	2.642	13,3%	487
DL-B-07	460,4	119	2.642	12,9%	491
DL-B-08	460,3	118,8	2.642	12,8%	482
DL-B-09	460,6	118,4	2.641	13,0%	488
DL-B-10	460,7	118,6	2.642	12,9%	493
Anzahl Prüfkörper [-]	10	10	10	10	10
Min	360,5	118,4	2.641	12,8%	481
Max	460,7	119,1	2.647	13,5%	623
Mittelwert	440,6	118,7	2.642	13,1%	514
Standardabweichung				0,2%	54
Variationskoeffizient COV [%]				1,8 %	10,5 %
Faktor k _s					2,079
charakteristischer Kennwert nach ÖNORM EN 14358:2016					419

Aus der Tabelle 4.5 geht hervor, dass die mittlere Holzfeuchtigkeit zum Zeitpunkt der Prüfung bei $u = 13,1\%$ lag, wodurch der vorgeschriebene Grenzbereich des Klebstoffherstellers von 8 bis 15 % nachweislich eingehalten werden konnte. Vereinzelt kann eine deutlich erhöhte Rohdichte (kurz: ρ) mit bis zu 600 kg/m^3 festgestellt werden, die vorwiegend auf das verwendete Rohmaterial der Längslagen in Form von feinjählig gewachsener Seitenware zurückzuführen ist. Während die mittlere Rohdichte $\rho = 514 \text{ kg/m}^3$ beträgt, wird der charakteristische Kennwert nach ÖNORM EN 14358:2016 aufgrund einer relativ hohen Standardabweichung mit $\rho = 425 \text{ kg/m}^3$ berechnet. Auf eine Holzfeuchteanpassung der Rohdichte sowie des Biege-E-Moduls gemäß ÖNORM EN 384:2016 wurde verzichtet. In Tabelle 4.6 sind die aufgenommen Maximalkräfte F_{\max} sämtlicher Biegeprüfungen dargestellt, mit denen in weiterer Folge die mechanischen Eigenschaften der Probekörper errechnet werden.

Tabelle 4.6: Ergebnisse der Prüfung zur Ermittlung der Biegekenngößen– Biegung aus der Plattenebene, Querlagen mit 40% Hirnholzanteil (Lignum Test Center, 2016 S. 19)

Bezeichnung	F_{\max} [kN]	f_m [N/mm ²]	$E_{m, \text{lokal}}$ [N/mm ²]	τ_r [N/mm ²]	τ_r [N/mm ²]
DL-B-01	85,3	51,1	15.478	0,92	0,96
DL-B-02	89,8	53,9	15.907	0,97	1,01
DL-B-03	93,6	71,6	19.137	1,29	1,35
DL-B-04	97,4	74,1	20.635	1,34	1,4
DL-B-05	82,9	49,7	14.492	0,89	0,94
DL-B-06	93,3	56,3	14.989	1,01	1,06
DL-B-07	84,9	50,7	15.135	0,91	0,96
DL-B-08	93,5	56	16.466	1,01	1,05
DL-B-09	89,6	54	14.979	0,97	1,01
DL-B-10	96,9	58,2	16.817	1,05	1,09
Anzahl Prüfkörper [-]					
	10	10	10	10	10
Min	82,9	49,7	14.492	0,89	0,94
Max	97,4	74,1	20.635	1,34	1,40
Mittelwert	90,4	57,7	16.403	1,03	1,08
Standardabweichung	5,3	9,0	1.999	0,15	0,16
Variationskoeffizient COV [%]	5,9 %	15,6 %	12,2 %	14,9 %	14,9 %
charakteristischer Kennwert nach ÖNORM EN 14358:2016		41,9			

Wie in Tabelle 4.6 ersichtlich, wurde im Mittel eine Maximalbelastung von $F_{\max} = 90,4 \text{ kN}$ festgestellt. Verbunden mit einem Variationskoeffizienten von $\text{COV} = 15,6\%$ wurde eine charakteristische Biegespannung von $f_m = 41,9 \text{ N/mm}^2$ bestimmt. Der mittlere lokale E-Modul beträgt 16403 N/mm^2 . Vor allem die Proben DL-B-03 und DL-B-04 weisen deutlich erhöhte Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte mit einer max. Biegefestigkeit von $74,1 \text{ N/mm}^3$ und einem zugehörigen lokalen E-Modul von $E_{m, \text{lokal}} = 20635 \text{ N/mm}^2$ auf. Zusammen mit einem Variationskoeffizienten von $\text{COV} = 14,9\%$ beträgt der Mittelwert der Rollschubspannung $\tau_r = 1,03 \text{ N/mm}^2$ und der Mittelwert der Schubspannung $\tau_v = 1,08 \text{ N/mm}^2$. Die in ÖNORM EN 408:2012 geforderte Prüfzeit von 300 ± 120 Sekunden wurde bei allen Prüfkörpern eingehalten.

Mittels zugehöriger Bruchbilder werden die Versagensursachen der Probekörper näher erläutert. Als häufigste Versagensursache wurde in 9 von 10 Fällen ein Biegeversagen aus einer Kombination von lokaler Schrägfaser, Buchs sowie Einzellasten festgestellt. Als sekundäre Bruchursache konnte bei insgesamt 8 Prüfkörpern entweder ein Schubversagen in der unteren Längslage oder ein Rollschubversagen in der unteren Querlage festgestellt werden.

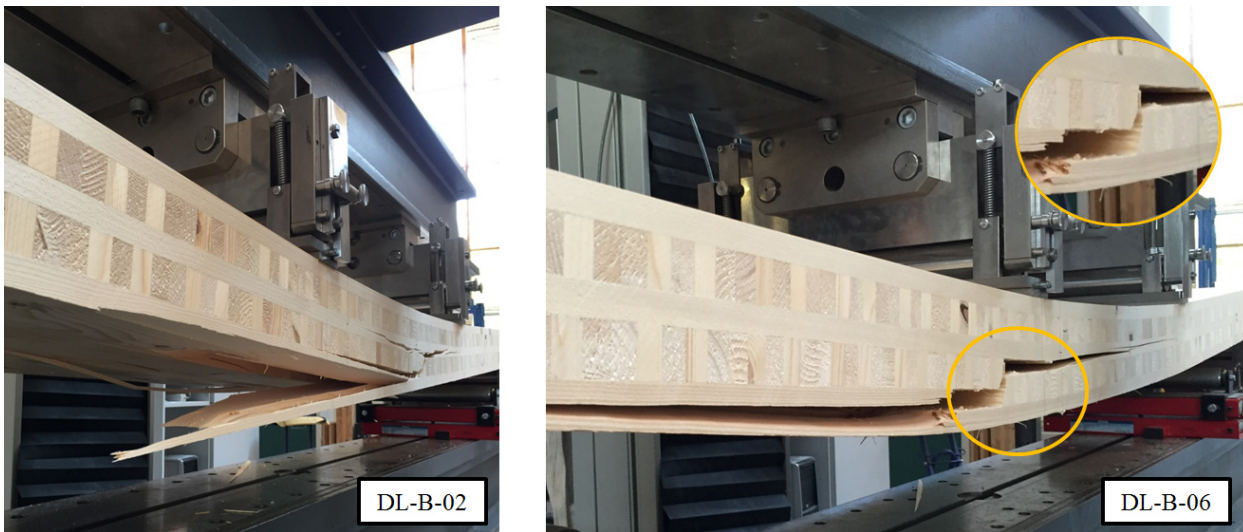


Abbildung 4.23: Bruchbild mit Biege-, Schub- und Rollschubversagen bei DL-B-02 und DL-B-06

Aus den Bruchbildern der Prüfkörper DL-B-02 und DL-B-06 aus Abbildung 4.23 geht hervor, dass ein Materialversagen großteils durch einen Biegebruch in der unteren bzw. mittleren Längslage resultierte. Bei genauerer Betrachtung wird dieser zumeist mit einem sekundären Schubbruch entlang der unteren Längslagen kombiniert. Bei Prüfkörper DL-B-06 ist zudem im unmittelbar angrenzenden Bereich des Rollschubbruches ein geringer Anteil an Klebstoffversagen zwischen der unteren Längs- und Querlage erkennbar, siehe Vergrößerung in Abbildung 4.23. Ein derartiges bzw. noch deutlicher ausgeprägtes Versagen der Klebstofffuge kann in Summe bei 7 Probestücken festgehalten werden.

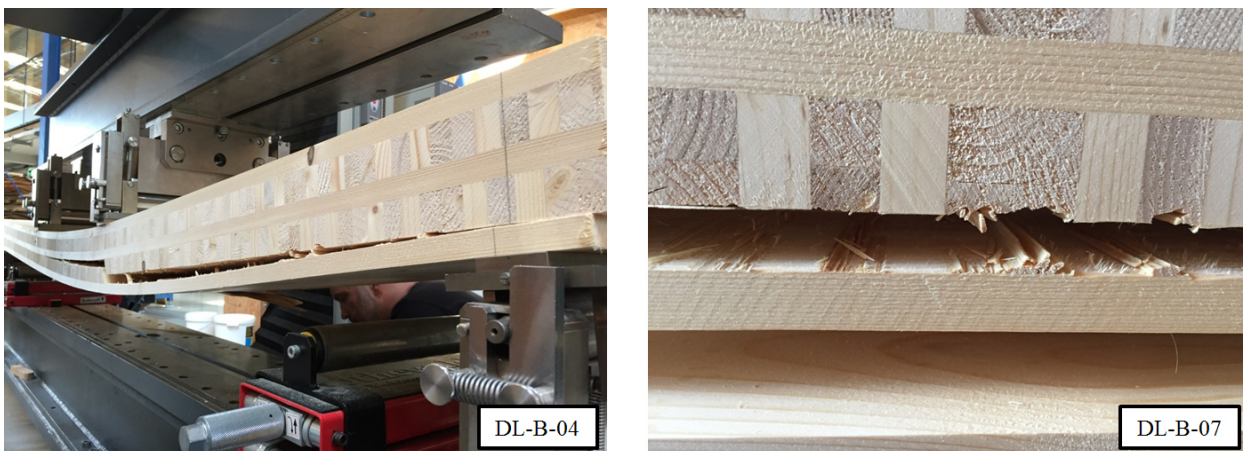


Abbildung 4.24: Bruchbild mit Klebstoffversagen bei DL-B-04 und DL-B-07

Dem in Abbildung 4.24 dargestellten Bruchbild des Prüfkörpers DL-B-04 kann ein ausgeprägtes Versagen der Klebstofffuge entnommen werden. Diese Versagensursache trat sowohl zwischen der unteren Längs- und Querlage als auch zwischen der unteren Quer- und Mittellage auf. Das Versagen der Klebstoffverbindung lässt sich mit der in Abbildung 4.24 dargestellte offene Fuge des beispielhaft angeführten Probekörpers DL-B-07 erklären. Es ist schön zu erkennen, dass lediglich im Bereich der liegend orientierten Hölzer in der Querlage eine intakte Klebeverbindung beider Lagen hergestellt werden konnte. Im Bereich der Hirnhölzer ist hingegen ein 100 %iger Bruch der Klebstofffuge festzustellen, da keine Ausrisse im angrenzenden Holz vorliegen. Ein weiteres Indiz dieser Fehlverklebung kann durch eine vollständige Klebstoffabsorption im Bereich des Hirnholzes festgestellt werden. Aufgrund des anteilmäßig hohen Bereiches fehlerhaft verklebter Hirnholzlamellen ist davon auszugehen, dass bei steigender Biegebelastung ein vorzeitiges Versagen der Klebefuge eintritt. Für eine aussagekräftige Bestätigung dieser Annahme sind weitere Materialprüfungen vorzusehen. Eine detaillierte Untersuchung der Fehlverklebung kann in Kapitel 5 nachgelesen werden.

Neben den bereits erwähnten Versagensursachen konnten bei weiteren fünf Prüfkörpern das Auftreten von Druckfalten an der Plattenoberseite festgestellt werden, was auf eine besonders gute Zugzone des Längslagenrohmaterials hinweist.

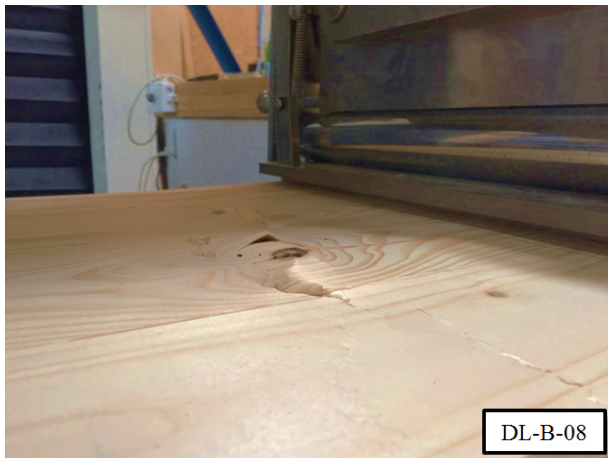


Abbildung 4.25: Druckfalten bei DL-B-08

4-5.1.2 Biegekenngößen Prüfserie DQ-B (REX mit 60% Hirnholzanteil)

In Tabelle 4.7 sind die aus dem Prüfbericht (Lignum Test Center, 2016) stammenden Ergebnisse der Biegeprüfserie DQ-B zusammengefasst dargestellt. Die Prüfserie umfasst fünf Prüfkörper, deren REX-Querlage einen Hirnholzanteil von 60 % aufweist.

Tabelle 4.7: Ergebniszusammenfassung der Prüfung zur Ermittlung der Biegekenngößen – Biegung aus der Plattenebene, Querlagen mit 60 % Hirnholzanteil (Lignum Test Center, 2016 S. 12)

Prüfserie DQ-B						
	f_m [N/mm ²]	$E_{m, \text{lokal}}$ [N/mm ²]	τ_r [N/mm ²]	τ_v [N/mm ²]	ρ [kg/m ³]	u [%]
Anzahl Prüfkörper [-]	5	5	5	5	5	5
Mittelwert	49,6	13.787	0,93	0,97	500	13,2 %
Standardabweichung	3,8	1.065	0,07	0,08	13	0,5 %
Variationskoeffizient COV [%]	7,7 %	7,7 %	7,7 %	7,7 %	2,7 %	3,4 %
charakteristischer Kennwert nach ÖNORM EN 14358:2016	41,3				468	
Legende: f_m ...Biegefestigkeit - $E_{m, \text{lokal}}$...Lokaler E-Modul - τ_r ...Rollschubspannung - τ_v ...Schubspannung ρ ...Rohdichte - u ...Holzfeuchtigkeit						

Wie der Tabelle 4.7 zu entnehmen ist, wird eine mittlere Biegefestigkeit von $f_m = 49,6 \text{ N/mm}^2$ erreicht. Zusammen mit einem Variationskoeffizienten von $\text{COV} = 7,7 \%$ beträgt die charakteristische Biegefestigkeit $f_m = 41,3 \text{ N/mm}^2$. Der mittlere lokale E-Modul erreicht einen Wert von $E_{m, \text{lokal}} = 13787 \text{ N/mm}^2$. Die mittlere Rollschubspannung und die mittlere Schubspannung weisen Kenngrößen von $\tau_r = 0,93 \text{ N/mm}^2$ bzw. $\tau_v = 0,97 \text{ N/mm}^2$ auf. Im Zuge der Ergebnisauswertung konnte eine auffällig hohe Rohdichte der Probekörper festgestellt werden, dessen Mittelwert $\rho = 500 \text{ kg/m}^3$ beträgt. Zusammen mit einem Variationskoeffizienten von $\text{COV} = 2,6 \%$ beträgt der charakteristische Kennwert der Rohdichte $\rho = 479 \text{ kg/m}^3$. Der Holzfeuchtegehalt beträgt im Mittel $u = 13,2 \%$. Die in ÖNORM EN 408:2012 geforderte Prüfzeit von 300 ± 120 Sekunden konnte bei allen Prüfkörpern eingehalten werden. Auf eine Holzfeuchteanpassung der Rohdichte sowie des Biege-E-Moduls gemäß ÖNORM EN 384:2016 wurde verzichtet.

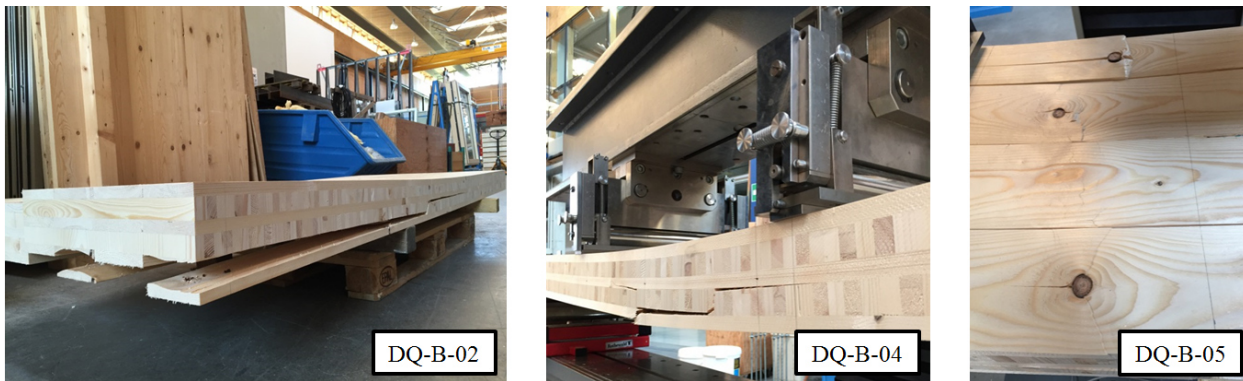


Abbildung 4.26 Bruchbild mit Schub- und Rollschubversagen bei DQ-B-02 sowie Klebstoffversagen bei DL-B-04 und DL-B-07 und Druckfalten bei DQ-B-05

Bei allen fünf Proben der Prüferserie DQ-B wurde als Bruchursache ein Biegeversagen aus der Kombination von lokaler Schrägfaser, Buchs und Einzellasten festgestellt. Als sekundäre Bruchursachen trat des Öfteren ein Rollschubversagen in der unteren REX-Querlage auf, siehe Prüfkörper DL-B-02 und DL-B-04 in Abbildung 4.26. Zusätzlich konnte vereinzelt ein Versagen der Klebstofffuge beobachtet werden, wobei wiederum im Bereich der Hirnholzabschnitte kein Klebstofffilm erkennbar war. Hingegen konnte im Bereich der längsorientierten Holzlagen der REX-Querlage eine intakte Klebefuge zwischen beiden Lagen festgestellt werden, da Holzausrisse zum Vorschein kamen. Bei vier von fünf Prüfkörpern konnten Druckfalten an der Plattenoberseite festgestellt werden, siehe Prüfkörper DQ-B-05 in Abbildung 4.26.

4-5.2 ROLLSCHUBPRÜFUNG

Die Rollschubprüferserie umfasste 15 Prüfkörpern, wobei 10 Stück mit REX-Querlagen bestehend aus einem Hirnholzanteil von 40 % und fünf Prüfkörper mit REX-Querlagen bestehend aus einem Hirnholzanteil von 60 % hergestellt wurden. In Abbildung 4.27 ist die Gesamtheit der für die Rollschubprüfung vorgesehenen Probekörper beispielhaft dargestellt, wobei keine klare Trennung zwischen den unterschiedlichen Hirnholzanteilen in den REX-Querlagen erkennbar ist.



Abbildung 4.27: Prüfkörper für Rollschubprüfung

4-5.2.1 Rollschubkenngrößen Prüfserie DL-S (REX mit 40% HH-Anteil)

In Tabelle 4.8 sind die aus dem Prüfbericht (Lignum Test Center, 2016) stammenden Ergebnisse der Rollschubprüfserie DL-S zusammengefasst dargestellt. Die Prüfserie umfasst 10 Prüfkörper, deren REX-Querlage einen Hirnholzanteil von 40 % aufweist.

Tabelle 4.8: Ergebniszusammenfassung der Prüfung zur Ermittlung der Rollschub- und Biegekenngrößen, Querlagen mit 40 % Hirnholzanteil (Lignum Test Center, 2016 S. 14)

Prüfserie DL-S						
	σ_m [N/mm ²]	$E_{m,global}$ [N/mm ²]	f_r [N/mm ²]	τ_v [N/mm ²]	ρ [kg/m ³]	u [%]
Anzahl Prüfkörper [-]	10	10	10	10	10	10
Mittelwert	42,3	15.426	1,9	2,0	473	13,0 %
Standardabweichung	2,2	1.088	0,1	0,1	4,9	0,2 %
Variationskoeffizient COV [%]	5,2 %	7,1 %	5,1 %	5,1 %	1,0 %	1,5 %
charakteristischer Kennwert nach ÖNORM EN 14358:2016			1,7		463	
<u>Legende:</u> f_m ...Biegefestigkeit - $E_{m,lokal}$...Lokaler E-Modul - τ_r ...Rollschubspannung - τ_v ...Schubspannung ρ ...Rohdichte - u ...Holzfeuchtigkeit						

Wie der Tabelle 4.8 zu entnehmen ist, konnte eine mittlere Biegespannung von $\sigma_m = 42,3 \text{ N/mm}^2$, verbunden mit einem Variationskoeffizienten von $\text{COV} = 5,2 \%$ festgestellt werden. Im Gegensatz zu den Biegeprüfungen wurde ein globaler E-Modul bestimmt, der im Mittel $E_{m,lokal} = 15426 \text{ N/mm}^2$ beträgt. Zusammen mit einem Variationskoeffizienten von $\text{COV} = 5,1 \%$ wurde eine mittlere Rollschubfestigkeit von $f_r = 1,9 \text{ N/mm}^2$ und ein charakteristischer Wert von $1,7 \text{ N/mm}^2$ berechnet. Der Mittelwert der Schubspannung liegt bei $2,0 \text{ N/mm}^2$, der zugehörige Variationskoeffizient bei $\text{COV} = 5,1 \%$. Auf eine Holzfeuchteanpassung der Rohdichte sowie des Biege-E-Moduls gemäß ÖNORM EN 384:2016 wurde verzichtet. Der Mittelwert der gemessenen Holzfeuchtigkeit beträgt $u = 13,0 \%$. Der charakteristische Wert der Rohdichte erreicht $\rho = 463 \text{ kg/m}^3$.

Anhand der in Abbildung 4.28 dargestellten Bruchbilder können die Versagensursachen ausgewählter Probekörper näher betrachtet werden.

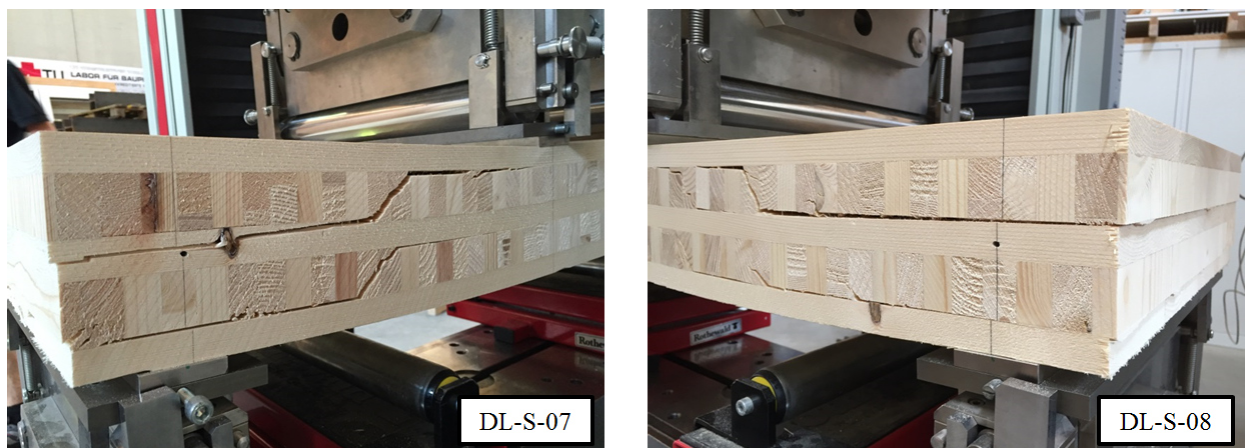


Abbildung 4.28: Bruchbilder mit Rollschubversagen in der Querlage und Schubversagen in der Längslage bei DL-S-07 mit teilweisem Versagen der Klebefuge bei DL-S-08

Als häufigste Bruchursache konnte bei allen Prüfkörpern ein Rollschubversagen in den REX-Querlagen festgestellt werden. Bei Betrachtung der Bruchbilder wird ersichtlich, dass durch die Hirnholzbereiche ein Abrollen der längsorientierten Lagen behindert und ein „Stützeffekt“ aufgebaut wird. Da bei 8 von 10 Prüfkörpern zusätzlich ein Versagen der Klebefuge eintrat, wie beispielsweise bei Prüfkörper DL-S-08 in

Abbildung 4.28 ersichtlich, kann das Potential dieser neuartigen REX-Querlage in Bezug auf die Erhöhung der Steifigkeit wie auch Rollschubfestigkeit nicht vollständig erhoben und abgeschätzt werden.

4-5.2.2 Rollschubkenngrößen Prüferie DQ-S (REX mit 60% HH-Anteil)

In Tabelle 4.9 sind die aus dem Prüfbericht (Lignum Test Center, 2016) stammenden Ergebnisse der Rollschubprüferie DQ-S zusammengefasst dargestellt. Die Prüferie umfasst fünf Prüfkörper, deren REX-Querlage einen Hirnholzanteil von 60 % aufweist.

Tabelle 4.9: Ergebniszusammenfassung der Prüfung zur Ermittlung der Rollschub- und Biegekenngrößen, Querlagen mit 60 % Hirnholzanteil (Lignum Test Center, 2016 S. 14)

Prüferie DQ-S						
	σ_m [N/mm ²]	$E_{m,global}$ [N/mm ²]	f_r [N/mm ²]	τ_v [N/mm ²]	ρ [kg/m ³]	u [%]
Anzahl Prüfkörper [-]	5	5	5	5	5	5
Mittelwert	49,0	17.297	2,2	2,3	494	13,1 %
Standardabweichung	2,3	792	0,11	0,11	6,7	0,1 %
Variationskoeffizient COV [%]	4,8 %	4,6 %	4,9 %	4,9 %	1,4 %	0,6 %
charakteristischer Kennwert nach ÖNORM EN 14358:2016			2,0		483	
Legende: f_m ...Biegefestigkeit - $E_{m,lokal}$...Lokaler E-Modul - τ_r ...Rollschubspannung - τ_v ...Schubspannung ρ ...Rohdichte - u ...Holzfeuchtigkeit						

Wie in Tabelle 4.9 ersichtlich, beläuft sich die mittlere Biegespannung auf $\sigma_m = 49 \text{ N/mm}^2$. Der zugehörige Variationskoeffizient wird mit $COV = 4,8\%$ berechnet. Der mittlere globale E-Modul beträgt 17297 N/mm^2 . Der Mittelwert der Rollschubfestigkeit konnte mit $f_r = 2,2 \text{ N/mm}^2$ und der Mittelwert der Schubspannung mit $\tau_v = 2,3 \text{ N/mm}^2$ festgestellt werden. Zusammen mit einem Variationskoeffizient von $COV = 4,9 \%$ beträgt die charakteristische Rollschubfestigkeit $f_r = 2,0 \text{ N/mm}^2$. Die mittlere Rohdichte weist 494 kg/m^3 auf. Verbundenen mit einem Variationskoeffizienten von $COV = 1,4 \%$ liegt der charakteristische Kennwert der Rohdichte bei $\rho = 483 \text{ kg/m}^3$. Die mittlere Holzfeuchte wurde mit $u = 13,1 \%$ festgehalten, wodurch die Vorgaben des Klebstoffherstellers nachweislich eingehalten werden konnten. Auf eine Holzfeuchteanpassung der Rohdichte sowie des Biege-E-Moduls gemäß ÖNORM EN 384:2016 wurde erneut verzichtet.

Die in Abbildung 4.29 dargestellten Bruchbilder veranschaulichen sehr häufig auftretende Versagensursachen, welche großteils mit den in Kapitel 4-5.2.1 erläuterten Bruchmechanismen übereinstimmen.

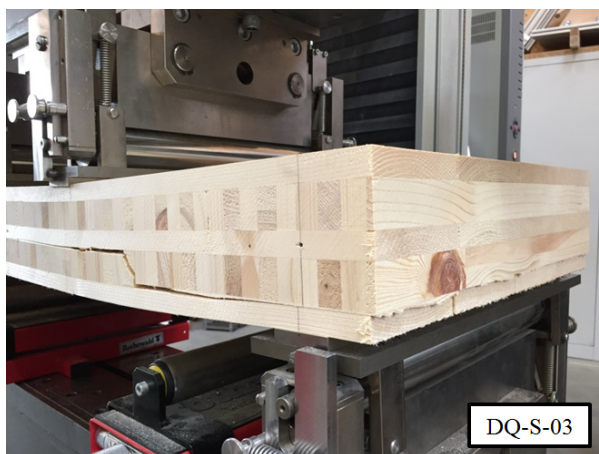


Abbildung 4.29: Bruchbilder mit Rollschubversagen in der Querlage und Schubversagen in der Längslage bei DQ-S-03 und Druckfalten bei DQ-S-04

Wie beispielhaft in Abbildung 4.29 dargestellt, wurde bei allen fünf Prüfkörpern ein Rollschubversagen in der REX-Querlage verbunden mit einem Schubversagen der angrenzenden Längslagen festgestellt. Wie bereits bei der vorherigen Prüferie konnte auch hier ein deutlicher Stützeffekt der Hirnholzlagen in den REX-Querlagen beobachtet werden, welcher die umliegenden längsorientierten Holzlagen in der Querlage vor dem Rollschubbruch schützte. Aufgrund des noch höheren Hirnholzanteils in der REX-Querlage mit insgesamt 60 % konnte ein wesentlich stärkerer Stützeffekt beobachtet werden, der jedoch immer wieder aufgrund eines Versagens der Klebstoffuge unterbrochen wurde. Zudem konnte bei vier von fünf Prüfkörpern eine deutliche Ausbildung von Druckfalten an der Plattenoberseite festgestellt werden.

4-5.3 SCHERPRÜFUNG IN PLATTENEbene

Aufgrund der bei den Biege- und Rollschubprüfungen ersichtlichen und mittels Delaminierungsprüfungen nach ÖNORM EN 14080:2013 nachweislich festgestellten Fehlverklebung der Prüfkörper der Prüferien DL-B, DQ-B, DL-S, DQ-B wurde nachträglich eine Scherprüfung nach ÖNORM EN 789:2005 durchgeführt. Die Prüferie, die in der Firma KLH Massivholz GmbH durchgeführt wurde, umfasste vier dreischichtig aufgebaute BSP-Prüfkörper, deren REX-Querlage einen Hirnholzanteil von 40 % aufwies. Die Längs- und Querlagen der Prüfkörper wurden unterschiedlich bearbeitet, um den Einfluss der Oberflächenbearbeitung mit dem Ergebnis der Scherprüfung bewerten zu können. Bei jedem Prüfkörper wurde die Qualität der Verklebung nach ÖNORM EN 14080:2013 nachgewiesen. Die dadurch adaptierten Materialeigenschaften, die zu einer funktionierenden Flächenverklebung führen, werden in Kapitel 5 beschrieben.

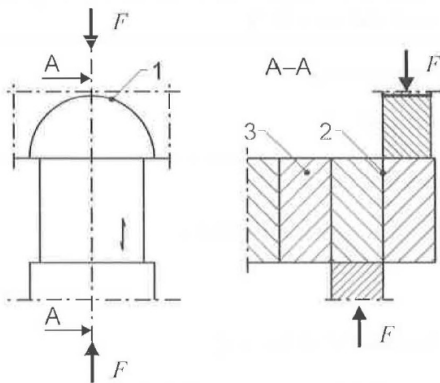
Anhand dieser Prüferie sollte in erster Linie in Erfahrung gebracht werden, ob bei BSP-Elementen mit einer nachweislich funktionierenden Verklebung der Stützeffekt der Hirnholzlagen in der REX-Querlage weiterhin verstärkt wird und somit eine zusätzliche Erhöhung der Rollschubfestigkeit eintritt. Mit den Ergebnissen der Scherprüfung sollte zudem der Einfluss der unterschiedlichen Oberflächenbeschaffenheit bewertet werden.

4-5.3.1 Scherprüfung nach ÖNORM EN 789:2005

Die Abwicklung einer Scherprüfung ist in ÖNORM EN 789:2005 geregelt und zusätzlich im Anhang D von ÖNORM EN 14080:2013 und ÖNORM EN 16351:2015 verankert.

„Die Klebfuge wird unter monotoner Belastung einer Scherbeanspruchung bis zum Bruch ausgesetzt. Es ist eine Schervorrichtung entsprechend Bild D.1 zu verwenden. Das halbzyklindrische Druckstück muss sich selbst so einstellen, dass der Prüfkörper an der Hirnholzfläche in Richtung der Breite gleichmäßig belastet wird.“ (ÖNORM EN 16351:2015-Anhang D S. 60)

Anhand einer Scherprüfung darf im Zuge der werkseigenen Produktionskontrolle auch die Klebefestigkeit der BSP-Elemente nachgewiesen werden. Von den letzten 100 Prüfungen dürfen nicht mehr als fünf Prüfergebnisse den geforderten Wert für die charakteristische Scherfestigkeit unterschreiten, vgl. (ÖNORM EN 16351:2015-Anhang D.5).

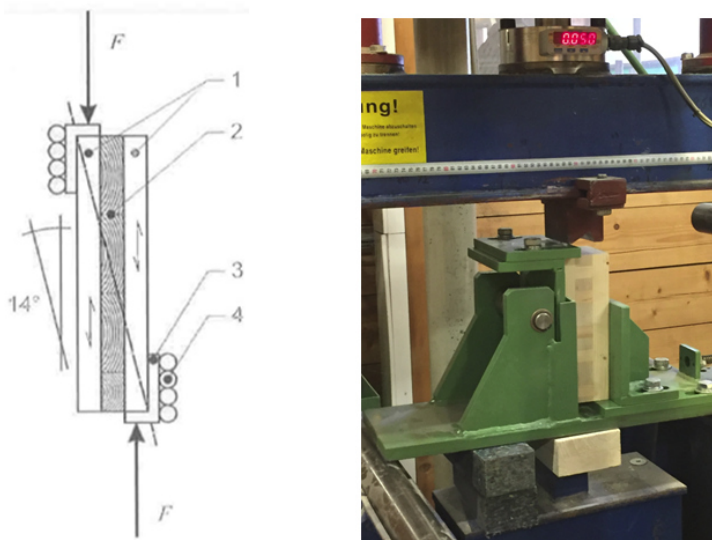


- 1 Halbzylindrisches Druckstück
- 2 Scherfläche
- 3 Angemessen durch Klammern befestigter Prüfstab

Abbildung 4.30: Bild D.1 - Schervorrichtung mit eingesetztem Prüfstab (ÖNORM EN 16351:2015-Anhang D S.60)

Alternativ können die Rollschub- bzw. Schubwerte durch Prüfungen gemäß ÖNORM EN 789:2005, 11.5 unter Beachtung der in diesem Abschnitt 4-5.3.1 angegebenen Anforderungen bestimmt werden. Dabei muss die Breite der Prüfkörper mindestens 100 mm betragen, vgl. (ÖNORM EN 16351:2015 Anhang D S. 75-77).

In Abbildung 4.31 ist die alternative Prüfkongfiguration zur Scherprüfung von Brettsperrholzelementen dargestellt, bei der die Lasteinleitung mittels angebrachter Stahlwinkel anstelle von aufgeklebten Stahlplatten gemäß ÖNORM EN 789:2005 vorgesehen ist. Diese in Abbildung 4.31 gezeigte Prüfkongfiguration wird bei der Firma KLH Massivholz GmbH verwendet.



- 1 Längslagen des Prüfkörpers
- 2 Querlagen des Prüfkörpers
- 3 Stahlwinkel zur Lasteinleitung
- 4 Reibungsfreie Abstützung

Abbildung 4.31: Prüfkongfiguration zur Scherprüfung von Brettsperrholz (ÖNORM EN 16351:2015-Anhang D S. 77) (links); Prüfkongfiguration KLH Massivholz GmbH (rechts)

Die Norm besagt, dass jede Querlage gesondert zu prüfen ist und in Faserrichtung verklebte Lagen als eine Lage anzusehen sind. Als Grundlage für die Berechnung der (Roll-)Schubwerte ist die ÖNORM EN 789:2005 anzusehen, vgl. (ÖNORM EN 16351:2015 S.75).

Im Zuge der Scherprüfung sind sowohl der Feuchtegehalt der Prüfkörper als auch die Maße der Scherfläche auf eine Genauigkeit von 0,5 mm zu bestimmen. Der Abstand zwischen Schervorrichtung und Scherfläche darf an keiner Stelle mehr als einen Millimeter betragen. Bei konstanter Vorschubgeschwindigkeit ist die Belastung so zu wählen, dass frühestens nach 20 Sekunden der Bruch eintritt. Des Weiteren ist der Faserbruchanteil der Scherfläche für jede untersuchte Klebefuge anzugeben und auf die nächsten 5 % zu runden, vgl. (ÖNORM EN 16351:2015 S.64).

Die Berechnung der Scherfestigkeit f_v nach Formel 4.10 ist auf zwei signifikante Stellen zu ermitteln.

$$f_v = k \frac{F_u}{A} \quad 4.10$$

- F_u ... Bruchlast (in N)
 $A = bt$... Scherfläche des Prüfkörpers (in mm²)
 b ... Breite (in mm)
 t ... Dicke (in mm)
 k ... Faktor: $k = 0,78 + 0,0044t$

Mit dem Faktor k wird die Scherfestigkeit jener Prüfkörper korrigiert, bei denen die Dicke der Scherfläche in Längsrichtung kleiner als 50 mm ist, vgl. (ÖNORM EN 16351:2015 S.64).

4-5.3.2 Prüferergebnisse

In der Tabelle 4.10 sind die Prüfkörperabmessungen sowie die Prüfergebnisse der Scherfestigkeit in Plattenebene gemäß ÖNORM EN 789:2005 aufgelistet.

Tabelle 4.10: Ergebnisse Scherprüfung in Plattenebene nach ÖNORM EN 789:2005 (KLH Massivholz GmbH)

Scherprüfung nach ÖNORM EN 789:2005 - KLH Massivholz GmbH									
Bezeichnung	Herstelldatum	Prüfdatum	Dicke Mittellage [mm]	Breite [mm]	Länge [mm]	Bruchkraft F_{max} [kN]	Scherfestigkeit in Plattenebene f_r [N/mm ²]	Holzart	Holzfasergehalt [%]
1	08.02.2017	09.02.2017	29	89	240	42,35	1,98	Fichte	100
2	08.02.2017	09.02.2017	29	89	240	57,2	2,68	Fichte	100
3	08.02.2017	09.02.2017	29	79	240	42,27	2,23	Fichte	100
4	08.02.2017	09.02.2017	29	90	240	58,84	2,72	Fichte	100

Mittelwert	50,17	2,40
Standardabw.	9,09	0,36
Minimum	42,27	1,98
Maximum	58,84	2,72
charakt. Wert		1,81

$f_{r,min} = 1.25 \text{ N/mm}^2$

Aufgrund des verwendeten Rohmaterials konnte die geforderte Mindestbreite von 100 mm nicht eingehalten werden. Bei drei Prüfkörpern wurde die Mindestbreite um annähernd 10 mm und bei einem Prüfkörper um ca. 20 mm unterschritten. Die bei Prüfkörper 2 und 4 festgestellten Bruchlasten F_{max} lassen darauf zurückschließen, dass die Oberflächenbeschaffenheit dieser Lamellen zu deutlich höheren Rollschubspannungen führt als vergleichsweise jene bei Prüfkörper 1 und 3. Aus diesem Grund resultiert eine unverhältnismäßig hohe Standardabweichung, die einen negativen Einfluss auf die Berechnung des charakteristischen Wertes der zugrunde gelegten logarithmischen Normalverteilung ausübt. Dennoch kann die in ÖNORM EN 789:2005 verankerte Mindestanforderung an den charakteristischen Wert von 1,25 N/mm² deutlich übertroffen werden. Bei Abgleich der im Zuge der Vierpunkt-Biegeprüfung errechneten und in Tabelle 4.8 abgebildeten mittleren Rollschubfestigkeit von 1,9 N/mm² mit dem Mittelwert $\tau_r = 2,4 \text{ N/mm}^2$ aus Tabelle 4.9, kann wiederum eine deutliche Erhöhung festgestellt werden. Abbildung 4.32 zeigt das Bruchbild eines dieser Prüferie angehörigen Prüfkörpers, bei dem der Stützeffekt der Hirnholzlagen erkennbar ist.



Abbildung 4.32: Stützeffekt der Hirnholzlagen bei Rollschubbeanspruchung

Wie dem Bruchbild aus Abbildung 4.32 zu entnehmen ist, stellt sich über den gesamten Querschnitt ein Rollschubversagen in der REX-Querlage ein. Im Gegensatz zu den Prüfkörpern, die für die Vierpunkt-Biegeprüfungen herangezogen wurden, kann ein Versagen infolge Fehlverklebung ausgeschlossen werden. Zudem wird die Stützwirkung der Hirnholzbereiche durch eine intakte Verklebung erheblich gestärkt. Aus Abbildung 4.32 geht hervor, dass sich die Hirnholzlagen vor Eintritt des Rollschubbruches neigen und in weiterer Folge in den umliegenden Längslagen verkeilen, wodurch ein gewisser Stützeffekt sowie eine deutlich erhöhte Lastaufnahme sichergestellt werden kann. Durch diesen Effekt gelingt es deutlich erhöhte Rollschubfestigkeiten im Vergleich zu konventionell aufgebautem Brettsperrholz zu erreichen.

4-5.4 INTERPRETATION DER ERGEBNISSE

Aus den Prüfergebnissen von Kapitel 4-5.1 bis 4-5.3 geht hervor, dass der Einsatz dieser neuartig aufgebauten REX-Querlagen zu einer maßgeblichen Erhöhung der mechanischen Eigenschaften von Brettsperrholzelementen beitragen kann. Obwohl die hohen Biegefestigkeiten vorwiegend auf das verwendete Längslagenrohmaterial in Form von feinjähig gewachsener Seitenware zurückzuführen sind, können die hohen Rollschubfestigkeiten durchaus mit dem besonderen Aufbau der eingesetzten REX-Querlagen begründet werden, der durch eine wechselnde Anordnung von längs- und querorientierten Holzlagen geprägt ist. Bereits bei Abwicklung der Vierpunkt-Biegeprüfungen konnte eine deutlich erhöhte Lastaufnahme bei vergleichsweise geringer Verformung festgestellt werden. Bei genauer Betrachtung der Bruchbilder des Rollschubversagens wird zudem ersichtlich, dass durch die vorhandenen Hirnholzlagen in der Querlage eine Stützwirkung resultiert, durch die ein Rollschubversagen der benachbarten längsorientierten Holzlagen in der REX-Querlage behindert respektive verzögert wird. Dennoch konnte bei den Prüfkörpern der Biege- und Rollschubprüfserie eine fehlerhafte Flächenverklebung festgestellt werden, die anhand von Delaminierungsprüfungen nach ÖNORM EN 14080:2013 nachgewiesen wurde. Die ermittelten Ergebnisse der Vierpunkt-Biegeprüfungen sind daher als nicht ausreichend repräsentativ anzusehen. Zudem beruhen die in die Berechnung einfließenden Materialeigenschaften der Längs- und Querlagen zumeist auf einer Annahme, da keine Materialprüfungen am Rohmaterial vorgesehen waren. Vor allem die Ergebnisse der globalen E-Moduln sind zu hinterfragen, da die Auswertung stark von der Schubsteifigkeit bzw. vom Schubkorrekturfaktor beeinflusst wird, der wiederum durch die Schub- und Rollschubmoduln, den Querschnittsabmessungen und der Brettlage im Stamm des Rundholzes gelenkt wird. Im Allgemeinen wird die Schubsteifigkeit sowohl von den Materialeigenschaften der Längs- als auch Querlage beeinflusst, die in beiden Fällen auf eine Annahme beruhen. Auch die für die Berechnung des Schubkorrekturfaktors benötigten Rollschubmoduln sind nicht bekannt und basieren auf einer FE-Modellierung, bei der die gemessenen Verformungen an einem fiktiven BSP-Querschnitt angenähert wurden.

Zur weiteren Abschätzung der Wirkungsweise von REX-Querlagen bei Brettsperrholz wurden nachträglich Scherprüfungen nach ÖNORM EN 789:2005 bei einer Prüferserie mit insgesamt vier Prüfkörpern abgewickelt, deren Flächenverklebungen nachweislich die Grenzwerte gemäß ÖNORM EN 16351:2015 erfüllt. Anhand der Ergebnisauswertung der Scherprüfung wurde deutlich, dass bei BSP-Elementen mit einer nachweislich funktionierenden Verklebung der Stützeffekt der Hirnholzlagen weiterhin verstärkt wird und zudem eine weitere Erhöhung der Rollschubfestigkeit eintritt.

Um das gesamte Potential dieser neuartig aufgebauten Mittellagenplatten von BSP-Elementen wissenschaftlich ausarbeiten zu können, bedarf es jedoch die Durchführung weiterer Materialprüfungen unter Voraussetzung einer intakten Verklebung sowie die Erstellung angepasster FE-Modellierungen, welche die mechanische Wirkungsweise der REX-Querlage realitätsnahe abbilden. Eine Auflistung und Erläuterung weiterer Forschungsaktivitäten ist Kapitel 6-2 zu entnehmen.



Abbildung 5.1 ÖA-Zeichen für Österreich (HFA, 2017) und Ü-Zeichen für Deutschland (Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V., 2017)

Die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für Deutschland steht inhaltlich mit der deutschen Holzbaunorm DIN 1052:2008: *Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Holzbau* in Verbindung. Die Zulassung besitzt für einen Zeitraum von fünf Jahren Gültigkeit und wird von Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) herausgegeben, vgl. (Neumüller, 2010 S. 4).

Für jedes Herstellwerk muss der Übereinstimmungsnachweis auf Grundlage der Bestimmungen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung mit einem sogenannten Übereinstimmungszertifikat erfolgen. Das Übereinstimmungszertifikat basiert wiederum auf Grundlage einer werkseigenen Produktionskontrolle sowie einer regelmäßigen Fremdüberwachung einschließlich Erstprüfung. Der Hersteller hat für die Erteilung des Übereinstimmungszertifikates und die Fremdüberwachung eine hierfür anerkannte Zertifizierungsstelle sowie eine hierfür anerkannte Überwachungsstelle einzuschalten. Infolge eines erklärten Übereinstimmungszertifikates hat der Hersteller seine Produkte mit dem Übereinstimmungszeichen zu kennzeichnen.

Eine werkseigene Produktionskontrolle ist jedem Herstellwerk einzurichten und durchzuführen. Anhand dieser kontinuierlichen Überwachung der Produktion sollte sichergestellt werden, dass die hergestellten Produkte den Bestimmungen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung entsprechen. Die werkseigene Produktionskontrolle sollte mindestens folgende Maßnahmen beinhalten:

- Beschreibung und Überprüfung der Ausgangsmaterialien und der Bestandteile
- Kontrollen der Prüfungen, die während der Herstellung durchzuführen sind
- Nachweise und Prüfungen, die am fertigen Bauprodukt durchzuführen sind

Nachweise und Prüfungen, die am fertigen Bauprodukt durchzuführen sind, beinhalten einerseits eine Qualitätsüberprüfung der Keilzinkenverbindungen und andererseits den Nachweis der Bindefestigkeit der Verklebung. Zusätzlich kann die Ermittlung der Rollschubfestigkeit verankert sein. Aufgrund der herstellerspezifischen und somit nicht einheitlichen Regelung allgemein bauaufsichtlicher Zulassungen können sich sowohl die vorgeschriebenen Prüfverfahren als auch die zugehörigen Grenzwerte der Ergebnisse unterscheiden. Für die Ermittlung der Bindefestigkeit der Verklebung steht beispielsweise ein Delaminierungsversuch nach DIN EN 391:2002-Methode B, ein Aufstechversuch nach DIN 53255:1964 mit einer Vorbehandlung der Proben gemäß DIN 68705-4:1981 oder ein Blockscherversuch in Anlehnung an DIN 52187:1979 zur Auswahl.

Die Ergebnisse der werkseigenen Produktionskontrolle sind aufzuzeichnen, auszuwerten, einen bestimmten Zeitraum aufzubewahren und der eingeschalteten Überwachungsstelle vorzulegen.

Die Fremdüberwachung betrifft die Überprüfung der werkseigenen Produktionskontrolle und ist in regelmäßigen Abständen von einer anerkannten Überwachungsstelle durchzuführen. Im Zuge der Fremdüberwachung können zudem Proben für Stichprobenprüfungen entnommen werden, wobei die Probenahme und die zugehörigen Prüfungen von der Überwachungsstelle festgelegt werden, vgl. (Z-9.1-559 Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für Deutschland von Stora Enso Wood Products S. 5-7).

5-1.1.2 Europäische Ebene

Für Bauprodukte im Geltungsbereich eines Europäisch Technischen Regelwerkes wird das Übereinstimmungskennzeichen der nationalen Ebene durch das sogenannte CE-Kennzeichen (franz.: communauté européenne) ersetzt. Die CE-Kennzeichnung ist einerseits die Voraussetzung, dass Produkte innerhalb des Europäischen Wirtschaftsraums in den Verkehr gebracht werden dürfen und andererseits ein Nachweis, dass das Produkt den jeweils zutreffenden europäischen Richtlinien im Hinblick auf Gesundheit und Sicherheit entspricht. Durch eine CE-Kennzeichnung wird jedoch nicht ausgeschlossen, dass über die in den Leitlinien verankerten Anforderungen weitere nationale Normen, Verordnungen und Vorschriften zu beachten sind, vgl. (Kompetenzzentrum der Bauwirtschaft, 2012 S. 12-15).



Abbildung 5.2: CE-Kennzeichnung (Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V., 2017)

Aufgrund der fehlenden Harmonisierung, sprich Eintragung der Produktnorm ÖNORM EN 16351:2015 im Amtsblatt der Europäischen Union, erfolgt die CE-Kennzeichnung von Brettspertholz auf Basis von Europäisch Technischen Bewertungen, die wiederum über das in der Bauproduktenverordnung verankerte Bewertungsdokument (engl.: European Assessment Document EAD 130005-00-0304: 2015-03) geregelt sind. Die Bewertungen beruhen auf Prüfungen, Untersuchungen und technische Gutachten durch Institutionen, die von der Europäischen Organisation für Technische Bewertungen (engl.: European Organisation of Technical Assessment EOTA) anerkannt sind. In Österreich wird die technische Bewertungsstelle durch das Österreichische Institut für Bautechnik (OIB) repräsentiert. Mit der erteilten ETB/ETA ist der Produkthersteller befähigt sein Bauprodukt mit der CE-Kennzeichnung zu kennzeichnen, wodurch ein ungehinderter Zugang zum europäischen Markt bzw. deren Vertragsstaaten gegeben ist, vgl. (Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB), 2017 S. 12-15), (Neumüller, 2010 S. 4-5).

Die Zertifizierung der Konformität des Produktes durch eine notifizierte Produktzertifizierungsstelle erfolgt einerseits auf Basis der Aufgaben des Herstellers und andererseits auf Grundlage der Aufgaben der notifizierte Stelle. Die Aufgaben des Herstellers betreffen:

- Werkseigene Produktionskontrolle
- Zusätzlich Prüfung im Werk entnommener Proben durch den Hersteller nach festgelegtem Prüfplan

„Der festgelegte Prüfplan ist beim Österreichischen Institut für Bautechnik hinterlegt und wird nur der in das Verfahren der Konformitätsbescheinigung eingeschalteten zugelassenen Stelle ausgehändigt. Der festgelegte Prüfplan wird auch als Überwachungsplan bezeichnet.“ (ETA-06/0138 von KLH Massivholz GmbH S.7)

Die Aufgaben der notifizierte Stelle betreffen:

- Erstprüfung des Produktes
- Erstinspektion des Werkes und der werkseigenen Produktionskontrolle
- Laufende Überwachung, Beurteilung und Anerkennung der werkseigenen Produktionskontrolle

Zur Beurteilung der Konformität und CE-Kennzeichnung ist der Hersteller dazu verpflichtet, ein entsprechendes vordefiniertes Produktionskontrollsystem aufzubauen und aufrecht zu erhalten. Das System der werkseigenen Produktionskontrolle stellt sicher, dass das Produkt mit der zugehörigen Europäisch Technischen Bewertung übereinstimmt, vgl. (ETA-06/0138 von KLH Massivholz GmbH S. 7-9).

Auf Grundlage des derzeit gültigen Bewertungsdokuments EAD 130005-00-0304: 2015-03 ist die in der werkseigenen Produktionskontrolle verankerte Überprüfung der Verklebungsqualität einzelner Schichten ausschließlich anhand von Delaminierungsprüfungen entsprechend den Vorgaben nach ÖNORM EN 14080:2013-Anhang B geregelt, vgl. (EAD 130005-00-0304:2015-03 S.9).

Hingegen ist die Überprüfung der Klebefestigkeit von Klebefugen zwischen den Lagen nach zukünftig gültiger Produktnorm ÖNORM EN 16351:2015 für BSP entweder mittels Delaminierungs- oder Scherprüfungen nachzuweisen, wobei die Scherprüfung als Bezugsprüfverfahren deklariert ist. Eine Beschreibung der Scherprüfung kann Kapitel 4-5.3.1 entnommen werden. Laut ÖNORM EN 16351:2015 gibt es zwischen den Ergebnissen beider Prüfverfahren keine Korrelation, vgl. (ÖNORM EN 16351:2015 S. 27-28).

Die Grenzwerte der vorgeschriebenen Prüfverfahren können der in Kapitel 5-1.1.3 dargestellten Tabelle entnommen werden.

5-1.1.3 Gegenüberstellung

Die Gegenüberstellung von nationaler und europäischer Ebene umfasst die Anforderungen an die Überprüfung von Klebefugen im Zuge der werkseigenen Produktionskontrolle. Auf nationaler Ebene werden gezielt die Anforderungen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung von Deutschland herangezogen. Aufgrund der individuellen Anpassungsmöglichkeit werden die national verankerten Prüfverfahren sowie die zugehörigen Grenzwerte herstellerepezifisch erfasst und in Tabelle 5.2 aufgelistet. Die Beschreibung der einzelnen Prüfverfahren samt Begriffsdefinition kann den zugehörigen Normen entnommen werden. Das Prüfverfahren der Delaminierung wird darüber hinaus in Kapitel 5-1.2 und das Prüfverfahren der Scherprüfung in Kapitel 4-5.3.1 erläutert.

Tabelle 5.1: Ermittlung der Klebefestigkeit zwischen den Lagen von Brettsperrholz im Zuge der werkseigenen Produktionskontrolle auf europäischer Ebene

Ermittlung der Klebefestigkeit zwischen den Lagen von Brettsperrholz - EUROPÄISCHE EBENE					
Technische Regelung	Bewertungsverfahren	Anzahl der Proben	Grenzwert	Konformitätskriterien	Dokument
EAD 130005-00-0304:2015-03	Delaminierung	1 / Schicht	Gesamtdelaminierung: Holzfaserbruch $\geq 75\%$ Maximale Delaminierung der Einzelfuge: Holzfaserbruch $\geq 50\%$	Delaminierungsprüfung EN 14080 - Methode B	ETA/ETB
ÖNORM EN 16351:2015	Delaminierung	2 / Schicht	Gesamt-Delaminierungslänge $\leq 10\%$ Delaminierungslänge der Einzelfuge $\leq 40\%$ <u>Bei Überschreitung der Gesamt-Delaminierungslänge:</u> AUFTRENNUNG KLEBEFUGE Gesamtdelaminierung: Holzfaserbruch $\geq 70\%$ Maximale Delaminierung der Einzelfuge: Holzfaserbruch $\geq 50\%$		
	Scherprüfung		<u>Bei rechtwinklig verklebten Holzlagen:</u> Charakteristische Scherfestigkeit $f_{v,k} \geq 1,25 \text{ N/mm}^2$ Scherfestigkeit jeder Klebefuge mindestens $f_{v,k} \geq 1,00 \text{ N/mm}^2$ <u>Bei parallel verklebten Holzlagen:</u> Charakteristische Scherfestigkeit $f_{v,k} \geq 3,50 \text{ N/mm}^2$ Wenn Scherfestigkeit einer Klebefuge $f_{v,k} < 2,00 \text{ N/mm}^2$ dann Faserbruchanteil Klebefuge = 100 %		

Aus Tabelle 5.1 geht hervor, dass die Überprüfung von Klebefugen auf europäischer Ebene durch das Bewertungsdokument EAD 130005-00-0304:2015-03 geregelt ist, da eine Harmonisierung der Produktnorm ÖNORM EN 16351:2015 für Brettsperrholz aussteht. Die Überprüfung der Verklebung einzelner Schichten ist einheitlich mittels Delaminierungsprüfungen in Anlehnung an die EN 14080:2013-Methode B geregelt. Je Arbeitsschicht ist mindestens ein Prüfkörper zu entnehmen, wobei der Faserbruchanteil des gesamten Prüfkörpers 75 % und der Faserbruchanteil jeder aufgetrennten Klebefläche 50 % nicht überschreiten darf, vgl. (EAD 130005-00-0304:2015-03 S. 9-11).

Die zukünftig heranzuziehende Produktnorm ÖNORM EN 16351:2015 ermöglicht hingegen die Auswahl zwischen einer Delaminierungs- oder einer Scherprüfung.

„Die Klebefestigkeit zwischen den Lagen ist erwiesenermaßen ausreichend, wenn die maximale Delaminierungslänge 40 % der Gesamtlänge einer einzelnen Klebfuge nicht überschreitet und die

Gesamt-Delaminierungslänge 10 % der Summe aller Klebfugen nicht überschreitet. Wenn die maximale Delaminierungslänge oder die Gesamt-Delaminierungslänge die oben genannten Grenzen überschreitet oder die Delaminierungslänge aufgrund einer mangelhaften Oberflächengüte der Hirnholzflächen nicht festgestellt werden können, ist die Klebfuge aufzutrennen. Der Faserbruchanteil jeder aufgetrennten Klebfläche darf 50 % nicht unterschreiten, der Faserbruchanteil der Summe aller aufgetrennten Klebflächen darf 70 % nicht unterschreiten.“ (ÖNORM EN 16351:2015 S. 28)

Alternativ dazu kann die Klebefestigkeit von Klebfugen zwischen einzelnen Lagen mittels Scherprüfung ermittelt werden. Zwischen rechtwinklig verklebten Lagen muss die charakteristische Scherfestigkeit einen Wert von mindestens 1,25 N/mm² aufweisen. Die Scherfestigkeit einzelner Lagen darf einen Grenzwert von 1 N/mm² nicht unterschreiten. Zwischen parallel verklebten Lagen muss die charakteristische Scherfestigkeit mindestens 3,5 N/mm² erreichen. Hat eine untersuchte Klebfuge eine Scherfestigkeit von weniger als 2 N/mm², muss der Faserbruchanteil in der Klebfuge 100 % betragen, vgl. (ÖNORM EN 16351:2015 S.28).

Tabelle 5.2: Ermittlung der Klebefestigkeit zwischen Lagen von Brettsperrholz im Zuge der werkseigenen Produktionskontrolle auf nationaler Ebene

Ermittlung der Klebefestigkeit zwischen den Lagen von Brettsperrholz - NATIONALE EBENE (Deutschland)						
Hersteller	Technische Regelung	Bewertungsverfahren	Anzahl der Proben	Grenzwert	Konformitätskriterien	Zulassungsnummer
Binderholz	Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (DIBt)	Aufstechversuch	1 / BSP-Platte / Tag	Anteil Holz- oder Holzfaserbelag $\geq 70 \%$	Aufstechversuch gemäß DIN 68705-4	Z-9.1-534
KLH	Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (DIBt)	Aufstechversuch	3 / Schicht	Anteil Holz- oder Holzfaserbelag $\geq 70 \%$	Aufstechversuch nach DIN 53255 Vorbehandlung gemäß DIN 68705-4	Z-9.1-482
MM	Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (DIBt)	Delaminierung	2 / Tag	Gesamt-Delaminierung $\leq 10 \%$ Maximale Delaminierung der Einzelfuge: $\leq 40 \%$ <u>Bei Überschreitung der Gesamt-Delaminierung:</u> PLATTE ERNEUT PRÜFEN Gesamt-Delaminierung $\leq 15 \%$	Delaminierungsprüfung Methode B	Z-9.1-638
		Aufstechversuch	2 / Schicht	Anteil Holz- oder Holzfaserbelag $\geq 70 \%$	Aufstechversuch nach DIN 53255 Vorbehandlung gemäß DIN 68705-4	
Stora Enso	Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (DIBt)	Delaminierung	3 / Schicht	Gesamt-Delaminierung $\leq 10 \%$ Maximale Delaminierung der Einzelfuge: $\leq 40 \%$ <u>Bei Überschreitung der Gesamt-Delaminierung:</u> PLATTE ERNEUT PRÜFEN Gesamt-Delaminierung $\leq 15 \%$	Delaminierungsprüfung nach DIN EN 391 Methode B	Z-9.1-559
		Aufstechversuch	3 / Schicht	Anteil Holz- oder Holzfaserbelag $\geq 70 \%$	Aufstechversuch nach DIN 53255 Vorbehandlung gemäß DIN 68705-4	
		Blockscherversuch	10 / Tag	Mittelwert der Scherprüfung $\geq 1,5 \text{ N/mm}^2$ Char. Scherfestigkeit der letzten 100 Schwerwerte $\geq 1,25 \text{ N/mm}^2$ Scherfestigkeit Einzelwert $\geq 1,00 \text{ N/mm}^2$	Blockscherversuch in Anlehnung an DIN 52187	

Auf nationaler Ebene hingegen sind teilweise große Differenzen hinsichtlich der Überprüfung von Klebfugen im Zuge der werkseigenen Produktionskontrolle festzustellen, siehe Tabelle 5.2. Die Auswahl der Hersteller beschränkt sich auf ausgewählte österreichische BSP-Produzenten, in deren Produktion auch Ausschnitte anfallen.

Beim Hersteller Binderholz ist die Überprüfung der Bindefestigkeit der Verklebung ausschließlich anhand eines Aufstechversuchs gemäß DIN 68705-4:1981 durchzuführen, wobei je Arbeitstag und Plattendicke eine Probe zu entnehmen ist, vgl. (Z-9.1-534 Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für Deutschland von Binderholz Bausysteme GmbH S. 5).

Auch beim Hersteller KLH Massivholz ist für die Überprüfung der Verklebungsgüte ein Aufstechversuch nach DIN 53255:1964 vorgesehen. Dabei muss die Vorbereitung für den Probekörper BST 100 nach DIN 68705-4 Abschnitt 4.2 erfolgen. In Summe sind drei Proben je Arbeitsschicht zu entnehmen und zu prüfen, wobei der Anteil von Holz bzw. Holzfaserbelag mindestens 70 % betragen muss, vgl. (Z-9.1-482 Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für Deutschland von KLH Massivholz GmbH S. 5).

Für die Ermittlung der Klebefestigkeit zwischen den Lagen von Brettsperrholz stehen beim Hersteller Mayr Melnhof (kurz: MM) zwei unterschiedliche Bewertungsverfahren zur Auswahl. Einerseits kann die Überprüfung anhand eines Delaminierungsversuches nach Methode B an insgesamt zwei Proben je Arbeitstag festgestellt werden. Bei Überprüfung der Gesamtdelaminierung ist ein Grenzwert von 10 % und bei Überprüfung der maximalen Delaminierung der Einzelfuge ein Grenzwert von 40 % einzuhalten. Bei Überschreitung der Gesamtdelaminierung ist eine weitere Probe zu entnehmen, wobei der Grenzwert der Gesamtdelaminierung 15 % nicht überschreiten darf. Alternativ dazu kann ein Aufstechversuch nach DIN 53255:1964 an insgesamt drei Proben je Arbeitsschicht durchgeführt werden. Die Vorbereitung der Prüfkörper ist gemäß DIN 68705-4:1981 abzuwickeln und der Anteil des Holz- oder Holzfasersbelags muss mindestens 70 % betragen, vgl. (Z-9.1-638 Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für Deutschland von Mayr-Melnhof Holz Holding AG S. 6).

Auch bei Stora Enso ist zur Überprüfung der Klebefugen von BSP ein Delaminierungsprüfung nach DIN EN 391:2002-Methode B vorgesehen. Der Prüfumfang setzt sich aus drei Prüfkörpern je Arbeitsschicht zusammen, die an beiden Außenseiten und in der Mitte der Platte zu entnehmen sind und jeweils eine Breite von 300 mm und eine Länge von 75 mm aufzuweisen haben. Der Grenzwert der Gesamtdelaminierung darf maximal 10 % und der Grenzwert der maximalen Delaminierung einer Einzelfuge maximal 40 % betragen. Bei Überschreitung des Grenzwertes der Gesamtdelaminierung ist eine weitere Probe zu entnehmen, die eine Gesamtdelaminierung von maximal 15 % aufweisen darf. Alternativ zur Delaminierung kann die Bindefestigkeit der Verklebung anhand eines Aufstechversuchs nach DIN 53255:1964 mit einer Vorbehandlung der Proben gemäß DIN 68705-4:1981 für den Plattentyp BST 100 erfolgen. Wiederum ist die Prüfung an drei Proben je Arbeitsschicht vorgeschrieben. Eine weitere Alternative stellt die Durchführung einer Scherprüfung an mindestens 10 Scherproben je Arbeitstag dar. Die Prüfung muss in Anlehnung an die DIN 52187:1979 erfolgen, wobei ein Mittelwert von mindestens 1,5 N/mm² resultieren muss. Die charakteristische Scherfestigkeit der letzten 100 Scherwerte muss mindestens 1,25 N/mm² betragen und kein Einzelwert darf den verankerten Grenzwert von 1,0 N/mm² unterschreiten, vgl. (Z-9.1-559 Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für Deutschland von Stora Enso Wood Products Oy Ltd S. 6).

Aufgrund der fehlenden Harmonisierung der Produktnorm ÖNORM EN 16351:2015 für Brettsperrholz ist eine einheitliche technische Regelung weder auf europäischer noch nationaler Ebene gegeben. Wie in Tabelle 5.1 und Tabelle 5.2 ersichtlich, werden die Anforderungen an die werkseigene Produktionskontrolle zur Ermittlung der Klebefestigkeit zwischen den Lagen von Brettsperrholz herstellerspezifisch geregelt und unterscheiden sich zum Teil deutlich.

Auf Grundlage der in Kapitel 5-2 und 5-4 durchgeführten Delaminierungsprüfungen von Brettsperrholzelementen, die u.a. der Versuchsreihe aus Kapitel 4 angehören, ist im folgenden Abschnitt 5-1.2 die Definition wie auch das Prüfverfahren von Delaminierung nach ÖNORM EN 16351:2015 in Anlehnung an die ÖNORM EN 14080:2013 beschrieben.

5-1.2 PRÜFVERFAHREN DER DELAMINIERUNG NACH ÖNORM EN 16351:2015

In der Produktnorm ÖNORM EN 16351:2015 ist das Prüfverfahren zur Delaminierung von Klebstofffugen speziell auf die Anforderungen von Brettsperrholz abgestimmt. Die Auflistung und Erläuterung der einzelnen Bestandteile der Delaminierungsprüfung von Klebstofffugen richtet sich nach den Vorgaben gemäß ÖNORM EN 16351:2015-Anhang C, die nur geringfügig von dem derzeit gültigen und in der ÖNORM EN 14080:2013 verankerten Prüfverfahren nach Methode B abweichen.

5-1.2.1 Begriffsdefinition von Delaminierung nach ÖNORM EN 16351:2015

Delaminierung einzelner Holzschichten entsteht aufgrund von Feuchtegefällen im verklebten Holz. Die sich aufbauenden inneren Spannungen führen zu Zugkräften rechtwinklig zu den Klebefugen, wodurch bei unzureichender Güte der Verklebung eine Delaminierung der Klebefugen resultiert, vgl. (ÖNORM EN 16351:2015 S. 56).

In Abbildung 5.3 ist beispielhaft die Delaminierung der unteren Schicht eines BSP-Elements aufgrund unzureichender Güte der Verklebung dargestellt.



Abbildung 5.3: Delaminierung eines BSP-Prüfkörpers ohne Delaminierungsprüfung

Wie in ÖNORM EN 16351:2015 beschrieben, können die orthogonalen Zugkräfte aus der Feuchteänderung des Holzes aufgrund einer unzureichenden Güte der Flächenverklebung nicht ausreichend aufgenommen werden, wodurch eine Öffnung innerhalb der Klebefuge resultiert.

5-1.2.2 Prüfeinrichtung

Die Prüfeinrichtung nach ÖNORM EN 16351:2015-Anhang C setzt sich aus einem Druckgefäß, einem Trockenofen, einer Waage sowie einem Metallkeil und einem Hammer zusammen.

▪ Druckgefäß

Laut ÖNORM EN 16351:2015 wird ein Druckgefäß vorgeschrieben, das einem Druck von mindestens 600 kPa (700 kPa absoluter Druck) und einem Vakuum von mindestens 85 kPa (15 kPa absoluter Druck) standhalten kann. Anmerkung: 100 kPa $\hat{=}$ 1 bar

In Abbildung 5.4 ist beispielhaft das Druckgefäß eines BSP-Herstellers dargestellt.



Abbildung 5.4: Druckgefäß für die Delaminierungsprüfung (Fa. KLH Massivholz GmbH)

- **Trockenofen**

Die im Trocknungs-Ofen befindliche Luft muss mit einer Geschwindigkeit von 2 m/s bis einschließlich 3 m/s zirkulieren. Dabei muss eine Temperatur von 65 °C bis einschließlich 75 °C und eine relative Luftfeuchtigkeit von 8 % bis einschließlich 10 % vorherrschen, vgl. (ÖNORM EN 16351:2015-Anhang C S. 56).

Ein entsprechender Trockenofen ist in Abbildung 5.5 dargestellt.



Abbildung 5.5: Trockenofen für die Delaminierungsprüfung (Fa. KLH Massivholz GmbH)

- **Waage**

Gemäß ÖNORM EN 16351:2015 ist eine Waage zu verwenden, die Messungen mit einer Genauigkeit von ± 1 g ermöglicht.

- **Metallkeil und Hammer**

Sowohl der Metallkeil als auch der Hammer müssen für das Öffnen einer Klebstofffuge geeignet sein, vgl. (ÖNORM EN 16351:2015-Anhang C S. 56).

In Abbildung 5.6 sind der Metallkeil und Hammer eines BSP-Herstellers dargestellt, die für das Öffnen der Klebstofffugen herangezogen werden.



Abbildung 5.6: Metallkeil und Hammer für die Delaminierungsprüfung (Fa. KLH Massivholz GmbH)

5-1.2.3 Probenentnahme

Für die Probenentnahme bzw. Herstellung der Prüfkörper stehen nach ÖNORM EN 16351:2015 grundsätzlich zwei Möglichkeiten zur Verfügung.

„Die Prüfkörper sind entweder als Bohrkerne aus Brettsperrholz mit einem Mindestdurchmesser von 95 ± 5 mm zu entnehmen oder als rechteckige Stücke mit einer Mindestseitenlänge von 100 ± 5 mm und einer von oben betrachteten Fläche von mindestens 10.000 mm² herauszuschneiden. Die Dicke der Prüfkörper muss der Dicke des Brettsperrholzes entsprechen, aus dem sie entnommen werden.“ (ÖNORM EN 16351:2015-Anhang C S. 56)

In Abbildung 5.7 sind die für die Delaminierungsprüfung vorbereiteten Prüfkörper eines BSP-Herstellers in Form von Bohrkerne mit einem Durchmesser von 95 ± 5 mm veranschaulicht.



Abbildung 5.7: Prüfkörper für die Delaminierungsprüfung gemäß ÖNORM EN 16351:2015 (Fa. KLH Massivholz GmbH)

5-1.2.4 Prüfzyklus

Im ersten Schritt sind die Prüfkörper nach ÖNORM EN 16351:2015 in das Druckgefäß zu legen und zu beschweren. Die Prüfkörper sind vollständig mit Wasser zu bedecken, wobei darauf zu achten ist, dass die Temperatur zwischen 10 °C bis 20 °C liegt. Mittels Abstandhaltern oder Drahtgittern sind die Prüfkörper so voneinander zu trennen, dass alle Hirnholzflächen mit Wasser benetzt werden können. Über einen Zeitraum von 30 min ist ein Vakuum von 70 kPa bis 85 kPa (absoluter Druck von 15 kPa bis 30 kPa) aufrecht zu erhalten. Anschließend ist das Vakuum aufzuheben und über einen Zeitraum von 2 h ein Druck von 550 kPa bis 600 kPa (absoluter Druck 600 kPa bis 700 kPa) aufzubringen.

Im zweiten Schritt werden die Prüfkörper dem Trocknungsöfen zugegeben und über einen Zeitraum von 10 h bis 15 h bei einer Temperatur von 65 °C bis einschließlich 75 °C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 8 % bis einschließlich 10 % getrocknet. Es ist darauf zu achten, dass die Prüfkörper mindestens 50 mm voneinander entfernt sind und die Hirnholzflächen parallel zum Luftstrom liegen. Die tatsächliche Trocknungszeit ist über die Masse der Prüfkörper zu steuern. Sobald diese auf 100 % bis 110 % der ursprünglichen Masse der Prüfkörper zurückgegangen ist, ist die Delaminierungsprüfung durchzuführen sowie die Ergebnisse und die genaue Trocknungszeit aufzuzeichnen, vgl. (ÖNORM EN 16351:2015-Anhang C S. 58).

5-1.2.5 Messung und Bewertung der Delaminierung

Die Messung und Bewertung der Delaminierung ist spätestens eine Stunde nach dem letzten Trocknungsvorgang durchzuführen. Zudem sind die Prüfkörper entsprechend den Vorgaben der werkseigenen Produktionskontrolle zu kennzeichnen. Festgestellte Öffnungen der Klebefugen sind an den Hirnholzflächen der Prüfkörper zu messen und millimetergenau aufzuzeichnen. Zur vereinfachten Feststellung wird sowohl eine Lupe mit zehnfacher Vergrößerung als auch eine Dickenlehre mit 0,08 mm bis 0,10 mm Dicke als Hilfsmittel empfohlen. Bei Überschreitung der in Tabelle 5.1 zusammengefassten Grenzwerte der maximal zulässigen Öffnungen ist die Klebefuge mit Hilfe von Keil und Hammer aufzutrennen und der Faserbruchanteil der gemessenen Fläche zu beurteilen. Als Öffnungen werden u.a. ein zusammenhängender Riss innerhalb der Klebstoffschicht, ein Versagen der Klebefuge genau zwischen der Klebstoffschicht oder innerhalb der ersten beiden Zellschichten verstanden. Gegenteilig werden beispielsweise Öffnungen, die eine geringere Länge als 2,5 mm aufweisen und mindestens 5 mm voneinander entfernt sind oder unmittelbar im Bereich eines Astes oder einer Harztasche auftreten, nicht als Delaminierung angesehen. Beim aufgetrennten Prüfkörper ist ein Holzversagen durch einen Riss gekennzeichnet, der stets weiter als zwei Zellschichten von der Klebstoffschicht entfernt ist. Darüber hinaus sind Öffnungen, die unmittelbar neben Ästen und Harztaschen angeordnet sind, als Faserbruchanteil zu bewerten, vgl. (ÖNORM EN 16351:2015-Anhang C S. 57-58).

5-1.2.6 Ergebnisse

Laut ÖNORM EN 16351:2015 ist für jeden Prüfkörper eine Berechnung der Delaminierung durchzuführen. Dabei muss sowohl der Grenzwert der Gesamtdelaminierung als auch der Grenzwert der maximalen Delaminierung der Einzelfuge eingehalten werden.

Die Gesamtdelaminierung lässt sich nach Formel 5.1 bestimmen.

$$Delam_{tot} = 100 \cdot \frac{l_{tot,delam}}{l_{tot,glue\ line}} [\%] \quad 5.1$$

$Delam_{tot}$	...	Gesamtdelaminierung
$l_{tot,delam}$	...	Gesamtdelaminierungslänge [mm]
$l_{tot,glue\ line}$	...	Gesamtlänge aller Klebefugen in einem Delaminierungskörper [mm]

Die maximale Delaminierung einer einzelnen Klebefuge in einem Prüfkörper ist nach Formel 5.2 zu berechnen.

$$Delam_{max} = 100 \cdot \frac{l_{max,delam}}{l_{glue\ line}} [\%] \quad 5.2$$

$Delam_{max}$	...	Maximale Delaminierung
$l_{max,delam}$	...	Maximale Delaminierungslänge [mm]
$l_{glue\ line}$	...	Länge einer Klebefuge in einem Delaminierungskörper [mm]

Bei erforderlicher Auftrennung der Klebefugen eines Prüfkörpers ist wiederum der Faserbruchanteil der gesamten wie auch einzelnen Fläche zu bestimmen und mit den vorgeschriebenen Grenzwerten gegenüberzustellen. Der Faserbruchanteil wird durch das Verhältnis der Fläche mit Faserbruch und dem Klebefugbereich vor dem Auftrennen ermittelt, vgl. (ÖNORM EN 16351:2015-Anhang C S. 58-59).

5-1.3 PROBLEMATIK VON DELAMINIERUNGSPRÜFUNGEN BEI BSP

Die technischen Regelungen bzw. Zulassung von Brettsperrholz auf nationaler Ebene basieren im Grunde genommen auf der Regelung von Brettschichtholz (kurz: BSH). Aufgrund der fehlenden Erfahrung zum Produkt Brettsperrholz wurden in den Anfangsjahren vereinfacht die Anforderungen der werkseigenen Produktionskontrolle und der Fremdüberwachung von Brettschichtholz übernommen. Die dabei vorgeschriebene Delaminierungsprüfung zur Bestimmung der Klebefestigkeit einzelner Fugen von BSH mit den zugehörigen Grenzwerten wurde somit auch in der werkseigenen Produktionskontrolle von Brettsperrholz verankert. Auch bei Erstellung der Produktnorm ÖNORM EN 16351:2015 wird die Überprüfung der Verklebungsqualität von BSP-Prüfkörpern u.a. mittels Delaminierungsprüfung vorgesehen. Bei genauerer Betrachtung von Brettsperrholz wird jedoch ersichtlich, dass durch die orthogonale Anordnung der Brettlamellen grundlegend unterschiedliche Beanspruchungen auf die Klebefuge einwirken als bei Brettschichtholz. Bei BSH sind die aus der Feuchteänderung resultierenden Spannungen in der Klebefuge verhältnismäßig gering. Durch den faserparallelen Aufbau der Schnittholzlamellen stellt sich eine einheitliche Verformung in den Klebefugen ein. Brettsperrholz hingegen ist durch den orthogonalen Aufbau von Schnittholzlamellen gekennzeichnet, wodurch bei Feuchteänderung deutlich höhere Spannungen auf die Klebefugen einwirken, die sich aus dem unterschiedlichen Schwind- und Quellverhalten entlang der Faserrichtung des Holzes einstellen. Aus diesem Grund wird die Durchführung von Delaminierungsprüfungen bei BSP als durchaus problematisch bzw. nicht geeignet angesehen. Zudem werden in sehr kurzen Abständen neue Klebstoffsysteme entwickelt, die eine Reduktion der Presszeit wie auch Klebstoffauftragsmenge mit sich bringen. Die Erfüllung der Grenzwerte von Delaminierungsprüfungen wird somit eine große Herausforderung. In der bereits ausgearbeiteten Produktnorm ÖNORM EN 16351:2015 für Brettsperrholz wurde als Alternative zur Delaminierungsprüfung ein Scherversuch zur Überprüfung der Verklebungsgüte verankert. Die Durchführung von Delaminierungsprüfungen wird jedoch weiterhin einen wichtigen Bestandteil der werkseigenen Produktionskontrolle für BSP darstellen und auch in der Praxis ihre Bedeutung nicht verlieren.

5-2 PRÜFSERIE A

Prüfserie A beinhaltet die Delaminierungsprüfung der zu den Vierpunkt-Biegeprüfserien DL-B, DQ-B, DL-S und DQ-S zugehörigen Prüfkörper aus Kapitel 4. Nach Abwicklung der Biege- und Rollschubprüfungen wurde von jedem BSP-Element ein Prüfkörper entnommen, sodass in Summe 30 Stück resultierten. Die Delaminierungsprüfung der Klebstofffugen wurde von der Firma KLH Massivholz GmbH nach ÖNORM EN 14080:2013-Verfahren B in Anlehnung an ÖNORM EN 16351:2015 durchgeführt.

5-2.1 PRÜFKÖRPER

Die Produktion der zu den Prüfkörpern zugehörigen BSP-Elemente erfolgte in den Werkstättenräumlichkeiten des Instituts für Holzbau und Holztechnologie an der TU Graz. Sowohl das Schnittholz als auch das Rohmaterial der REX-Querlagen wurde von der Firma KLH Massivholz GmbH zur Verfügung gestellt. Der Klebstoff des Typs HB S309 stammte von der Firma Henkel Loctite AG.

5-2.1.1 Plattenaufbau und Abmessungen

Der Aufbau der Prüfkörper setzte sich aus insgesamt drei Längslagen mit einer Dicke von 19 mm und zwei REX-Querlagen mit einer Dicke von 31,5 mm zusammen, womit in Summe ein fünfschichtiges BSP-Element mit einer Dicke von 120 mm resultierte. Der Aufbau von REX-Platten ist durch den Anteil von liegend und stehend orientierten Holzlagen geprägt. Im Zuge der Laborprüfungen wurden jeweils 15 BSP-Elemente hergestellt, deren REX-Querlagen einen Hirnholzanteil von 40 % bzw. 60 % aufwiesen, siehe Abbildung 5.8.

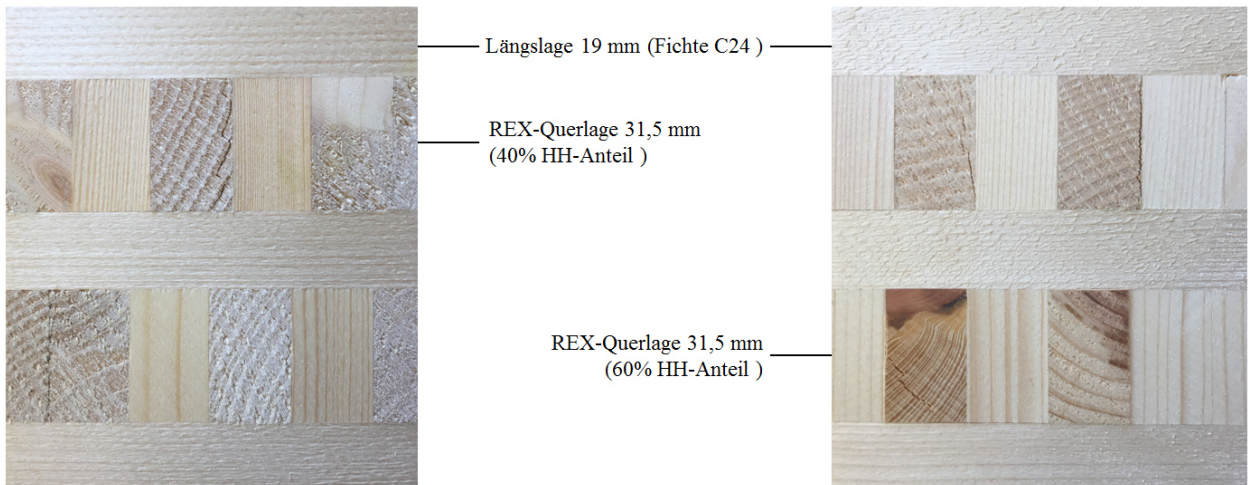


Abbildung 5.8 BSP-Prüfkörper mit 40 % HH-Anteil in REX-Querlage (links) und 60 % HH-Anteil in REX-Querlage (rechts) von Prüfserie A

Die Abmessungen der Probekörper wurden den Anforderungen gemäß ÖNORM EN 16351:2015 angepasst. Diese besagt, dass entweder Bohrkern mit einem Mindestdurchmesser von 95 ± 5 mm oder rechteckige Stücke mit einer Mindestseitenlänge von 100 ± 5 mm zu entnehmen sind. In Abbildung 5.9 ist beispielhaft ein entnommener Prüfkörper von Prüfserie A dargestellt.

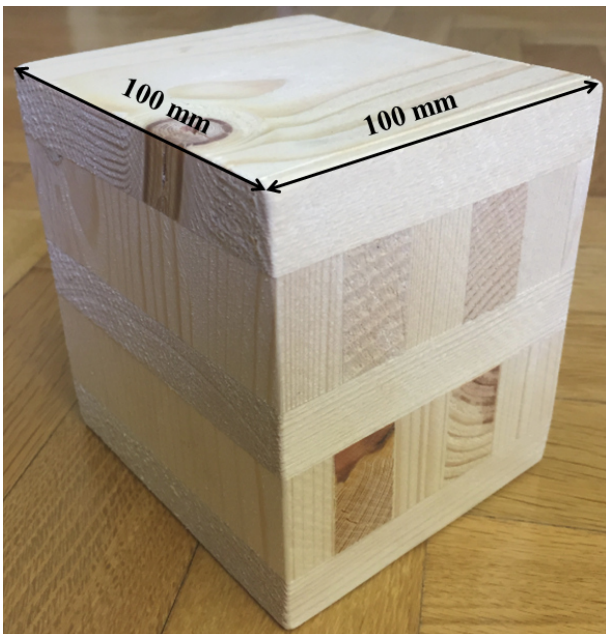


Abbildung 5.9: Abmessungen eines Prüfkörpers der Prüfserie A

5-2.2 DELAMINIERUNGSPRÜFUNG UND ERGEBNISAUSWERTUNG

Die Delaminierungsprüfungen wurden nach ÖNORM EN 14080:2013 Verfahren B in Anlehnung an die ÖNORM EN 16351:2015 von der Firma KLH Massivholz GmbH durchgeführt. Eine Beschreibung des Prüfverfahrens kann Kapitel 5-1.2 entnommen werden.

Entsprechend den Vorgaben gemäß ÖNORM EN 14080:2013 wurden für jeden Prüfkörper die Delaminierungsergebnisse ausgewertet, die sich einerseits aus dem Gesamtprozentsatz der Delaminierung eines Prüfkörpers und andererseits aus dem Höchstprozentsatz der Delaminierung einer einzelnen Klebstofflage zusammensetzen.

Für die Berechnung der Gesamtdelaminierung ist die Delaminierungslänge aller Hirnholzflächen eines Prüfkörpers zu erfassen und mit der Gesamtlänge der Klebefugen eines Prüfkörpers ins Verhältnis zu setzen. Die zugehörige Formel 5.1 kann Kapitel 5-1.2.6 entnommen werden. In Abbildung 5.10 sind beispielhaft die Delaminierungslängen von Prüfkörper DL-B-02 gekennzeichnet, die unmittelbar nach der Delaminierungsprüfung aufgenommen und dokumentiert wurden.

Delaminierungslänge Prüfkörper DL-B-02

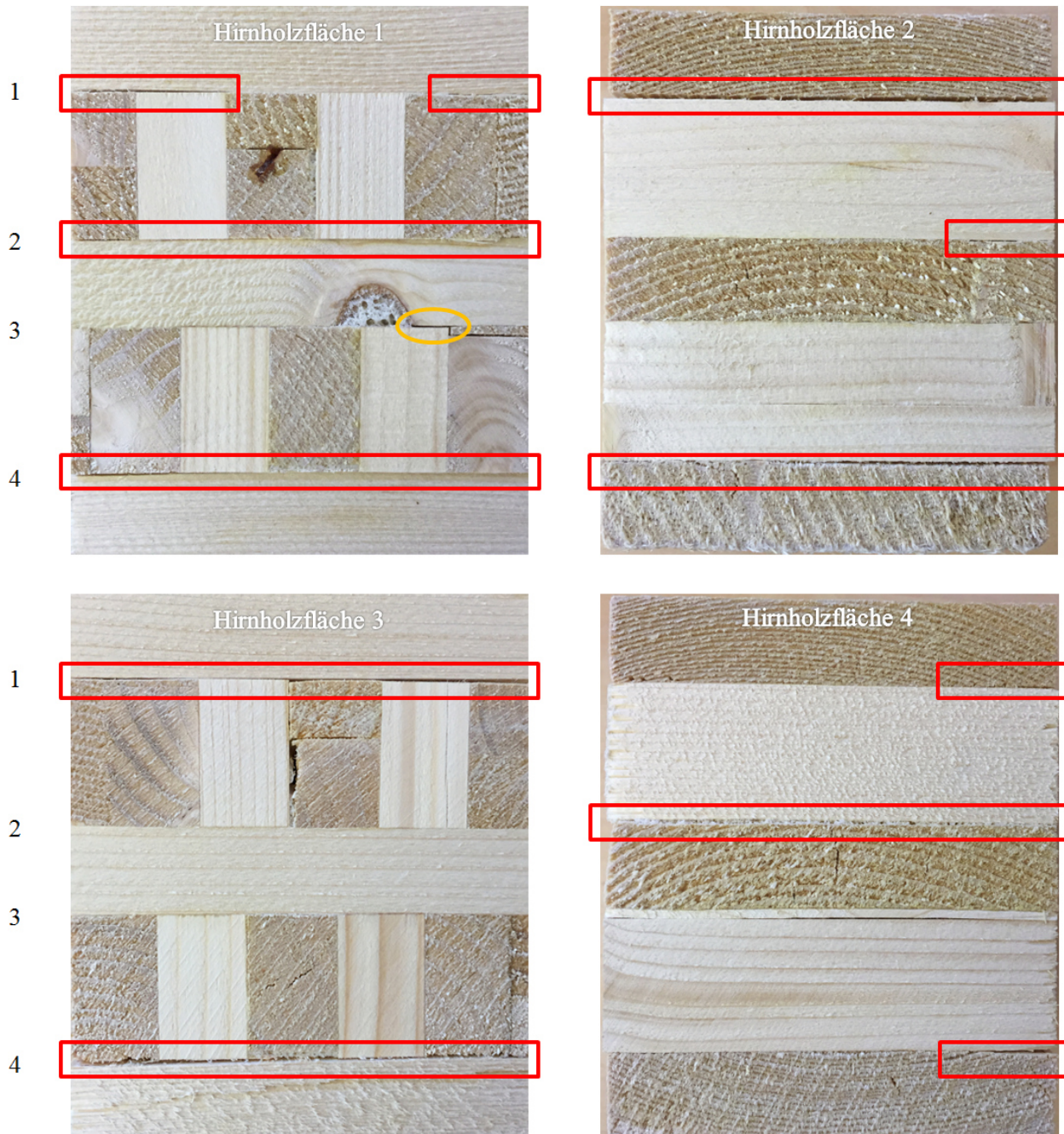


Abbildung 5.10: Bestimmung der Delaminierungslänge bei Prüfkörper DL-B-02 aus der Prüfserie A

Wie in Abbildung 5.10 ersichtlich, konnten bei drei von vier Klebefugen deutliche Öffnungen an allen Hirnholzflächen festgestellt werden, die beinahe zu einer vollständigen Delaminierung der einzelnen Schichten führten. Lediglich Klebefuge 3 blieb über alle vier Delaminierungslängen geschlossen. Die Öffnung an Hirnholzfläche 1 in Fuge 3 ist nicht als Delaminierung zu werten, da ein Ast im Bereich der Öffnung angrenzt. Die Ergebnisse der Delaminierungsprüfung sind in Tabelle 5.3 aufgelistet.

Tabelle 5.3: Ergebnisse der Delaminierungsprüfung des Prüfkörpers DL-B-02 aus der Prüfserie A

Probennummer	Fugennummer	Querschnittsbreite	Querschnittslänge	Querschnittshöhe	Länge einer Klebefuge	Länge aller Klebefugen	Maximale Delaminierungslänge Einzelfuge	Maximale Delaminierung Einzelfuge	Maximale Delaminierung Einzelfuge	Gesamtdelaminierungslänge	Gesamtdelaminierung
		b [mm]	l [mm]	h [mm]	l glue line [mm]	l glue line [mm]	l max, delam [mm]	[%]	[%]	l tot, delam [mm]	l tot, delam [%]
DL-B-02	1	100	100	120	400	1600	278	70 %	84 %	835,0	52 %
	2						223	56 %			
	3						0	0 %			
	4						334	84 %			

Delaminierungsprüfung nach ÖNORM EN 14080:2013 / ÖNORM EN 16351:2015

Grenzwert:	max. 40 %		max. 10 %
------------	-----------	--	-----------

Aus den Ergebnissen in Tabelle 5.3 geht hervor, dass der Grenzwert der Gesamtdelaminierung deutlich überschritten wurde. Während nach ÖNORM EN 16351:2015 eine maximale Gesamtdelaminierung von 10 % vorgeschrieben ist, konnte am beispielhaft dargestellten Prüfkörper ein Wert von 52 % festgestellt werden. Auch der vorgeschriebene Grenzwert der maximalen Delaminierung einer Einzelfuge wurde nicht eingehalten. Anstelle von 40 % wurde ein Wert von 84 % ermittelt.

Nachdem bei ausnahmslos allen Prüfkörpern der Prüfserie A auch ohne eine exakte Ermittlung der Delaminierungslängen eine fehlerhafte Flächenverklebung festgestellt werden konnte, wurde beim Großteil dieser Prüfserie auf eine genaue Auswertung wie in Tabelle 5.3 verzichtet.

Exemplarisch wurde jedoch die Delaminierungsprüfung von Prüfkörper DQ-B-05 nach den Vorgaben gemäß ÖNORM EN 14080:2013 in Anlehnung an die ÖNORM EN 16351:2015 vervollständigt.

„Wird durch die Prüfung ein Ast als Ursache der Öffnung in der Klebstoffuge vermutet, ist diese mit Keil und Hammer zu öffnen und auf verdeckte Äste zu untersuchen.“ (ÖNORM EN 14080:2013 S.65)

„Überschreitet die maximale Delaminierungslänge oder die Gesamt-Delaminierungslänge die Grenzwerte oder kann die Delaminierungslänge aufgrund einer mangelhaften Oberflächengüte der Hirnholzflächen nicht festgestellt werden, ist jede Klebefuge mit Hilfe von Keil und Hammer aufzutrennen und der Faserbruchanteil der aufgetrennten Fläche zu messen.“ (ÖNORM EN 16351:2015-Anhang C S. 58)

In Abbildung 5.12 sind die aufgetrennten Flächen von Prüfkörper DQ-B-05 dargestellt, welche zur Beurteilung des Faserbruchanteils herangezogen werden.

Delaminierungsanteil am aufgespaltenen Prüfkörper DQ-B-05



Abbildung 5.11: Delaminierungsanteil am aufgespaltenen Prüfkörper DQ-B-05 der Prüfserie A – Fuge 1 und 2



Abbildung 5.12: Delaminierungsanteil am aufgespaltenen Prüfkörper DQ-B-05 der Prüfserie A – Fuge 3 und 4

Wie in Abbildung 5.11 ersichtlich, konnte sowohl bei Klebefuge 1 als auch Klebefuge 2 eine beinahe vollständige Delaminierung festgestellt werden. Lediglich bei Klebefuge 3 und 4 ist ein geringer Anteil an Holzfaserbruch erkennbar, siehe Abbildung 5.12. Bei der Bestimmung des Delaminierungsanteils pro Einzelfuge wird die delaminierte Fläche der Einzelfuge mit der zugehörigen Fläche des Prüfkörpers ins Verhältnis gesetzt. Die delaminierte Fläche pro Prüfkörper wird aus dem Mittelwert der Einzelfugenergebnisse gebildet. Die Auswertung der Ergebnisse nach ÖNORM EN 16351:2015 in Anlehnung an ÖNORM EN 14080:2013 sind in Tabelle 5.4 aufgelistet.

Tabelle 5.4: Ergebnisse der Faserbruchbestimmung des Prüfkörpers DQ-B-05 aus der Prüfserie A

Delaminierungsprüfung nach ÖNORM EN 14080:2013 / ÖNORM EN 16351:2015				
Probennummer	Fugennummer	Fläche delaminiert pro Fuge A tot, delam [%]	Fläche delaminiert max. pro Einzelfuge A max, delam [%]	Fläche delaminiert pro Prüfkörper A tot, delam [%]
DQ-B-05	1	100 %	100 %	89 %
	2	95 %		
	3	90 %		
	4	70 %		

Grenzwert:		
EAD 130005-00-0304:2015-03	max. 50 %	max. 25 %
ÖNORM EN 14080 / 16351	max. 50 %	max. 30 %

Aus den Ergebnissen von Tabelle 5.4 geht hervor, dass sowohl die Grenzwerte des Bewertungsdokuments EAD 130005-00-0304:2015-03 als auch die Grenzwerte der ÖNORM EN 16351:2015 deutlich überschritten wurden. Während im EAD eine maximale Delaminierung der Einzelfuge von 50 % und eine Gesamtdelaminierung von maximal 25 % vorgeschrieben ist, liegt der Grenzwert der Gesamtdelaminierung gemäß ÖNORM EN 16351:2015 bei maximal 30 %. Beim vorliegenden Prüfkörper wird sowohl der Grenzwert der maximalen Delaminierung der Einzelfuge mit einem Anteil von 100 % als auch der Grenzwert der Gesamtdelaminierung mit einem Anteil von 89 % nicht eingehalten.

5-2.3 ANALYSE DER FEHLVERKLEBUNG

Bei der Analyse der Fehlverklebung wird gezielt auf die Vorgaben bzw. Verarbeitungsrichtlinien des Klebstoffherstellers Loctite Henkel AG eingegangen. In den Abschnitten 5-2.3.1 bis 5-2.3.3 werden die Vorgaben mit realen Parametern der Prüfkörper gegenübergestellt. Die gewonnenen Erkenntnisse sollten Aufschluss über die festgestellte Fehlverklebung der Prüfkörper von Prüfserie A geben und können als Basis für die Herstellung der Prüfkörper von Prüfserie B betrachtet werden.

5-2.3.1 Oberflächenbeschaffenheit

In einer vom Klebstoffhersteller Henkel Loctite ausgearbeiteten Checkliste für die Produktion von Brettsperrholz wird vorgeschrieben, dass die Oberflächen der Lamellen vor dem Verkleben zu hobeln sind. Die maximal zulässige Dickentoleranz nach dem Hobeln beträgt 0,1 mm auf 1 m Lamellenlänge, vgl. (Henkel & Cie AG, 2015 S. 2).

Die verwendeten Längslagen von Prüfserie A wurden von der Firma KLH bereits gehobelt angeliefert, sodass keine weiteren Bearbeitungsschritte vor der Flächenverklebung durchzuführen waren. Auch die Oberflächen der REX-Platten wurden den Vorgaben der Checkliste (Henkel & Cie AG, 2015) angepasst und mittels Dickenhobelmaschine endbearbeitet. Eine Kontrolle der Dickentoleranzen wurde nicht durchgeführt.

Aufgrund des speziellen Plattenaufbaus der REX-Querlagen, der durch eine wechselnde Anordnung von liegend und stehend orientierten Holzlagen gekennzeichnet ist, wurde die Herstellung einer für die Verklebung vorausgesetzten exakten Oberfläche deutlich erschwert. Schon während des Hobelvorgangs konnte eine geringe Dickendifferenz zwischen den unterschiedlich orientierten Holzlagen wahrgenommen werden, wobei die Hirnholzlagen als vergleichsweise dicker empfunden wurden. Diese Wahrnehmung bestätigte sich auch bei Betrachtung der Delaminierungsergebnisse in Abbildung 5.10 und Abbildung 5.11 / Abbildung 5.12. Nicht nur an den stehend orientierten Hirnholzlagen sondern auch an den längsorientierten Holzlagen konnte großteils eine vollständige Delaminierung der Klebefugen festgestellt werden. Nachdem die längsorientierten Holzlagen die gleiche Faserrichtung wie konventionelle BSP-Querlagen aufweisen und trotzdem kaum ein Faserbruch ersichtlich war, lag trotz sorgfältiger Hobelung mit großer Wahrscheinlichkeit eine unebene Oberfläche vor, welche den vorgeschriebenen Grenzwert von 0,1 mm pro 1 m Lauflänge nicht erfüllte. Es ist davon auszugehen, dass eine Oberflächenbearbeitung mit einem Hobelmesser nicht optimal an den besonderen Aufbau der REX-Querlagen angepasst werden kann, da die stehend orientierten Hirnholzlagen schwieriger zu bearbeiten sind als die liegend orientierten Holzlagen. Zusätzlich konnte am Querschnitt der BSP-Elemente ein fehlender Klebstoffaustritt im Bereich der stehend orientierten Hirnholzlagen festgestellt werden, siehe Abbildung 5.13.

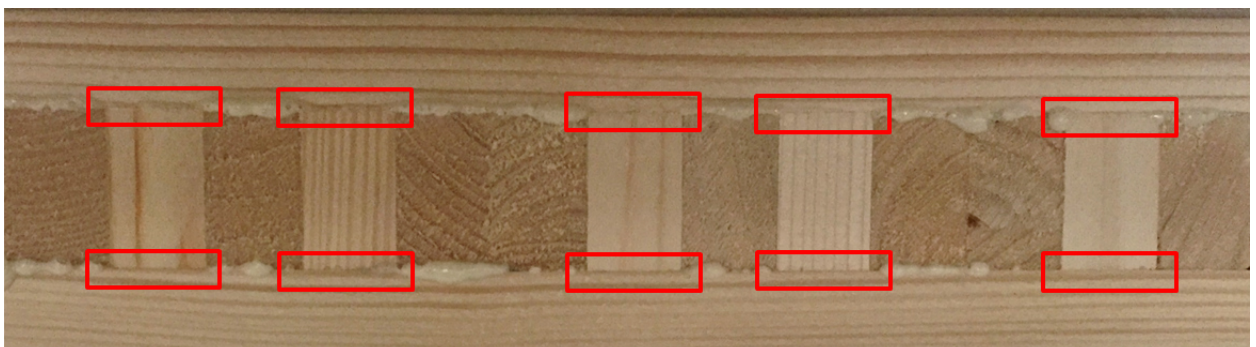


Abbildung 5.13: Fehlender Klebstoffaustritt im Bereich der stehend orientierten Hirnholzlagen

Aufgrund des fehlenden Klebstoffaustritts im Bereich der Hirnholzlagen ist davon auszugehen, dass der Klebstoff während des Pressvorgangs von den längsorientierten und durch den Hobelvorgang präzise abgeschnittenen Holzfasern aufgezogen wird.

Aus einem Forschungsbericht der Technischen Universität München (van de Kuilen, et al., 2014), in dem die Möglichkeiten der Verklebung verschiedener Holzarten untersucht werden, geht hervor, dass das Ergebnis der Delaminierungsprüfung durch das Schleifen der Oberfläche positiv beeinflusst werden kann. Zudem zeigten die Ergebnisse einer Kontaktwinkelmessung deutliche Verbesserungen der Benetzbarkeit geschliffener Oberflächen. Die Holzoberflächen der Prüfkörper wurden einheitlich mit einer Breitbandschleifmaschine unter einem Druck von 5 bar geschliffen. Es wurde ein Schleifband der Körnung P 100 verwendet, wobei in einem Scheifdurchgang bei einer Vorschubgeschwindigkeit von 7 m/min und einer Schleifbandgeschwindigkeit von 17 m/min exakt 0,2 mm abgenommen wurden. Während das Schleifen der Oberfläche bei Nadelhölzern eine Verschlechterung der Delaminierungsergebnisse hervorruft, konnte bei Laubhölzern mit erhöhter Dichte deutliche Verbesserungen festgestellt werden. Mikroskopie basierte Untersuchungen ergaben, dass bei Hölzern mit geringer Dichte wie beispielsweise Fichte und Lärche die Holzzellen der Oberflächenschichten stark komprimiert werden. Basierend auf dieser Erkenntnis wird vermutet, dass durch das Schleifen ein Eindringen des Klebstoffes in das Holzgewebe der verdichteten Zellen behindert wird. Zudem konnte eine erhöhte Klebstofffugendicke gegenüber gehobelten Brettlamellen festgestellt werden. Auch bei den untersuchten Laubholzarten konnte zwar eine vergleichsweise dickere Klebstofffuge gemessen werden, eine Komprimierung der Holzzellen war jedoch nicht ersichtlich. Bei Verwendung von einem PUR-Klebstoff konnten die Ergebnisse der Delaminierung um 30 % bis 60 % verbessert werden, vgl. (van de Kuilen, et al., 2014 S. 78-79).

Obwohl im Aufbau der REX-Querlagen kein Laubholz mit erhöhter Dichte vorliegt, kann möglicherweise das Schleifen der Plattenoberflächen zu einer Verbesserung der Oberflächen- und Verklebungsgüte beitragen. Vor allem die schwierig zu bearbeitenden Hirnholzbereiche könnten auf diese Weise an die Dicke der umliegenden längsorientierten Holzlagen in der REX-Platte angepasst werden. Ein zusätzliches Aufrauen dieser Hirnholzflächen könnte möglicherweise das Aufsaugen des Klebstoffes während des Pressvorgangs verhindern. Es ist jedoch besonders darauf zu achten nur eine geringe Dicke abzuschleifen, da aus den Erkenntnissen des Forschungsberichtes (van de Kuilen, et al., 2014) eine Verschlechterung der Delaminierungsergebnisse bei weichen Nadelhölzern wie beispielsweise Fichte hervorgeht. Im Grunde genommen sollte ein nachträglicher Feinschliff zur Anpassung der aus dem Hobelvorgang resultierenden Dickenunterschiede zwischen den längs- und querorientierten Holzlagen im Aufbau der REX-Platten herangezogen werden, um die Vorgaben des Klebstoffherstellers zu erfüllen.

5-2.3.2 Lagerung des Rohmaterials - Umgebungsklima

Während der Verklebung aber auch im Zuge der Verarbeitung des Rohmaterials ist auf ein vorgeschriebenes Umgebungsklima zu achten. Laut Checkliste des Klebstoffherstellers Henkel Loctite sollte eine konstante Raumtemperatur von 15 °C bis 20 °C eingehalten werden. Die relative Luftfeuchtigkeit ist zwischen 40 % und 75 % zu halten und darf einen Wert von 30 % nicht unterschreiten. Auch die Holztemperatur muss mindestens 15 °C betragen und die Holzfeuchtigkeit sollte exakt zwischen 8 % und 15 % liegen. Der Feuchteunterschied zwischen den einzelnen Lamellen darf 4 % nicht überschreiten. Zudem darf der Zweitraum zwischen dem Hobelvorgang und der Flächenverklebung für Standardholzarten wie beispielsweise Fichte 24 Stunden nicht überschreiten, vgl. (Henkel & Cie AG, 2015 S. 2-3).

Das gesamte Rohmaterial bestehend aus Längslagenlamellen und REX-Querlagen wurde direkt nach Anlieferung in einer Klimakammer zwischengelagert. Mit einer konstanten Temperatur von 20° und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 65 % wurden die Anforderungen des Klebstoffherstellers während der Materiallagerung eingehalten. Das sich im Bereich der Flächenverklebung und Verpressung einstellende Klima wurde jedoch nicht überprüft bzw. gezielt an die Anforderungen des Klebstoffherstellers angepasst. Sowohl die Holztemperatur als auch die Holzfeuchtigkeit entsprachen aufgrund der durchgeführten Lagerung den Vorgaben der Checkliste (Henkel & Cie AG, 2015). Die Zeitdauer zwischen der Hobelung des Rohmaterials und der Verklebung zu BSP hat jedoch in Summe mehr als einen Kalendermonat beansprucht.

Aufgrund des speziellen Plattenaufbaus der REX-Querlagen ist auch bei Einhaltung der vorgeschriebenen Lagerbedingungen davon auszugehen, dass Unebenheiten an der Plattenoberfläche resultieren, die dem unterschiedlichen Schwind- und Quellverhalten des Holzes geschuldet sind. In Abbildung 5.14 ist das natürliche Quell- und Schwindverhalten des Holzes in longitudinaler, radialer und tangentialer Richtung dargestellt.

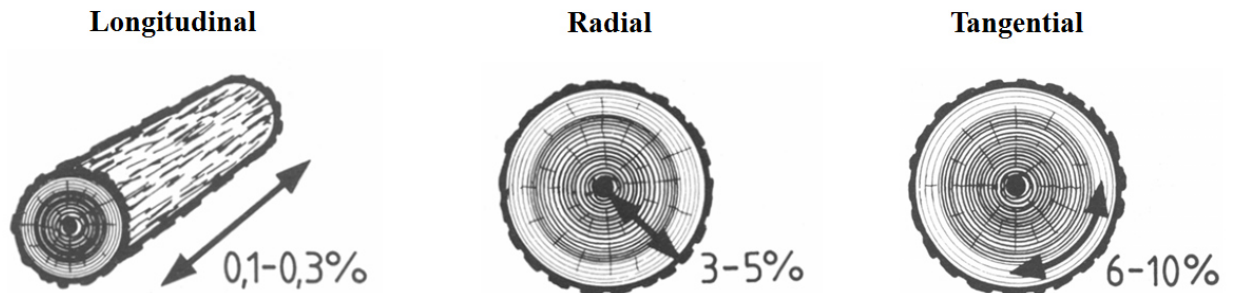


Abbildung 5.14: Quell- und Schwindverhalten des Holzes (Moser, et al., 2003)

Wie in Abbildung 5.14 ersichtlich, ist das Quell- und Schwindverhalten in tangentialer Richtung mit 6-10 % am stärksten ausgeprägt. In radialer Richtung ist die Formänderung mit 3-5 % zwar nur halb so groß wie in tangentialer Richtung, jedoch mehr als zehnmals so groß wie in Längsrichtung mit 0,1-0,3 %. In Abbildung 5.15 ist das unterschiedliche Quell- und Schwindverhalten des Holzes auf den Querschnitt einer beispielhaft dargestellten REX-Querlage übertragen.

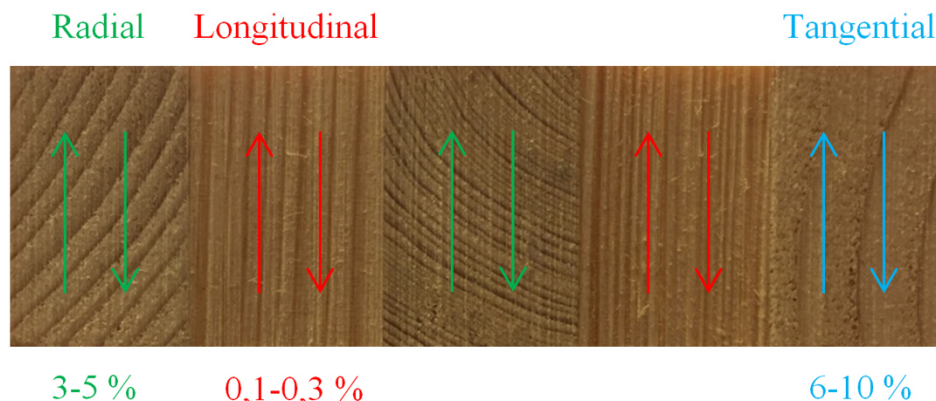


Abbildung 5.15: Unterschiedliches Quell- und Schwindverhalten im Querschnitt der REX-Platten

In Abbildung 5.16 sind die tatsächlich gemessenen Formänderungen von REX-Querlagen dargestellt, die sich während der Lagerung und Anpassung an das vorhandene Ausgleichsklima einstellen.



Abbildung 5.16: Formänderung bei REX-Querlagen aufgrund von unterschiedlichem Schwind- und Quellverhalten

Wie Abbildung 5.16 entnommen werden kann, resultieren bereits nach kurzer Zeit Unebenheiten an der Plattenoberfläche, die auf das natürliche Schwind- und Quellverhalten der unterschiedlich orientierten

Holzlagen im Aufbau der REX-Querlagen zurückzuführen sind. Während die stehend orientierten Holzlagen kaum eine Formänderung erfahren, ist diese bei den liegend orientierten Holzlagen deutlich stärker ausgeprägt. Zur Einhaltung der geforderten Maßhaltigkeit sowie dem Erlangen einer intakten Klebefuge bedarf es die Einhaltung der vom Klebstoffhersteller vorgeschriebenen Zeitdauer von maximal 24 h zwischen finaler Oberflächenbearbeitung und Flächenverklebung bei einem Klima von 15 °C bis 20 °C Lufttemperatur und einer relativen Luftfeuchtigkeit zwischen 40 % und 75 %.

5-2.3.3 Klebstoff und Prüfkörperherstellung

Zu den Anforderungen, die den Klebstoff selbst betreffen, zählt u.a. eine vorgeschriebene Mindesttemperatur von 15 °C. Aus dem Datenblatt (Loctite HB S309 Purbond, 2015) des verwendeten Klebstofftyps HB S309 kann zudem entnommen werden, dass eine Klebstoffmenge von 140-180 g/m² aufzutragen ist. Um eine konstante Auftragsmenge und Lage der Klebstoffraupen zu erzielen, sollte eine maschinelle Klebstoffapplikation verwendet werden. Bei Verwendung des Klebstofftyps HB S309 darf die offene Zeit 30 min nicht überschreiten. Bei einem Umgebungsklima von 20 °C Lufttemperatur und 65 % relativer Luftfeuchte sowie 12 % Holzfeuchtigkeit beträgt die zugehörige Mindestpresszeit 75 min. Bei verhältnismäßig geringer relativer Luft- und Holzfeuchtigkeit wird eine Besprühung der Lamellen mit Wasser empfohlen. Wassersprühen mit einer Auftragsmenge von 20 g/m² garantiert, dass genügend Feuchtigkeit an der Holzoberfläche vorhanden ist und der Klebstoff in der vorgegebenen Presszeit aushärtet. Darüber hinaus ist eine maximale Fugendicke von 0,1 mm auf 1 m Lauflänge der Lamellen zu gewährleisten. Der Mindestpressdruck wird mit 0,6 bis 1,0 N/mm² vorgeschrieben. Nach Ablauf der Abbindezeit sind die Bauteile für mindestens 4 Stunden bei 20 °C zu lagern, vgl. (Loctite HB S309 Purbond, 2015 S. 3).

Die vorgeschriebene Mindesttemperatur des Klebstoffes wurde mit rund 20 °C eingehalten. Der maschinelle Klebstoffauftrag konnte lediglich bei den Längslagen umgesetzt werden, da die Plattenformate der REX-Querlagen nicht an das maschinelle Auftragssystem angepasst werden konnten. Die Klebstoffauftragsmenge bei den Längslagen betrug 200 g/m². Der Klebstoffauftrag der Querlagen erfolgte manuell und ohne exakte Bestimmung der Auftragsmenge. Die offene Zeit von 30 min wurde eingehalten. Die Presszeit wurde aufgrund des nicht feststellbaren Umgebungsklimas auf 90 min erhöht. Auf das Wassersprühen wurde verzichtet.

Bei der Herstellung von Brettsperrholz und der Lagerung des Rohmaterials ist vor allem auf die Einhaltung und Kontrolle des vorgeschriebenen Umgebungsklimas von 15-20 °C Lufttemperatur und 40-75 % relativer Luftfeuchtigkeit zu achten. Bei der Herstellung der Prüfkörper von Prüfserie A hat möglicherweise eine zu geringe Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit zu einer Austrocknung der Plattenoberflächen der Prüfkörper geführt, wodurch nicht genügend Feuchtigkeit für den Abbindeprozess des Klebstoffes während des Pressvorgangs vorhanden war. Eine Besprühung der Holzoberfläche mit Wasser im Ausmaß der empfohlenen Menge von 20 g/m² könnte zu einer Verbesserung der Verklebungsgüte beitragen. Zudem ist ein maschineller Klebstoffauftrag vorzusehen und die Auftragsmenge den Vorgaben des Klebstoffherstellers anzupassen. Bei manuellem Klebstoffauftrag sollten geeignete Hilfsmittel wie beispielsweise eine Spachtel zur gleichmäßigen Verteilung des Klebstoffs sowie eine geeichte Waage zur Bestimmung der vorgeschriebenen Auftragsmenge verwendet werden.

5-3 PRÜFSERIE B

Prüfserie B beinhaltet die Delaminierungsprüfung von weiteren hergestellten Prüfkörpern, an denen die gewonnenen Erkenntnisse der in Kapitel 5-2.3 beschriebenen Analyse der Fehlverklebung umgesetzt wurden. Nachdem das Versagen durch Fehlverklebung von mehreren Faktoren abhängen kann, erfolgte eine getrennte Anpassung eines jeden einzelnen Parameters bis die in der Praxis vorherrschenden bzw. vom Klebstoffhersteller vorgeschriebenen Produktionsbedingungen erfüllt wurden. In Summe wurden über 50 verschiedene Prüfkonfigurationen zusammengestellt, wobei neben der Anpassung der Produktionsbedingungen auch unterschiedliche Klebstoffsysteme wie auch Hirnholzanteile in der REX-Querlage berücksichtigt wurden. Sowohl die Herstellung der Prüfkörper als auch die Durchführung der Delaminierungsprüfungen nach ÖNORM EN 14080:2013-Verfahren B in Anlehnung an ÖNORM EN 16351:2015 erfolgten in Zusammenarbeit mit der Firma KLH Massivholz GmbH. In Kapitel 5-3.1 sind die gewonnenen Erkenntnisse zur Herstellung einer nachweislich funktionierenden Verklebung aufgelistet und beschrieben.

5-3.1 PRÜFKÖRPER

Sowohl das Schnittholz als auch das Rohmaterial der REX-Querlagen wurden von der Firma KLH Massivholz GmbH zur Verfügung gestellt. Der Klebstoff des Typs HB S189 stammte von der Firma Henkel Loctite AG.

5-3.1.1 Plattenaufbau und Abmessungen

Der Aufbau der Prüfkörper setzte sich aus zwei Längslagen und einer REX-Querlage mit einer einheitlichen Dicke von 30 mm zusammen, womit in Summe ein dreischichtiges BSP-Element mit einer Gesamtdicke von 90 mm resultierte. Um eine direkte Vergleichbarkeit von Prüfserie A und B zu ermöglichen, wurde einerseits eine REX-Querlage mit 40 % und andererseits eine REX-Querlage mit 60 % Hirnholzanteil im Aufbau der BSP-Elemente berücksichtigt. In Abbildung 5.17 ist die Zusammensetzung beider Prüfkörper beispielhaft dargestellt.

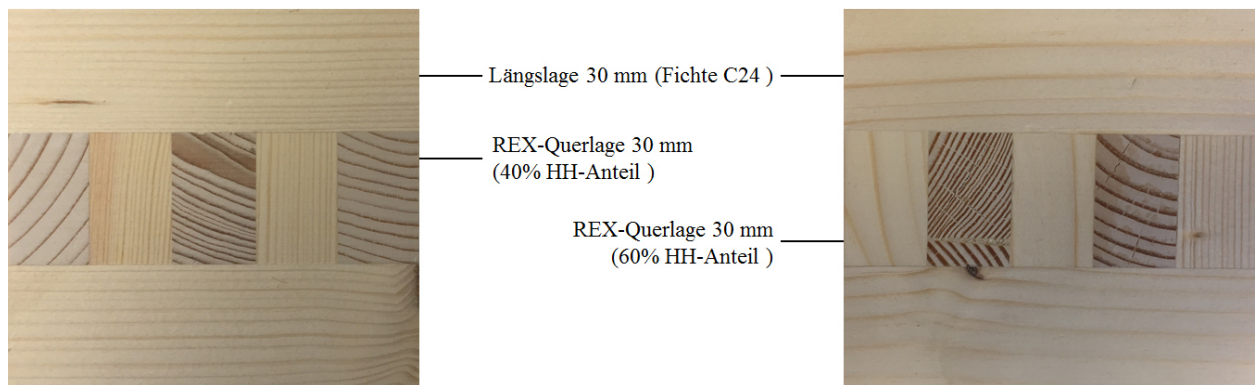


Abbildung 5.17: BSP-Prüfkörper mit 40 % HH-Anteil (links) und 60 % HH-Anteil in REX-Querlage (rechts) aus der Prüfserie B

Die Abmessungen der Probekörper wurden an die Anforderungen gemäß ÖNORM EN 16351:2015 angepasst. Anstelle von Bohrkernen mit einem Mindestdurchmesser von 95 ± 5 mm wurden wie bereits bei Prüfserie A rechteckige Prüfkörper mit einer Mindestseitenlänge von 100 ± 5 mm entnommen, vergleiche Abbildung 5.9.

5-3.1.2 Herstellung und Einflussparameter

Die Herstellung der Prüfkörper wurde einerseits von den Vorgaben des Klebstoffherstellers und andererseits von den gewonnenen Erkenntnissen aus der Analyse der Fehlverklebung in Prüfserie A geprägt. Die einzelnen Parameter wurden dabei bestmöglich an die realen Produktionsbedingungen

angepasst, um eine Störung des üblichen Produktionsflusses ausschließen zu können. Ein besonderer Stellenwert kommt dabei der Einhaltung der vorgegebenen Presszeit sowie Klebstoffauftragsmenge zu, da eine Erhöhung beider Faktoren zu erheblichen Einbußen in der Produktivität wie auch Wirtschaftlichkeit führen würde.

▪ Oberflächenbeschaffenheit

Aus der Analyse der Fehlverklebung von Prüferserie A geht hervor, dass die vom Klebstoffhersteller Henkel Loctite vorgeschriebene Hobelung der Plattenoberflächen nicht ideal mit der Beschaffenheit von REX-Platten einhergeht. Aufgrund des speziellen Plattenaufbaus, der durch eine wechselnde Anordnung von längs- und querorientierten Holzlagen geprägt ist, wirken im Gegensatz zu konventionellen Schnittholzlamellen deutlich höhere Belastungen auf das Hobelmesser ein. Auf diese Weise wird nicht nur die Standzeit der Hobelmesser verkürzt, durch den höheren Widerstand der stehend orientierten Hirnholzlagen resultieren bereits während der Hobelung Unebenheiten an der Plattenoberfläche, welche die geforderte Genauigkeit von 0,1 mm Dickentoleranz auf 1 m Lauflänge nicht erfüllen.

Auf Grundlage der Erkenntnisse des Forschungsberichts der Technischen Universität München (van de Kuilen, et al., 2014) wurde nach dem Hobelvorgang ein Schleifprozess bei den REX-Querlagen der Prüferserie B vorgesehen. Es wurde ein Schleifband der Körnung P 60 verwendet, wobei in einem Schleifdurchgang exakt 0,2 mm je Plattenseite abgenommen wurden. In Abbildung 5.18 ist die Oberflächenbeschaffenheit einer geschliffenen REX-Platte dargestellt.



Abbildung 5.18: Oberflächenbeschaffenheit einer geschliffenen REX-Platte

Wie Abbildung 5.18 zu entnehmen ist, wird die gesamte Oberfläche der REX-Platte durch den Schleifvorgang aufgeraut. Da aus den Erkenntnissen des Forschungsberichtes (van de Kuilen, et al., 2014) eine Verschlechterung der Verklebungsqualität bei weichen Holzarten wie beispielsweise Fichte hervorgeht, ist darauf zu achten, dass im Zuge des Schleifvorgangs lediglich die Bereiche der Hirnhölzer exakt an die Dicke der längsorientierten Holzlagen angepasst werden. Durch das nachträgliche Schleifen konnte im Gegensatz zur gehobelten Plattenoberfläche kaum ein Dickenunterschied im Querschnitt der REX-Platten wahrgenommen werden. Auch während dem Prozess der Flächenverklebung und Verpressung konnte in den Bereichen der stehend orientierten Hirnholzlagen ein gleichmäßiger Klebstoffaustritt beobachtet werden, siehe Abbildung 5.19.

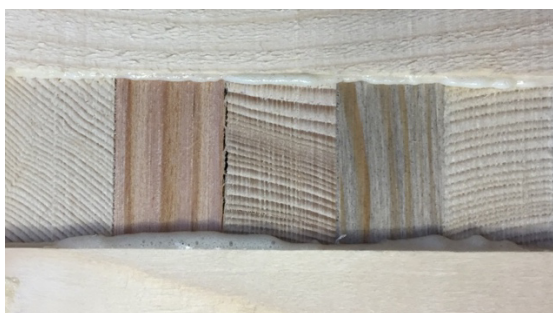


Abbildung 5.19: Gleichmäßiger Klebstoffaustritt eines BSP-Prüfkörper der Prüferserie B

Anhand des in Abbildung 5.19 dargestellten Klebstoffaustritts kann neben einer gleichmäßigen Klebstoffverteilung davon ausgegangen werden, dass ein finaler Schleifprozess die Saugfähigkeit der gehobelten Hirnholzlagen verringert und somit eine Verbindung beider Lagen über die gesamte Fläche der REX-Querlagen sichergestellt wird.

▪ Lagerung des Rohmaterials – Umgebungsklima

Die Lagerung des Rohmaterials erfolgte in einem vom Klebstoffhersteller vorgeschriebenen Umgebungsklima von 15 °C bis 20 °C Lufttemperatur und 40 % bis 75 % relative Luftfeuchtigkeit. Das Rohmaterial bestehend aus Schnittholzlamellen und REX-Platten wurde über den gesamten Zeitraum der Lagerung in einer klimatisierten Halle der Firma KLH Massivholz GmbH bei einer Raumtemperatur von 20 °C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 65 % zwischengelagert. Im Holz stellt sich dabei eine Ausgleichsfeuchtigkeit von 12 % ein, wodurch der geforderte Feuchtebereich für die Verklebung von 8 % bis 15 %, zusammen mit einer maximalen Feuchtedifferenz von 4 % zwischen den Lamellen nachweislich eingehalten werden konnte.

Auch der Zeitraum zwischen der Endbearbeitung der Oberflächen und der Flächenverklebung wurde mit max. 24 h an die Vorgaben der Checkliste (Henkel & Cie AG, 2015) des Klebstoffherstellers Henkel Loctite AG angepasst. Auf diese Weise konnte vor allem die durch das natürliche Quell- und Schwindverhalten hervorgerufene Formänderung der unterschiedlich orientierten Holzlagen im Aufbau der REX-Platten minimiert werden. Aus der Analyse der Fehlverklebung von Prüfserie A konnte auch bei Einhaltung der vorgeschriebenen Klimabedingungen eine minimale Formänderung der Holzlagen von REX-Platten bei Überschreitung der vorgeschriebenen Lagerdauer festgestellt werden. Abbildung 5.20 zeigt die Formänderung an der Oberfläche einer REX-Platte, die nach 24 h und einer Lagerung bei 20 °C Lufttemperatur und 65 % relative Luftfeuchtigkeit nachgemessen wurde.

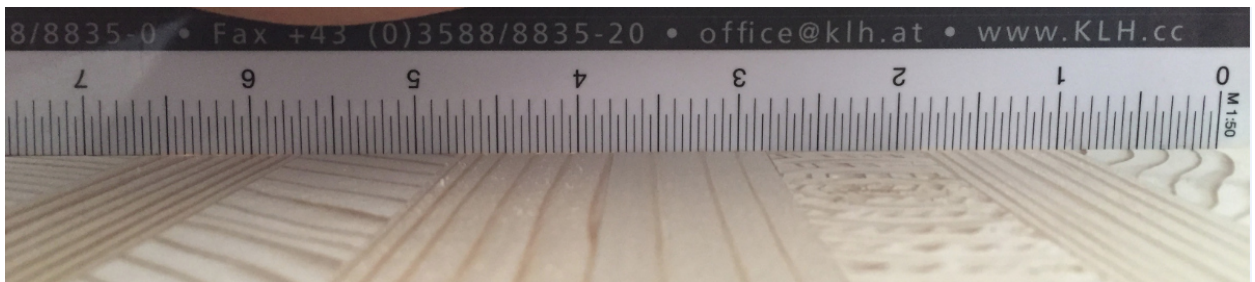


Abbildung 5.20: Formänderung von REX-Platten nach 24 h Lagerung bei 20 °C Lufttemperatur und 65 % relativer Luftfeuchtigkeit

Wie in Abbildung 5.20 ersichtlich, stellen sich diesem vorgeschriebenen Zeitraum von 24 h zwischen Oberflächenbearbeitung und Verklebung keine Formänderungen an der Oberfläche von REX-Querlagen ein, wodurch die Anforderung einer maximalen Dickentoleranz von 0,1 mm auf 1 m Lauflänge nachweislich eingehalten werden kann.

▪ Klebstoff und Prüfkörperherstellung

Der Klebstoff wurde erneut zur Verfügung gestellt. Ähnlich wie bei Prüfserie A wurde für die Verklebung ein Produkt der Firma Henkel Loctite AG ausgewählt. Die Seriennummer des Klebstoffes wurde mit dem verwendeten Klebstoff von KLH Massivholz abgestimmt und unterscheidet sich somit von Prüfserie A.

Beim eingesetzten Klebstoff HB S189 ist eine maximale offene Zeit von 18 min einzuhalten. Die zugehörige Presszeit beträgt bei einem Umgebungsklima von 20 °C Lufttemperatur, 65 % relativer Luftfeuchte und 12 % Holzfeuchtigkeit mindestens 40 min. Die Auftragsmenge des Klebstoffes sollte zwischen 140 g/m² und 180 g/m² liegen. Für eine exakte Lage der Klebstoffraupen sowie einer gleichmäßigen Verteilung über die gesamte Fläche ist eine maschinelle Klebstoffapplikation vorzusehen, vgl. (Pfeifer, 2017).

Bei tiefer relativer Luft- und Holzfeuchtigkeit wird eine Besprühung der Lamellen mit Wasser empfohlen. Wassersprühen mit einer Auftragsmenge von 20 g/m² garantiert, dass genügend Feuchtigkeit

an der Holzoberfläche vorhanden ist und der Klebstoff in der vorgegebenen Presszeit aushärtet. Darüber hinaus ist eine maximale Fugendicke von 0,1 mm auf 1 m Lauflänge der Lamellen zu gewährleisten. Der Pressdruck wird mit 0,6 bis 1,0 N/mm² vorgeschrieben. Nach Ablauf der Abbindezeit sind die Bauteile für mindestens 4 Stunden bei 20 °C zu lagern, vgl. (Henkel & Cie AG, 2015 S. 2-5).

Die Herstellung der Prüfkörper von Prüfserie B erfolgte im Labor der Firma KLH Massivholz GmbH, wobei ein vorgeschriebenes Klima von 20 °C Lufttemperatur und 65 % relativer Luftfeuchtigkeit eingehalten wurde. Die einzelnen Komponenten der Verklebung der Prüfkörper von Prüfserie B sind in Abbildung 5.21 dargestellt.



Abbildung 5.21: Verklebung der Prüfkörper von Prüfserie B

Wie aus Abbildung 5.21 entnommen werden kann, stand zur Bestimmung der Klebstoffauftragsmenge von 140 g/m² eine kalibrierte Waage zur Verfügung. Der Auftrag des Klebstoffes erfolgte manuell mittels Spachtel. Zur Reaktivierung der Holzoberfläche wurde noch vor dem Klebstoffauftrag eine Wassermenge von 5 g/m² auf die Holzoberflächen aufgesprüht. Die vorgeschriebene Zeitdauer zwischen Oberflächenbearbeitung und Verklebung von maximal 24 h wurde eingehalten und lag bei 15 h bis 24 h. Die vorgeschriebene offene Zeit von 18 min konnte ebenfalls eingehalten werden. Die Abmessungen der Prüfkörper mit einer Länge von 300 mm und einer Breite von 120 mm wurden an das Format der Laborpresse angepasst, wobei jeweils zwei Prüfkörper in einem Pressgang hergestellt wurden, siehe Abbildung 5.22.

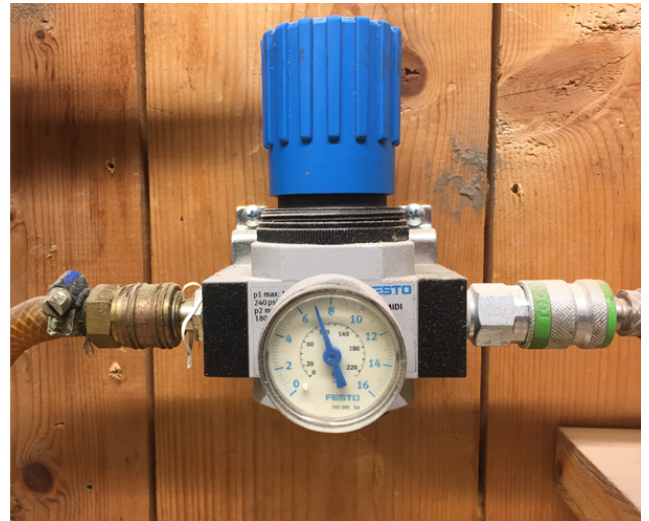


Abbildung 5.22: Verpressung der Prüfkörper von Prüfserie B

Wie Abbildung 5.22 entnommen werden kann, erfolgte die Verpressung der BSP-Elemente mit einem Pressdruck von $0,7 \text{ N/mm}^2$, welcher über den geforderten Zeitraum von 40 min aufrechterhalten wurde. Die Aufbringung des Pressdruckes erfolgte mit Hilfe von zwei mit Luft befüllten Gummikissen. Nach Ablauf der Presszeit wurde der Druck gelöst und die Prüfkörper zur vollständigen Aushärtung des Klebstoffes für mindestens 4 h bei einer Temperatur von $20 \text{ }^\circ\text{C}$ gelagert. Abschließend wurde von jedem BSP-Element ein Prüfkörper mit den nach ÖNORM EN 16351:2015 geforderten Abmessungen von $100 \times 100 \text{ mm}$ für die Abwicklung der Delaminierungsprüfungen entnommen.

5-3.2 DELAMINIERUNGSPRÜFUNG UND ERGEBNISAUSWERTUNG

Die Delaminierungsprüfungen der Prüfserie B wurden wie bei Prüfserie A nach ÖNORM EN 14080:2013-Verfahren B in Anlehnung an die ÖNORM EN 16351:2015 von der Firma KLH Massivholz GmbH abgewickelt. Eine Beschreibung des Prüfverfahrens kann Kapitel 5-1.2 entnommen werden.

Entsprechend der Vorgaben gemäß ÖNORM EN 14080:2013 wurden für jeden Prüfkörper die Ergebnisse der Delaminierung ausgewertet, die sich einerseits aus dem Gesamtprozentsatz der Delaminierung eines Prüfkörpers und andererseits aus dem Höchstprozentsatz der Delaminierung einer einzelnen Klebstoffuge zusammensetzen.

Für die Berechnung der Gesamtdelaminierung ist die Delaminierungslänge aller Hirnholzflächen eines Prüfkörpers zu erfassen und mit der Gesamtlänge der Klebefugen eines Prüfkörpers ins Verhältnis zu setzen. Die zugehörige Formel 5.1 kann Kapitel 5-1.2.6 entnommen werden. In Abbildung 5.23 sind beispielhaft die Delaminierungslängen von Prüfkörper 48 gekennzeichnet, die unmittelbar nach der Delaminierungsprüfung aufgenommen und dokumentiert wurden.

Delaminierungslänge Prüfkörper 48

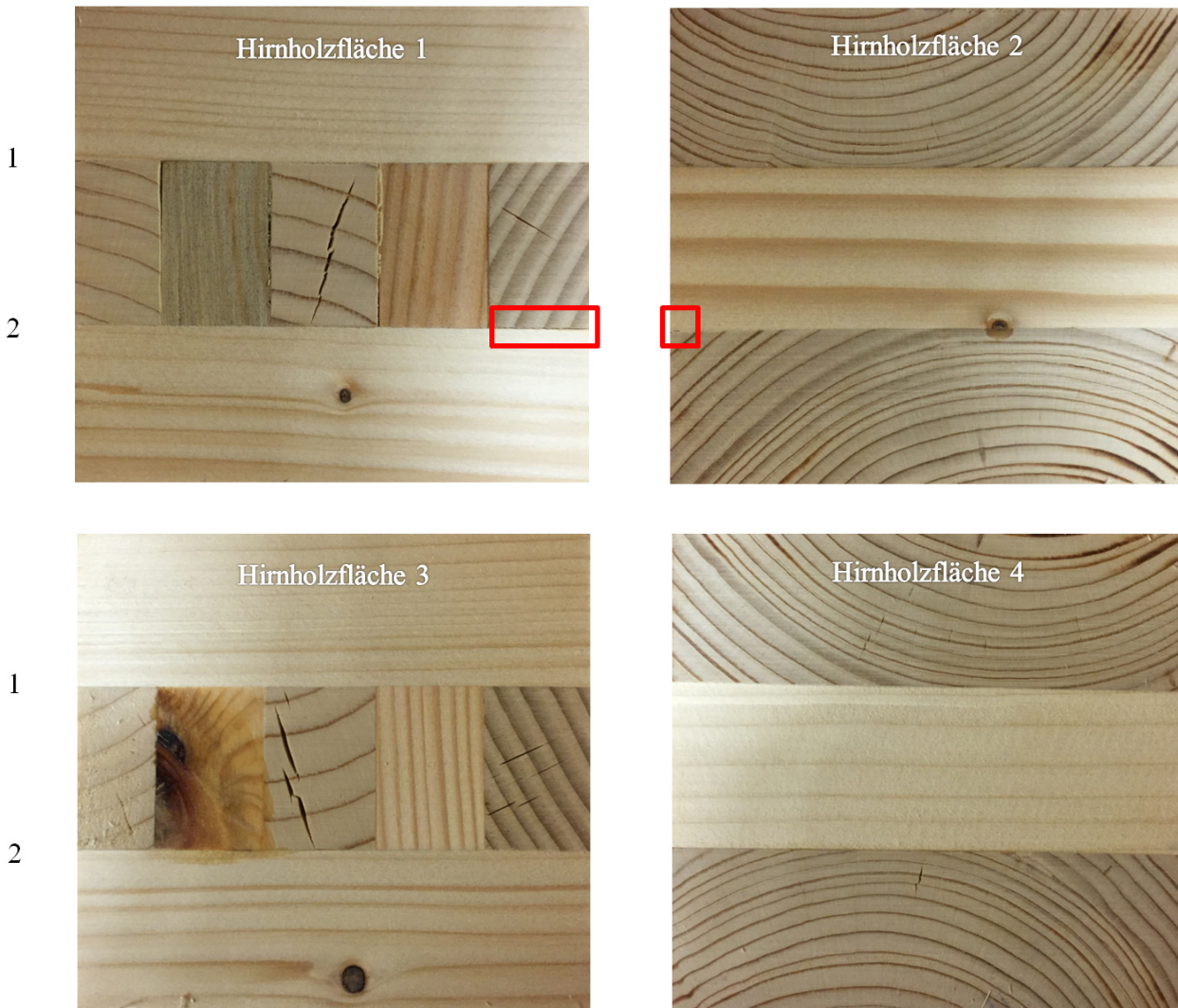


Abbildung 5.23: Bestimmung der Delaminierungslänge bei Prüfkörper 48 aus der Prüfserie B

Aus Abbildung 5.23 geht hervor, dass lediglich bei Hirnholzfläche 1 eine geringe Öffnung der Klebefuge 1 festzustellen ist. Alle weiteren Klebefugen blieben über die gesamte Länge durchgehend geschlossen. Im Gegensatz zu den in Abbildung 5.10 ersichtlichen Öffnungen von Klebefugen an allen Hirnholzflächen des Prüfkörpers DL-B-02 können bei Betrachtung der Hirnholzflächen in Abbildung 5.23 Risse im Querschnitt der Holzschichten festgestellt werden. Diese Risse im Bereich der Hirnhölzer weisen darauf hin, dass die während der Delaminierungsprüfung vorherrschenden Spannungen von den Klebefugen aufgenommen und an benachbarte Holzschichten übertragen werden konnten. Der Abbau der Spannungen fand somit nicht wie bei Prüfkörper DL-B-02 der Prüfserie A in den Klebefugen sondern in den umliegenden Holzschichten statt. Die Ergebnisse der Delaminierungsprüfung des Prüfkörpers 48 sind in Tabelle 5.5 aufgelistet.

Tabelle 5.5: Ergebnisse der Delaminierungsprüfung des Prüfkörpers 48 aus der Prüfserie B

Probennummer	Fugennummer	Querschnittsbreite b [mm]	Querschnittslänge l [mm]	Querschnittshöhe h [mm]	Länge einer Klebefuge l glue line [mm]	Länge aller Klebefugen l glue line [mm]	Maximale Delaminierungslänge Einzelfuge l max, delam [mm]	Maximale Delaminierung Einzelfuge [%]	Maximale Delaminierung Einzelfuge [%]	Gesamtdelaminierungslänge l tot,delam [mm]	Gesamtdelaminierung l tot,delam [%]
48	1	100	100	90	400	800	0	0 %	6 %	22,0	1 %
	2						22	6 %			

Delaminierungsprüfung nach ÖNORM EN 14080:2013 / ÖNORM EN 16351:2015

Grenzwert:	max. 40 %		max. 10 %
------------	-----------	--	-----------

Aus den Ergebnissen in Tabelle 5.5 geht hervor, dass die Gesamtdelaminierung mit nur 1 % deutlich unter dem in ÖNORM EN 16351:2015 verankerten Grenzwert von 10 % liegt. Auch der vorgeschriebene Grenzwert der maximalen Delaminierung einer Einzelfuge wurde eingehalten. Anstelle von 40 % wurde ein Wert von 5 % ermittelt.

Obwohl eine Klebefuge nach ÖNORM EN 14080:2013 bzw. ÖNORM EN 16351:2015 nur dann mit Keil und Hammer zu öffnen sind, wenn ein Ast als Ursache der Öffnung vermutet wird oder der Grenzwert der maximalen Delaminierungslänge der Einzelfuge bzw. der Gesamt-Delaminierungslänge des Prüfkörpers überschritten wird bzw. die Delaminierungslänge aufgrund einer mangelhaften Oberflächengüte nicht festgestellt werden kann, sind in Abbildung 5.24 ergänzend die Bruchflächen des Prüfkörpers 48 aus der Prüfserie B dargestellt, welche zur Beurteilung des Faserbruchanteils herangezogen wurden.

Delaminierungsanteil am aufgespaltenen Prüfkörper 48



Abbildung 5.24: Delaminierungsanteil am aufgespaltenen Prüfkörper 48 der Prüfserie B

Wie in Abbildung 5.24 ersichtlich, kann sowohl bei Klebefuge 1 als auch Klebefuge 2 kaum eine Delaminierung festgestellt werden. Während in den Bereichen der stehend orientierten Hirnholzlagen ausschließlich das Holz der angrenzenden Schichten versagt, kommt es in den Bereichen der liegend orientierten Holzschichten auch zu Faserausrisen in den REX-Querlagen. Bei der Bestimmung des Delaminierungsanteils pro Einzelfuge wird die delaminierte Fläche der Einzelfuge mit der zugehörigen Fläche des Prüfkörpers ins Verhältnis gesetzt. Die delaminierte Fläche pro Prüfkörper wird aus dem Mittelwert der Einzelfugenergebnisse gebildet. Die Auswertung der Ergebnisse nach ÖNORM EN 16351:2015 in Anlehnung an ÖNORM EN 14080:2013 sind in Tabelle 5.6 aufgelistet.

Tabelle 5.6: Ergebnisse der Faserbruchbestimmung des Prüfkörpers 48 aus der Prüfserie B

Delaminierungsprüfung nach ÖNORM EN 14080:2013 / ÖNORM EN 16351:2015				
Probennummer	Fugennummer	Fläche delaminiert pro Fuge A tot, delam [%]	Fläche delaminiert max. pro Einzelfuge A max, delam [%]	Fläche delaminiert pro Prüfkörper A tot, delam [%]
48	1	2 %	5 %	4 %
	2	5 %		

Grenzwert:		
EAD 130005-00-0304:2015-03	max. 50 %	max. 25 %
ÖNORM EN 14080 / 16351	max. 50 %	max. 30 %

Aus den Ergebnissen der Tabelle 5.6 geht hervor, dass sowohl die Grenzwerte des Bewertungsdokuments EAD 130005-00-0304:2015-03 als auch die Grenzwerte der ÖNORM EN 16351:2015 eingehalten

werden. Das Ergebnis der maximalen Delaminierung der Einzelfuge liegt mit einem Anteil von 5 % deutlich unter dem vorgeschriebenen Grenzwert von 50 %. Auch der Grenzwert der Gesamtdelaminierung von 25 % bzw. 30 % konnte mit einem Anteil von 4 % deutlich unterschritten werden.

5-4 INTERPRETATION DER ERGEBNISSE

In Kapitel 5-4 sind die Ergebnisse der Delaminierungsprüfungen der Prüfserien A und B zusammengefasst dargestellt und interpretiert. Mit einer Gegenüberstellung beider Prüfserien wird gezielt auf die unterschiedliche Vorgehensweise der Prüfkörperherstellung und dessen Auswirkungen auf das Ergebnis der Delaminierungsprüfungen eingegangen.

5-4.1 PRÜFSERIE A

Aus den Delaminierungsprüfungen der Prüfserie A geht hervor, dass sowohl die Auswertung der maximalen Delaminierungslänge der Einzelfuge als auch die Ermittlung der Gesamtdelaminierung beim Großteil der Prüfkörper zu einer Überschreitung der vorgeschriebenen Grenzwerte nach ÖNORM EN 14080:2013 bzw. ÖNORM EN 16351:2015 führte. Bereits im Zuge der in Kapitel 4 ausgearbeiteten Analyse der Materialprüfungen konnte bei Betrachtung der Bruchbilder ein Versagen der Klebefugen im Bereich der stehend orientierten Hirnholzlagen beobachtet werden. Anhand der in Abbildung 5.11 und Abbildung 5.12 dargestellten Bruchbilder wird nicht nur das Versagen der Klebefugen im Bereich der stehend orientierten Hirnholzlagen bestätigt, zusätzlich kann eine Delaminierung der Klebefugen im Bereich der längsorientierten Holzlagen festgestellt werden, obwohl der gleiche Faserverlauf wie bei konventionellen Plattenaufbauten vorliegt. Trotz sorgfältiger Herstellung der Prüfkörper von Prüfserie A konnten nicht alle Vorschriften des Klebstoffherstellers eingehalten werden. Bei genauer Analyse der Fehlverklebung der Prüfserie A geht hervor, dass die Fehlverklebung auf verschiedene Ursachen zurückzuführen ist. Während in den Verarbeitungsrichtlinien der Firma Henkel Loctite AG (Henkel & Cie AG, 2015) die Hobelung der Materialoberflächen vorgeschrieben wird, konnten bei entsprechender Bearbeitung Unebenheiten an den Oberflächen der REX-Platten wahrgenommen werden, die den vorgeschriebenen Grenzwert der Dickentoleranz von 0,1 mm auf 1 m Lauflänge nicht erfüllten. Zudem konnte im Zuge der Verklebung bzw. Verpressung ein fehlender Klebstoffaustritt im Bereich der Hirnholzbereiche beobachtet werden, der einerseits auf eine Fehlverklebung in diesen Bereichen hinweist und andererseits die Oberflächenbearbeitung mittels Hobelung als ungeeignet erscheinen lässt. Durch das natürliche Quell- und Schwindverhalten des Holzes und die wechselnde Anordnung von längs- und querorientierten Holzlagen im Aufbau der REX-Platten resultierten zudem zusätzliche Formänderungen im Querschnitt der Platten, die durch eine Überschreitung der vorgeschriebenen Zeitspanne von maximal 24 h zwischen Oberflächenbearbeitung und Verklebung hervorgerufen wurden.

Die Fehlverklebung der Prüfkörper der Prüfserie A wurde durch ein Zusammenspiel verschiedener Ursachen hervorgerufen, die bei konventionellen Plattenaufbauten nicht in diesem Ausmaß auftreten. Für die Herstellung und Aufrechterhaltung einer ausreichend exakten Oberflächengenauigkeit bis zur Verklebung sind geeignete Maßnahmen zu treffen, die eine Einhaltung der vorgeschriebenen Grenzwerte der Delaminierungsprüfung nach ÖNORM EN 14080:2013 bzw. ÖNORM EN 16351:2015 sicherstellen.

5-4.2 PRÜFSERIE B

Bei der Herstellung der Prüfkörper der Prüfserie B wurden die gewonnenen Erkenntnisse aus der Analyse der Fehlverklebung der Prüfserie A berücksichtigt. Auf diese Weise konnten sowohl die Grenzwerte der maximalen Delaminierungslänge der Einzelfuge als auch die Grenzwerte der Gesamtdelaminierung eines Prüfkörpers nach den Vorgaben gemäß ÖNORM EN 14080:2013 bzw. ÖNORM EN 16351:2015 eingehalten werden. Bei Betrachtung der in Abbildung 5.24 dargestellten Bruchbilder der Prüfserie B kann im Gegensatz zu den in Abbildung 5.11 und Abbildung 5.12 dargestellten Bruchbildern der Serie A sowohl im Bereich der stehend als auch liegend orientierten Holzlagen ein Faserbruch des Holzes festgestellt werden. Dies kann vor allem auf eine Verbesserung der Oberflächenqualität der REX-Platten

mittels Schleifen zurückgeführt werden. Durch diesen nachträglichen Schleifprozess mit einer Abnahme von maximal 0,2 mm je Seite konnte einerseits die vorgeschriebene Dickentoleranz von 0,1 mm auf 1 m Lauflänge eingehalten und andererseits ein gleichmäßiger Klebstoffaustritt während der Verklebung der Prüfkörper beobachtet werden. Den zusätzlichen Formänderungen, die aus dem unterschiedlichen Quell- und Schwindverhalten des Holzes resultierten, wurde durch die Einhaltung der vorgeschriebenen Zeitspanne von maximal 24 h zwischen Oberflächenbearbeitung und Verklebung entgegengewirkt.

Bei Lagerung und Verarbeitung des Rohmaterials in einem Klima von 20 °C Lufttemperatur und 65 % relative Luftfeuchtigkeit wurde der erforderliche Holzfeuchtebereich von 9 % bis 15 % exakt eingehalten. Für eine zusätzliche Reaktivierung der Holzoberflächen wurde eine Besprühung mit Wasser im Ausmaß von 5 g/m² vor dem Auftrag der vorgeschriebenen Klebstoffmenge von 140 g/m² vorgesehen.

Mit der Einhaltung der Verarbeitungsrichtlinien des Klebstoffherstellers sowie der Herstellung einer exakten Oberfläche der REX-Platten mittels nachträglichen Schleifvorgangs konnten die Grenzwerte der Delaminierungsprüfung nach ÖNORM EN 14080:2013 bzw. ÖNORM EN 16351:2015 nachweislich eingehalten werden.

5-4.3 GEGENÜBERSTELLUNG DER PRÜFSERIEN

Die Herstellung der Prüfkörper der Prüferserie A und B basiert zwar auf einer ähnlichen Herstellungstechnologie – aufgrund der hohen Sensibilität moderner Klebstoffsysteme können bereits geringfügige Unterscheidungen einen großen Einfluss auf die Ergebnisse der Delaminierungsprüfung ausüben. Während die Prüfkörper der Prüferserie A mit einer Furnierpresse und einem Pressdruck von 0,5 N/mm² hergestellt wurden, erfolgte die Herstellung der Prüfkörper der Prüferserie B mit einer kleinformatischen Laborpresse der Firma KLH Massivholz GmbH und einem zugehörigen Pressdruck von 0,7 N/mm². Obwohl in beiden Fällen der vorgeschriebene Mindestpressdruck von 0,5 N/mm² erfüllt wurde, können Ungenauigkeiten an der Holzoberfläche bei höherem Pressdruck besser ausgeglichen und somit die geforderte Klebefugendicke von maximal 0,1-0,3 mm eingehalten werden. Ein weiterer Unterschied kann durch die Verwendung unterschiedlicher Klebstoffe ausgemacht werden. Während bei Prüferserie A ein Klebstoff des Typs HB S309 verwendet wurde, kam bei Prüferserie B ein Klebstoff des Typs HB S189 zum Einsatz. Nachdem die Klebstoffe einheitlich vom Hersteller Henkel Loctite AG angeliefert wurden und vom gleichen Typ HB S stammen, ist von keinem Einfluss auf die Ergebnisse der Delaminierungsprüfung auszugehen. Es ist lediglich die offene und geschlossene Presszeit unterschiedlich. Obwohl ein unterschiedliches Pressenformat bei Prüferserie A und B vorlag, wurden einheitlich quadratische Prüfkörper für die Delaminierungsprüfung entnommen bzw. hergestellt, um eine direkte Vergleichbarkeit beider Serien zu erhalten.

Aus der Gegenüberstellung beider Prüferserien kann abgeleitet werden, dass trotz geringer Unterschiede der Herstellungstechnologien kein wesentlicher Einfluss auf die Ergebnisse der Delaminierungsprüfung abzuleiten ist. Unabhängig vom Klebstoffsystem, vom Pressenformat und auch vom Hirnholzanteil im Aufbau der REX-Platten ist bei der flächigen Verklebung einzelner BSP-Schichten primär auf die Herstellung einer exakten Plattenoberfläche zu achten, wobei eine Erhöhung des Pressdruckes durchaus zu einer Verringerung der Ungenauigkeiten an der Holzoberfläche beitragen kann. Bei Einhaltung der vorgeschriebenen Dickentoleranz für die Klebefugen sowie allen weiteren Verarbeitungsrichtlinien konnten reale Produktionsbedingungen problemlos nachgebildet werden, ohne eine Verschlechterung bzw. Anpassung des Produktionsflusses vornehmen zu müssen. Für eine exakte Beurteilung bedarf es jedoch der Herstellung eines BSP-Elementes mit REX-Querlagen unter realen Produktionsbedingungen durch einen BSP-Hersteller. Mit einer zugehörigen Delaminierungsprüfung sollten sowohl die Ergebnisse der Laborprüfungen wiederholt als auch die Grenzwerte nach ÖNORM EN 14080:2013 bzw. ÖNORM EN 16351:2015 eingehalten werden können.

KAPITEL 6: POTENTIALE UND AUSBLICK

6-1 ZUSAMMENFASSUNG UND ERKENNTNISSE

Im Zuge dieser Masterarbeit wird ein neuartiges Konzept zur Veredelung von Brettsperrholzausschnitten untersucht, welches die maschinelle Auftrennung und Schmalseitenverklebung der Restplattenelemente zu sogenannten REX-Platten vorsieht. Zur Abschätzung des Potentials sowie zur Überprüfung der technischen Umsetzbarkeit wurde eine Prüfserie bestehend aus 30 Brettsperrholzplatten mit REX-Querlagen hergestellt und die mechanischen Eigenschaften mittels Tragfähigkeits- und Steifigkeitsprüfungen nach ÖNORM EN 408:2012 ermittelt. Insgesamt wurden jeweils 15 Platten auf Biegung und Rollschub geprüft. Dabei wurde auch der Einfluss eines unterschiedlichen Anteils der stehend und liegend orientierten Holzlagen im Aufbau der REX-Platten berücksichtigt, wobei einerseits eine Querlage mit 40 % und andererseits eine Querlage mit 60 % Hirnholzanteil hergestellt wurde, siehe Abbildung 6.1.

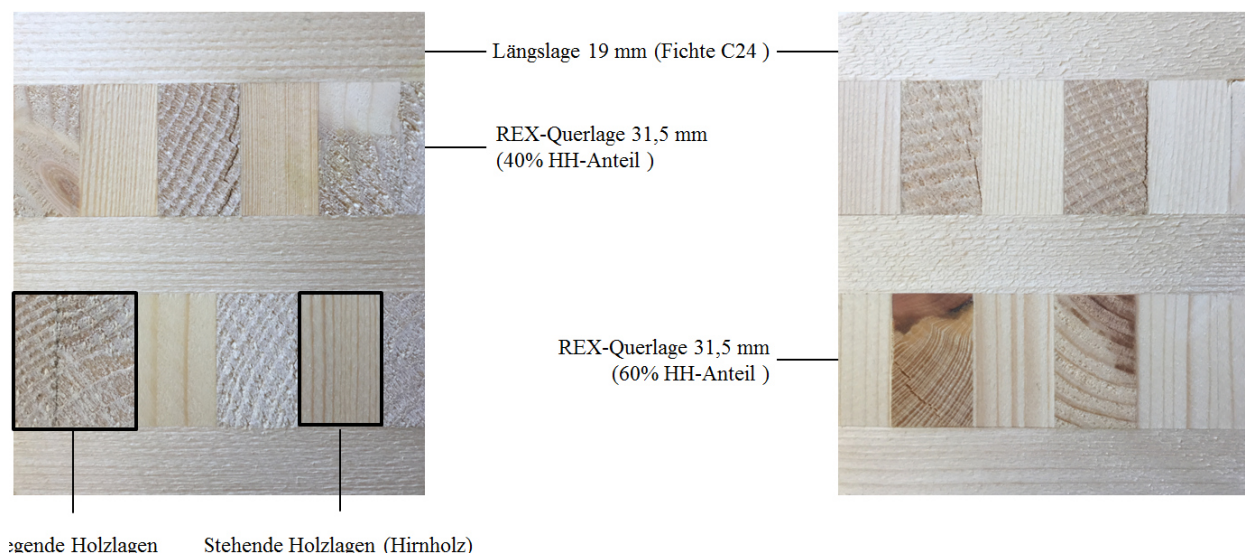


Abbildung 6.1: BSP-Prüfkörper mit 40 % HH-Anteil in der REX-Querlage (links) und 60 % HH-Anteil in REX-Querlage (rechts)

Wie in Abbildung 6.1 ersichtlich, setzen sich die Prüfkörper aus insgesamt fünf Schichten, bestehend aus drei Längslagen mit einer Dicke von 19 mm und der Festigkeitsklasse C24 sowie zwei REX-Querlagen mit einer Dicke von 31,5 mm zusammen.

Aus den Ergebnissen der durchgeführten Vier-Punkt-Biegeprüfungen nach ÖNORM EN 408:2012 geht hervor, dass der Einsatz dieser neuartig aufgebauten REX-Querlagen zu einer Erhöhung einiger mechanischer Eigenschaften von Brettsperrholzelementen beitragen kann. Während die hohen Biegefestigkeiten vorwiegend auf das verwendete Längslagenrohmaterial in Form von feinjähig gewachsener Seitenware zurückzuführen sind, können die hohen Rollschubfestigkeiten mit dem besonderen Aufbau der REX-Querlagen begründet werden. Bei genauer Betrachtung der Bruchbilder des Rollschubversagens wird ersichtlich, dass durch die stehenden Hirnholzlagen in der REX-Querlage eine Stützwirkung resultiert, durch die ein Rollschubversagen der benachbarten längsorientierten Holzlagen behindert respektive verzögert wird. Dennoch konnte bei den Prüfkörpern der Biege- und Rollschubprüfserie eine fehlerhafte Flächenverklebung festgestellt werden, die anhand von

Delaminierungsprüfungen nach ÖNORM EN 14080:2013 in Anlehnung an ÖNORM EN 16351:2015 nachgewiesen wurde. Die ermittelten Ergebnisse der Vierpunkt-Biegeprüfung sind daher als nicht ausreichend repräsentativ anzusehen. Zudem beruhen die in die Berechnung einfließenden Materialeigenschaften der Längs- und Querlagen zumeist auf einer Annahme, da keine Materialprüfungen am Rohmaterial durchgeführt wurden. Vor allem die Ergebnisse der globalen E-Moduln sind zu hinterfragen, da die Auswertung stark von der Schubsteifigkeit bzw. vom Schubkorrekturfaktor beeinflusst wird, der wiederum durch die Schub- und Rollschubmoduln, den Querschnittsabmessungen und der Brettlage im Stamm des Rundholzes gelenkt wird.

Zur weiteren Abschätzung der Wirkungsweise von REX-Querlagen bei Brettsperrholz wurden Scherprüfungen nach ÖNORM EN 789:2005 bei einer Prüfserie von insgesamt vier Prüfkörpern abgewickelt, deren Flächenverklebungen nachweislich die Grenzwerte gemäß ÖNORM EN 16351:2015 erfüllt. Anhand der Ergebnisauswertung der Scherprüfung wurde deutlich, dass bei BSP-Elementen mit einer nachweislich funktionierenden Verklebung der Stützeffekt der Hirnholzlagen weiterhin verstärkt wird und zudem eine weitere Erhöhung der Rollschubfestigkeit eintritt. In Abbildung 6.2 ist der Stützeffekt der Hirnholzlagen von REX-Platten bei Rollschubbeanspruchung ersichtlich.



Abbildung 6.2: Stützeffekt der Hirnholzlagen von REX-Platten bei einer Rollschubbeanspruchung

Während in den Europäischen Technischen Bewertungen von österreichischen BSP-Herstellern eine charakteristische Rollschubfestigkeit von $f_r = 0,8 \text{ N/mm}^2$ bei nicht schmalseitenverklebten und $f_r = 1,2 \text{ N/mm}^2$ bei schmalseitenverklebten Schnittholzlamellen verankert ist, kann mit dem Einsatz von REX-Querlagen mit einem Hirnholzanteil von 40 % eine charakteristische Rollschubfestigkeit von $f_r = 1,8 \text{ N/mm}^2$ erreicht werden.

Die Überprüfung der Verklebungsgüte erfolgte nach ÖNORM EN 14080:2013 in Anlehnung an ÖNORM EN 16351:2015. Aus den Delaminierungsprüfungen der zu den Vierpunkt-Biegeprüfserien DL-B, DQ-B, DL-S und DQ-S zugehörigen Prüfkörper der Prüfserie A ging hervor, dass sowohl die Auswertung der maximalen Delaminierungslänge einer Einzelfuge als auch die Ermittlung der Gesamtdelaminierung beim Großteil der Prüfkörper zu einer Überschreitung der vorgeschriebenen Grenzwerte nach ÖNORM EN 14080:2013 bzw. ÖNORM EN 16351:2015 führte. Bei genauer Analyse der Fehlverklebung von Prüfserie A konnte die Fehlverklebung auf verschiedene Ursachen zurückgeführt werden. Während in den Verarbeitungsrichtlinien der Firma Henkel Loctite (Henkel & Cie AG, 2015) die Hobelung der Materialoberflächen vorgeschrieben wird, konnten bei entsprechender Bearbeitung Unebenheiten an den Oberflächen der REX-Platten wahrgenommen werden, die den vorgeschriebenen Grenzwert der Dickentoleranz von 0,1 mm auf 1 m Lauflänge nicht erfüllten. Zudem konnte im Zuge der Verklebung bzw. Verpressung ein fehlender Klebstoffaustritt im Bereich der Hirnholzbereiche beobachtet werden, der einerseits auf eine Fehlverklebung in diesen Bereichen hinweist und andererseits die Oberflächenbearbeitung mittels Hobelung als ungeeignet erscheinen lässt. Durch das natürliche Quell- und Schwindverhalten des Holzes und die wechselnde Anordnung von längs- und querorientierten Holzlagen im Aufbau der REX-Platten resultierten zudem zusätzliche Formänderungen im Querschnitt der Platten, die durch eine Überschreitung der vorgeschriebenen Zeitspanne von maximal 24 h zwischen Oberflächenbearbeitung und Verklebung hervorgerufen wurden.

Bei der Herstellung der Prüfkörper von Prüfserie B wurden die gewonnenen Erkenntnisse aus der Analyse der Fehlverklebung von Prüfserie A berücksichtigt. Auf diese Weise konnten sowohl die

Grenzwerte der maximalen Delaminierungslänge einer Einzelfuge als auch die Grenzwerte der Gesamtdelaminierung eines Prüfkörpers nach den Vorgaben gemäß ÖNORM EN 14080:2013 bzw. ÖNORM EN 16351:2015 erfüllt werden. Dies kann vor allem auf eine Verbesserung der Oberflächenqualität der REX-Platten mittels Schleifen zurückgeführt werden. Durch diesen nachträglichen Schleifprozess mit einer Abnahme von maximal 0,2 mm je Seite konnte einerseits die vorgeschriebene Dickentoleranz von 0,1 mm auf 1 m Lauflänge eingehalten und andererseits ein gleichmäßiger Klebstoffaustritt während der Verklebung der Prüfkörper beobachtet werden. Den zusätzlichen Formänderungen, die aus dem unterschiedlichen Quell- und Schwindverhalten des Holzes resultierten, wurde durch die Einhaltung der mit maximal 24 h vorgeschriebenen Zeitspanne zwischen Oberflächenbearbeitung und Verklebung entgegengewirkt. Bei Einhaltung der vom Klebstoffhersteller vorgeschriebenen Verarbeitungsrichtlinien und einem nachträglichen Schleifprozess zur Optimierung der Oberflächengüte von REX-Platten konnten die Grenzwerte der Delaminierungsprüfung nach ÖNORM EN 14080:2013 bzw. ÖNORM EN 16351:2015 auch bei unterschiedlichem Hirnholzanteil im Aufbau der REX-Platten nachweislich eingehalten werden, siehe Abbildung 6.3.

Prüfkörper mit 40 % HH-Anteil



Prüfkörper mit 60 % HH-Anteil



Abbildung 6.3: Ergebnisse der Delaminierungsprüfung von Prüfkörpern der Prüfsérie B

Nachdem die ermittelten Materialkenngrößen aus einer kleinen Prüfsérie von insgesamt 30 BSP-Platten stammen und darüber hinaus eine Fehlverklebung der einzelnen Schichten mittels Delaminierungsprüfungen nach ÖNORM EN 14080:2013 bzw. ÖNORM EN 16351:2015 festgestellt wurde, bedarf es weitere Forschungsaktivitäten, die zu einem besseren Verständnis der mechanischen Wirkungsweise der REX-Querlage im Aufbau von BSP-Elementen führen. In Kapitel 6-2 ist eine Auswahl geeigneter Schwerpunktthemen aufgelistet.

6-2 WEITERER FORSCHUNGSBEDARF

Der weitere Forschungsbedarf setzt sich primär aus der Ermittlung der mechanischen Kenngrößen von REX-Platten im Aufbau von BSP-Elementen zusammen, wobei den Prüfkörpern eine nachweislich funktionierende Flächenverklebung nach ÖNORM EN 14080:2013 bzw. ÖNORM EN 16351:2015 vorausgesetzt wird. Zusätzlich ist mit der Herstellung und Delaminierung eines großformatigen BSP-Elementes mit REX-Querlagen die technische Umsetzbarkeit unter realen Produktionsbedingungen eines BSP-Herstellers zu überprüfen bzw. zu bestätigen.

6-2.1 MECHANISCHE KENNGRÖSSEN DER REX-PLATTE

Aus den Ergebnissen der Vierpunkt-Biegeprüfungen geht hervor, dass vor allem die wechselnde Anordnung von längs- und querorientierten Holzlagen im Aufbau von REX-Platten zu einer deutlichen Erhöhung der Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften von BSP-Elementen beitragen kann.

Aufgrund von fehlenden Materialkenngrößen zu den Längslagen sowie der fehlenden Erfahrung zur mechanischen Wirkungsweise der REX-Querlagen wurden im Zuge der Ergebnisauswertung Annahmen getroffen, die u.a. den E-Modul, den Schub- und den Rollschubmodul betreffen. Dabei wurden verschmierte Kenngrößen für die REX-Platten definiert, die sich aus gebräuchlichen Größen des Elastizitäts- und Schubmoduls zusammensetzen. Anhand einer FE-Modellierung wurde zudem der Rollschubmodul der REX-Platten über den Verformungsvergleich einer herkömmlichen Brettspertholzplatte ermittelt.

Für folgende Parameter sind weitere Untersuchungen notwendig:

- **Elastizitätsmodul E_{90} der REX-Platten**

Bei herkömmlichen Schnittholzlamellen mit der Festigkeitsklasse C24 beträgt der Elastizitätsmodul quer zur Faser über die gesamte Lage $E_{90,T} = 350 \text{ N/mm}^2$. Aufgrund der unterschiedlich orientierten Holzlagen im Aufbau der REX-Platten wird die Größe des Elastizitätsmoduls quer zur Faser verändert. Aus dem Verhältnis der E-Moduln nach (Schickhofer, 2006) geht hervor, dass der Elastizitätsmodul der stehend orientierten Holzlagen den 1,7 fachen Wert der liegend orientierten Holzlagen annimmt. Mit dieser Erkenntnis kann darauf zurückgeschlossen werden, dass der E-Modul von REX-Querlagen quer zur Faser auf Basis von $E_{90,T} = 350 \text{ N/mm}^2$ zumindest zwischen $350 \text{ N/mm}^2 < E_{90,REX} < 595 \text{ N/mm}^2$ liegt, siehe Abbildung 6.4

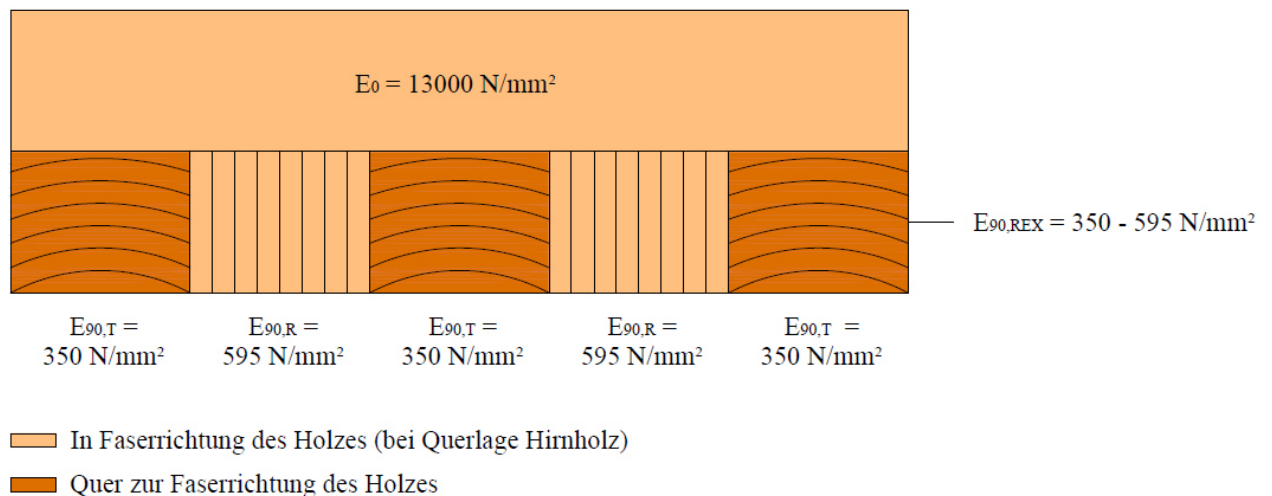
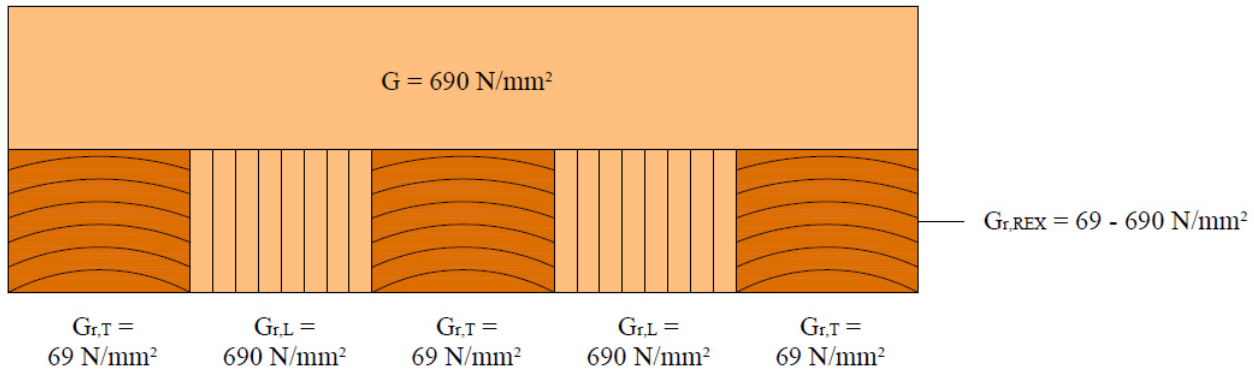


Abbildung 6.4: Elastizitätsmoduln von BSP mit REX-Querlagen

Bei der Ermittlung des E-Moduls der REX-Querlagen ist vor allem eine Beziehung zum Anteil der stehend und liegend orientierten Holzlagen und deren Geometrieverhältnis (b/t) im Plattenaufbau herzustellen, da sich diese Kenngrößen aufgrund des uneinheitlichen Ausgangsmaterials in Form von BSP-Ausschnitten grundlegend unterscheiden können.

- **Rollschubmodul G_R von REX-Platten**

Der exakten Ermittlung des Rollschubmoduls von REX-Platten kommt eine sehr große Bedeutung zu, da diese Kenngröße durch den speziellen Plattenaufbau am stärksten beeinflusst wird. Aus dem Verhältnis der Schubmoduln nach (Schickhofer, 2006) geht hervor, dass der Schubmodul der stehend orientierten Hirnholzlagen den 10-fachen Wert der liegend orientierten Holzlagen annimmt. Mit dieser Erkenntnis kann darauf zurückgeschlossen werden, dass der Schubmodul von REX-Querlagen zwischen $69 \text{ N/mm}^2 < G_{T,REX} < 690 \text{ N/mm}^2$ liegt, siehe Abbildung 6.5.



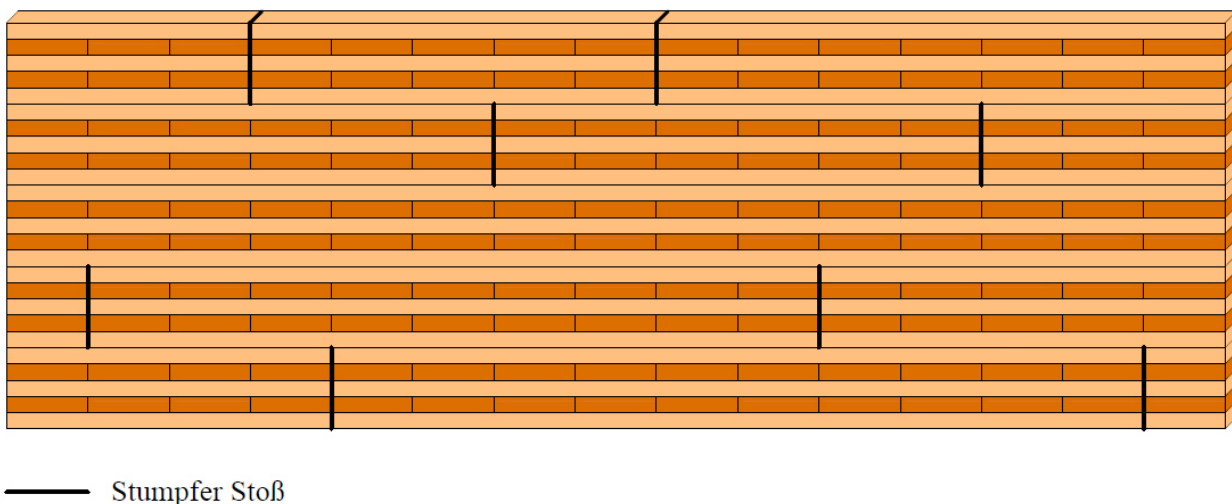
- In Faserrichtung des Holzes (bei Querlage Hirnholz)
- Quer zur Faserrichtung des Holzes

Abbildung 6.5: Schubmoduln von BSP mit REX-Querlagen

Die aufbauende Forschungsarbeit sollte gezielt auf die Auswirkungen der wechselnden Faserrichtung im Aufbau der REX-Querlagen ausgelegt werden, die nachweislich zu einer Erhöhung des Rollschubmoduls führen. Für eine aussagekräftige Beurteilung des Rollschubmoduls der REX-Querlagen sind weitere Materialprüfungen in Form von Scherprüfungen nach ÖNORM EN 408:2012 abzuwickeln sowie FE-Berechnungen zu erstellen, die einerseits den Anteil und das Geometrieverhältnis (b/t) von stehend und liegend orientierten Holzlagen und andererseits die Jahrringlage im Querschnitt der REX-Platten berücksichtigen.

▪ Einfluss des stumpfen Stoßes im Aufbau der REX-Platten

Abhängig von der Verwendung von REX-Platten sollte der Einfluss des stumpfen Stoßes im Plattenaufbau näher untersucht werden. In Abbildung 6.6 ist die anzustrebende versetzte Anordnung der stumpfen Stoße schematisch dargestellt.



— Stumpfer Stoß

Abbildung 6.6: Stumpfe Stöße im Aufbau einer REX-Platte

Während Wandscheiben in der Ebene belastet werden, erfolgt die Lastabtragung bei Deckenplatten rechtwinklig zur Ebene. Im Großteil der Fälle erfolgt die Lastabtragung bei Deckenplatten in Richtung der keilgezinkten Längslagenlamellen, wodurch die REX-Querlagen nicht berücksichtigt werden. Im Gegensatz zu Deckenplatten werden Wandscheiben großteils durch vertikale Kräfte in der Ebene beansprucht. Bei Belastungen quer zur Plattenebene, wie beispielsweise Wind, resultieren zusätzlich Biegebelastungen, die auch von den stumpfen Stoßen der REX-Querlagen aufzunehmen sind. Aufgrund der fehlenden Keilzinkenverbindung ist die Wirkungsweise von stumpf gestoßenen REX-Platten für den

Einsatz bei Wandscheiben gesondert zu betrachten sowie die genaue Wirkungsweise mittels Biegeprüfungen festzustellen.

6-2.2 BSP-HERSTELLUNG UND DELAMINIERUNG UNTER REALEN PRODUKTIONSBEDINGUNGEN

Zur Bestätigung der im Zuge der Laborprüfungen gewonnenen Erkenntnisse zur Herstellung einer nachweislich funktionierenden Flächenverklebung gemäß ÖNORM EN 14080:2013 bzw. ÖNORM EN 16351:2015 ist die Fertigung einer großformatigen BSP-Platte mit REX-Querlagen unter realen Produktionsbedingungen eines BSP-Herstellers anzustreben. Die Grenzwerte der Delaminierungsprüfung sind mit den Ergebnissen der Laborprüfungen gegenüberzustellen, wobei bestenfalls keine großen Abweichungen sowie die Einhaltung der vorgeschriebenen Grenzwerte resultieren.

Mit der Herstellung einer großformatigen BSP-Platte können zudem frühzeitig Hindernisse bzw. Schwierigkeiten im Produktionsprozess von Brettsperrholz lokalisiert werden, die möglicherweise aufgrund der unterschiedlichen Abmessungen von REX-Platten und Schnittholzlamellen zum Vorschein kommen. Nachdem der Fertigungsprozess beim Großteil der BSP-Hersteller unterschiedlich organisiert ist, bedarf es einer individuellen Anpassung der Manipulationsmöglichkeiten von REX-Platten.

6-3 AUSBLICK

Neben kurzen Montagezeiten sowie ökologischen Gesichtspunkten sind es vor allem die besonderen materialspezifischen Eigenschaften von Brettsperrholz, die das rasant steigende Marktwachstum positiv beeinflussen. Obwohl das Bauprodukt Brettsperrholz mit einem Anteil von mehr als 99 % aus dem nachwachsenden Rohstoff Holz besteht, ist die Herstellung nach heutiger Technologie und aufgrund individueller wie auch projektspezifischer Anforderungen an ein Bauwerk dadurch gekennzeichnet, dass die Bauteile in erster Linie vollflächig gefertigt werden und anfallende Öffnungen wie beispielsweise Fenster- und Türausschnitte herausgeschnitten und letztendlich thermisch verwertet werden. Aus diversen Fachmagazinen wie beispielsweise einem Bericht aus dem (Holzkurier, 2013) geht hervor, dass der durchschnittliche Anteil an Ausschnittflächen ca. 10 % bis 15 % der gesamten Produktionsmenge von Brettsperrholz in Anspruch nimmt. Bei einer von (Schickhofer, et al., 2017) bewerteten österreichischen Jahreskapazität von rund 500.000 m³ würde somit eine Restplattenmenge von mindestens 50.000 m³ pro Jahr anfallen.

Um der aktuellen Ressourcenverschwendung entgegenzuwirken und zusätzlich dem Wunsch der modernen Architektur in Form von noch größeren Ausschnittflächen nachkommen zu können, stehen nach Meinung des Autors zukünftig zwei Lösungsansätze zur Verfügung, die sich jedoch grundlegend voneinander unterscheiden.

Der erste Lösungsansatz sieht die Weiterentwicklung der bisherigen Herstellungstechnologie von Brettsperrholz vor, sodass bereits während der Produktion die Ausschnittflächen ausgelassen werden und auf diese Weise eine Verschwendung wertvoller Ressourcen verhindert wird.

Der zweite Lösungsansatz beinhaltet die Veredelung anfallender Ausschnittflächen zu REX-Platten, wobei im Gegensatz zu bisherigen Ansätzen eine aufbau- und geometrieunabhängige Verwertung erzielt wird. Die Veredelung von BSP-Ausschnitten zu REX-Platten bietet zudem das Potential die Materialeigenschaften von Brettsperrholz gezielt zu steuern. Auf diese Weise können einerseits neue Einsatzbereiche erschlossen und andererseits die Konkurrenzfähigkeit zu anderen Baustoffen weiter erhöht werden.

ANHANG A VERZEICHNISSE

A-1 Literaturverzeichnis

Wissenschaftliche Arbeiten, Bücher, Papers, Magazine:

- de Monte, Florian. 2012.** *Verfahren zur Herstellung von mehrere Holzlagen aufweisenden Platten sowie Holzverbundplatte. Patentnr.: AT 510 792 B1 2012-12-15* Österreich, 12. Dezember 2012.
- Erhart, Thomas. 2014.** Materialbezogene Einflussparameter auf die Rollschubeigenschaften in Hinblick auf Brettspertholz. Graz : Institut für Holzbau und Holztechnologie TU Graz, 2014. M-4-10/2014.
- Feichter, Ingo. 2013.** Spannungs- und Traglastberechnungen an ausgewählten Problemen der Holz-Massivbauweise in Brettspertholz. Graz : Institut für Holzbau und Holztechnologie TU Graz, 2013. M-4-1/2013.
- Guttmann, Eva, et al. 2008.** *Zuschnitt 31 Massiv über Kreuz.* Wien : proHolz Austria, 2008. S. 13.
- Hansen, H.J. 1969.** *Holzbaukunst.* Oldenburg : Stalling Verlag, 1969.
- Henkel & Cie AG, Center of Competence Engineered Wood Adhesive Systems. 2015.** *Checkliste - Produktion von Brettspertholz.* Sempach-Station Schweiz : Henkel & Cie AG, 2015.
- HFA, Holzforschung Austria. 2017.** [Online] Zugriff am: 30. April 2017. <http://www.holzforschung.at/uea-information.html>.
- HIZ, Holzinnovationszentrum GmbH. 2017.** [Online] Zugriff am: 27. März 2017. <http://www.hiz.at/de/leistungen/prototyping.php>.
- Holzbau Riedlsperger GesmbH. 2017.** [Online] Zugriff am: 27. März 2017. <http://www.holzbauriedlsperger.at/hauptnavigation/leistungen/diverses/gallery/bank-tischgarnitur-aus-brettspertholz/>.
- Holzcluster Steiermark. 2012.** prototypenbau und produktentwicklungen am engenieering center wood (ECW). *holzletter.* Juli 2012, S. 08.
- Holzkurier. 2013.** *Bandsäge für BSP-Ausschnitte - Teurer Abfall wird in Italien wiederverwertet.* Wien : Österreichischer Argrarverlag, 2013. S. 30.
- Holzkurier BSP-Special. 2016.** *Brettspertholz-Landkarte.* Wien : Österreichischer Argrarverlag, 2016. S. 6-7.
- Jauk, Günther. 2017.** *BSP-Produktion folgt dem Bedarf.* Holzbau Austria - Fachmagazin für nachhaltige Architektur. Wien : Österreichischer Argrarverlag, 2017. S. 1.
- KLH Massivholz GmbH. 2017.** [Online] Zugriff am: 19. März 2017. <http://www.klh.at/product/manufacture/>.
- Kompetenzzentrum der Bauwirtschaft. 2012.** *Die Ü- und CE-Kennzeichnung im Überblick.* Bühl : Komzet Bau Bühl, 2012.
- Lignum Test Center, LTC. 2016.** *Prüfbericht Nr. PB16-487-1-01 Prüfungen zur Bestimmung der mechanischen Eigenschaften von BSP mit XML-Querlagen gemäß ÖNORM EN 408:2012.* Graz : Institut für Holzbau und Holztechnologie TU Graz, 2016.
- Loctite HB S309 Purbond. 2015.** *IK-Polyurethanklebstoff zur Herstellung von tragenden Holzbauteilen.* Sempach-Station Schweiz : Henkel & Cie AG, 2015.
- Moser, Josef, Treml, Erwin und Gütler, Herwig. 2003.** *Warenkunde für Holzkaufleute.* Überarbeitete Auflage 2003. Kuchl : Holztechnikum Kuchl, 2003.

- Neumüller, Andreas. 2010.** *Einheitliche Produkt- und Produktionsanforderungen durch eine harmonisierte Norm.* Garmisch Partenkirchen : 16. Internationales Holzbau-Forum 10, 2010.
- Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB). 2017.** [Online] Zugriff am: 26. April 2017. <https://www.oib.or.at/de/kennzeichnung-und-zulassung-von-bauprodukten>.
- Pfeifer, Bernd. 2017.** *Verarbeitungsrichtlinien von Loctite HB S189.* 11. Januar 2017.
- Plackner, Hannes. 2017.** HolzbauAustria. [Online] Zugriff am: 23. März 2017. http://www.holzbauaustria.at/index.php?id=111&tx_ttnews%5Btt_news%5D=5473&cHash=0df01d3dea7e971f2326a8809ddaa4b1.
- Schickhofer, Gerhard. 2006.** *Holzbau Der Roh- und Werkstoff Holz.* S-4-01A/2006. Graz : TU Graz, 2006.
- Schickhofer, Gerhard, et al. 2017.** *A Status Report from the CLT Hot Spot in Europe, Austria.* Graz : Institut für Holzbau und Holztechnologie TU Graz, 2017. S. 67.
- Schickhofer, Gerhard, et al. 2010.** *BSPHandbuch Holz-Massivbauweise in Brettsper Holz.* 2. Graz : Verlag der Technischen Universität Graz, 2010. S. 440. ISBN: 978-3-85125-109-8.
- Schickhofer, Gerhard und Thiel, Alexandra. 2010.** *Holz-Massivbauweise in Brettsper Holz - Allgemeines zur Bauweise und Nachweise aus Basis des europäischen Normenkonzeptes.* Garmisch-Partenkirchen : 16. Internationales Holzbau-Forum, 2010.
- Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V., BSP Holz. 2017.** [Online] Zugriff am: 30. April 2017. http://www.brettsperholz.org/brettsperholz-bsp-x-lam/kennzeichnung/mn_45180.
- van de Kuilen, Jan-Willem und Schaffrath, Jörg. 2014.** *Möglichkeiten der Verklebung verschiedener Holzarten und Untersuchungen zur Verwendbarkeit als Brettschichtholz.* München : Technische Universität München , 2014.
- White Skip. 2017.** [Online] Zugriff am: 23. März 2017. http://www.white-skips.co.uk/waste_wood_tipping_36.html.
- Woschitz, Richard. 2017.** Woschitz Group. [Online] Zugriff am: 19. März 2017. <http://www.woschitzgroup.com/projekte/hoho-wien/>.

Normen, Richtlinien, Technische Bewertungen:

- ÖNORM EN 301:2013-12-01 *Klebstoffe, Phenoplaste und Aminoplaste für tragende Holzbauteile – Klassifizierung und Leistungsanforderungen*
- ÖNORM EN 338:2016-06-01 *Bauholz für tragende Zwecke – Festigkeitsklassen*
- ÖNORM EN 384:2016-11-01 *Bauholz für tragende Zwecke – Bestimmung charakteristischer Werte für mechanische Eigenschaften und Rohdichte*
- ÖNORM EN 408:2012-09-01 *Holzbauwerke – Bauholz für tragende Zwecke und Brettschichtholz – Bestimmung einiger physikalischer und mechanischer Eigenschaften*
- ÖNORM EN 789:2005-04-01 *Holzbauwerke- Prüfverfahren – Bestimmung der mechanischen Eigenschaften von Holzwerkstoffen*
- ÖNORM ISO 3130:1994-10-01 *Holz - Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes für physikalische und mechanische Prüfungen (Darrverfahren - Labormethode)*
- ÖNORM EN 14080:2013-08-01 *Holzbauwerke – Brettschichtholz und Balkenschichtholz – Anforderungen*
- ÖNORM EN 14358:2016-10-01 *Holzbauwerke - Bauholz für tragende Zwecke und Brettschichtholz – Bestimmung einiger physikalischer und mechanischer Eigenschaften*
- ÖNORM EN 15497:2014-10-15 *Keilgezinktes Vollholz für tragende Zwecke – Leistungsanforderungen und Mindestanforderungen an die Herstellung*
- ÖNORM EN 16351:2015-11-15 *Holzbauwerke – Brettsperrholz – Anforderungen*
- DIN 1052:2008-12 *Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau*
- DIN 52187:1979-05 *Prüfung von Holz; Bestimmung der Scherfestigkeit in Faserrichtung*
- DIN 53255:1964-06 *Prüfung von Holzleimen und Holzverleimungen; Bestimmungen der Bindefestigkeit von Sperrholzverleimungen (Furnier- und Tischlerplatten) im Zugversuch und im Aufstechversuch*
- DIN 68705-4:1981-12 *Sperrholz; Bau-Stabsperrholz, Bau-Stäbchensperrholz*
- Verordnung (EG) Nr. 765/2008 *Akkreditierung und Marktüberwachung*
- EAD 130005-00-0304: 2015-03 *Solid wood slab element to be used as a structural element in buildings*
- ETA-06/0009 *Europäische Technische Bewertung von Binderholz Brettsperrholz BBS*
- ETA-06/138 *Europäische Technische Bewertung von KLH Massivholz GmbH*
- ETA-14/0349 *Europäische Technische Bewertung von Stora Enso Wood Products*
- Z-9.1-534 *Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für Deutschland von Binderholz Bausysteme GmbH*
- Z-9.1-482 *Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für Deutschland von KLH Massivholz GmbH*
- Z-9.1-638 *Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für Deutschland von Mayr-Melnhof Holz Holding AG*
- Z-9.1-559 *Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für Deutschland von Stora Enso Wood Products Oy Ltd*

A-2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1:	Brettsperrholz (Guttman, et al., 2008 S. 14).....	3
Abbildung 2.2:	Keilzinkenverbindung - Zinkenprofil auf der Brettflachseite (links) und auf der Brett schmalseite (rechts) (Schickhofer, et al., 2010 S. C-5)	4
Abbildung 2.3:	Schwindverhalten der Decklagen von Brettsperrholz mit und ohne Schmalseitenverklebung (Schickhofer, et al., 2010 S. C-7).....	5
Abbildung 2.4:	Einteilung der Klebstoffe nach dem Abbinde- bzw. Aushärtemechanismus (Hansen, 1969)	5
Abbildung 2.5:	Produktionsprozess von Brettsperrholz (Schickhofer, et al., 2010 S. C-11).....	7
Abbildung 2.6:	Brettsperrholzquerschnitt mit einer fehlerhaft ausgehobelten Brett lamelle (Schickhofer, et al., 2010 S. C-12).....	8
Abbildung 2.7:	Brettsperrholz aus Einschichtplatten mit minimalen Fugenbreiten (Schickhofer, et al., 2010 S. C-13).....	8
Abbildung 2.8:	Schmalseitenpressung im Flächenpressbett (Schickhofer, et al., 2010 S. C-13)	9
Abbildung 2.9:	Flächenverklebung – stationäre Anlage zum Klebstoffauftrag (Schickhofer, et al., 2010 S. C-14).....	9
Abbildung 2.10:	Flächenverklebung – mobile Anlage zum Klebstoffauftrag (Schickhofer, et al., 2010 S. C-14).....	10
Abbildung 2.11:	Abbund von Brettsperrholz (KLH Massivholz GmbH, 2017).....	11
Abbildung 2.12:	Holzhochhaus in Wien (Woschitz, 2017).....	13
Abbildung 2.13:	Wachstumsprognose von Brettsperrholz (Schickhofer, et al., 2017)	15
Abbildung 2.14:	Zuwachs von BSP-Produktionsstätten (Jauk, 2017)	16
Abbildung 2.15:	Prognostizierter Zuwachs von BSP-Produktionen (Schickhofer, et al., 2017 S. 8).....	17
Abbildung 2.16:	BSP-Landkarte von Österreich (Holzkurier BSP-Special, 2016 S. 7)	18
Abbildung 2.17:	BSP-Wandscheibe inkl. BSP-Ausschnitte.....	19
Abbildung 2.18:	Lagerung von BSP-Ausschnitten (Fa. KLH Massivholz GmbH)	19
Abbildung 2.19:	Häufige Geometrieformen von BSP-Ausschnitten	20
Abbildung 2.20:	Plattenaufbauten von BSP-Ausschnitten	20
Abbildung 2.21:	Zerkleinerung von BSP-Ausschnitten. Links (KLH Massivholz GmbH), rechts (White Skip, 2017)	22
Abbildung 2.22:	Auslassen von Öffnungen bei der Herstellung von BSP (Plackner, 2017)	22
Abbildung 2.23:	Auftrennung von BSP-Ausschnitten mittels Blockbandsäge (Holzkurier, 2013 S. 30).....	23
Abbildung 2.24:	BSP-Holzziegel (HIZ, 2017)	24
Abbildung 2.25:	BSP-Gartenmöbel (Holzbau Riedlsperger GesmbH, 2017).....	24
Abbildung 3.1:	Ausgangsmaterial BSP-Ausschnitte (Fa. KLH Massivholz GmbH).....	27
Abbildung 3.2:	Veredelungsprozess von BSP-Ausschnitten.....	27
Abbildung 3.3:	Aufbau der REX-Platten mit überwiegend längsorientierten Holzlagen	28
Abbildung 3.4:	Aufbau der REX-Platten mit überwiegend quer orientierten Holzlagen.....	28
Abbildung 3.5:	Abmessungen von REX-Platten	29

Abbildung 3.6:	BSP-Ausschnitte, getrennt nach ihrem Plattenaufbau.....	30
Abbildung 3.7:	Auftrennung der BSP-Ausschnitte mittels Horizontalbandsäge	30
Abbildung 3.8:	Endkappung der Streifen	31
Abbildung 3.9:	Eckbereich von BSP-Ausschnitten nach der Auftrennung.....	32
Abbildung 3.10:	Fehlstellen von aufgetrennten BSP-Ausschnitten	32
Abbildung 3.11:	Plattenerzeugung mittels Schmalseitenverklebung	33
Abbildung 3.12:	Keilzinkenverbindung von aufgetrennten BSP-Ausschnitten	33
Abbildung 3.13:	Oberflächenbearbeitung mittels Dickenhobelmaschine	34
Abbildung 3.14:	BSP-Deckenplatte mit REX-Querlagen	35
Abbildung 3.15:	BSP-Wandscheibe mit nichtsichtbarer REX-Mittellage	36
Abbildung 3.16:	BSP-Wandscheibe mit REX-Decklagen (links einseitig, rechts beidseitig)	36
Abbildung 3.17:	BSP-Wandscheibe für Auskragung mit REX-Querlagen.....	37
Abbildung 3.18:	REX-Platte bestehend aus fünfschichtigen Streifen.....	38
Abbildung 3.19:	Recyclingkreislauf von Brettspertholzausschnitten	39
Abbildung 4.1:	Aufbau der BSP-Prüfkörper	41
Abbildung 4.2:	Herstellungsprozess der Querlagen und Prüfkörper für die Laborversuche (Lignum Test Center, 2016 S. 5)	42
Abbildung 4.3:	Längslagenlamellen der BSP-Probekörper.....	43
Abbildung 4.4:	REX-Querlagen für Laborversuche.....	44
Abbildung 4.5:	Plattenzuschnitt der REX-Querlage	45
Abbildung 4.6:	Überprüfung der Holzfeuchte mittels Hydromette M 2050 (elektr. Widerstandsmessverfahren)	45
Abbildung 4.7:	Klebstoffauftrag der Längslagen	46
Abbildung 4.8:	Flächenverklebung zu BSP-Platten	46
Abbildung 4.9:	Verpressung der BSP-Probekörper.....	47
Abbildung 4.10:	Längenzuschnitt der BSP-Probekörper	47
Abbildung 4.11:	Breitenzuschnitt der BSP-Prüfkörper	48
Abbildung 4.12:	Große Fugen zwischen den Längslagen durch fehlende Schmalseitenverklebung...	49
Abbildung 4.13:	Offene Fugen und ungünstiges Fugenbild der REX-Querlagen.....	49
Abbildung 4.14:	Hoher Klebstoffaustritt bei einem BSP-Element	50
Abbildung 4.15:	Schema der Prüfkfiguration zur Ermittlung der mechanischen Biegeeigenschaften mit lokaler Verformungsmessung bei Belastung aus der Plattenebene gemäß ÖNORM EN 408:2012 (Lignum Test Center, 2016 S. 7).....	52
Abbildung 4.16:	Kraft-Zeit-Diagramm einer Biegeprüfung der Prüfserie DL-B-01 (Lignum Test Center, 2016)	53
Abbildung 4.17:	Schema der Prüfkfiguration zur Ermittlung der mechanischen Rollschub- und Biegeeigenschaften mit globaler Verformungsmessung bei Belastung aus der Plattenebene gemäß ÖNORM EN 408:2012. (Lignum Test Center, 2016 S. 9).....	54
Abbildung 4.18:	Kenngrößen für Berechnung der mechanischen Eigenschaften von BSP mit REX-Querlagen	55

Abbildung 4.19: Elastische Eigenschaften des Holzes (links) (Schickhofer, 2006 S. A-4/35), Materialeigenschaften von Brettsperrholz mit REX-Querlage (rechts)	55
Abbildung 4.20: Einfluss des b / d-Verhältnisses bei Schnittholzlamellen auf den Rollschubmodul von BSP (Erhart, 2014 S. 125).....	56
Abbildung 4.21: Verhältnis $\Delta F/\Delta w$ von Kraft- und Wegänderung zur Ermittlung des lokalen Biege-E-Moduls von Prüfkörper DL-B-01 (Lignum Test Center, 2016).....	58
Abbildung 4.22: Prüfkörper der Biegeprüfserie	60
Abbildung 4.23: Bruchbild mit Biege-, Schub- und Rollschubversagen bei DL-B-02 und DL-B-06	62
Abbildung 4.24: Bruchbild mit Klebstoffversagen bei DL-B-04 und DL-B-07	62
Abbildung 4.25: Druckfalten bei DL-B-08	63
Abbildung 4.26 Bruchbild mit Schub- und Rollschubversagen bei DQ-B-02 sowie Klebstoffversagen bei DL-B-04 und DL-B-07 und Druckfalten bei DQ-B-05.....	64
Abbildung 4.27: Prüfkörper für Rollschubprüfung	64
Abbildung 4.28: Bruchbilder mit Rollschubversagen in der Querlage und Schubversagen in der Längslage bei DL-S-07 mit teilweisem Versagen der Klebefuge bei DL-S-08	65
Abbildung 4.29: Bruchbilder mit Rollschubversagen in der Querlage und Schubversagen in der Längslage bei DQ-S-03 und Druckfalten bei DQ-S-04	66
Abbildung 4.30: Bild D.1 - Schervorrichtung mit eingesetztem Prüfstab (ÖNORM EN 16351:2015-Anhang D S.60).....	68
Abbildung 4.31: Prüfkfiguration zur Scherprüfung von Brettsperrholz (ÖNORM EN 16351:2015-Anhang D S. 77) (links); Prüfkfiguration KLH Massivholz GmbH (rechts).....	68
Abbildung 4.32: Stützeffekt der Hirnholzlagen bei Rollschubbeanspruchung	70
Abbildung 5.1 ÜA-Zeichen für Österreich (HFA, 2017) und Ü-Zeichen für Deutschland (Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V., 2017).....	73
Abbildung 5.2: CE-Kennzeichnung (Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V., 2017).....	74
Abbildung 5.3: Delaminierung eines BSP-Prüfkörpers ohne Delaminierungsprüfung.....	78
Abbildung 5.4: Druckgefäß für die Delaminierungsprüfung (Fa. KLH Massivholz GmbH)	78
Abbildung 5.5: Trockenofen für die Delaminierungsprüfung (Fa. KLH Massivholz GmbH).....	79
Abbildung 5.6: Metallkeil und Hammer für die Delaminierungsprüfung (Fa. KLH Massivholz GmbH).....	79
Abbildung 5.7: Prüfkörper für die Delaminierungsprüfung gemäß ÖNORM EN 16351:2015 (Fa. KLH Massivholz GmbH).....	80
Abbildung 5.8 BSP-Prüfkörper mit 40 % HH-Anteil in REX-Querlage (links) und 60 % HH-Anteil in REX-Querlage (rechts) von Prüferie A	83
Abbildung 5.9: Abmessungen eines Prüfkörpers der Prüferie A	83
Abbildung 5.10: Bestimmung der Delaminierungslänge bei Prüfkörper DL-B-02 aus der Prüferie A.....	84
Abbildung 5.11: Delaminierungsanteil am aufgespaltenen Prüfkörpers DQ-B-05 der Prüferie A – Fuge 1 und 2	85
Abbildung 5.12: Delaminierungsanteil am aufgespaltenen Prüfkörpers DQ-B-05 der Prüferie A – Fuge 3 und 4	86
Abbildung 5.13: Fehlender Klebstoffaustritt im Bereich der stehend orientierten Hirnholzlagen.....	87

Abbildung 5.14: Quell- und Schwindverhalten des Holzes (Moser, et al., 2003).....	89
Abbildung 5.15: Unterschiedliches Quell- und Schwindverhalten im Querschnitt der REX-Platten	89
Abbildung 5.16: Formänderung bei REX-Querlagen aufgrund von unterschiedlichem Schwind- und Quellverhalten	89
Abbildung 5.17: BSP-Prüfkörper mit 40 % HH-Anteil (links) und 60 % HH-Anteil in REX-Querlage (rechts) aus der Prüfserie B.....	91
Abbildung 5.18: Oberflächenbeschaffenheit einer geschliffenen REX-Platte	92
Abbildung 5.19: Gleichmäßiger Klebstoffaustritt eines BSP-Prüfkörper der Prüfserie B.....	92
Abbildung 5.20: Formänderung von REX-Platten nach 24 h Lagerung bei 20 °C Lufttemperatur und 65 % relativer Luftfeuchtigkeit	93
Abbildung 5.21: Verklebung der Prüfkörper von Prüfserie B.....	94
Abbildung 5.22: Verpressung der Prüfkörper von Prüfserie B	95
Abbildung 5.23: Bestimmung der Delaminierungslänge bei Prüfkörper 48 aus der Prüfserie B.....	96
Abbildung 5.24: Delaminierungsanteil am ausgespaltenen Prüfkörpers 48 der Prüfserie B.....	97
Abbildung 6.1: BSP-Prüfkörper mit 40 % HH-Anteil in der REX-Querlage (links) und 60 % HH-Anteil in REX-Querlage (rechts).....	100
Abbildung 6.2: Stützeffekt der Hirnholzlagen von REX-Platten bei einer Rollschubbeanspruchung.....	101
Abbildung 6.3: Ergebnisse der Delaminierungsprüfung von Prüfkörpern der Prüfserie B.....	102
Abbildung 6.4: Elastizitätsmoduln von BSP mit REX-Querlagen	103
Abbildung 6.5: Schubmoduln von BSP mit REX-Querlagen	104
Abbildung 6.6: Stumpfe Stöße im Aufbau einer REX-Platte.....	104

A-3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1:	Prognostizierter Zuwachs von BSP-Produktionen (Schickhofer, et al., 2017 S. 8)	17
Tabelle 2.2:	Produktionsvolumen von BSP in Österreich (Holzkurier BSP-Special, 2016 S. 6).....	18
Tabelle 2.3:	BSP-Ausschnittmenge je Hersteller in Österreich 2016 (Holzkurier BSP-Special, 2016 S. 6), (Holzkurier, 2013 S. 30).....	21
Tabelle 4.1:	Abmessungen der BSP-Probekörper für die Biegeprüfung.....	48
Tabelle 4.2:	Abmessungen der BSP-Probekörper für die Rollschubprüfung.....	48
Tabelle 4.3:	Abmessungen der Prüfkfiguration für die Biegeprüfung	51
Tabelle 4.4:	Abmessungen der Prüfkfiguration für die Rollschubprüfung	53
Tabelle 4.5:	Probekörperabmessungen, Holzfeuchte und Rohdichte – Biegung aus der Plattenebene, Querlagen mit 40 % Hirnholzanteil (Lignum Test Center, 2016 S. 18) ..	60
Tabelle 4.6:	Ergebnisse der Prüfung zur Ermittlung der Biegekenngößen– Biegung aus der Plattenebene, Querlagen mit 40% Hirnholzanteil (Lignum Test Center, 2016 S. 19) ...	61
Tabelle 4.7:	Ergebniszusammenfassung der Prüfung zur Ermittlung der Biegekenngößen – Biegung aus der Plattenebene, Querlagen mit 60 % Hirnholzanteil (Lignum Test Center, 2016 S. 12)	63
Tabelle 4.8:	Ergebniszusammenfassung der Prüfung zur Ermittlung der Rollschub- und Biegekenngößen, Querlagen mit 40 % Hirnholzanteil (Lignum Test Center, 2016 S. 14).....	65
Tabelle 4.9:	Ergebniszusammenfassung der Prüfung zur Ermittlung der Rollschub- und Biegekenngößen, Querlagen mit 60 % Hirnholzanteil (Lignum Test Center, 2016 S. 14).....	66
Tabelle 4.10:	Ergebnisse Scherprüfung in Plattenebene nach ÖNORM EN 789:2005 (KLH Massivholz GmbH).....	69
Tabelle 5.1:	Ermittlung der Klebefestigkeit zwischen den Lagen von Brettsperrholz im Zuge der werkseigenen Produktionskontrolle auf europäischer Ebene	75
Tabelle 5.2:	Ermittlung der Klebefestigkeit zwischen Lagen von Brettsperrholz im Zuge der werkseigenen Produktionskontrolle auf nationaler Ebene	76
Tabelle 5.3:	Ergebnisse der Delaminierungsprüfung des Prüfkörpers DL-B-02 aus der Prüfserie A	85
Tabelle 5.4:	Ergebnisse der Faserbruchbestimmung des Prüfkörpers DQ-B-05 aus der Prüfserie A	86
Tabelle 5.5:	Ergebnisse der Delaminierungsprüfung des Prüfkörpers 48 aus der Prüfserie B.....	96
Tabelle 5.6:	Ergebnisse der Faserbruchbestimmung des Prüfkörpers 48 aus der Prüfserie B	97

ANHANG B DIVERSE ANDERE ANHÄNGE

B-1 Prüfbericht Lignum Test Center

B-2 Henkel Checkliste – Produktion von Brettsperrholz

B-3 Datenblatt Loctite HB S309 Purbond



Lignum Test Center (LTC)

Laborleitung
Univ.-Prof. DI. Dr.techn.
Gerhard Schickhofer
Inffeldgasse 24/I
A-8010 Graz

Tel.: +43(316)873-4600
Fax: +43(316)873-104600

ltc@tugraz.at
www.tugraz.at
www.lignum.at

DVR: 008 1833 UID: ATU 574 77 929

An Herrn
Mag. Heimo Eduard de Monte
Projektentwicklung
Predlitz 20
8863 Predlitz

Graz, am 10. Okt. 2016

PRÜFBERICHT

NR. PB16-487-1-01

PRÜFUNGEN ZUR BESTIMMUNG DER MECHANISCHEN EIGENSCHAFTEN VON BSP MIT XML-QUERLAGEN GEMÄß ÖNORM EN 408

Auftragsnummer: PA16-487-1
Auftraggeber: Mag. Heimo Eduard de Monte
Kontaktperson: DI Florian de Monte
Auftragsdatum: 25.07.2016
Prüfdatum: 13.-14.09.2016
Probeneingangsdatum: 29.07.2016



Textseiten gesamt: 40/ davon Bericht: 16, Anlage: 24

Soweit das Versuchsmaterial nicht verbraucht ist, wird es nach 4 Wochen vernichtet, falls nicht längere Aufbewahrung beantragt wird.



Dieser Prüfbericht darf nur vollständig und unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge oder Änderungen bedürfen der Genehmigung der Leitung des Lignum Test Centers bzw. des Zeichnungsberechtigten. Prüfberichte ohne Unterschrift und Stempel haben keine Gültigkeit.

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeines	4
2	Material	4
2.1	Grundmaterial und Herstellung	4
2.1.1	Grundmaterial	4
2.1.2	Herstellung der Prüfkörper	4
2.2	Probe B – Brettsperrholz mit XML-Querlagen, Biegung aus der Plattenebene	5
2.3	Probe S – Brettsperrholz, Rollschub bei Biegung aus der Plattenebene.....	6
3	Prüfverfahren	6
3.1	Allgemeine Prüfverfahren.....	6
3.1.1	Bestimmung der Maße der Prüfkörper	6
3.1.2	Bestimmung der Feuchte der Prüfkörper	6
3.1.3	Bestimmung der Rohdichte der Prüfkörper	6
3.2	Prüfverfahren der Probe B – Biegung aus der Plattenebene	6
3.2.1	Prüfserien DL-B und DQ-B	7
3.3	Prüfverfahren der Probe S – Rollschub bei Biegung aus der Plattenebene	8
4	Prüfergebnisse	9
4.1	Prüfergebnisse der Probe DL-B und DQ-B	10
4.2	Prüfergebnisse der Probe DL-S und DQ-S	12
5	Zusammenfassung	15
6	Normenverzeichnis und Quellenangaben	16
A	Anhang – Berechnungsgrundlagen und Prüfergebnisse	17
A-1.	Berechnungsgrundlagen	17
A-1.1	Belastung aus der Plattenebene	17
A-1.1.1	Biegesteifigkeit K_{CLT}	17
A-1.1.2	Schubsteifigkeit S_{CLT}	17
A-1.1.3	Biegespannung, Schub- und Rollschubspannung	17
A-1.1.4	Biege-E-Modul lokal, global	17
A-2.	Prüfungsergebnisse	18
A-2.1	Probe DL-B – Brettsperrholz, Biegung aus der Plattenebene, Hirnholzanteil 40 %	18
A-2.2	Probe DQ-B – Brettsperrholz, Biegung aus der Plattenebene, Hirnholzanteil 60 %	20
A-2.3	Probe DL-S – Brettsperrholz, Rollschub, Hirnholzanteil 40 %	22
A-2.4	Probe DQ-S – Brettsperrholz, Rollschub, Hirnholzanteil 60 %	23
B	Kraft-Zeit- und Kraft-Weg-Diagramme	25
B-1.	Probe DL-B – Biegung aus der Plattenebene, Hirnholzanteil 40 %.....	25
B-2.	Probe DQ-B – Biegung aus der Plattenebene, Hirnholzanteil 60 %.....	27
B-3.	Probe DL-S – Rollschub, Hirnholzanteil 40 %	28
B-4.	Probe DQ-S – Rollschub, Hirnholzanteil 60 %	30
C	Bilder	31
C-1.	Probe DL-B	31

10.10.2016	Lignum Test Center	Seite 3 von 40
 <p>Graz University of Technology</p>	<p>PRÜFBERICHT Nr. PB16-487-1-01</p>	 <p>study research engineering test center</p>

C-2.	Probe DQ-B.....	34
C-3.	Probe DL-S	36
C-4.	Probe DQ-S.....	39

10.10.2016	Lignum Test Center	Seite 4 von 40
 TU Graz Graz University of Technology	PRÜFBERICHT Nr. PB16-487-1-01	 lignum study research engineering test center

1 Allgemeines

Herr DI Florian de Monte (im Folgenden kurz Auftraggeber (AG)) beauftragte das Prüflabor Technische Universität Graz, Institut für Holzbau und Holztechnologie, Lignum Test Center mit der Durchführung von Prüfungen zur Ermittlung der mechanischen Eigenschaften von Brettsperrholz mit sogenannten „XML“-Querlagen nach ÖNORM EN 408:2012 [2] bzw. in Anlehnung an die ÖNORM EN 16351:2015 [4].

2 Material

2.1 Grundmaterial und Herstellung

2.1.1 Grundmaterial

Der Auftraggeber lieferte das Grundmaterial für die Herstellung der fünfschichtigen Brettsperrholz-Prüfkörper. Als Längslagen werden Fichtenbretter, größtenteils Seitenware mit Nenn-Brettdicken von 19 mm bereitgestellt.

Als Grundmaterial für die Querlagen wurden sogenannte „XML-Platten“ vom AG geliefert. Dabei handelt es sich um seitenverklebte, in Längsrichtung stumpf gestoßene Brettsperrholzabschnitte, welche von den Schmalseiten von fünfschichtigen BSP-Plattenabschnitten (5s – 19/19/19/19/19 mm) geschnitten wurden, siehe Abbildung 1. Der Hirnholzanteil der XML-Platte wird durch die Entnahme der Abschnitte in Längs- oder in Querrichtung beeinflusst. Der AG lieferte für die Prüfkörper der Serie „DL“ XML-Platten mit einem Hirnholzanteil von 40 % und für die Prüfserie „DQ“ XML-Platten mit 60 %igem Hirnholzanteil.

2.1.2 Herstellung der Prüfkörper

Die Prüfkörper wurden fünfschichtig mit drei Längs- und zwei XML-Querlagen hergestellt. Die Längslagen wiesen zum Teil große Fugen zwischen den einzelnen Brettern auf. Für die Herstellung der Querlagen wurden aus den XML-Platten Abschnitte mit den erforderlichen Größen entnommen und seitenverklebt, siehe Abbildung 1. Die Verklebung der Einzellagen erfolgte unter Verwendung des Klebstoffes Purbond HB S 309. In einer hydraulischen Presse unter einem Pressdruck von 0,5 N/mm² erfolgte die Aushärtung des Klebstoffes innerhalb von 1,5 Stunden.

Nach der Verklebung wurden die Prüfkörper auf ihr Endmaß gehobelt.

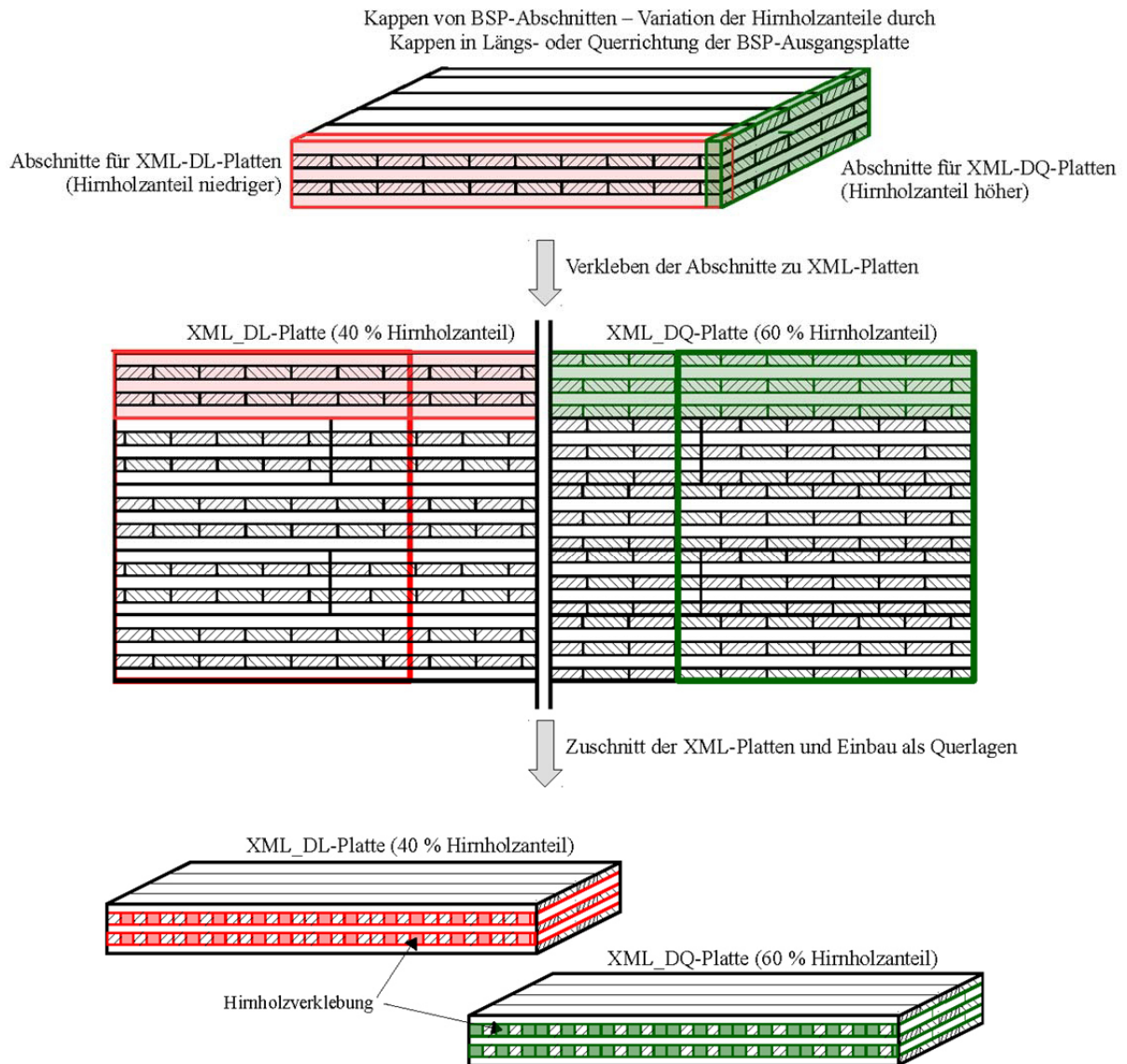


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Herstellung der „XML-Platten“ und Einbau als Querlagen

2.2 Probe B – Brettsper Holz mit XML-Querlagen, Biegung aus der Plattenebene

Zur Bestimmung der mechanischen Biegekenngößen nach ÖNORM EN 408:2012 bzw. nach ÖNORM EN 16351:2015 der Probe B wurden in Summe 15 Brettsperholzelemente mit XML-Querlagen geprüft. Die Prüferserie DL-B (Hirnholzanteil der Querlage 40 %) umfasste 10 Prüfkörper und die Prüferserie DQ-B (Hirnholzanteil der Querlage 60 %) umfasste 5 Prüfkörper. Die Nennstärke der Prüfkörper betrug 120 mm. Die Abmessungen und der Aufbau der Prüfkörper sind Tabelle 1 zu entnehmen.

Bezeichnung	Lagen/Aufbau [-/mm]	Hirnholzanteil in der Querlage [%]	Abmessungen L/b/d [mm]	Anzahl geliefert/geprüft n [-/-]
DQ-B	5/19-31,5-19-31,5-19 LL-QL-LL-QL-LL	60 %	2640/460/120	5/5
DL-B	5/19-31,5-19-31,5-19 LL-QL-LL-QL-LL	40 %	2640/460/120	10/10

Tabelle 1: Prüfkörper – Proben DQ-B und DL-B – Brettsper Holz, Biegung aus der Plattenebene

2.3 Probe S – Brettsper Holz, Rollschub bei Biegung aus der Plattenebene

Zur Bestimmung der Rollschubfestigkeit nach ÖNORM EN 408:2012 bzw. nach ÖNORM EN 16351:2015 der Probe S wurden in Summe 15 Brettsper Holzelemente mit XML-Querlagen geprüft. Die Prüfserie DL-S (Hirnholzanteil der Querlage 40 %) umfasste 10 Prüfkörper und die Prüfserie DQ-S (Hirnholzanteil der Querlage 60 %) umfasste 5 Prüfkörper. Die Nennstärke der Prüfkörper betrug 120 mm. Die Abmessungen und der Aufbau der Prüfkörper sind Tabelle 2 zu entnehmen.

Bezeichnung	Lagen/Aufbau [-/mm]	Hirnholzanteil in der Querlage [%]	Abmessungen L/b/d [mm]	Anzahl geliefert/geprüft n [-/-]
DQ-S	5/19-31,5-19-31,5-19 LL-QL-LL-QL-LL	60 %	1200/460/120	5/5
DL-S	5/19-31,5-19-31,5-19 LL-QL-LL-QL-LL	40 %	1200/460/120	10/10

Tabelle 2: Prüfkörper – Proben DQ-S und DL-S – Brettsper Holz, Rollschub bei Biegung aus der Plattenebene

3 Prüfverfahren

3.1 Allgemeine Prüfverfahren

3.1.1 Bestimmung der Maße der Prüfkörper

Die Maße der Prüfkörper wurden mit einer Fehlergrenze von 1 % gemessen. Alle Messungen wurden direkt vor der Prüfung durchgeführt. Die Maße des Querschnitts (Breite und Dicke) wurden als Mittel aus drei über die Länge verteilten Einzelmessungen an jedem Prüfkörper ermittelt. Die Länge wurde jeweils einmal gemessen.

3.1.2 Bestimmung der Feuchte der Prüfkörper

Die Feuchte der Prüfkörper der Brettsper Holzelemente wurde gemäß ÖNORM ISO 3130:1994 [5] bestimmt.

3.1.3 Bestimmung der Rohdichte der Prüfkörper

Die Rohdichte wurde für alle Prüfkörper aus den Abmessungen und der Masse des gesamten Prüfkörpers ermittelt.

3.2 Prüfverfahren der Probe B – Biegung aus der Plattenebene

Die Biegeprüfungen an den Prüfkörpern der Probe B erfolgten gemäß ÖNORM EN 408:2012 bzw. ÖNORM EN 16351:2015 mit einer Spannweite von $l = 21 \cdot h$. Die Abmessungen der Prüfkonfiguration sind in der Tabelle 3 ersichtlich (siehe auch Abbildung 2).

3.2.1 Prüfserien DL-B und DQ-B

Bezeichnung	Zeichen [-]	Wert [mm]	Anmerkung [-]
freie Spannweite	l	2520	$21 \cdot h$
Messlänge E-Modul	l_1	600	$5 \cdot h$
Abstand Auflager zur Lasteinleitung	a_1	900	$7,5 \cdot h$
Abstand der Lasteinleitungspunkte	a_2	720	$6 \cdot h$
Nennbreite	b	460	
Nennhöhe	h	120	
Gesamtlänge	L	2640	$\geq 22 \cdot h$
Auflagerbreite	b_a	60	$\leq h/2$

Tabelle 3: Abmessungen der Prüfkongfiguration für die Proben DL-B und DQ-B

Die Prüfung der Prüfserien DL-B und DQ-B erfolgten an einer Universalprüfmaschine Zwick Universal 275 (Lignum U_275), die eine stufenlos steuerbare weg- und/oder kraftgesteuerte Aufbringung von Kräften bis maximal 275 kN erlaubt. Die verwendete Belastungsvorrichtung erlaubte es, die auf den Prüfkörper aufgebrachte Last mit einer Fehlergrenze von weniger als 1 % zu messen. Die lokale Verformungsmessung in der Mitte des Referenzbalkens wurde mit induktiven Wegaufnehmern des Typs WA 10 realisiert.

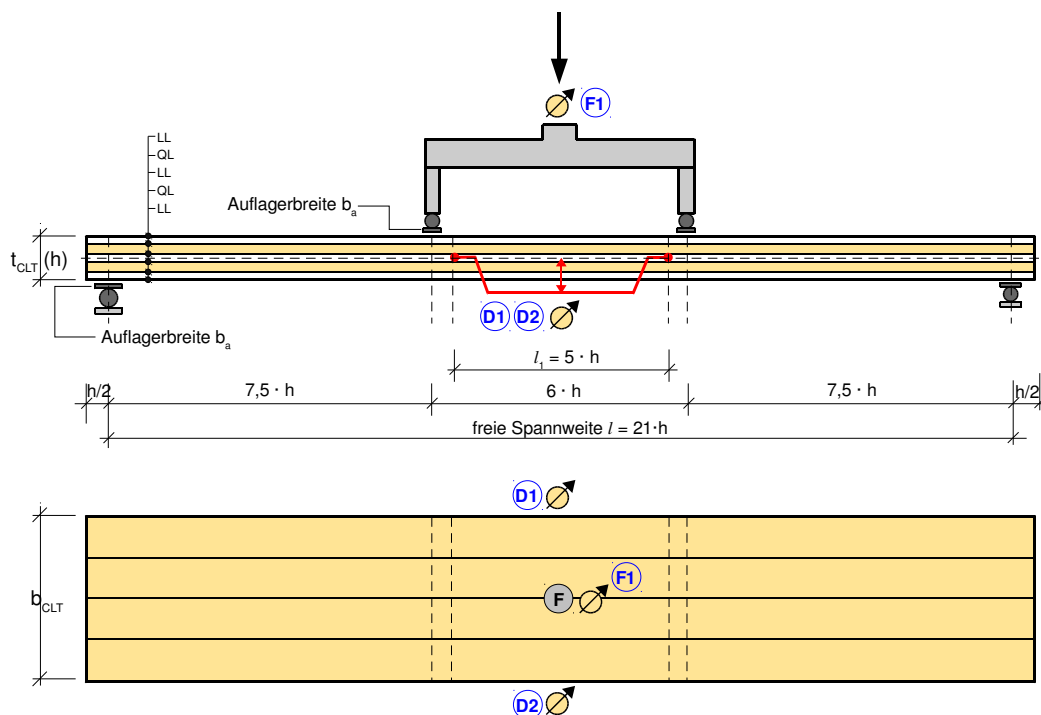


Abbildung 2: Schema der Prüfkongfiguration der Biegeprüfung zur Ermittlung der mechanischen Biegeeigenschaften mit lokaler Verformungsmessung bei Belastung aus der Plattenebene gemäß ÖNORM EN 408:2012

Zur Vermeidung der Beeinflussung der Ermittlung der Steifigkeit durch lokale Störstellen wurde bis zu einem Lastniveau, das in etwa 40 % des geschätzten Bruchlastniveaus entspricht, eine Hystereseschleife gefahren. Die Prüfgeschwindigkeit wurde derart gewählt, dass die Prüfzeit des zweiten Astes der Hysterese plus der Prüfzeit bis zur Kraft F_1 innerhalb von 300 ± 120 s zum Bruch des Prüfkörpers führte.

Die Ermittlung der charakteristischen Biegefestigkeit erfolgte nach ÖNORM EN 14358:2007 [3].

Die detaillierten Ergebnisse der Vier-Punkt-Biegeprüfungen nach ÖNORM EN 408:2012 sind in Tabelle A- 1 bis Tabelle A- 4 im Anhang A-2, die zugehörigen Kraft-Weg-Diagramme in Anhang B-1 und B-2 in Abbildung B- 1 bis Abbildung B- 6 und die Bruchbilder in Anhang C-1 bis C-2 dargestellt.

3.3 Prüfverfahren der Probe S – Rollschub bei Biegung aus der Plattenebene

Die Ermittlung der Rollschubfestigkeit der Proben DL-S und DQ-S erfolgte in Anlehnung an eine Vier-Punkt-Biegeprüfung gemäß ÖNORM EN 408:2012 bzw. nach ÖNORM EN 16351:2015. Um als Bruchursache einen Schubbruch (Rollschubversagen) zu erhalten, wurde der Abstand zwischen Auflager und nächst gelegener Lasteinleitung sowie der Abstand der Lasteinleitungspunkte auf $a_1 = 3 \cdot h$ reduziert.

Die Abmessungen der Prüfkongfiguration sind in Tabelle 4, der Prüfaufbau in Abbildung 3 ersichtlich.

Bezeichnung	Zeichen [-]	Wert [mm]	Anmerkung [-]
freie Spannweite	l	1080	$9 \cdot h$
Messlänge globaler E-Modul	l_{global}	1080	$9 \cdot h$
Abstand Auflager zur Lasteinleitung	a_1	360	$3 \cdot h$
Abstand der Lasteinleitungspunkte	a_2	360	$3 \cdot h$
Nennbreite	b	460	
Nennhöhe	h	120	
Gesamtlänge	L	1200	$\geq 10 \cdot h$
Auflagerbreite	b_a	60	$\leq h/2$

Tabelle 4: Abmessungen der Prüfkongfiguration für die Proben DL-S und DQ-S

Die Prüfung der Prüfserien DL-S und DQ-S erfolgten an einer Universalprüfmaschine Zwick Universal 275 (Lignum U_275), die eine stufenlos steuerbare weg- und/oder kraftgesteuerte Aufbringung von Kräften bis maximal 275 kN erlaubt. Die verwendete Belastungsvorrichtung erlaubte es, die auf den Prüfkörper aufgebrachte Last mit einer Fehlergrenze von weniger als 1 % zu messen. Die globale Verformungsmessung in der Mitte des Referenzbalkens wurde mit induktiven Wegaufnehmern des Typs WA 10 realisiert.

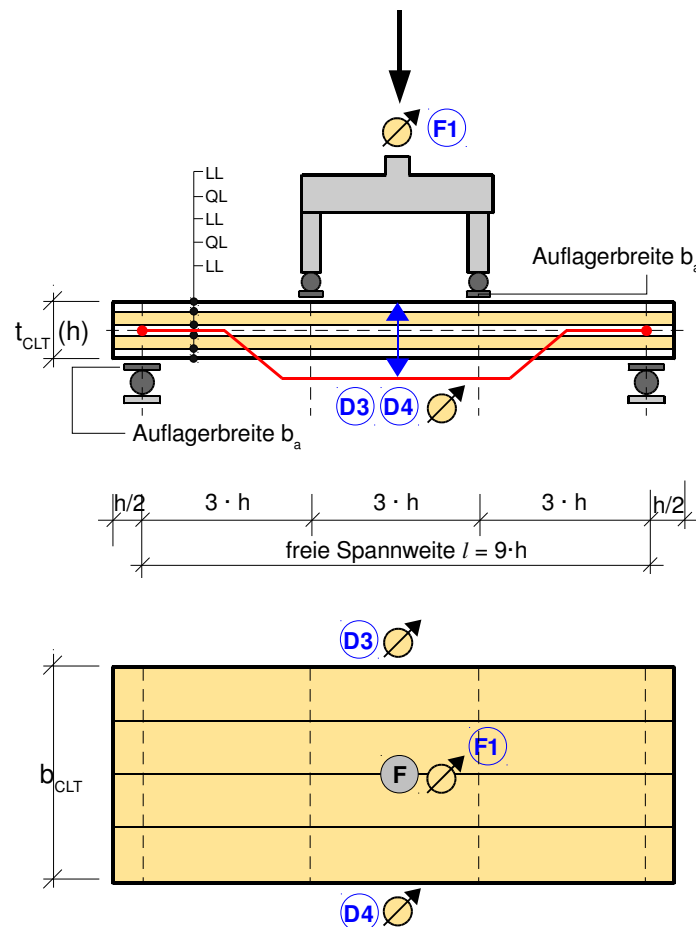


Abbildung 3: Schema der Prüfkongfiguration der Biegeprüfung zur Ermittlung der mechanischen Rollschub- und Biegeeigenschaften mit globaler Verformungsmessung bei Belastung aus der Plattenebene gemäß ÖNORM EN 408:2012

Zur Vermeidung der Beeinflussung der Ermittlung der Steifigkeit durch lokale Störstellen wurde bis zu einem Lastniveau, das in etwa 40 % des geschätzten Bruchlastniveaus entspricht, eine Hystereseschleife gefahren. Die Prüfgeschwindigkeit wurde derart gewählt, dass die Prüfzeit des zweiten Astes der Hysterese plus der Prüfzeit bis zur Kraft F_1 innerhalb von 300 ± 120 s zum Bruch des Prüfkörpers führte.

Die Ermittlung der charakteristischen Rollschubfestigkeit erfolgt nach ÖNORM EN 14358:2007.

Die detaillierten Ergebnisse der Vier-Punkt-Biegeprüfungen nach ÖNORM EN 408:2012 sind in Tabelle A- 5 bis Tabelle A- 8 im Anhang A-2, die zugehörigen Kraft-Weg-Diagramme in Anhang B-3 und B-4 in Abbildung B- 7 bis Abbildung B- 12 und die Bruchbilder in Anhang C-3 bis C-4 dargestellt.

4 Prüfergebnisse

Den Spannungs- und Verformungsberechnungen der Proben B und S wird der Timoshenko-Balken zugrunde gelegt. Die Berechnungsgrundlagen für die Spannungs- und Steifigkeitsermittlung sind in Anhang A-1 ersichtlch.

4.1 Prüfergebnisse der Probe DL-B und DQ-B

Der mittlere Feuchtegehalt der Probe DL-B betrug zum Zeitpunkt der Prüfung 13,1 % und der Probe DQ-B 13,2 %. Es erfolgte keine Holzfeuchteanpassung der Rohdichte sowie der einzelnen lokalen Biege-E-Moduln gemäß ÖNORM EN 384:2010 [1].

Bei der Probe DL-B wurde als Bruchursache bei 9 von 10 Prüfkörpern ein Biegeversagen aus einer Kombination von lokaler Schrägfaser, Buchs und Einzellästen festgestellt. Als sekundäre Bruchursache konnte bei 8 Prüfkörpern ein Versagen auf Schub der untern Decklage bzw. ein Rollschubversagen der unteren Querlage verzeichnet werden. Bei sieben Prüfkörpern war ein Versagen der Klebefugen zwischen der unteren Deck- und der Querlage bzw. zwischen der unteren Querlage und der Mittellage ersichtlich (DL-B-01, DL-B-03, DL-B-04, DL-B-05, DL-B-06, DL-B-07, DL-B-09). Dabei konnte deutlich festgestellt werden, dass im Bereich der Hirnholzabschnitte der XML-Lagen kein Klebstoffilm mehr ersichtlich war, im Bereich der querliegenden Abschnitte der XML-Lage der Klebstoffilm deutlich erkennbar und ein Versagen im angrenzenden Holz zu finden ist, siehe Abbildung 4.





Abbildung 4: Bruchbild mit Klebeversagen zwischen unterer Querlage (XML) und Mittellage sowie Bruchbild mit Klebeversagen zwischen unterer Decklage und Querlage – DL-B-04 und DL-B-06



Abbildung 5: Bruchbild mit Klebeversagen zwischen unterer Querlage (XML) und Mittellage sowie Bruchbild mit Klebeversagen zwischen unterer Decklage und Querlage – DL-B-07 und DL-B-09

Der Prüfkörper DL-B-06 zeigte als Bruchursache ein Schubversagen der unteren Decklage in Verbindung mit einem Versagen der Klebefuge zwischen der unteren Decklage und der Querlage.

10.10.2016	Lignum Test Center	Seite 11 von 40
 Graz University of Technology	PRÜFBERICHT Nr. PB16-487-1-01	 study research engineering test center

Bei fünf Prüfkörpern wurde das Auftreten von Druckfalten an der Plattenoberseite festgestellt.

Die in ÖNORM EN 408:2012 geforderte Prüfzeit von 300 ± 120 s wurde von allen Prüfkörpern eingehalten.

Die mittlere Biegespannung wird mit $57,7 \text{ N/mm}^2$, verbunden mit einem Variationskoeffizienten von 15,6 % ermittelt. Die charakteristische Biegefestigkeit nach ÖNORM EN 14358:2007 wird mit $41,9 \text{ N/mm}^2$ bestimmt. Die mittlere Rollschubspannung wird mit $1,03 \text{ N/mm}^2$, verbunden mit einem Variationskoeffizienten von 15,9 % berechnet. Die mittlere Schubspannung wird mit $1,08 \text{ N/mm}^2$, verbunden mit einem Variationskoeffizienten von 14,9 % bestimmt.

Der mittlere lokale Biege-E-Modul beträgt 16.403 N/mm^2 , verbunden mit einem Variationskoeffizienten von 12,2 %. Der Probekörper DL-B-04 weist einen sehr hohen Biege-E-Modul von 20.635 N/mm^2 auf – die Kontrolle der lokalen Wegmessungen und der Auswertung ergaben keine Auffälligkeiten wodurch der Probekörper in der Auswertung belassen bleibt. Die mittlere Rohdichte wird mit 514 kg/m^3 , der charakteristische Kennwert nach ÖNORM EN 14358:2007 mit 419 kg/m^3 ermittelt.

Bei der Probe DQ-B wurde als Bruchursache bei allen fünf Prüfkörpern ein Biegeversagen aus einer Kombination von lokaler Schrägfaser, Buchs und Einzellasten festgestellt. Als sekundäre Bruchursache konnte bei einem Prüfkörper ein Schubversagen der unteren Decklage verzeichnet werden. Ein Prüfkörper (DQ-B-03) zeigte ein Versagen der Klebefuge zwischen der unteren Deck- und der Querlage. Dabei konnte deutlich festgestellt werden, dass im Bereich der Hirnholzabschnitte der XML-Lagen kein Klebstofffilm mehr ersichtlich war, im Bereich der querliegenden Abschnitte der XML-Lage der Klebstofffilm deutlich erkennbar und ein Versagen im angrenzenden Holz zu finden ist, siehe Abbildung 6.



Abbildung 6: Klebeversagen zwischen unterer Decklage (Zugzone) und XML-Lage – deutliche Unterschiede zwischen den Hirnholzbereichen und den Querlagen der XML-Platte in Bezug auf den Klebstofffilm

Bei vier von fünf Prüfkörpern wurde das Auftreten von Druckfalten an der Plattenoberseite festgestellt.

Die in ÖNORM EN 408:2012 geforderte Prüfzeit von 300 ± 120 s wurde von vier von fünf Prüfkörper eingehalten.

Die mittlere Biegespannung wird mit $49,6 \text{ N/mm}^2$, verbunden mit einem Variationskoeffizienten von 7,7 % ermittelt. Die charakteristische Biegefestigkeit nach ÖNORM EN 14358:2007 wird mit $41,3 \text{ N/mm}^2$ bestimmt. Die mittlere Rollschubspannung wird mit $0,93 \text{ N/mm}^2$, verbunden mit einem Variations-

koeffizienten von 7,7 % berechnet. Die mittlere Schubspannung wird mit 0,97 N/mm², verbunden mit einem Variationskoeffizienten von 7,7 % bestimmt.

Der mittlere lokale Biege-E-Modul beträgt 13.787 N/mm², verbunden mit einem Variationskoeffizienten von 7,7 %. Die mittlere Rohdichte wird mit 500 kg/m³, der charakteristische Kennwert nach ÖNORM EN 14358:2007 mit 468 kg/m³ ermittelt.

In Tabelle 5 sind die Ergebnisse der Biegeprüfungen zur Ermittlung der Biegekenngößen und der Schub- und Rollschubkenngößen der Proben DL-B und DQ-B sowie die zugehörigen Holzfeuchte- und Rohdichtekennwerte ersichtlich.

Prüfserie DL-B						
	f_m	$E_{m,lokal}$	τ_r	τ_v	ρ	u
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[kg/m ³]	[%]
Anzahl [-]	9	10	10	10	10	10
Mittelwert	57,7	16.403	1,03	1,08	514	13,1
Stabw.	9,0	1.999	0,15	0,16	54	0,2 %
COV [%]	15,6 %	12,2 %	14,9 %	14,9 %	10,5 %	1,8 %
charakteristischer Kennwert nach ÖNORM EN 14358	41,9				419	
Prüfserie DQ-B						
	f_m	$E_{m,lokal}$	τ_r	τ_v	ρ	u
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[kg/m ³]	[%]
Anzahl [-]	5	5	5	5	5	5
Mittelwert	49,6	13.787	0,93	0,97	500	13,2
Stabw.	3,8	1.065	0,07	0,08	13	0,5 %
COV [%]	7,7 %	7,7 %	7,7%	7,7%	2,7 %	3,4 %
charakteristischer Kennwert nach ÖNORM EN 14358	41,3				468	



Tabelle 5: Ergebnisse der Prüfungen zur Bestimmung der Biegekenngößen, Schub- und Rollschubspannungen sowie zugehörige Rohdichte- und Holzfeuchtekenngwerte der Proben DL-B und DQ-B

Die Einzelergebnisse der Proben DL-B und DQ-B sowie detaillierte Angaben zur Auswertung finden sich in Anhang A-1 sowie in Tabelle A- 1 bis Tabelle A- 4 im Anhang A-2, die zugehörigen Kraft-Weg-Diagramme in Anhang B-1 und B-2 in Abbildung B- 1 bis Abbildung B- 6 und die Bruchbilder in Anhang C-1 bis C-2.

4.2 Prüfergebnisse der Probe DL-S und DQ-S

Der mittlere Feuchtegehalt der Probe DL-S betrug zum Zeitpunkt der Prüfung 13,0 % und der Probe DQ-S 13,2 %. Es erfolgte keine Holzfeuchteanpassung der Rohdichte sowie der einzelnen lokalen Biege-E-Moduln gemäß ÖNORM EN 384:2010 [1].

Bei der Probe DL-S konnte als Bruchursache bei allen Prüfkörpern ein Versagen auf Rollschub in den XML-Querlagen beobachtet werden, welches nur in den Bereichen mit Querlagen und nicht in den Hirnholzbereichen auftritt. Acht von 10 Prüfkörpern wiesen ein Schubversagen der unteren Längs- bzw. der Mittellage auf, verbunden mit teilweise offenen Klebefugen zwischen den XML-Querlagen und Längslagen, siehe Abbildung 7.

10.10.2016	Lignum Test Center	Seite 13 von 40
 Graz University of Technology	PRÜFBERICHT Nr. PB16-487-1-01	 study research engineering test center

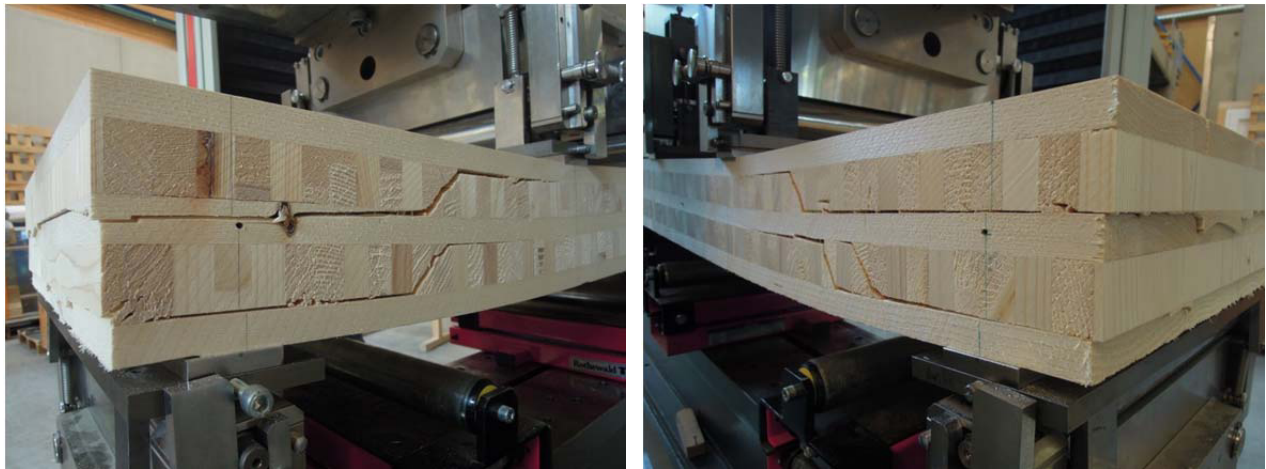


Abbildung 7: Bruchbilder der Probe DL-S – Rollschubversagen in der XML-Querlage; Schubversagen der Längslagen

Die mittlere Rollschubfestigkeit wird mit $1,9 \text{ N/mm}^2$, verbunden mit einem Variationskoeffizienten von $5,1 \%$ ermittelt. Die charakteristische Rollschubfestigkeit nach ÖNORM EN 14358:2007 kann mit $1,7 \text{ N/mm}^2$ berechnet werden. Die in der ÖNORM EN 408:2012 geforderte Prüfzeit von $300 \pm 120 \text{ s}$ wurde von allen Prüfkörpern eingehalten.

Die zugehörige mittlere Biegespannung wird mit $42,3 \text{ N/mm}^2$, die mittlere Schubspannung mit $2,0 \text{ N/mm}^2$, verbunden mit einem Variationskoeffizienten von $5,2 \%$ berechnet. Der mittlere globale Biege-E-Modul beträgt 15.426 N/mm^2 . Durch die besondere Anordnung in den XML-Querlagen kann der Rollschubmodul nicht mit den bekannten Kennwerten für Brettsperrholz angesetzt werden (Vergleichswert $G_{90,90} = 69 \text{ N/mm}^2$). Die XML-Querlage muss mit einem „verschmierten“ Rollschubmodul berücksichtigt werden, welcher abhängig vom Hirnholzanteil der XML-Lage ist und mithilfe einer FE-Analyse ermittelt wurde, siehe auch Anhang A-1. Das tatsächliche Verhalten und die zugehörigen Materialkennwerte für Schub und Rollschub der XML-Lagen sollten in einer vertieften FE-Analyse untersucht werden.

Die mittlere Rohdichte wird mit 473 kg/m^3 , der charakteristische Kennwert nach ÖNORM EN 14358:2007 mit 463 kg/m^3 ermittelt.

Bei der Probe DQ-S konnte bei allen fünf Prüfkörpern ein Rollschubversagen in der XML-Querlage – verbunden mit einem Schubversagen der unteren Längslage sowie teilweise offenen Klebefugen zwischen der unteren Längs- und der Querlage – festgestellt werden. Vier von fünf Prüfkörpern wiesen Druckfalten im Lasteinleitungsbereich auf.

Die mittlere Rollschubfestigkeit wird mit $2,2 \text{ N/mm}^2$, verbunden mit einem Variationskoeffizienten von $4,9 \%$ ermittelt. Die charakteristische Rollschubfestigkeit nach ÖNORM EN 14358:2007 kann mit $2,0 \text{ N/mm}^2$ berechnet werden.

Die zugehörige mittlere Biegespannung wird mit $49,0 \text{ N/mm}^2$, die mittlere Schubspannung mit $2,3 \text{ N/mm}^2$, verbunden mit einem Variationskoeffizienten von $4,9 \%$ berechnet. Der mittlere globale Biege-E-Modul beträgt 17.297 N/mm^2 . Durch die besondere Anordnung in den XML-Querlagen kann der Rollschubmodul nicht mit den bekannten Kennwerten für Brettsperrholz angesetzt werden (Vergleichswert $G_{90,90} = 69 \text{ N/mm}^2$). Die XML-Querlage muss mit einem „verschmierten“ Rollschubmodul berücksichtigt werden, welcher abhängig vom Hirnholzanteil der XML-Lage ist und mithilfe einer FE-Analyse ermittelt wurde,

siehe auch Anhang A-1. Das tatsächliche Verhalten und die zugehörigen Materialkennwerte für Schub und Rollschub der XML-Lagen sollten in einer vertieften FE-Analyse untersucht werden.

Die mittlere Rohdichte wird mit 494 kg/m^3 , der charakteristische Kennwert nach ÖNORM EN 14358:2007 mit 478 kg/m^3 ermittelt.





Abbildung 8: Bruchbilder der Probe DQ-S – Rollschubversagen der XML-Querlage (li); Beispiel einer Druckfalte (re)

Die in ÖNORM EN 408:2012 geforderte Prüfzeit von $300 \pm 120 \text{ s}$ wurde von zwei Prüfkörpern überschritten.

In Tabelle 6 sind die Ergebnisse der Biegeprüfungen zur Ermittlung der Rollschubkenngrößen der Proben DL-S und DL-Q sowie die zugehörigen Holzfeuchte- und Rohdichtekennwerte ersichtlich.

Prüfserie DL-S						
	σ_m	$E_{m,global}$	f_r	τ_v	ρ	u
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[kg/m ³]	[%]
Anzahl [-]	10	10	10	10	10	10
Mittelwert	42,3	15.426	1,9	2,0	473	13,0
Stabw.	2,2	1.088	0,1	0,1	4,9	0,2 %
COV [%]	5,2 %	7,1 %	5,1 %	5,1 %	1,0 %	1,5 %
charakteristischer Kennwert nach ÖNORM EN 14358			1,7		463	
Prüfserie DQ-S						
	σ_m	$E_{m,global}$	f_r	τ_v	ρ	u
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[kg/m ³]	[%]
Anzahl [-]	5	5	5	5	5	5
Mittelwert	49,0	17.297	2,2	2,3	494	13,1
Stabw.	2,3	792	0,11	0,11	6,7	0,1
COV [%]	4,8 %	4,6 %	4,9 %	4,9 %	1,4 %	0,6 %
charakteristischer Kennwert nach ÖNORM EN 14358			2,0			

Tabelle 6: Ergebnisse der Prüfungen zur Bestimmung der Rollschub- und Biegekenngrößen sowie zugehörige Rohdichte- und Holzfeuchtekenwerte der Proben DL-S und DQ-S

10.10.2016	Lignum Test Center	Seite 15 von 40
 Graz University of Technology	PRÜFBERICHT Nr. PB16-487-1-01	 study research engineering test center

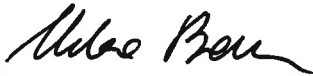
Die Einzelergebnisse der Proben DL-S und DQ-S sowie detaillierte Angaben zur Auswertung finden sich in Anhang A-1 sowie in Tabelle A- 5 bis Tabelle A- 8 im Anhang A-2, die zugehörigen Kraft-Weg-Diagramme in Anhang B-3 und B-4 in Abbildung B- 7 bis Abbildung B- 12 und die Bruchbilder in Anhang C-3 bis C-4 dargestellt.

5 Zusammenfassung

Gemäß vertraglicher Vereinbarung mit dem Auftraggeber Herr Florian den Monte erfolgten Prüfungen zur Ermittlung der mechanischen Eigenschaften von Brettspertholz mit sogenannten „XML“-Querlagen nach ÖNORM EN 408:2012 [2] bzw. in Anlehnung an die ÖNORM EN 16351:2015 [4].

Die zusammengefassten Prüfergebnisse sind dem Abschnitt 4 zu entnehmen. Alle Prüfdaten sowie Kraft-Weg- und Kraft-Zeit-Diagramme sowie Bilder zu den Prüfungen sind in den Anhängen A, B und C angeführt.



Graz, am 10.10.2016



DI Helene Bauer
Sachbearbeiter






Univ.-Prof. DI, Dr.-techn. Gerhard Schickhofer
Laborleitung

10.10.2016	Lignum Test Center	Seite 16 von 40
 <p>TU Graz Graz University of Technology</p>	<p>PRÜFBERICHT Nr. PB16-487-1-01</p>	 <p>lignum study research engineering test center</p>

6 Normenverzeichnis und Quellenangaben

- [1] ÖNORM EN 384:2010-05-15. Bauholz für tragende Zwecke – Bestimmung charakteristischer Werte für mechanische Eigenschaften und Rohdichte
- [2] ÖNORM EN 408:2012-09-01. Holzbauwerke – Bauholz für tragende Zwecke und Brettschichtholz – Bestimmung einiger physikalischer und mechanischer Eigenschaften
- [3] ÖNORM EN 14358:2007-04-01. Holzbauwerke – Berechnung der 5%-Quantile für charakteristische Werte und Annahmekriterien für Proben
- [4] ÖNORM EN 16351:2015-11-15. Holzbauwerke – Brettsperrholz - Anforderungen
- [5] ÖNORM ISO 3130:1994-10-01. Holz – Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes für physikalische und mechanische Prüfungen (Darrverfahren – Labormethode)

10.10.2016	Lignum Test Center	Seite 17 von 40
 TU Graz Graz University of Technology	PRÜFBERICHT Nr. PB16-487-1-01	 lignum study research engineering test center

A Anhang – Berechnungsgrundlagen und Prüfergebnisse

A-1. Berechnungsgrundlagen

A-1.1 Belastung aus der Plattenebene

A-1.1.1 Biegesteifigkeit K_{CLT}

$$K_{CLT} = \sum (E_i \cdot I_i) + \sum (E_i \cdot A_i \cdot e_i^2)$$

- I_i ... Eigenträgheitsmoment der Lage i
 E_i ... E-Modul der Lage i, (Annahme: $E_0 = 13000 \text{ N/mm}^2$, $E_{90} = 350 \text{ N/mm}^2$)
 A_i ... Querschnittsfläche der Lage i
 e_i ... Schwerpunktsabstand der Lage i vom Schwerpunkt des Querschnitts

A-1.1.2 Schubsteifigkeit S_{CLT}

$$S_{CLT} = \frac{S_{tot}}{\kappa}$$

$$S_{tot} = \sum (G_i \cdot b_i \cdot t_i) = \sum (G_i \cdot A_i)$$

$$\kappa = \frac{\sum G_i \cdot t_i}{K_{CLT}^2} \cdot \sum_{t_i} \frac{t_i}{60 \cdot G_i} \cdot (60 \cdot S_0^2 + 20 \cdot E(z) \cdot S_0 \cdot t_i \cdot (t_i + 3 \cdot z_0) + E(z)^2 \cdot t_i^2 \cdot (3 \cdot t_i^2 + 15 \cdot t_i \cdot z_0 + 20 \cdot z_0^2))$$

- S_{tot} ... Schubsteifigkeit eines wölbfreien Querschnitts
 κ ... Schubkorrekturfaktor für den geschichteten Querschnitt
... Schubmodul der Lage i (G_i , $G_{r,i}$), je nach Orientierung;
 G_i Annahme $G = 690 \text{ N/mm}^2$
XML-DL (40 % Hirnholz): $G_r = 185 \text{ N/mm}^2$, XML-DQ (60 % Hirnholz): $G_r = 240 \text{ N/mm}^2$ (→ aus FE-Studie)
 b_i, t_i ... Breite der Lage i, Dicke der Lage i
 S_0 ... statisches Moment der Lage i, abhängig vom Abstand z
 $E(z)$... E-Modul der Lage i, abhängig vom Abstand z
 z_0 ... Randabstand der Lage i

A-1.1.3 Biegespannung, Schub- und Rollschubspannung

$$\sigma_m = \frac{M}{K_{CLT}} \cdot z \cdot E_0$$

$$\tau_{v(r),d} = \frac{V \cdot \sum S_{m,i} \cdot E_i}{K_{CLT} \cdot b_i}$$

- E_0 ... Bezugs-E-Modul, Annahme $E_0 = 13000 \text{ N/mm}^2$
 $S_{m,i}$... statisches Moment der Lage i
 E_i ... E-Modul der Lage i

A-1.1.4 Biege-E-Modul lokal, global

$$E_{m,0,lokal} = \frac{a_1 \cdot l_1^2}{16 \cdot \frac{K_{CLT}}{E_0}} \cdot \frac{\Delta F}{\Delta W}$$

$$E_{m,0,global} = \frac{3 \cdot S_{CLT} \cdot l^2 \cdot a_1 - 4 \cdot S_{CLT} \cdot a_1^3}{\frac{\Delta W}{\Delta F} \cdot 48 \cdot \frac{K_{CLT}}{E_0} \cdot S_{CLT} - a_1 \cdot 24 \cdot \frac{K_{CLT}}{E_0}}$$

- a_1 ... Abstand Auflager-Lasteinleitung
 l_1 ... Bezugslänge für lokalen E-Modul
 E_0 ... Bezugs-E-Modul, Annahme $E_0 = 13000 \text{ N/mm}^2$

A-2. Prüfungsergebnisse

A-2.1 Probe DL-B – Brettsperrholz, Biegung aus der Plattenebene, Hirnholzanteil 40 %

Bezeichnung	Breite b	Dicke d	Länge L	Holzfeuchte u	Rohdichte ρ
	[mm]	[mm]	[mm]	[%]	[kg/m ³]
DL-B-01	460,7	118,8	2.642	13,1%	491
DL-B-02	460,6	118,7	2.642	13,4%	481
DL-B-03	361,1	118,7	2.642	12,9%	607
DL-B-04	360,5	119,1	2.641	13,1%	623
DL-B-05	460,5	118,7	2.647	13,5%	492
DL-B-06	460,2	118,4	2.642	13,3%	487
DL-B-07	460,4	119,0	2.642	12,9%	491
DL-B-08	460,3	118,8	2.642	12,8%	482
DL-B-09	460,6	118,4	2.641	13,0%	488
DL-B-10	460,7	118,6	2.642	12,9%	493
Anzahl	10	10	10	10	10
Min	360,5	118,4	2.641	12,8%	481
Max	460,7	119,1	2.647	13,5%	623
Mittelwert	440,6	118,7	2.642	13,1%	514
Stabw.				0,2%	54
COV				1,8%	10,5%
Faktor k_s					2,079
charakteristischer Wert nach ÖNORM EN 14358					419

Tabelle A- 1: Geometrie, Rohdichte und Holzfeuchte der Probe DL-B

Bezeichnung	F_{max}	f_m	$E_{m,lokal}$	τ_r	τ_v	dF/dw lokal
	[kN]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm]
DL-B-01	85,3	51,1	15.478	0,92	0,96	34.099
DL-B-02	89,8	53,9	15.907	0,97	1,01	34.937
DL-B-03	93,6	71,6	19.137	1,29	1,35	32.954
DL-B-04	97,4	74,1	20.635	1,34	1,40	35.897
DL-B-05	82,9	49,7	14.492	0,89	0,94	31.886
DL-B-06*	93,3	56,3	14.989	1,01	1,06	32.700
DL-B-07	84,9	50,7	15.135	0,91	0,96	33.494
DL-B-08	93,5	56,0	16.466	1,01	1,05	36.285
DL-B-09	89,6	54,0	14.979	0,97	1,01	32.692
DL-B-10	96,9	58,2	16.817	1,05	1,09	36.913
Anzahl	9	9	10	10	10	
Min	82,9	49,7	14.492	0,89	0,94	
Max	97,4	74,1	20.635	1,34	1,40	
Mittelwert	90,4	57,7	16.403	1,03	1,08	
Stabw.	5,3	9,0	1.999	0,15	0,16	
COV	5,9%	15,6%	12,2%	14,9%	14,9%	
charakteristischer Wert nach ÖNORM EN 14358		41,9				

Tabelle A- 2: Ergebnisse der Prüfungen zur Ermittlung der Biegekenngößen der Probe DL-B

A-2.2 Probe DQ-B – Brettsper Holz, Biegung aus der Plattenebene, Hirnholzanteil 60 %

Bezeichnung	Breite b	Dicke d	Länge L	Holzfeuchte u	Rohdichte ρ
	[mm]	[mm]	[mm]	[%]	[kg/m ³]
DQ-B-01	460,8	119,0	2.641	12,6%	497
DQ-B-02	460,3	119,0	2.640	13,3%	514
DQ-B-03	460,6	119,1	2.642	13,1%	494
DQ-B-04	460,5	119,1	2.642	13,0%	481
DQ-B-05	460,3	119,1	2.641	13,9%	512
Anzahl	5	5	5	5	5
Min	460,3	119,0	2.640	12,6%	481
Max	460,8	119,1	2.642	13,9%	514
Mittelwert	460,5	119,1	2.641	13,2%	500
Stabw.				0,5%	13
COV				3,4%	2,7%
Faktor k_s					2,352
charakteristischer Wert nach ÖNORM EN 14358					468

Tabelle A- 3: Geometrie, Rohdichte und Holzfeuchte der Probe DQ-B

Bezeichnung	F_{max}	f_m	$E_{m,lokal}$	τ_r	τ_v	dF/dw lokal
	[kN]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm]
DQ-B-01	80,9	47,2	13.745	0,88	0,92	30.416
DQ-B-02	94,0	54,9	14.662	1,03	1,07	32.441
DQ-B-03	88,3	51,5	13.532	0,97	1,01	30.015
DQ-B-04	77,1	44,9	12.168	0,84	0,88	27.030
DQ-B-05	85,2	49,6	14.827	0,93	0,97	32.935
Anzahl	5	5	5	5	5	
Min	77,1	44,9	12.168	0,84	0,88	
Max	94,0	54,9	14.827	1,03	1,07	
Mittelwert	85,1	49,6	13.787	0,93	0,97	
Stabw.	6,5	3,8	1.065	0,07	0,08	
COV	7,7%	7,7%	7,7%	7,7%	7,7%	
charakteristischer Wert nach ÖNORM EN 14358		41,3				

Tabelle A- 4: Ergebnisse der Prüfungen zur Ermittlung der Biegekenngößen der Probe DQ-B

A-2.3 Probe DL-S – Brettsperrholz, Rollschub, Hirnholzanteil 40 %

Bezeichnung	Breite b	Dicke d	Länge L	Holzfeuchte u	Rohdichte ρ
	[mm]	[mm]	[mm]	[%]	[kg/m ³]
DL-S-01	460,4	118,9	1.200	13,1%	482
DL-S-02	460,5	119,0	1.199	13,0%	478
DL-S-03	460,4	118,9	1.199	12,7%	471
DL-S-04	460,5	118,7	1.199	13,2%	474
DL-S-05	461,1	118,7	1.199	13,2%	478
DL-S-06	460,3	118,8	1.200	12,8%	466
DL-S-07	460,5	118,6	1.200	12,7%	468
DL-S-08	460,8	118,5	1.200	12,9%	471
DL-S-09	460,6	118,9	1.199	13,1%	473
DL-S-10	460,5	118,9	1.199	12,8%	472
Anzahl	10	10	10	10	10
Min	460,28	118,52	1199	12,7%	466
Max	461,11	119,00	1200	13,2%	482
Mittelwert	460,56	118,79	1199,4	13,0%	473
Stabw.				0,2%	4,9
COV				1,5%	1,0%
Faktor k_s					2,079
charakteristischer Wert nach ÖNORM EN 14358					463

Tabelle A- 5: Geometrie, Rohdichte und Holzfeuchte der Probe DL-S

Bezeichnung	F_{max}	σ_m	$E_{m,global}$	f_r	τ_v	dF/dw_{global}
	[kN]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm]
DL-S-01	179,2	42,9	14.546	1,93	2,02	20.434
DL-S-02	166,5	39,8	14.896	1,79	1,87	20.777
DL-S-03	172,8	41,4	16.082	1,86	1,95	21.893
DL-S-04	191,3	45,9	15.263	2,06	2,16	21.052
DL-S-05	174,5	41,8	16.766	1,88	1,97	22.463
DL-S-06	173,5	41,6	16.415	1,87	1,96	22.134
DL-S-07	188,2	45,3	16.570	2,03	2,12	22.209
DL-S-08	182,6	43,9	15.936	1,97	2,06	21.609
DL-S-09	164,2	39,3	14.117	1,77	1,85	20.014
DL-S-10	171,1	41,0	13.667	1,84	1,93	19.526
Anzahl	10	10	10	10	10	
Min	164,2	39,3	13.667	1,77	1,85	
Max	191,3	45,9	16.766	2,06	2,16	
Mittelwert	176,4	42,3	15.426	1,90	1,99	
Stabw.	8,9	2,2	1.088	0,10	0,10	
COV	5,0%	5,2%	7,1%	5,1%	5,1%	
charakteristischer Wert nach ÖNORM EN 14358				1,71		

Tabelle A- 6: Ergebnisse der Prüfungen zur Ermittlung der Biege- und Rollschubkenngrößen der Probe DL-S

A-2.4 Probe DQ-S – Brettsperrholz, Rollschub, Hirnholzanteil 60 %

Bezeichnung	Breite b	Dicke d	Länge L	Holzfeuchte u	Rohdichte ρ
	[mm]	[mm]	[mm]	[%]	[kg/m ³]
DQ-S-01	460,4	119,0	1.200	13,2%	490
DQ-S-02	460,5	119,0	1.200	13,1%	505
DQ-S-03	460,4	118,9	1.200	13,1%	492
DQ-S-04	460,4	118,8	1.200	13,1%	496
DQ-S-05	460,2	118,5	1.200	13,0%	488
Anzahl	5	5	5	5	5
Min	460,23	118,49	1200	13,0%	488
Max	460,46	118,99	1200	13,2%	505
Mittelwert	460,36	118,84	1200	13,1%	494
Stabw.				0,1%	6,7
COV				0,6%	1,4%
Faktor k_s					2,352
charakteristischer Wert nach ÖNORM EN 14358					478

Tabelle A- 7: Geometrie, Rohdichte und Holzfeuchte der Probe DQ-S

Bezeichnung	F_{max}	σ_m	$E_{m,global}$	f_r	τ_v	dF/dw_{global}
	[kN]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm]
DQ-S-01	209,8	50,1	16.432	2,26	2,36	23792
DQ-S-02	216,3	51,7	17.466	2,33	2,43	24863
DQ-S-03	208,8	49,9	16.787	2,25	2,35	24143
DQ-S-04	198,5	47,6	18.510	2,14	2,24	25797
DQ-S-05	189,8	45,8	17.290	2,05	2,15	24423
Anzahl	5	5	5	5	5	
Min	189,8	45,8	16.432	2,05	2,15	
Max	216,3	51,7	18.510	2,33	2,43	
Mittelwert	204,6	49,0	17.297	2,20	2,31	
Stabw.	10,4	2,3	792	0,11	0,11	
COV	5,1%	4,8%	4,6%	4,9%	4,9%	
charakteristischer Wert nach ÖNORM EN 14358				2,0		

Tabelle A- 8: Ergebnisse der Prüfungen zur Ermittlung der Biege- und Rollschubkenngrößen der Probe DQ-S

B Kraft-Zeit- und Kraft-Weg-Diagramme

B-1. Probe DL-B – Biegung aus der Plattenebene, Hirnholzanteil 40 %

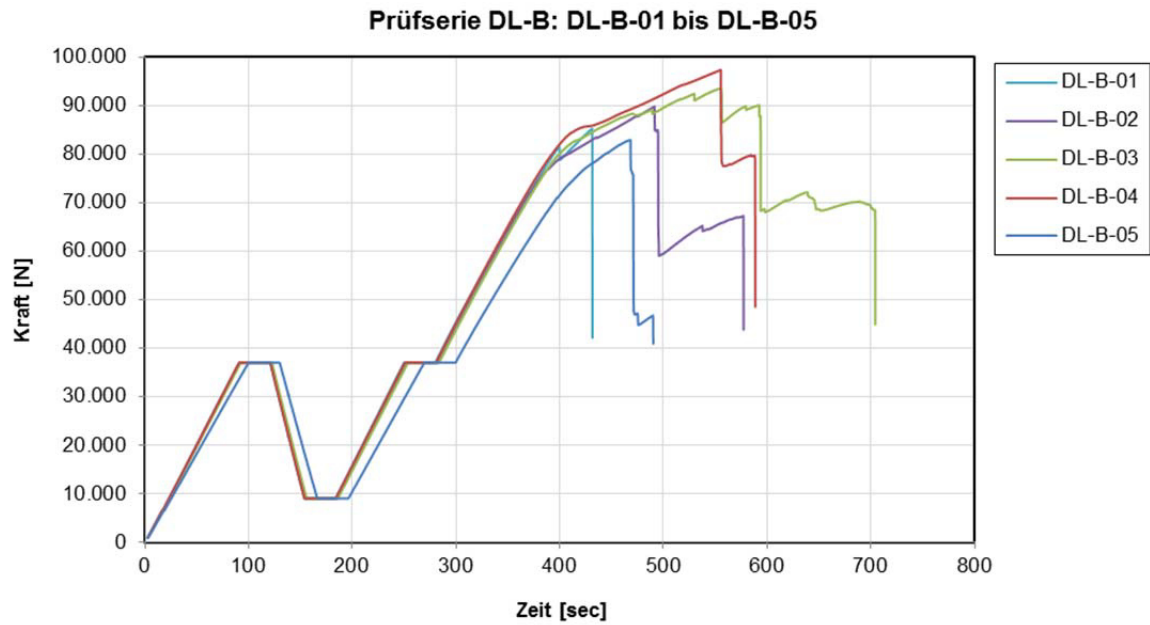


Abbildung B- 1: Kraft-Zeit-Diagramm der Prüfkörper DL-B-01 bis DL-B-05

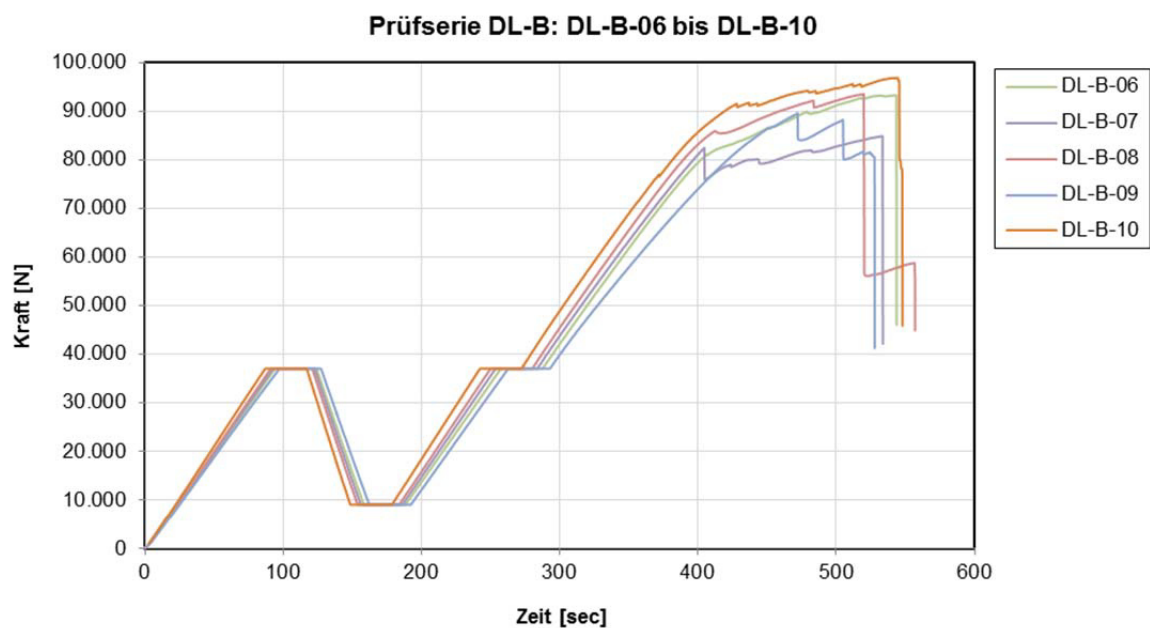


Abbildung B- 2: Kraft-Zeit-Diagramm der Prüfkörper DL-B-06 bis DL-B-10

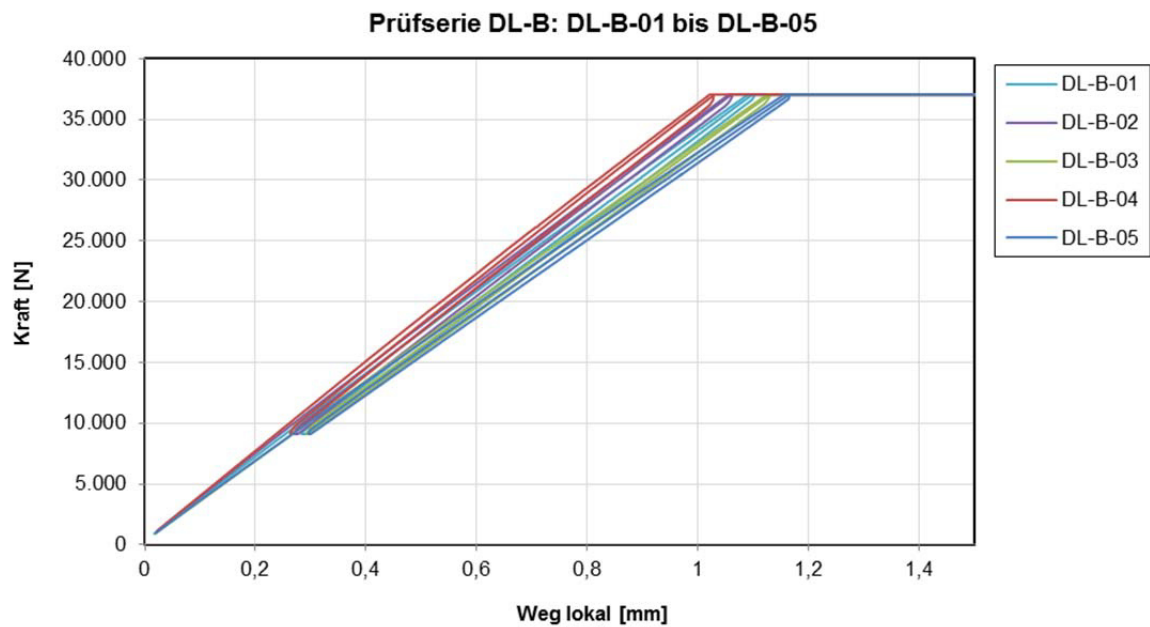


Abbildung B- 3: Kraft-Weg (lokal)-Diagramm der Prüfkörper DL-B-01 bis DL-B-05

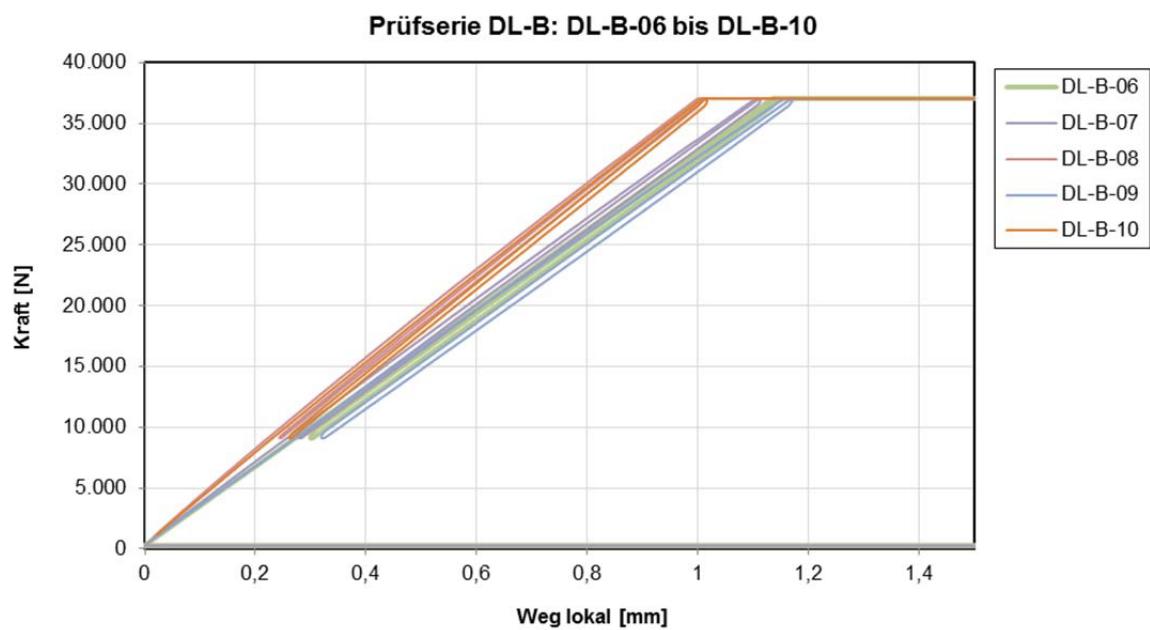


Abbildung B- 4: Kraft-Weg (lokal)-Diagramm der Prüfkörper DL-B-06 bis DL-B-10

B-2. Probe DQ-B – Biegung aus der Plattenebene, Hirnholzanteil 60 %

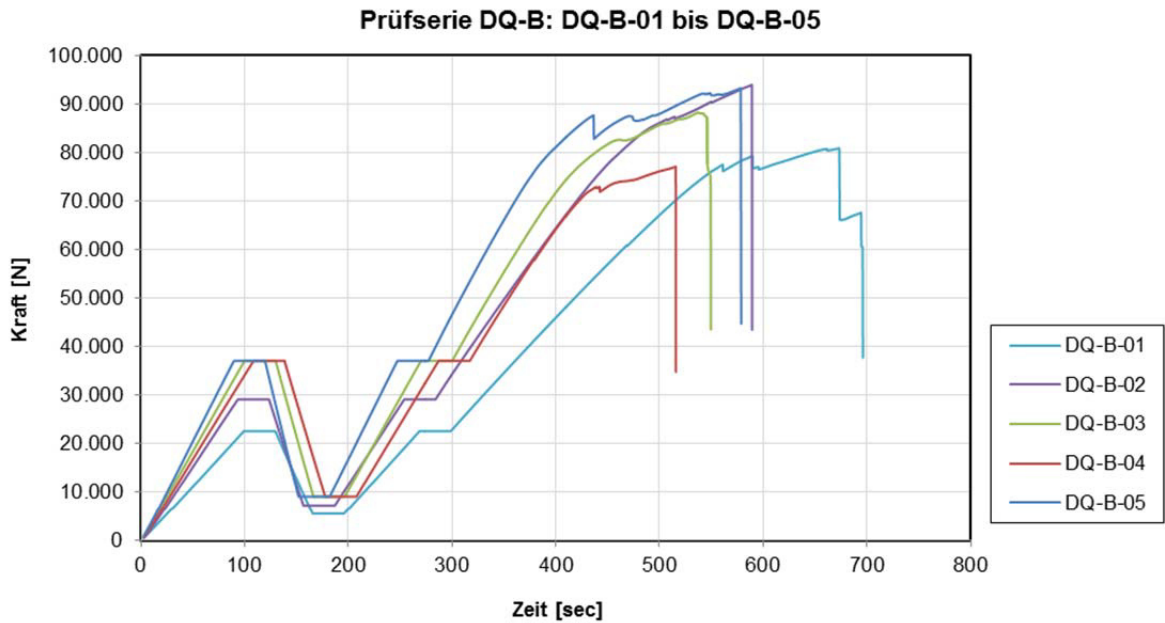


Abbildung B- 5: Kraft-Zeit-Diagramm der Prüfkörper DQ-B-01 bis DQ-B-05

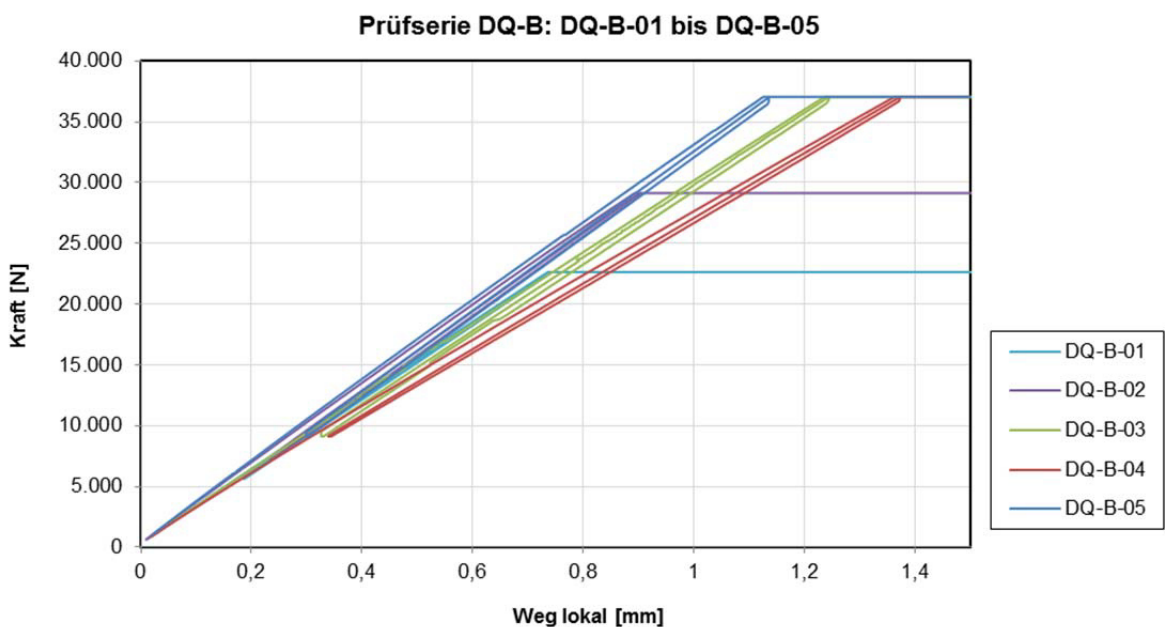


Abbildung B- 6: Kraft-Weg (lokal)-Diagramm der Prüfkörper DQ-B-01 bis DQ-B-05

B-3. Probe DL-S – Rollschub, Hirnholzanteil 40 %

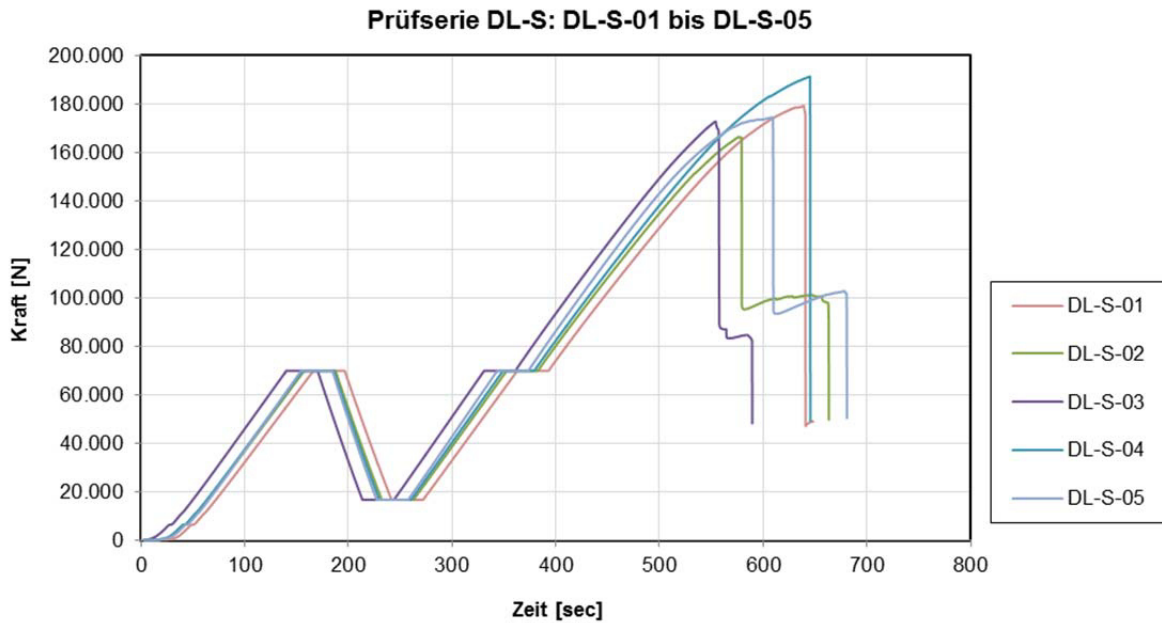


Abbildung B- 7: Kraft-Zeit-Diagramm der Prüfkörper DL-S-01 bis DL-S-05

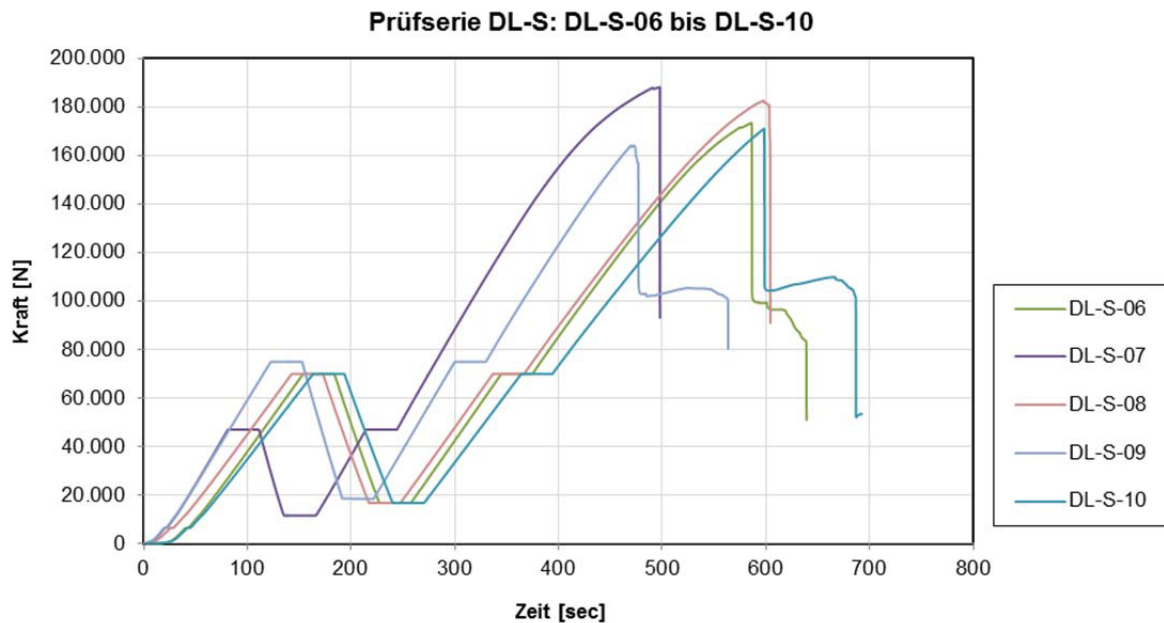


Abbildung B- 8: Kraft-Zeit-Diagramm der Prüfkörper DL-S-06 bis DL-S-10

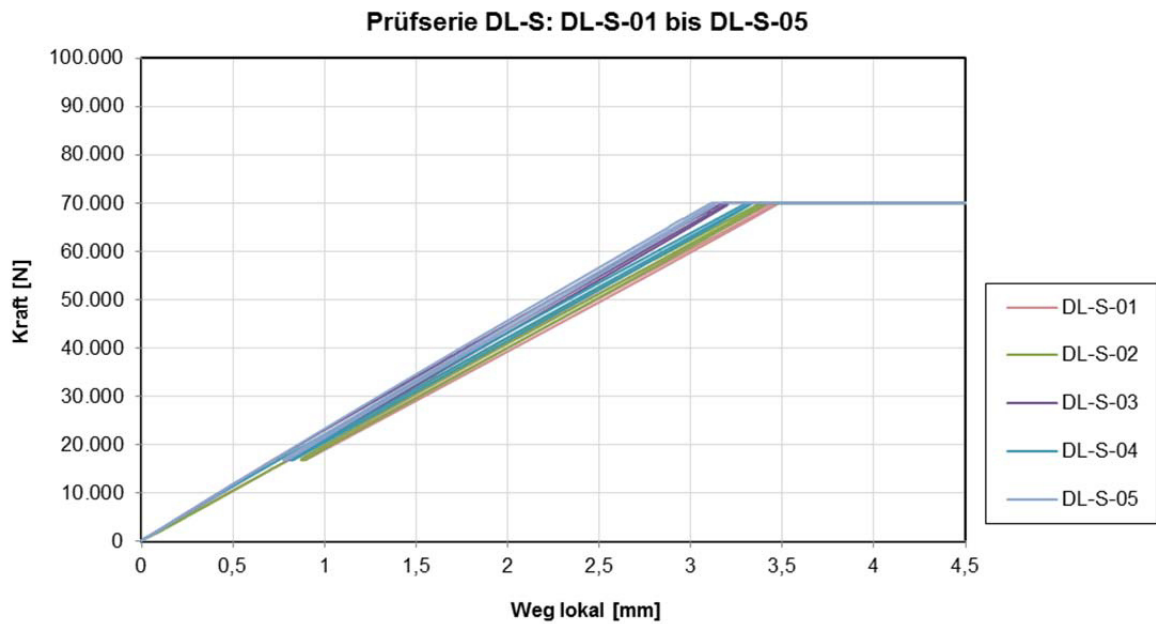


Abbildung B- 9: Kraft-Weg (global)-Diagramm der Prüfkörper DL-S-01 bis DL-S-05

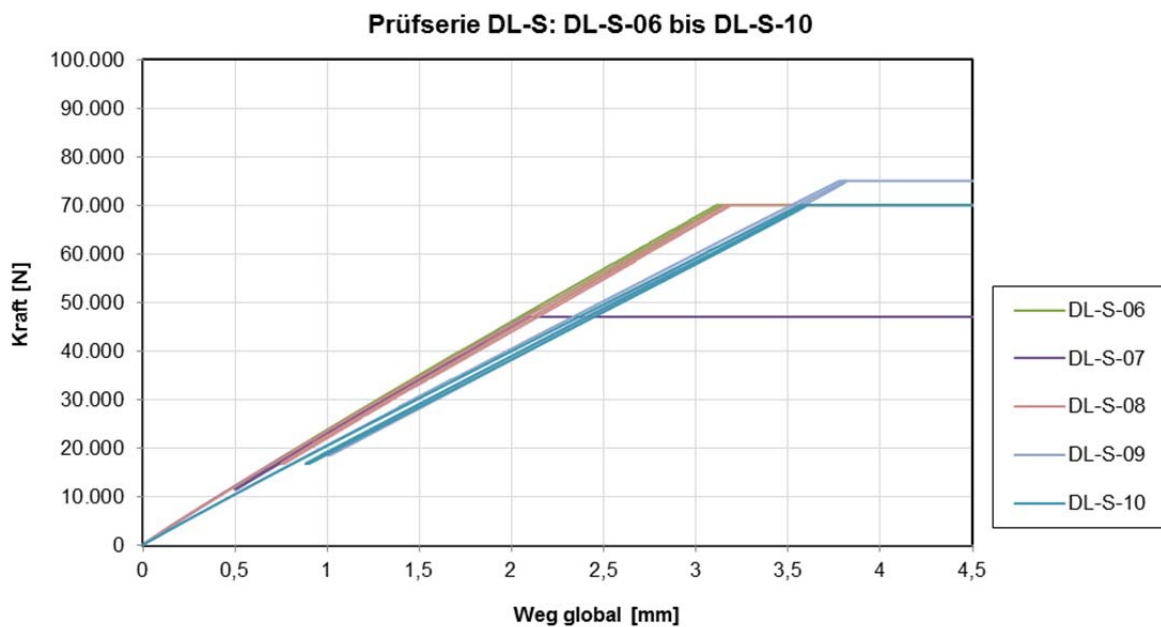


Abbildung B- 10: Kraft-Weg (global)-Diagramm der Prüfkörper DL-S-06 bis DL-S-10

B-4. Probe DQ-S – Rollschub, Hirnholzanteil 60 %

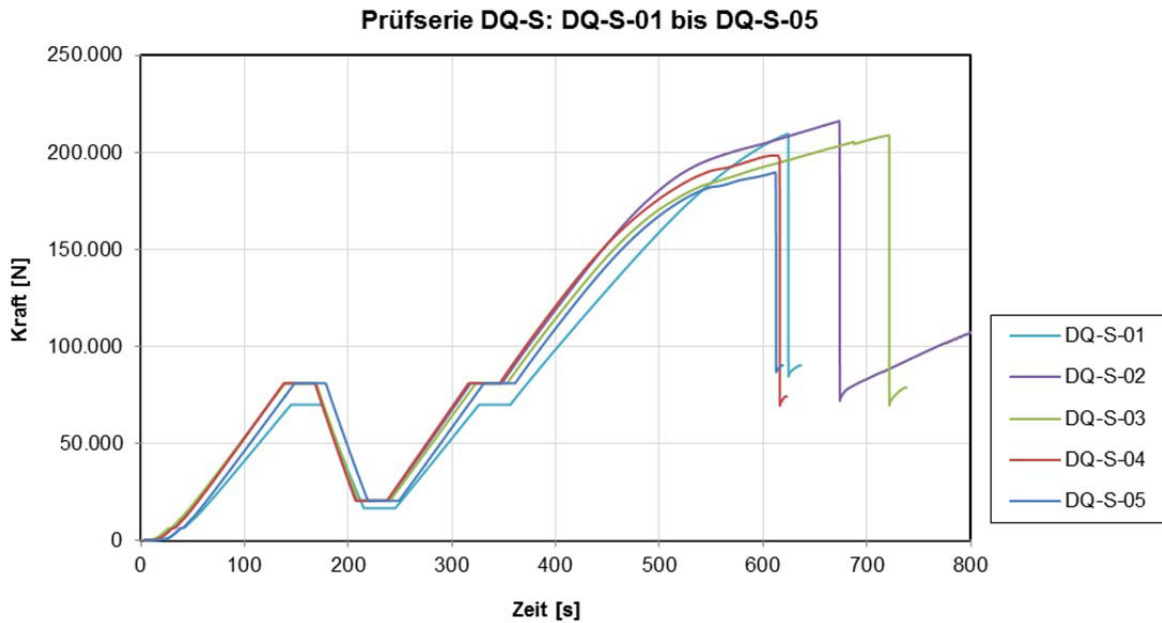


Abbildung B- 11: Kraft-Zeit-Diagramm der Prüfkörper DQ-S-01 bis DQ-S-05

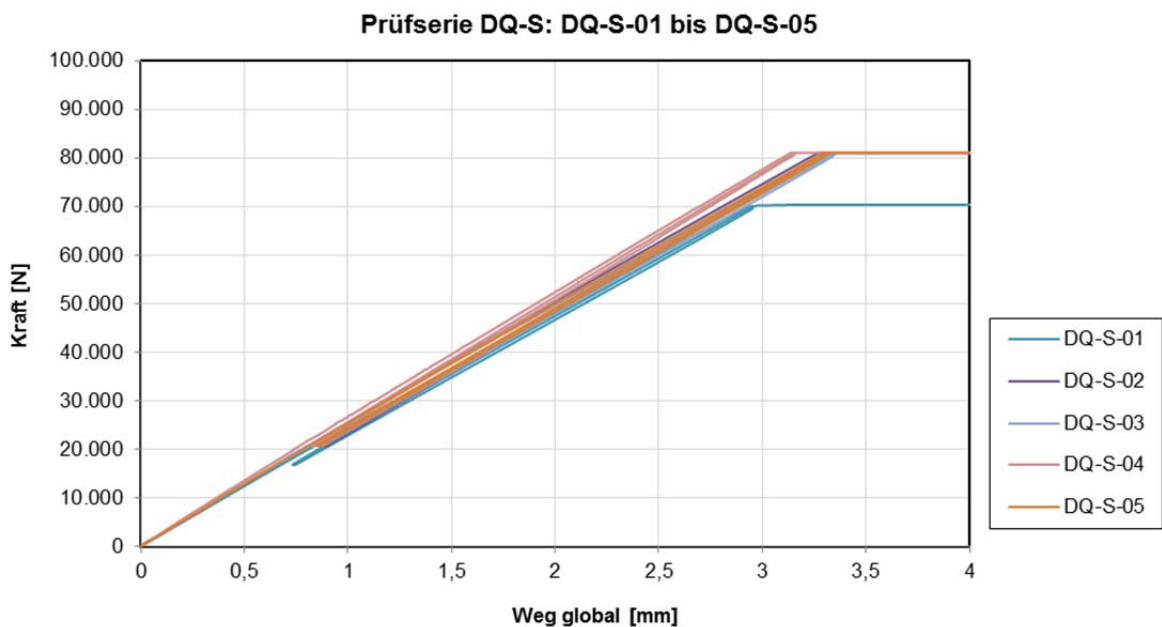
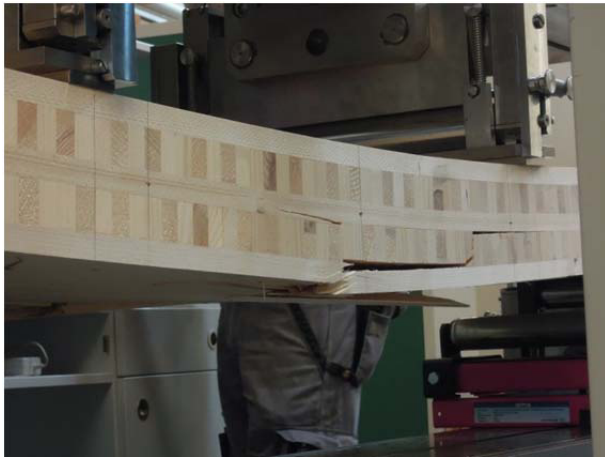


Abbildung B- 12: Kraft-Weg (global)-Diagramm der Prüfkörper DQ-S-01 bis DQ-S-05

C Bilder

C-1. Probe DL-B



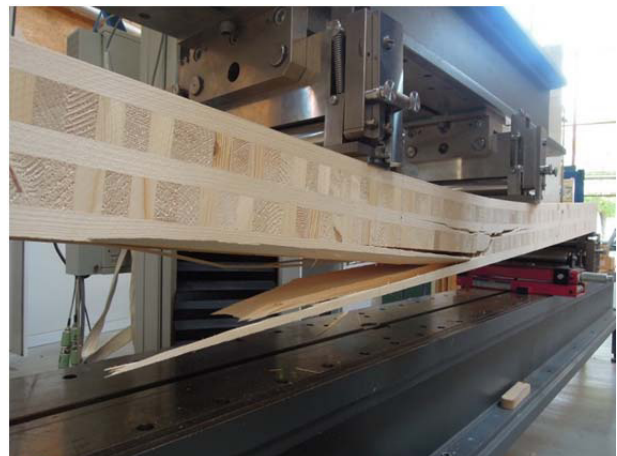
DL-B-01_01



DL-B-01_02



DL-B-02_01



DL-B-02_02

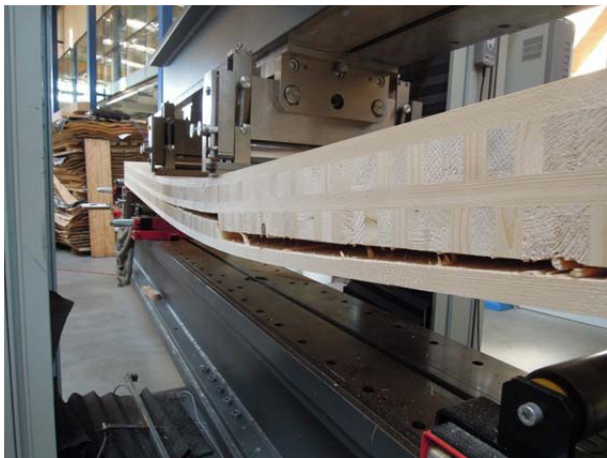


DL-B-03_01



DL-B-03_02

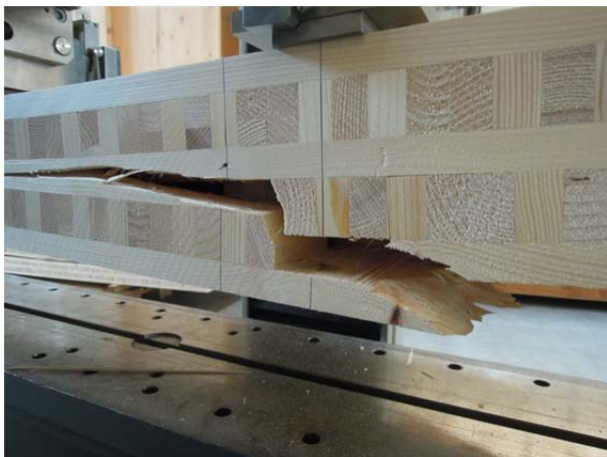
Abbildung C1: Bruchbilder der Probe DL-B – Prüfkörper DL-B-01 bis DL-B-03



DL-B-04_01



DL-B-04_02



DL-B-05_01



DL-B-05_02

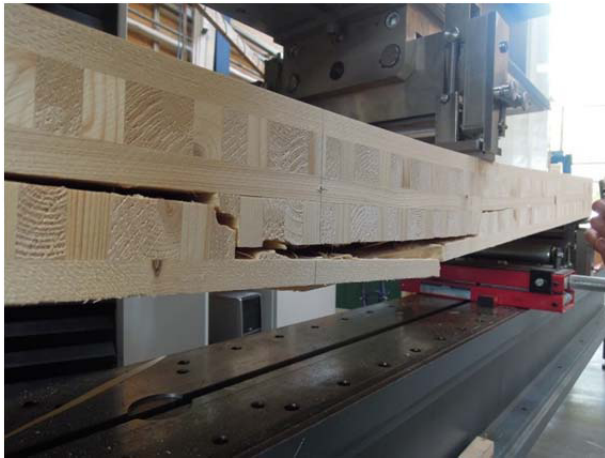


DL-B-06_01



DL-B-06_02

Abbildung C2: Bruchbilder der Probe DL-B – Prüfkörper DL-B-04 bis DL-B-06



DL-B-07_01



DL-B-07_02



DL-B-08_01



DL-B-08_02

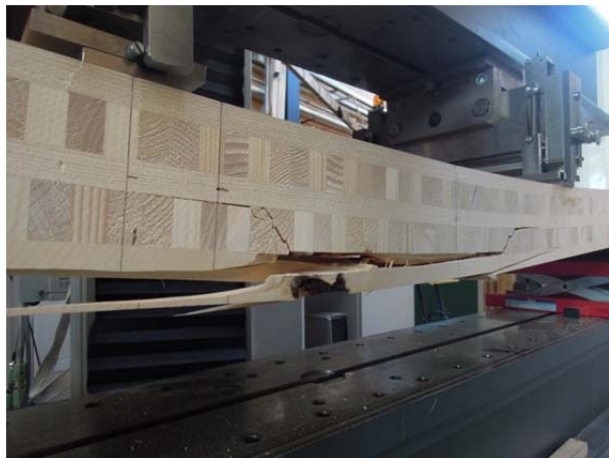


DL-B-09_01



DL-B-09_02

Abbildung C3: Bruchbilder der Probe DL-B – Prüfkörper DL-B-07 bis DL-B-09



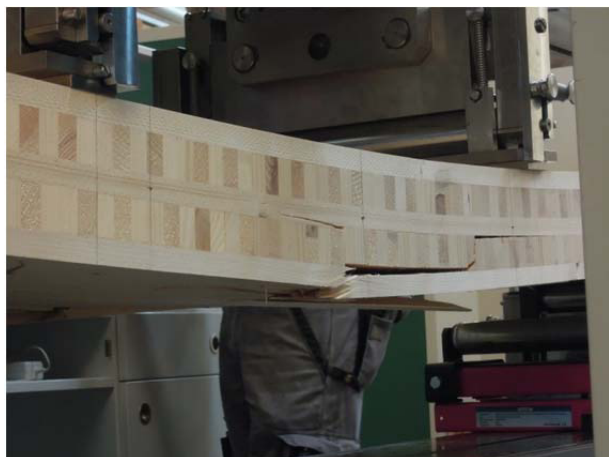
DL-B-10_01



DL-B-10_02

Abbildung C4: Bruchbilder der Probe DL-B – Prüfkörper DL-B-10

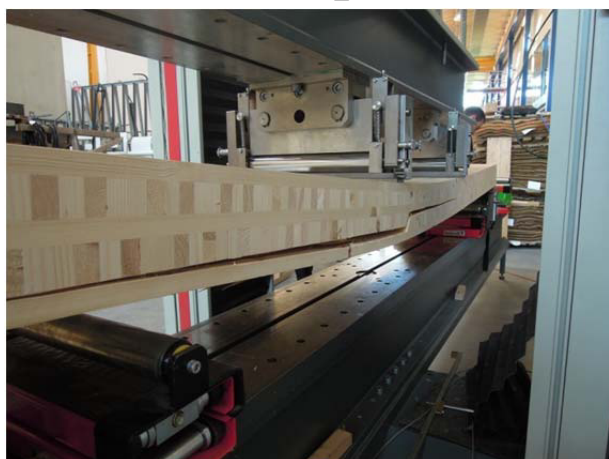
C-2. Probe DQ-B



DQ-B-01_01



DQ-B-01_01



DQ-B-02_01



DQ-B-02_02

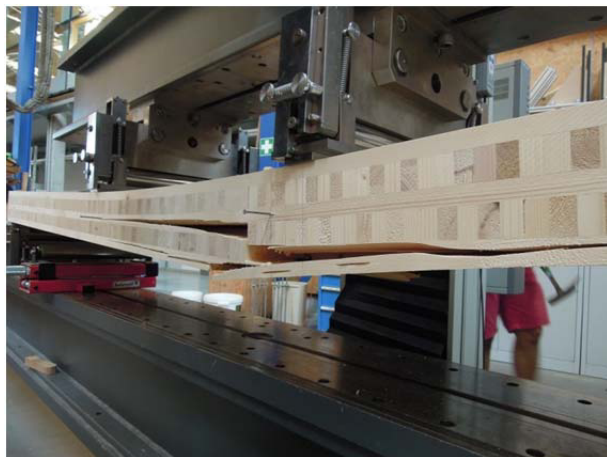
Abbildung C5: Bruchbilder der Probe DQ-B - Prüfkörper DQ-B-01 bis DQ-B-02



DQ-B-03_01



DQ-B-03_02



DQ-B-04_01



DQ-B-04_02





DQ-B-05_01

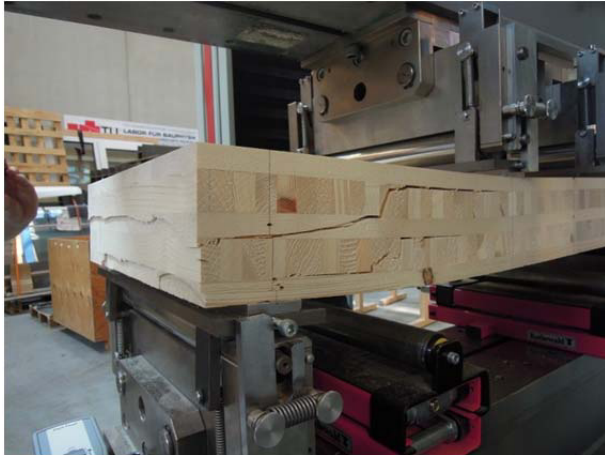


DQ-B-05_02

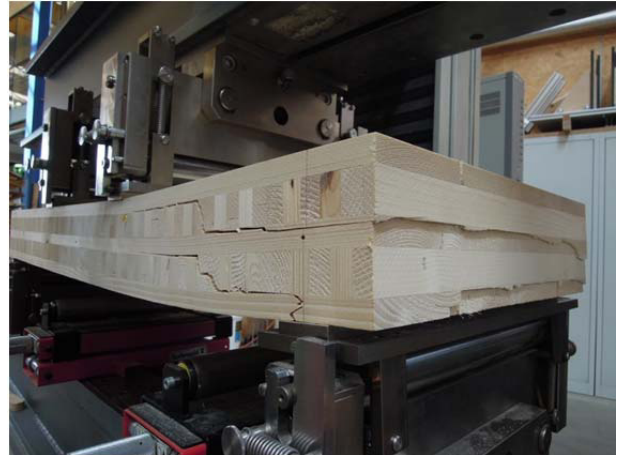
Abbildung C6: Bruchbilder der Probe DQ-B - Prüfkörper DQ-B-03 bis DQ-B-05

10.10.2016	Lignum Test Center	Seite 36 von 40
 <p>TU Graz Graz University of Technology</p>	<p>PRÜFBERICHT Nr. PB16-487-1-01</p>	 <p>lignum study research engineering test center</p>

C-3. Probe DL-S



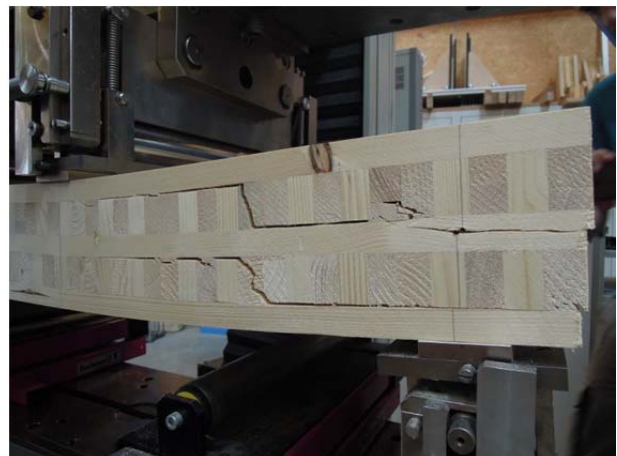
DL-S-01_01



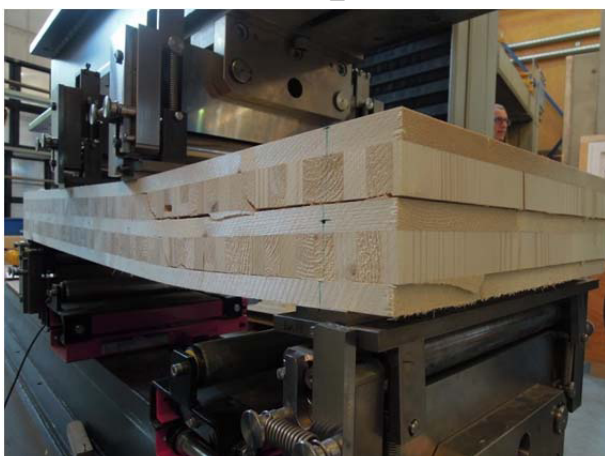
DL-S-01_02



DL-S-02_01



DL-S-02_02



DL-S-03_01

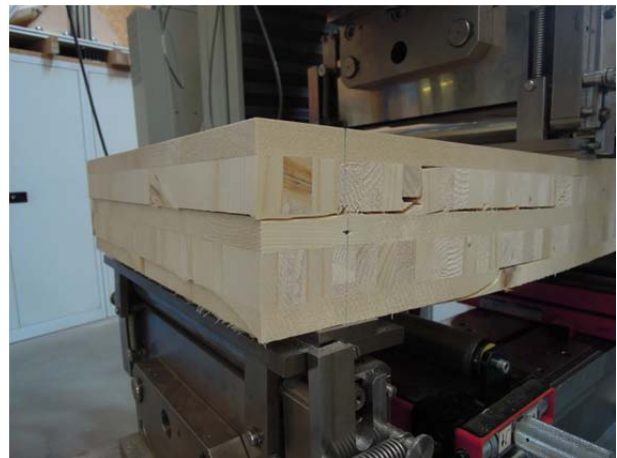


DL-S-03_02

Abbildung C7: Bruchbilder der Probe DL-S – Prüfkörper DL-S-01 bis DL-S-03



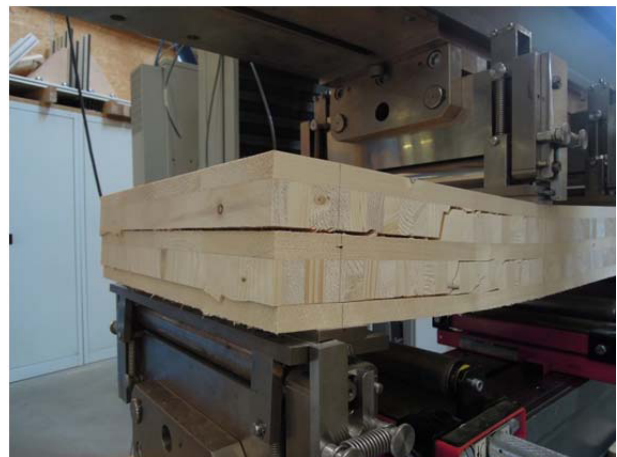
DL-B-04_01



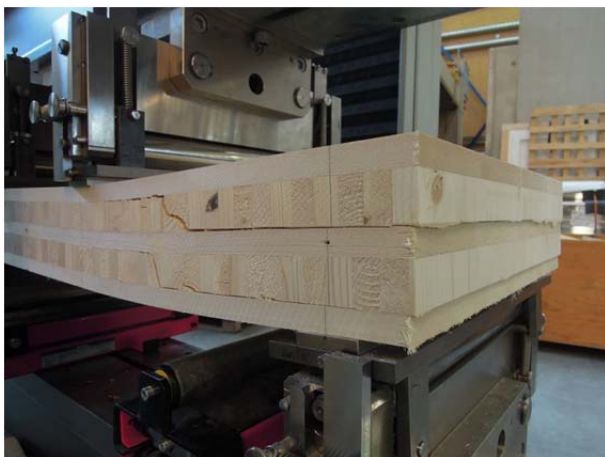
DL-B-04_02



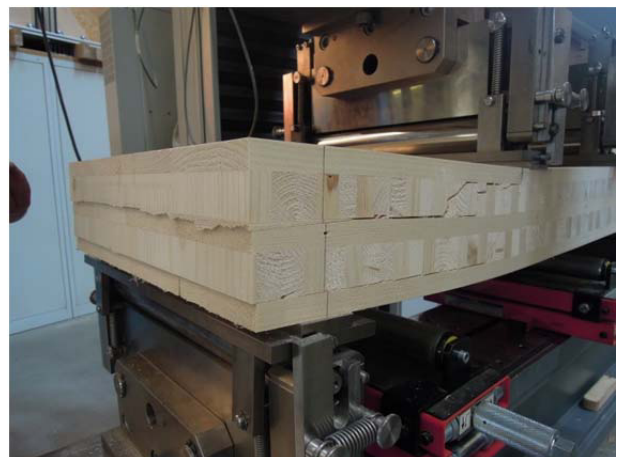
DL-B-05_01



DL-B-05_02

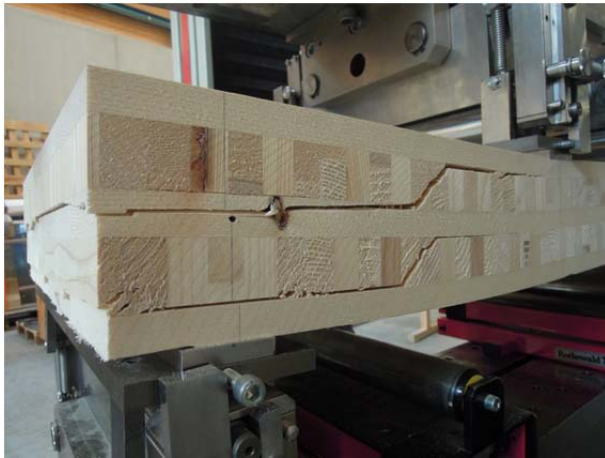


DL-B-06_01



DL-B-06_02

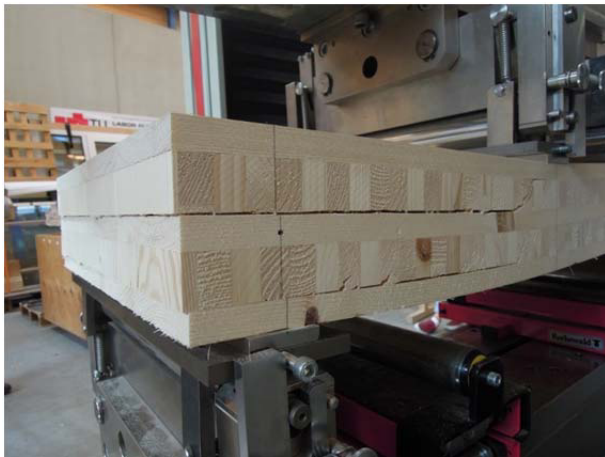
Abbildung C8: Bruchbilder der Probe DL-B – Prüfkörper DL-B-04 bis DL-B-06



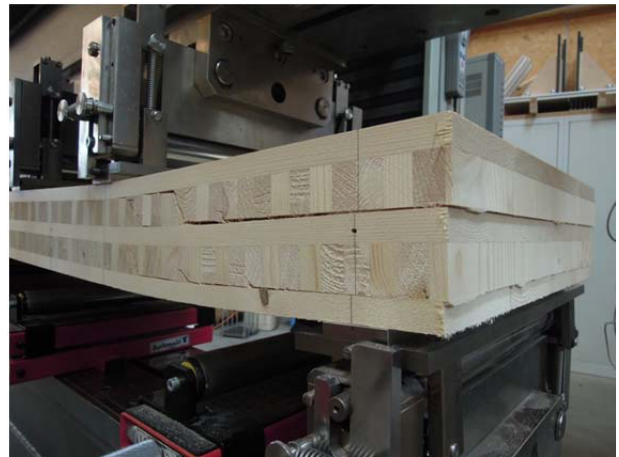
DL-S-07_01



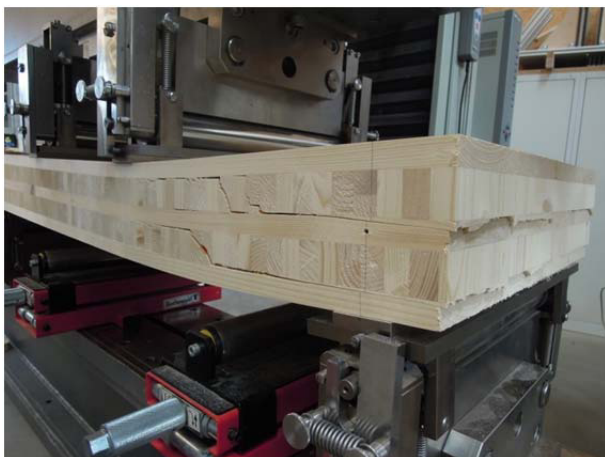
DL-S-07_02



DL-S-08_01



DL-S-08_02

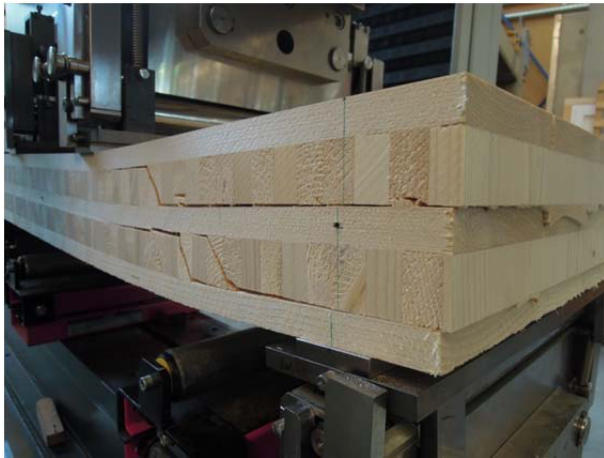


DL-S-09_01



DL-S-09_02

Abbildung C9: Bruchbilder der Probe DL-S – Prüfkörper DL-S-07 bis DL-S-09



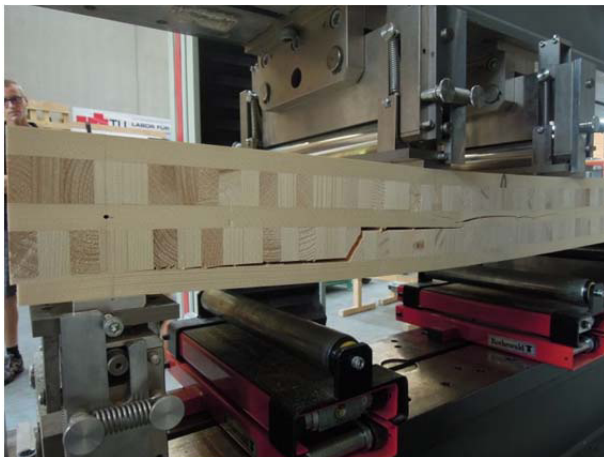
DL-S-10_01



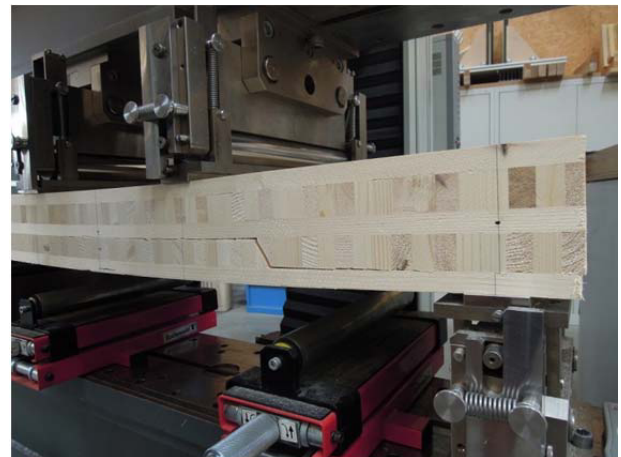
DL-S-10_02

Abbildung C10: Bruchbilder der Probe DL-S – Prüfkörper DL-S-10

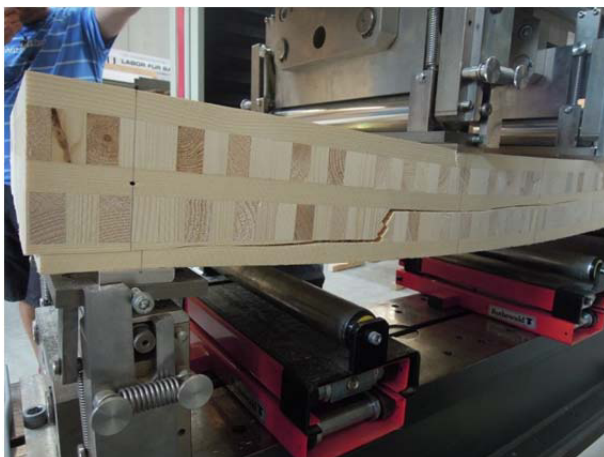
C-4. Probe DQ-S



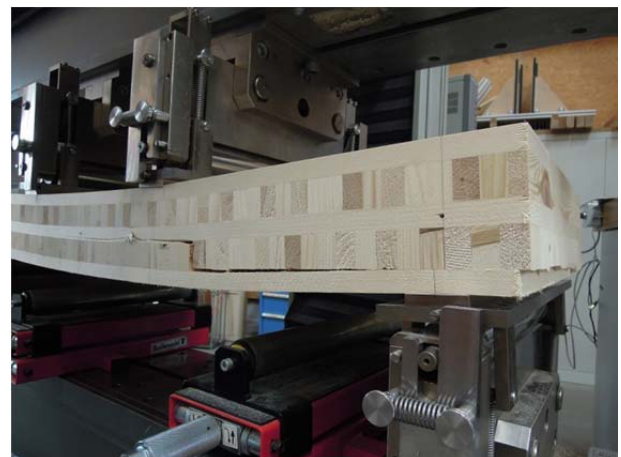
DQ-S-01_01



DQ-S-01_01

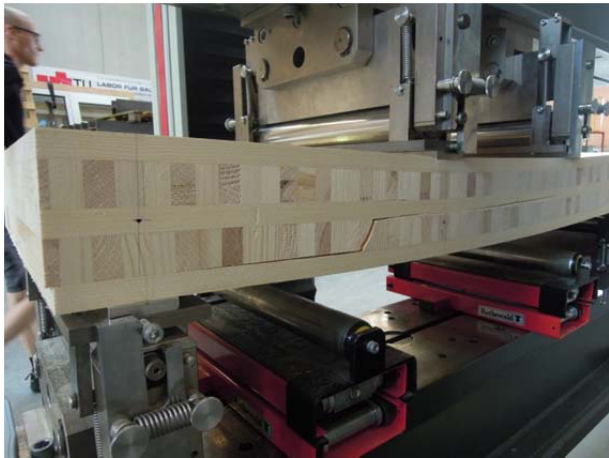


DQ-S-02_01

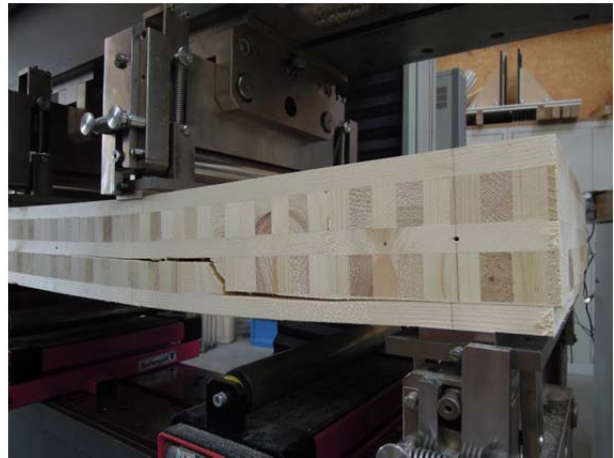


DQ-S-02_02

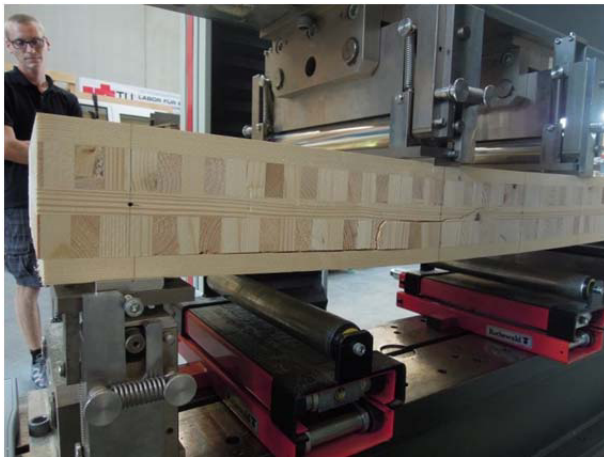
Abbildung C11: Bruchbilder der Probe DQ-S - Prüfkörper DQ-S-01 bis DQ-S-02



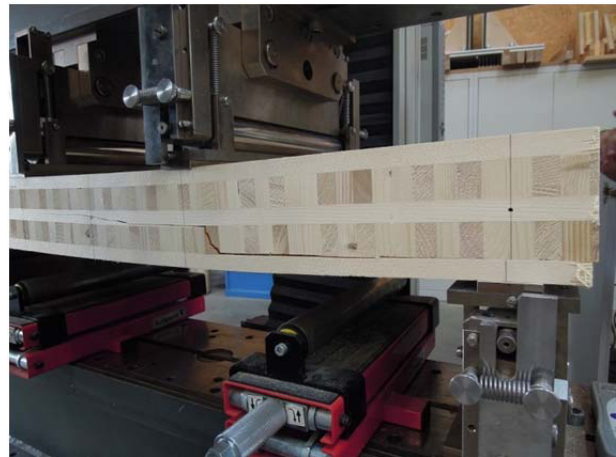
DQ-S-03_01



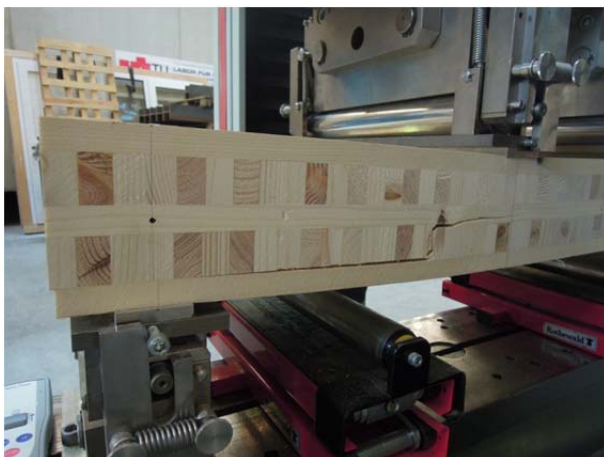
DQ-S-03_02



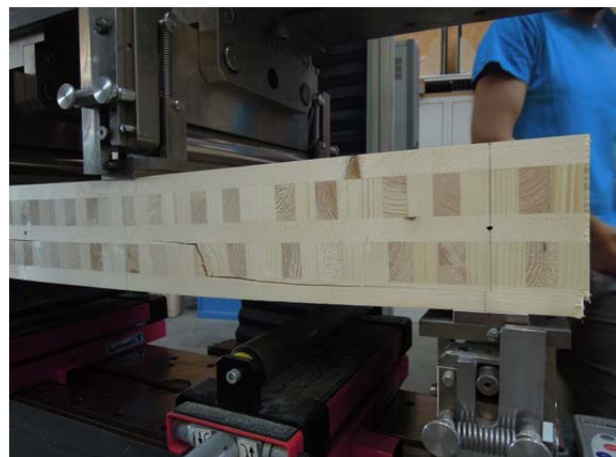
DQ-S-04_01



DQ-S-04_02



DQ-S-05_01



DQ-S-05_02

Abbildung C12: Bruchbilder der Probe DQ-S - Prüfkörper DQ-S-03 bis DQ-S-05



Checkliste – Produktion von Brettsperrholz

Mit Verweisen auf den Europäischen Normenentwurf für die Herstellung von Brettsperrholz¹ und Empfehlungen von Henkel².

INHALT

1.	Generelles.....	2
2.	Produktionshalle.....	2
3.	Material	2
4.	Kappen/Hobeln, Klebstoffapplikation, Pressen und Weiterverarbeitung	2
5.	Lagerung bis zur Auslieferung.....	4
6.	Kontinuierliche Qualitätskontrolle	4

© 2015

Inhalte dieser Dokumentation dürfen nur mit ausdrücklicher Genehmigung durch die Henkel & Cie. AG veröffentlicht oder an dritte weitergereicht werden. Die Henkel & Cie. AG schliesst jegliche Haftung für Schäden oder Folgeschäden mit Bezug auf dieses Dokument aus.

¹ Entwurf CLT 2010-11-01.doc STD Version 2.1c

² Technical Data Sheet für das betreffende LOCTITE PURBOND Produkt

1. Generelles

- Die Mitarbeiter sollen über die Herstellung von Brettschichtholz Bescheid wissen
- Die Bediener der Anlage sollten ausreichend geschult sein, um die Instruktionen im vorliegenden Qualitätshandbuch zu verstehen und umsetzen zu können.

Bemerkung:
Brettsperrholz ist gleichbedeutend mit X-Lam und CLT

2. Produktionshalle

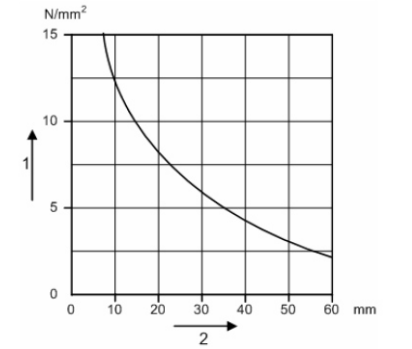
Temperatur	Min. 15 °C; Deutsche Praxis ist 20 °C.
Relative Luftfeuchtigkeit	Zwischen 40 % and 75 %. Min. 30 %.

3. Material

Temperatur	Holztemperatur min. 15 °C; Deutsche Praxis ist 20 °C.
Hobeln	Alle Lamellen müssen vor dem Verkleben gehobelt werden. Siehe auch "Zeit zwischen Hobeln und Verkleben".
Lamellendicke	Fertig gehobelte Dicke max. 45 mm.
Dickentoleranzen	Die Maximal zulässige Dickentoleranz nach dem Hobeln beträgt 0.1 mm auf 1 m Lamellenlänge.
Holzfeuchtigkeit	Min. 8 %, max. 15 %. Henkel empfiehlt die Lamellen mit Wasser zu besprühen (ca. 20 g/m ²), wenn die relative Luftfeuchtigkeit und/oder die Holzfeuchtigkeit tief sind. Wassersprühen garantiert, dass an der Holzoberfläche genug Feuchtigkeit vorhanden ist, damit der verwendete LOCTITE PURBOND Klebstoff in der angegebenen Presszeit aushärtet. Benachbarte verklebten Lamellen sollten sich in ihrer Holzfeuchtigkeit um nicht mehr als 5% Feuchtigkeit unterscheiden

4. Kappen/Hobeln, Klebstoffapplikation, Pressen und Weiterverarbeitung

Klebstofftemperatur	Min. 15 °C; Deutsche Praxis ist 20 °C.
Keilzinken Profilierung	Keilzinkprofile sollten unmittelbar nach dem profilieren gefügt und verpresst werden (In-Line Prozess).
Temperatur bei Applikation und Presse	Min. 18 °C; Deutsche Praxis ist 20 °C.
Klebstoff Auftragsmenge	Die minimale Auftragsmenge für das entsprechende Produkt gemäss Technical Data Sheet muss eingehalten werden.

<p>Klebstoffapplikation auf Keilzinkenprofile</p>	<p>Maschinelle Klebstoffapplikation: Wenn kein automatisches Überwachungssystem installiert ist, muss der Klebstoff auf beide Profile jedes Stosses aufgetragen werden. Falls ein Überwachungssystem im Einsatz ist (z.B. Henkel Safety System mit Lumineszenz-Sensor oder Kamera System), kann einseitig aufgetragen werden.</p> <p>Manuelle Applikation: Beidseitig auftragen, so dass genügend Klebstoff aus der Fuge austritt.</p> <p>In regelmässigen Intervallen sollten Zinkenstösse "aufgeblättert" werden, um die 100 prozentige Benetzung der Zinkenflanken zu überprüfen.</p>															
<p>Pressdrücke für Keilzinkenstösse</p>	<p>Der Pressdruck für Keilgezinkte Fügeiteile hängt von der Fingerlänge ab und soll gemäss der Grafik rechts gewählt werden.</p> <p>Der gewählte Pressdruck sollte zudem durch ausreichendes Testen während einer Pilotproduktion überprüft und allenfalls angepasst werden.</p> <p>1: Pressdruck (bezogen auf den Lamellenquerschnitt) 2: Länge der Zinken</p>	 <table border="1"> <caption>Approximate data from the graph</caption> <thead> <tr> <th>Length (mm)</th> <th>Pressure (N/mm²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>10</td><td>15</td></tr> <tr><td>20</td><td>10</td></tr> <tr><td>30</td><td>7</td></tr> <tr><td>40</td><td>5</td></tr> <tr><td>50</td><td>4</td></tr> <tr><td>60</td><td>3</td></tr> </tbody> </table>	Length (mm)	Pressure (N/mm²)	10	15	20	10	30	7	40	5	50	4	60	3
Length (mm)	Pressure (N/mm²)															
10	15															
20	10															
30	7															
40	5															
50	4															
60	3															
<p>Weiterverarbeitung von keilgezinkten Lamellen</p>	<p>Die keilgezinkten Lamellen können nach dem pressen weiterverarbeitet werden, wenn der Aushärtungsprozess des Klebstoffs dadurch nicht beeinträchtigt wird.</p>															
<p>Zeit zwischen Hobeln und Verkleben</p>	<p>Zeit zwischen Hobeln und Verkleben sollte 24 Stunden nicht überschreiten (für Standard-Holzarten wie Fichte oder Föhre). Beim Verarbeiten von Holzarten mit hohem Harzgehalt (z.B. Lärche) oder imprägniertem Holz, sollte die Zeit zwischen Hobeln und Verkleben 6 Stunden nicht überschreiten.</p>															
<p>Flächige Klebstoffapplikation</p>	<p>Der Klebstoff muss maschinell aufgetragen werden, um eine konstante Auftragsmenge und Lage der Klebstoffraupen zu garantieren. Während des Pressens sollte bei den Fugen Klebstoff austreten. Weitere Details sind dem Henkel Technical Data Sheet (TDS) zu entnehmen.</p>															

Fugendicke	<p>Eine geschlossene Fuge (0.1 mm) muss garantiert werden. Lokal ist eine maximale Fugendicke von 0.3 mm zulässig. Die Fugendicke ist regelmässig mit einer Lupe zu überprüfen.</p> <p>Wichtiger Hinweis: Falls eine geschlossene Fuge (max. 0.1 mm) nicht gewährleistet werden kann, kann die Aushärtungszeit des Klebstoffs signifikant länger dauern. Aushärtungszeiten zu den jeweiligen LOCTITE PURBOND Klebstoffen sind dem LOCTITE PURBOND Technical Data Sheet (TDS) zu entnehmen.</p>
Anordnung der Lagen	<ul style="list-style-type: none"> • Einzelne Lamellen bilden eine Lage • Kantenverklebte Lamellen (Platte) bilden eine Lage
Aufbau von Brettschichtholz	<p>Jede Brettsperrholzplatte soll aus mindestens drei Lagen bestehen (immer eine Ungerade Zahl Lagen).</p> <p>Brettsperrholz Produkte oder einzelne Lagen einer Brettsperrholzplatte können aus verschiedenen Holzarten aufgebaut werden, sofern die gewählten Holzarten ähnliche technische Eigenschaften aufweisen, vor allem bezüglich Quellen und Schwinden</p> <p>Die Dicke jeder Lage soll ≥ 12 mm und ≤ 45 mm sein. Die Breite der eingesetzten Einzellamellen (nicht Kantenverklebt) soll ≥ 40 mm und ≤ 300 mm sein.</p>
Pressen von Brettsperrholz	<p>Die Presskraft ist so zu wählen, dass eine Fugendicke von ≤ 0.3 mm in der gesamten Platte gewährleistet wird (siehe "Fugendicke" oben).</p> <p>Die erforderte Presskraft ist Abhängig von der Dicke der Lagen (Lamellen), sowie der Holzart und der Art der verwendeten Presse.</p> <p>Ein typischer Pressdruck einer Vakuumpresse für Brettsperrholz ist 0.09 N/mm²</p>
Nachlagerung	<p>Nach Ablauf der Presszeit kann das Produkt weiter verarbeitet werden, wobei für die Nachlagerungszeit des betreffenden Produkts gemäss Technischem Datenblatt eine Temperatur von min. 18°C (Henkel empfiehlt 20°C) gewährleistet werden sollte.</p>

5. Lagerung bis zur Auslieferung

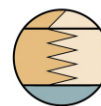
Temperatur	Min. 15 °C; Deutsche Praxis ist 20 °C.
------------	--

6. Kontinuierliche Qualitätskontrolle

Angeliefertes Rohmaterial	Vor der Klebstoffapplikation sind Holzfeuchtigkeit und Temperatur jeder neuen Charge Holz gründlich zu überprüfen.
---------------------------	--

Hobeln	Die Hobelqualität (Dickentoleranzen, Rechtwinkligkeit) der Lamellen ist in regelmässigen Intervallen zu kontrollieren.
Keilzinkenstösse	Pro Schicht oder Produktionscharge (d.h. wenn sich der Querschnitt ändert) sind min. drei Keilzinkenstösse nach den Vorgaben in der EN 408 (Biege- oder Scherprüfung) zu testen. Die in der Norm vorgegebenen Festigkeitswerte müssen überschritten werden
Verklebungsgüte	<ul style="list-style-type: none"> • Die Fugendicke ist regelmässig mit Hilfe einer entsprechenden Lupe zu kontrollieren. Siehe Abschnitt "Fugendicke". • Pro Schicht oder Produktionscharge (d.h. wenn sich der Querschnitt ändert) sind drei Prüfkörper aus der Plattenmitte (Längskante), zwei von jeder Aussenseite der Plattekante und einer aus der Plattenmitte nach EN 391, Verfahren B (Delaminierungsprüfung) zu testen. Die Abmessungen der Prüfkörper sind 300 mm x 75 mm (75 mm in Längsrichtung der Platte). <p>Anforderungen: Max. 10 % Delaminierung pro Prüfkörper und max. 40% pro einzelne Klebstoffuge. Falls die Anforderungen nicht erfüllt sind, ist ein zweiter Testzyklus zu durchlaufen. Die Anforderungen nach dem zweiten Zyklus sind max. 15% Delaminierung pro Prüfkörper und 40% pro einzelne Klebstoffuge. Falls die Anforderungen nicht erfüllt werden, werden die Klebstoffugen aufgespaltet und einer Faserbruchbeurteilung unterzogen. Mindestanforderungen an Faserbruch ist 70%.</p>

© 07/2015, Henkel & Cie. AG, Center of Competence Engineered Wood Adhesive Systems



Finger joint



Face gluing

LOCTITE® HB S309 PURBOND

1K-Polyurethanklebstoff zur Herstellung von tragenden Holzbauteilen

LOCTITE HB S309 PURBOND_D
Holzleimbau Technik / 07-2015

Eigenschaften

LOCTITE HB S309 PURBOND ist ein flüssiger Einkomponenten Polyurethanklebstoff. Der Klebstoff härtet unter Einfluss von Material- und Luftfeuchte zu einem harten, unspänen Film aus. Ein leichtes Aufschäumen des Klebstoffes während der Härtung ist durch die chemische Reaktion bedingt und normal. LOCTITE HB S309 PURBOND ist ohne Zusatz von Lösungsmitteln und Formaldehyd hergestellt.

LOCTITE HB S309 PURBOND ist als Typ I Klebstoff klassifiziert und gemäss Seite 4 dieses Merkblatts (Abschnitt Gütezeichen und Registrierungen) zugelassen und registriert.

Dieses technische Merkblatt wurde mit der unabhängigen Prüfstelle, MPA Universität Stuttgart, abgestimmt.

Produktdaten

Basis	Isocyanatprepolymer
Konsistenz	Gut fließend
Wartezeit¹	30 Minuten
Presszeit/Abbindezeit¹	75 Minuten
Viskosität Brookfield	Ca. 24'000 mPa.s (Sp.6 / 20 UpM bei 20 °C, Messung 16-36 Stunden nach der Produktion)
Farbton	Beige
Dichte	1'160 kg/m ³
Feststoffgehalt	100 % und frei von Fasern und abrasiven Füllstoffen
Feuergefährlichkeit	Schwer entflammbar
Beständigkeit	Gegen schwache Alkalien, Säuren und Lösungsmittel
Deklaration	Das Sicherheitsdatenblatt (MSDS) von LOCTITE HB S309 PURBOND ist zu beachten und erhältlich unter www.henkel.com .

¹ Genaue Angaben zur Wartezeit und Presszeit/Abbindezeit sind auf den Seiten 2 und 3 zu finden.

Anwendung**Verarbeitungsrichtlinie für die Keilzinkenverklebung****Vorbereitung**

LOCTITE HB S309 PURBOND ist einkomponentig und wird direkt ab Liefergebilde im geschlossenen System verarbeitet. Keilzinken-Automaten sind für die Verarbeitung von LOCTITE HB S309 PURBOND speziell mit einem passenden Auftragssystem auszurüsten. Vor der Verarbeitung sind alle Maschinenteile, die mit dem Klebstoff in Berührung kommen, mit LOCTITE TRENNMITTEL/RELEASE AGENT PURBOND resp. LOCTITE TRENNPASTE/RELEASE PASTE PURBOND zu behandeln.

Holzfeuchte

Die Holzfeuchte an den zu verleimenden Fügeiteiloberflächen darf nicht weniger als 8 % betragen. Die Obergrenze der zulässigen Holzfeuchte richtet sich nach den jeweiligen nationalen Produktnormen (z.B. EN 385 / EN 386 oder DIN 68140), darf jedoch nicht mehr als 18 % betragen. Gemäss DIN 68140-1 darf die maximale Differenz der Holzfeuchte zwischen den zu verbindenden Holzenden:

- bei einteilig keilgezinkten Hölzern: max. 5 %
- bei keilgezinkten Lamellen für Brettschichtholz: max. 4 % betragen.

Gemäss EN 385 darf die maximale Differenz der Holzfeuchte zwischen den zu verbindenden Holzenden 5% betragen.

Klebstoffauftrag

Der Klebstoffauftrag erfolgt über ein geeignetes Auftragssystem (Kamm-Applikation oder berührungslose Applikation in Verbindung mit den relevanten Zulassungsbescheiden dort wo erforderlich). Der Klebstoff wird je nach Auftragssystem ein- oder beidseitig in einer Menge von ca. 120 - 160 g/m² aufgetragen. Eine gleichmässige Benetzung des Zinkenprofils der verpressten Keilzinkenverbindung muss gewährleistet sein. Die Teile werden unmittelbar danach verpresst.

Wartezeit

Sofort, aber spätestens 30 Minuten nach Beginn des Klebstoffauftrags (maximale Wartezeit) müssen die zu verklebenden Teile zusammengefügt und der Pressdruck aufgebracht sein. Die maximale Wartezeit des feuchtigkeitsreaktiven LOCTITE HB S309 PURBOND wird von den bei der Verarbeitung herrschenden raumklimatischen Bedingungen beeinflusst. Höhere Temperatur und höhere Luftfeuchte verkürzen die Wartezeit. Der Klebstoff muss beim Aufbringen des Pressdruckes unbedingt noch klebfähig sein.

Abbindezeit

Die Abbindezeit des Klebstoffes beträgt bei 20 °C und 65 % Luftfeuchte 75 Minuten.

Pressdruck

Der aufgebrauchte Pressdruck (je nach Zinkenlänge und Profil) muss eine passgenaue Verbindung gewährleisten. Es sind diesbezüglich die Bestimmungen gemäss EN 385 bzw. DIN 68140-1 oder anderen nationalen Richtlinien zu beachten.

Weiterverarbeitung

Die Teile können nach Ablauf der Abbindezeit des Klebstoffes weiterverarbeitet werden.

Nachlagerzeit

Nach Ablauf der Abbindezeit sind die verklebten Bauteile während mindestens 4 Stunden bei 20° C zu lagern.

Besondere Hinweise

Bei der Herstellung von Keilzinkenverbindungen für tragende Bauteile ist ergänzend folgendes zu beachten:

1. Die Zulassungsbescheide (siehe Abschnitt Gütekennzeichen und Registrierungen).
2. Die Temperatur im Produktionsraum soll 20 °C betragen, darf jedoch 18 °C nicht unterschreiten. Das gleiche gilt für Holz und Klebstoff.
3. Zur Gewährleistung einer hohen Verklebungsgüte wird eine geeignete Eigenüberwachung entsprechend EN 385 bzw. EN 14080 oder anderen nationalen Richtlinien empfohlen.

Anwendung

Verarbeitungsrichtlinie für die Flächenverklebung

Vorbereitung

LOCTITE HB S309 PURBOND ist einkomponentig und wird direkt ab Liefergebände im geschlossenen System verarbeitet. Die zu verklebenden Flächen müssen sauber und frei sein von klebstoffabweisenden Substanzen wie Ölen, Fetten oder Trennmitteln. Vor der Verarbeitung sind alle Maschinenteile, die mit dem Klebstoff in Berührung kommen, mit LOCTITE TRENNMITTEL/RELEASE AGENT PURBOND resp. LOCTITE TRENNPASTE/RELEASE PASTE PURBOND zu behandeln.

Holzfeuchte

Die Holzfeuchte an den zu beleimenden Fügeiteiloberflächen darf nicht weniger als 8 % betragen. Gemäss EN 386 darf der Feuchteunterschied zwischen den einzelnen Lamellen 4 % nicht überschreiten.

Klebstoffauftrag

LOCTITE HB S309 PURBOND wird mit einem speziellen Auftragssystem im Durchlaufverfahren automatisch appliziert. Der Klebstoff wird einseitig in einer Menge von 140-180 g/m² aufgetragen. Die aufgetragene Klebstoffmenge muss eine gleichmässige Benetzung der Fügeiteiloberfläche gewährleisten. Am Rand der Klebfuge muss durchgehend Klebstoffaustritt vorliegen. Bei einer Klebstoffmenge im unteren zulässigen Bereich ist dies mit dem Klebstoffhersteller abzustimmen.

Wartezeit

Sofort, aber spätestens 30 Minuten nach Beginn des Klebstoffauftrages (maximale Wartezeit) müssen die zu verklebenden Teile zusammengefügt und der Pressdruck aufgebracht sein. Die maximale Wartezeit des feuchtigkeitsreaktiven LOCTITE HB S309 PURBOND wird von den bei der Verarbeitung herrschenden raumklimatischen Bedingungen beeinflusst. Höhere Temperatur und höhere Luftfeuchte verkürzen die Wartezeit. Das Aufbringen des Pressdruckes muss zwingend vor einer allfälligen Hautbildung auf der Klebstoffoberfläche erfolgen, solange der Klebstoff noch klebfähig ist.

Presszeit

Die Presszeit ist abhängig von Temperatur und Feuchtegehalt der Fügeiteile und der Umgebung. Tiefere Temperatur und Luftfeuchte verzögern den Abbindeprozess, höhere Temperatur und Luftfeuchte beschleunigen den Abbindeprozess. Die Mindestpresszeit für gerade Träger bei 20 °C, 65 % relativer Luftfeuchte und einer Holzfeuchte von 12% beträgt 75 Minuten, sofern eine optimale Passung der Fügeiteile (Fugendicke ca. 0,1 mm) gewährleistet ist. Ist eine passgenaue Fuge nicht gewährleistet, muss die Presszeit mindestens 90 Minuten betragen.

Pressdruck

Der aufgebrauchte Pressdruck muss eine optimale Passung der Fügeiteile gewährleisten. Im Normalfall wird der allgemein im Holzleimbau übliche Pressdruck von 0,6 N/mm² bis 1,0 N/mm² angewendet.

Weiterverarbeitung

Die Teile können nach abgelaufener Presszeit sofort weiterverarbeitet werden.

Nachlagerzeit

Nach Ablauf der Abbindezeit sind die verklebten Bauteile während mindestens 4 Stunden bei 20° C zu lagern.

Besondere Hinweise

Bei der Herstellung tragender Bauteile ist ergänzend folgendes zu beachten:

1. Die Zulassungsbescheide (siehe Abschnitt Gütekennzeichen und Registrierungen).
2. Möglichst dünne Klebefugen (max. 0,3 mm).
3. Die Feuchte der miteinander zu verbindenden Fügeiteile darf gemäss EN 386 maximal 15 % betragen.
4. Die Temperatur im Produktionsraum soll 20 °C betragen, darf jedoch 18 °C nicht unterschreiten. Das gleiche gilt für Holz und Klebstoff.
5. Zur Gewährleistung einer hohen Verklebungsgüte wird eine geeignete Eigenüberwachung entsprechend EN 386 bzw. EN 14080 oder anderen nationalen Richtlinien empfohlen.

Schutz und Reinigung

Arbeitsschutz

Schutz- und Reinigungsmaßnahmen

Beim Umgang mit flüssigem Klebstoff und Trennmittel ist das Tragen von Schutzhandschuhen – Henkel Arbeitshandschuhe/Handling Gloves – und Schutzbrille dringend empfohlen.

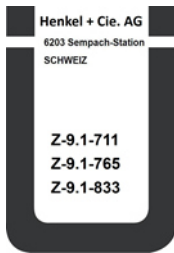
Anlagenschutz und Reinigung

LOCTITE TRENNMITTEL/RELEASE AGENT PURBOND resp. LOCTITE TRENNPASTE/RELEASE PASTE PURBOND verhindern die Haftung von Klebstoff auf Anlagen und Werkzeugen. Vor Inbetriebnahme einer Anlage sind alle Teile zu behandeln, welche mit Klebstoff in Berührung kommen (siehe entsprechende TDS).

Für ausgehärteten Klebstoff auf Werkzeugen oder Maschinenteilen eignet sich Henkel Reinigungsmittel/Cleaning Agent. Vor der Anwendung des Reinigungsmittels ist die Verträglichkeit zu prüfen.

Beim Arbeiten mit Henkel Reinigungsmittel/Cleaning Agent sind sowohl Schutzbrille, als auch chemisch resistente Henkel Reinigungshandschuhe/Cleaning Gloves (schwarze Spezialhandschuhe) zu tragen.

Gütekennzeichen und Registrierungen



Gütekennzeichen und Registrierungen

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung vom DIBt (Deutsches Institut für Bautechnik) für den „PUR-Klebstoff LOCTITE HB S309 PURBOND für die Herstellung von tragenden Holzbauteilen.“

Zulassungsnummer: **Z-9.1-765, Z-9.1-711, Z-9.1-833**

Europa



Bestätigung von der MPA Universität Stuttgart zur Übereinstimmung mit EN 14080. Der Klebstoff kann für die Herstellung von Brettschichtholz nach EN 14080 verwendet werden.

Agreement Technique N° **ATG 12/2888** der Union Belge pour l'Agreement Technique dans la Construction (UBAtc).



Klassifizierung Typ I gemäss der Norm EN 15425 (2008) des Klebstoffs LOCTITE HB S309 PURBOND für Stossverbindungen und Schichtverleimungen von Tragkonstruktionen durch das FCBA aufgrund der folgenden Dokumente:

FCBA n° LBO/GL/MP/403/09/274
FCBA n° LBO/GL/MP/403/09/275
FCBA n° LBO/GL/MP/403/09/276



Zertifikat der South African Technical Auditing Services Pty. Ltd. in Übereinstimmung mit SANS 10183 Part 2 für die „Expositionsklasse S3 für einfache Zinkungen“.

Zertifikat Nummer: **107**

Australien/Neuseeland

Erfüllt die Anforderungen als Typ I Klebstoff gemäss AS/NZS 4364.

JAIA F☆☆☆☆

JAIA F****: Formaldehyd-Standard:
JAIA (Japan Adhesive Industry Association) unabhängiger Kontroll-Standard für Luftverschmutzung in Innenräumen.

Register-Nummer: **JAIA-008524**

Garantie

Henkel garantiert für die gleichmässig einwandfreie Qualität dieses nach ISO 9001 und 14001 hergestellten Produktes, welches aufgrund der langjährigen Erfahrungen für die empfohlenen Anwendungen unter den hier angegebenen Bedingungen in der Praxis getestet wurde.

Material und Verarbeitungsbedingungen können jedoch die Produkteigenschaften massgeblich beeinflussen. Daher sind vor dem Einsatz Versuche beim Verarbeiter unerlässlich.

Lassen Sie sich für andere Anwendungen oder Verarbeitungsbedingungen unbedingt vorher von Ihrem zuständigen Projektleiter beraten. Im Übrigen gelten die allgemeinen Verkaufs- und Lieferbedingungen von Henkel + Cie. AG.

Dies ist eine Veröffentlichung des

FACHBEREICHS INGENIEURBAUKUNST (IBK) AN DER TU GRAZ

Der Fachbereich Ingenieurbaukunst umfasst die dem konstruktiven Ingenieurbau nahe stehenden Institute für Baustatik, Betonbau, Stahlbau & Flächentragwerke, Holzbau & Holztechnologie, Materialprüfung & Baustofftechnologie, Baubetrieb & Bauwirtschaft, Hochbau & Industriebau, Bauinformatik und Allgemeine Mechanik der Fakultät für Bauingenieurwissenschaften an der Technischen Universität Graz.

Dem Fachbereich Ingenieurbaukunst ist das Bautechnikzentrum (BTZ) zugeordnet, welches als gemeinsame hochmoderne Laboreinrichtung zur Durchführung der experimentellen Forschung aller beteiligten Institute dient. Es umfasst die drei Laboreinheiten für konstruktiven Ingenieurbau, für Bauphysik und für Baustofftechnologie.

Der Fachbereich Ingenieurbaukunst kooperiert im gemeinsamen Forschungsschwerpunkt „Advanced Construction Technology“. Dieser Forschungsschwerpunkt umfasst sowohl Grundlagen- als auch praxisorientierte Forschungs- und Entwicklungsprogramme.

Weitere Forschungs- und Entwicklungskooperationen bestehen mit anderen Instituten der Fakultät, insbesondere mit der Gruppe Geotechnik, sowie nationalen und internationalen Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft.

Die Lehrinhalte des Fachbereichs Ingenieurbaukunst sind aufeinander abgestimmt. Aus gemeinsam betreuten Projektarbeiten und gemeinsamen Prüfungen innerhalb der Fachmodule können alle Beteiligten einen optimalen Nutzen ziehen.

Durch den gemeinsamen, einheitlichen Auftritt in der Öffentlichkeit präsentiert sich der Fachbereich Ingenieurbaukunst als moderne Lehr- und Forschungsgemeinschaft, welche die Ziele und Visionen der TU Graz umsetzt.

Nummerierungssystematik der Schriftenreihe

S – Skripten, Vorlesungsunterlagen | F – Forschungsberichte
V – Vorträge, Tagungen | M – Masterarbeiten

Institutskennzahl:

1 – Allgemeine Mechanik | 2 – Baustatik | 3 – Betonbau
4 – Holzbau & Holztechnologie | 5 – Stahlbau & Flächentragwerke
6 – Materialprüfung & Baustofftechnologie | 7 – Baubetrieb & Bauwirtschaft
8 – Hochbau & Industriebau | 9 – Bauinformatik

Fortlaufende Nummer pro Reihe und Institut / Jahreszahl