



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich



Berner Fachhochschule
Haute école spécialisée bernoise
Bern University of Applied Sciences

Institut für Baustoffe
ETH Zürich
Schafmattstr. 6
8093 Zürich

Berner Fachhochschule
Architektur, Holz und Bau
Solothurnstrasse 102,
CH-2504 Biel

Forschungsbericht

Thema: Untersuchungen zur Optimierung der Verklebung von Eschenholz für den Einsatz als Brettschichtholz im konstruktiven Holzbau

Projekt Nummer: 2013.11

Industriepartner:	neue Holzbau AG Jowat Swiss AG DeMeth
Sachbearbeiter:	Ing. (BA) Sven Schlegel (ETH) MSc, Dipl. Ing. FH/STV Martin Lehmann (BFH) Dr. Heiko Jung (Jowat)
Koordinierung Biel:	Prof. Dr. Thomas Volkmer Berner Fachhochschule Hochschule für Architektur, Holz und Bau
Auftraggeber:	Bundesamt für Umwelt BAFU Fond zur Förderung der Wald- und Holzforschung Abteilung Wald

Bearbeitungszeitraum: 3/2014 – 11/2014

Ort, Datum, Unterschrift

Prof. Dr.- Ing. habil. Dr. h.c. Peter Niemz
ETH Zürich
Institut für Baustoffe - Holzphysik

Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde der Einfluss von Mischungsverhältnis und geschlossener Wartezeit, bei Melamin- Harnstoff- Formaldehyd Harz (MUF), auf die Festigkeit von Eschenbrettschichtholz untersucht. Bei der Herstellung kamen gehobelte bzw. stirnplan gefräste Bretter aus Eschenholz zum Einsatz. Zur Beurteilung der Verklebungsgüte wurde die Zugscherfestigkeit nach DIN EN 302-1 (2013) und die Delaminierungsbeständigkeit nach DIN EN 302-2 (2013) bestimmt. Vergleichend zum MUF Klebstoff wurden die gleichen Festigkeitskennwerte an zwei Einkomponenten Polyurethanklebstoffsystemen (1K-PUR) an einem Phenol-Resorzin-Formaldehyd Harz (PRF) und einen Emulsion-Polymer-Isocyanat (EPI) bestimmt. Ergänzend wurden die Holzinhaltsstoffe von Esche, Buche und Fichte bestimmt.

Bereits nach Behandlung A1 (vgl. DIN EN 302-1 (2013)) erreichten nicht alle Klebstoffe die Forderung der Norm. Im nassen Zustand (Behandlung A4) erreichten nur noch die wenigsten Proben die erforderliche Zugscherfestigkeit (6N/mm²). Noch deutlicher wurde die unzureichende Verklebungsgüte nach Auswertung der Delaminierungsversuche. Von den hergestellten Proben konnte keine geprüfte Variante die erforderliche Delaminierungsbeständigkeit aufweisen.

Anlagen

1. Delaminierungsbericht Jowat Swiss AG
2. Delaminierungsbericht Berner Fachhochschule für Architektur, Holz und Bau

Inhalt

1	Einleitung	4
2	Zielstellung	6
3	Stand der Forschung auf diesem Gebiet.....	6
4	Material und Methoden.....	8
4.1	Forschungsplan.....	8
4.2	Klebstoffe	11
4.3	Herstellung der Prüfkörper	11
4.4	Delaminierungsversuche.....	12
4.5	Zugscherversuche.....	12
4.6	Zusatzversuche.....	12
5	Ergebnisse	13
5.1	Zugscherversuche.....	13
5.2	Delaminierungsversuche.....	17
5.3	Holzinhaltstoffe.....	17
6	Zusammenfassung.....	19
7	Quellen.....	20

1 Einleitung

Durch den wachsenden Anteil an Laubholzeinschlag in Europa, insbesondere in der Schweiz, steigt das Interesse einer Verwendung im tragenden Holzbau. Die stetig wachsenden Vorräte mit gleichzeitig verbesserten mechanischen Eigenschaften, erfordern eine wirtschaftliche Nutzung von Laubholz auch ausserhalb der rein energetischen Nutzung.

Technische Standards definieren für die Gebrauchstauglichkeit im Holzbau gewisse Mindestanforderungen, die von den Bauteilen erfüllt werden müssen. Da Nadelholz im Holzleimbau seit Anfang des 20' Jahrhunderts genutzt wird, sind die Herstellungsprozesse weitestgehend gesichert und es ist nur sehr geringes Verbesserungspotential vorhanden. Dagegen wird Laubholz erst seit wenigen Jahren im Holzleimbau verwendet und besitzt noch grosses Optimierungspotential. Derzeitig wird vorrangig die Verklebung von Buchen- und Eschenholz untersucht, da diese beiden Holzarten den höchsten Anteil stellen. Vor allem bei Prüfungen unter erhöhter Feuchte zeigen sich jedoch deutliche Defizite bei der Verklebung von Laubholz. Üblicherweise wird die Verklebungsgüte von tragenden Holzbauteilen dabei anhand der Zugscherfestigkeit (DIN EN 302-1) und der Delaminierungsbeständigkeit (DIN EN 302-2) gemessen. Da nur eine bedingte Verbesserung der Verklebung durch das Holz an sich möglich ist (u.a. Holzsortierung, Methodik der Oberflächenbearbeitung) wird verstärkt auf klebstoffseitige Parameter geachtet. Durch die höhere Festigkeit, aber auch höhere Quell- und Schwindmasse im Vergleich zu Nadelholz, bestehen derzeit insbesondere beim Delaminierungstest bei Laubholz Probleme.

Ziel dieser Arbeit ist die systematische Untersuchung des Einflusses verschiedener Herstellungsparameter auf die resultierende Verklebungsgüte von Eschenholz. Hierzu wird vor allem der Einfluss von Mischungsverhältnis (Klebstoff/Härter) und geschlossener Zeit auf die Klebung mit Melamin- Harnstoff- Formaldehyd Harz (MUF) näher betrachtet. Dieser Klebstoff hat sich nach Untersuchungen der TU München für Buchenholz bewährt und wird für Esche industriell durch die neue Holzbau bereits eingesetzt. Ergänzend dazu wird ein Phenol-Resorzin-Formaldehyd Harz (PRF), zwei Einkomponenten Polyurethanklebstoffe (1K-PUR) und ein Emulsions-Polymer-Isocyanat (EPI) verwendet. Zur Quantifizierung der Festigkeit werden die hergestellten Proben einem Zugschertest nach DIN EN 302-1 (2013) und einer Delaminierungsprüfung nach DIN EN 302-2 (2013) unterzogen.

Die gewonnenen Erkenntnisse sollen der Industrie helfen den Herstellungsprozess von Laubholzträgern zu optimieren.

Diese Forschungsarbeit ist das Ergebnis aus einer Kooperation der Abteilung Holz und Bau der Berner Fachhochschule, der Arbeitsgruppe Holzphysik am Institut für Baustoffe der ETH Zürich, geleitet von Prof. Dr. Peter Niemz, sowie den Industriepartnern neue Holzbau AG Lungern, Jowat Swiss AG und DeMeth GmbH Einsiedeln (Vertrieb Melaminharze von Dynea). Die Federführung lag bei der ETH Zürich.

Verantwortlich für die Ausführung der Delaminierungsversuche (nach DIN EN 302-2) sowie die Erstellung des entsprechenden Prüfberichtes sind H. Jung (Jowat Swiss AG, nur PUR Systeme der Fa. Jowat wurden getestet) bzw. M. Lehmann (Berner Fachhochschule Hochschule für Architektur, Holz und Bau, Test aller Klebstoffe im Delaminierungsversuch). Die Zugscherversuche (nach DIN EN 302-1) sowie die Erstellung dieses Berichtes erfolgte durch S. Schlegel an der ETH Zürich. Ergänzend wurden am IHD Dresden Messungen zu Holzinhaltsstoffen unter Leitung von Dr. habil. M. Beyer durchgeführt.

2 Zielstellung

Laubholz ist aus verschiedenen Gründen interessant für die Verwendung im tragenden Holzbau. Die Zunahme des Laubholzanteils in den Wäldern (Krackler et al. 2011) und die besseren mechanischen Eigenschaften gegenüber Nadelholz lenken das Interesse der Industrie auf die Verwendung von Laubholz. Dabei müssen Brettschichtholzträger bestimmte Mindestanforderungen (z.B.: DIN EN 14080 2013) erfüllen. Die Steuerung der mechanischen Eigenschaften ist dabei nur während des Herstellungsprozesses möglich. Einerseits ermöglicht die Holzsortierung die Sicherung der Qualitätsansprüche an das Holz, andererseits kann durch die Optimierung klebstoffseitiger Parameter die Festigkeit der Klebung verbessert werden.

Ziel dieser Arbeit ist die systematische Untersuchung des Einflusses verschiedener Herstellungsparameter auf die resultierende Verklebungsgüte von Eschenholz. Hierzu wird vor allem der Einfluss von Mischungsverhältnis (Klebstoff/Härter) und geschlossener Zeit auf die Klebung mit Melamin- Harnstoff- Formaldehyd Harz (MUF) näher betrachtet. Ergänzend dazu wird ein Phenol-Resorzin-Formaldehyd Harz (PRF), zwei Einkomponenten Polyurethanklebstoffe (1K-PUR) und ein Emulsion-Polymer-Isocyanat (EPI) verwendet. Zur Quantifizierung der Festigkeit werden die hergestellten Proben einem Zugschertest nach DIN EN 302-1 (2013) und einer Delaminierungsprüfung nach DIN EN 302-2 (2013) unterzogen (der Delaminierungstest erfolgte nur an ausgewählten Varianten). Die gewonnenen Erkenntnisse sollen der Industrie helfen den Herstellungsprozess von Laubholzträgern zu optimieren.

3 Stand der Forschung auf diesem Gebiet

Laubholz wird derzeit im Möbelbau, für Parkett, teilweise in der Holzwerkstoffindustrie (insbesondere für Sperrholz und Furnierschichtholz, Span- und Faserplatten), aber auch zunehmend für energetische Zwecke genutzt. Die in Arbeiten von Gehri (1992) an der ETH untersuchte Idee zum Einsatz von Laubholz in Brettschichtholz konnte sich bisher nicht im grossen Stil industriell durchsetzen. Ersten Einsatz findet Laubholz zum Beispiel bei der Firma Pollmeier Massivholz GmbH & Co. KG/Deutschland in Furnierschichtholz (LVL) oder auch bei der Firma Hess, Döttingen/Schweiz, welche spezielle Knotenplatten aus Buchen LVL fertigt.

Untersuchungen zum Thema Brettschichtholz aus Laubholz wurden bisher an der TU Graz (Schickhofer und Frühwald (2005)), an der Universität Karlsruhe (Blaß et al. (2005)), der TU München (Schmidt et al. (2009)), Knorz et al. (2014) und der Universität Freiburg (Ohnesorg et al. (2010)) durchgeführt. Schmidt et al. (2009) konnten für Buche zeigen, dass eine längere geschlossene Wartezeit die Delaminierungsbeständigkeit bei MUF-Systemen erhöht. Die Anforderungen von EN 301 (2006) konnten von keinem der verwendeten PU-Systeme erfüllt werden. Die Erkenntnis dass es keinen direkten Zusammenhang zwischen den Ergebnissen von Scher- und Delaminierungsprüfung gibt, deckt sich mit den Untersuchungen von Knorz et al. (2014). Die Erkenntnis von Schmidt et al. (2009), dass die geschlossene Wartezeit die Ergebnisse der Delaminierungsprüfung beeinflusst, konnte von Knorz et al. (2014) bestätigt werden. Alle von Knorz et al. (2014) verwendeten Klebstoffe erreichten für Esche nicht die Anforderungen der EN 301, jedoch zeigte sich ein Einfluss des Mischungsverhältnisses (Härter/Klebstoff) bei MUF Klebstoffen. In der Schweiz arbeitet u.a. die neue Holzbau AG in Zusammenarbeit mit Prof. E. Gehri an der Laubholzproblematik. Bei der Verwendung von Laubholz wird hierzulande überwiegend auf Esche zurückgegriffen, da diese Holzart bessere Verarbeitungseigenschaften aufweist und zudem eine geringere Quellung und Quellungsanisotropie als Buche aufweist. Bei der industriellen Verklebung von Esche wird häufig Melaminharz mit langer geschlossener Wartezeit verwendet. Bisher wurden in der Schweiz die Ergebnisse der Untersuchungen an Buchenholz in München weitgehend auf Esche übertragen, und Systeme aus der Buchenverklebung mit langer geschlossener Wartezeit verwendet. Eine spezifische Anpassung für die Esche erfolgte nicht. Wird Brettschichtholz für die Nutzungsklasse 2 gefertigt, wird von der neuen Holzbau AG prinzipiell PRF verwendet. PUR kommt bisher nur für Keilzinkenverbindungen zum Einsatz.

4 Material und Methoden

4.1 Forschungsplan

Die einzelnen Aufgaben sind je nach Kompetenz der Forschungseinrichtung aufgeteilt. Die Resultate der unabhängig voneinander bearbeiteten Aufgabenbereiche werden in regelmässigen Abständen abgeglichen und zu einem gemeinsamen Projekt zusammengeführt.

Tabelle 1: Aufgabenaufteilung (Gesamtkoordination ETH)

Arbeitsschritt		Verantwortlichkeit
Material	Holzauswahl	Neue Holzbau AG/ ETHZ
	Zuschnitt	Neue Holzbau AG
	Trocknung	Neue Holzbau AG /BFH AHB
	Primer	Jowat Swiss AG
	Klebstoffe	Jowat Swiss AG/ DeMeth
Prüfkörper-herstellung	mech. Oberflächenbearbeitung	Neue Holzbau AG
	chem. Oberflächenbehandlung	Jowat Swiss AG
	Verklebung	Neue Holzbau AG/ ETHZ
	Prüfkörperzuschnitt	Neue Holzbau AG/ ETHZ
Prüfungen	Delaminierungstest	BFH AHB/ Jowat Swiss AG
	Zugscherprüfung/Holzbruchanteil	ETHZ

Bei dem Meeting vom 13.12.2013 wurde sich auf folgende Variationen bei den Zugscherprüfungen geeinigt: Für die Oberflächenbearbeitungsverfahren wurden Hobeln und Stirnplanfräsen ausgewählt. Für die Verklebung wurden zwei MUF-, zwei PUR- ein EPI-und ein PRF-System ausgewählt. Bei dem MUF System wird sowohl Mischungsverhältnis als auch die geschlossene Wartezeit variiert. Die Verklebung mit den PUR-Systemen wird jeweils ohne und mit vorherigen Primern durchgeführt. Alle Varianten werden nach den Lagerfolgen A1 und A4 (vgl. DIN EN 302-1) geprüft. Eine Übersicht über die resultierenden Varianten kann Tabelle 2 entnommen werden.

Tabelle 2 Variantenübersicht Zugscherversuche

Oberflächen-behandlung	Klebstoff	Mischungsverhältnis	Geschlossene Zeit	Lagerfolge
Hobeln	MUF 46	100:100	10 min.	A1
				A4
			20 min.	A1
				A4
			30 min.	A1
				A4

		100:60	10 min.	A1
				A4
			20 min.	A1
				A4
			30 min.	A1
				A4
		100:35	10 min.	A1
				A4
			20 min.	A1
				A4
			30 min.	A1
				A4
	PUR 7P	/	/	A1
				A4
	PUR 6P	/	/	A1
				A4
	PUR 7			A1
				A4
	PUR 6			A1
				A4
	EPI	100:15	15 min.	A1
				A4
	MUF 47	100:25	40 min.	A1
				A4
	RF	100:20	30 min.	A1
				A4
Stirnplanfräse n	MUF 46	100:100	10 min.	A1
				A4
			20 min.	A1
				A4
			30 min.	A1
				A4
		100:60	10 min.	A1
				A4
			20 min.	A1
				A4
			30 min.	A1
				A4
		100:35	10 min.	A1
				A4
			20 min.	A1
				A4
			30 min.	A1
				A4
	PUR 7	/	/	A1
				A4

	PUR 6			A1
				A4
	EPI	100:15	15 min.	A1
				A4
	MUF 47	100:25	40 min.	A1
				A4
	RF	100:20	30 min.	A1
				A4

Bei den Proben für die Delaminierungsversuche wurden die gleichen Klebstoffe und Oberflächenbearbeitungsverfahren verwendet. Um den zeitlichen Rahmen dieser Untersuchung einhalten zu können wurde auf die Referenzproben mit PRF verzichtet (Tabelle 3). Der Umfang der Versuche wurde am Beginn der Industrierversuche angepasst, da zwischenzeitlich neue Ergebnisse der TU München vorlagen (Knorz et al. (2014)).

Tabelle 3 Variantenübersicht Delaminierung

Oberflächenbehandlung	Klebstoff	Mischungsverhältnis	Geschlossene Zeit
Hobeln	PUR 7	/	/
	PUR 6		
	PUR 7P		
	PUR 6P		
	EPI	100:15	< 20 min.
Stirnplanfräsen	MUF 46	100:100	10 min.
			20 min.
			30 min.
		100:60	10 min.
			20 min.
			30 min.
		100:35	10 min.
			20 min.
			30 min.
	PUR 7	/	/
	PUR 6		
	EPI	100:15	< 20 min.

4.2 Klebstoffe

Alle Klebstoffe, die in dieser Forschungsarbeit verwendet werden, sind industrielle Klebstoffe die auf dem Markt frei erhältlich sind und bereits für Verklebungen im tragenden Holzbau eingesetzt werden. Lediglich der benutzte Primer (MDF, siehe Diss. Kläusler 2014) wird derzeit ausschliesslich zu Forschungszwecken eingesetzt. Die physikalischen Eigenschaften sowie die Verarbeitungs- und Lagerbedingungen der Klebstoffe können den entsprechenden Datenblättern entnommen werden. Um die Beschreibung zu vereinfachen, werden die Klebstoffe wie in (Tabelle 4) abgekürzt.

Tabelle 4 Abkürzung der Klebstoffe

Klebstoff	Bezeichnung
MUF 4546	MUF 46
MUF 4547	MUF 47
RF Aerodux 185	RF
EPI 6151	EPI
PUR 687.4	PUR 7
PUR 687.4 mit DMF	PUR 7P
PUR 686.6	PUR 6
PUR 686.6 mit DMF	PUR 6P

Lieferanten: MUF, PRF, EPI: Dynea, PUR: Jowat Swiss AG

4.3 Herstellung der Prüfkörper

Alle Prüfkörper werden aus Eschenholz (*Fraxinus excelsior*) der gleichen Holzcharge hergestellt. Das Holz wurde vorgängig sortiert (Dichte und Ultraschallmessung).

Durch die unterschiedliche Faserrichtung bei den Delaminierungs- und Zugscherversuche können sie jedoch nicht aus dem gleichen Brett hergestellt werden. Die stirnplan-gefrästen Oberflächen werden durch ein externes Unternehmen angefertigt.

Die Zugscherprüfkörper werden unter Laborbedingungen nach DIN EN 302-1 (2013) an der ETH hergestellt. Die mittlere Normalrohichte des Holzes liegt bei 652 ± 24 kg/m³ und die mittlere Holzfeuchte bei $11.78 \pm 0.66\%$. Es werden beidseitig 40 g/m² DMF analog Kläusler et al (2014) aufgetragen.

Die Prüfkörper für die Delaminierungsprüfung werden unter industriellen Bedingungen in einem Brettschichtholzwerk hergestellt. Daher ist die Einhaltung der Forderungen von DIN EN 302-2 (2013) nur bedingt möglich. Von allen Bohlen die zur Herstellung

der Prüfkörper eingesetzt werden, wird vorhergehend die Dichte sowie das Elastizitätsmodul (mit Ultraschall) bestimmt und Bohlen mit zu grossen Abweichungen werden aussortiert. Die mittlere Rohdichte liegt bei $683 \pm 63 \text{ kg/m}^3$ und die mittlere Holzfeuchte bei $10.75 \pm 0,86 \%$.

4.4 Delaminierungsversuche

Die Delaminierungsversuche wurden in den Laboren der Jowat Swiss AG bzw. den Laboren der Berner Fachhochschule für Architektur, Holz und Bau durchgeführt. Durch die Versuche sollte zugleich die Reproduzierbarkeit der Prüfmethodik untersucht werden. Prüfparameter sowie Ergebnisse wurden protokolliert und können dem Anhang entnommen werden.

4.5 Zugscherversuche

Die Bruchkraft wurde mit der Prüfmaschine Z10 der Firma Zwick/ Roell ermittelt. Bei einer konstanten Vorschubgeschwindigkeit (der Traverse) von 0.8 mm/min wurde die maximal aufgebrachte Kraft mittels Kraftmessdose bis zum Bruch des Prüfkörpers aufgezeichnet. Dabei wurde ein Kraftabfall von 30% als Bruchkriterium definiert. Der Kraftverlauf wird dazu über die Kraftmessdose, welche an der oberen Spannzange montiert ist, aufgezeichnet. Zur Auswertung wurden Kraft, Traversenweg und Prüfzeit direkt in die mitgelieferte Software testXpert II eingelesen. Alle in DIN EN 302-1 (2013) geforderten Richtlinien wurden dabei eingehalten.

Nach der Zugscherprüfung erfolgte, wie von DIN EN 302-1 (2013) gefordert, die Schätzung des prozentualen Holzbruchs.

4.6 Zusatzversuche

Ergänzend zu den oben genannten Versuchen wurden noch die Holzinhaltsstoffe von Esche (*Fraxinus excelsior L.*), Buche (*Fagus sylvatica L.*) und Fichte (*Picea abies (L.) Karst.*) an jeweils 2 Proben bestimmt. Es sollte Auskunft gegeben werden, ob Inhaltstoffe sich auf die Aushärtung der Klebstoffe auswirken.

Um den Einfluss der geschlossenen Wartezeit besser zu untersuchen, wurde eine zusätzliche Versuchsreihe mit einer geschlossenen Wartezeit von 40 Minuten im Mischungsverhältnis 100:35 mit dem Klebstoff MUF 46 durchgeführt

5 Ergebnisse

5.1 Zugscherversuche

Die Zugscherfestigkeit der einzelnen Varianten nach Behandlung A1 (vgl. DIN EN 302-1(2013)) unterscheidet sich nur geringfügig voneinander (siehe Abbildung 1). Bereits bei der Prüfung im trockenen Zustand (nach Behandlung A1) erfüllen nicht alle Varianten die Anforderung der Norm DIN EN 15425 (2008). Die Varianten PUR 7 (Holzbruchanteil 90%), PUR 6 mit DMF(Holzbruchanteil 90%), PUR 7 mit DMF(Holzbruchanteil 80%), MUF 46 mit 100:60/ 30 min auf gefräster Oberfläche und MUF 46 mit 100:35/ 30 min auf gefräster Oberfläche erreichen nicht die geforderte Zugscherfestigkeit von 10 N/mm². Allgemein zeigen die PUR und EPI Varianten geringere Zugscherfestigkeiten als die MUF und RF Varianten. Die Ergebnisse nach der Behandlung A4 (vgl. DIN EN 302-1(2013)) zeigen äquivalent zum trockenen Zustand nur geringe Unterschiede zwischen den Varianten (Abbildung 2). 9 von 31 Varianten können die Anforderungen der Norm DIN EN 15425 (2008) erfüllen. Keine PUR Variante erreicht die geforderte Zugscherfestigkeit von 6 N/mm² (Abbildung 2). Die höchste Zugscherfestigkeit konnte bei den beiden RF Varianten und den gefrästen MUF Varianten bei einem Mischungsverhältnis von 100:35 beobachtet werden. Obwohl die PUR Verklebungen sowohl nach Behandlung A1, als auch nach Behandlung A4 geringe Zugscherfestigkeiten zeigen, ist ein Unterschied zwischen PUR 6 und PUR 7 sichtbar. Dieser kann auf die spezielle Formulierung des PUR 6 (zugelassener Klebstoffe, auch veränderte chemische Zusammensetzung des Klebstoffes), welcher auch mit Fasern verstärkt ist, zurückgeführt werden.

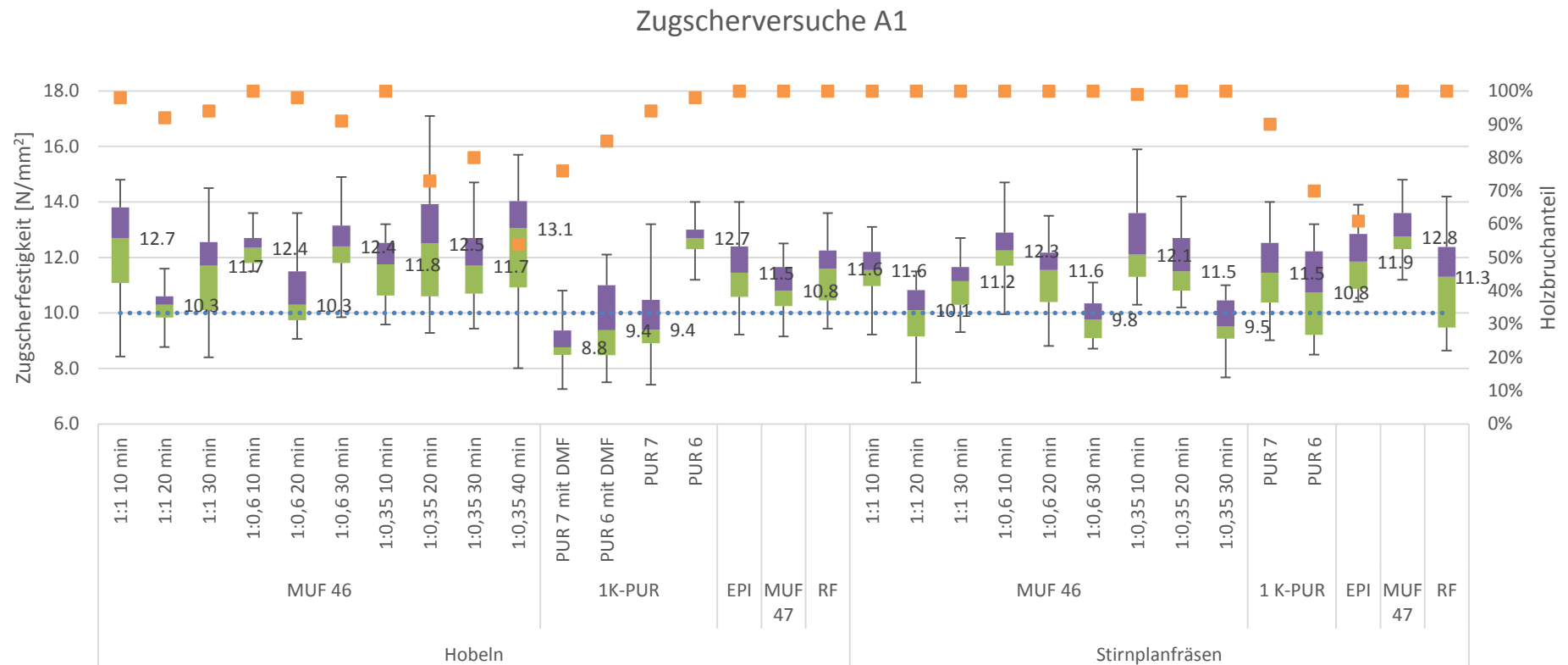


Abbildung 1 Zugscherfestigkeit und Holzbruch nach Behandlung A1

Zugscherversuche A4

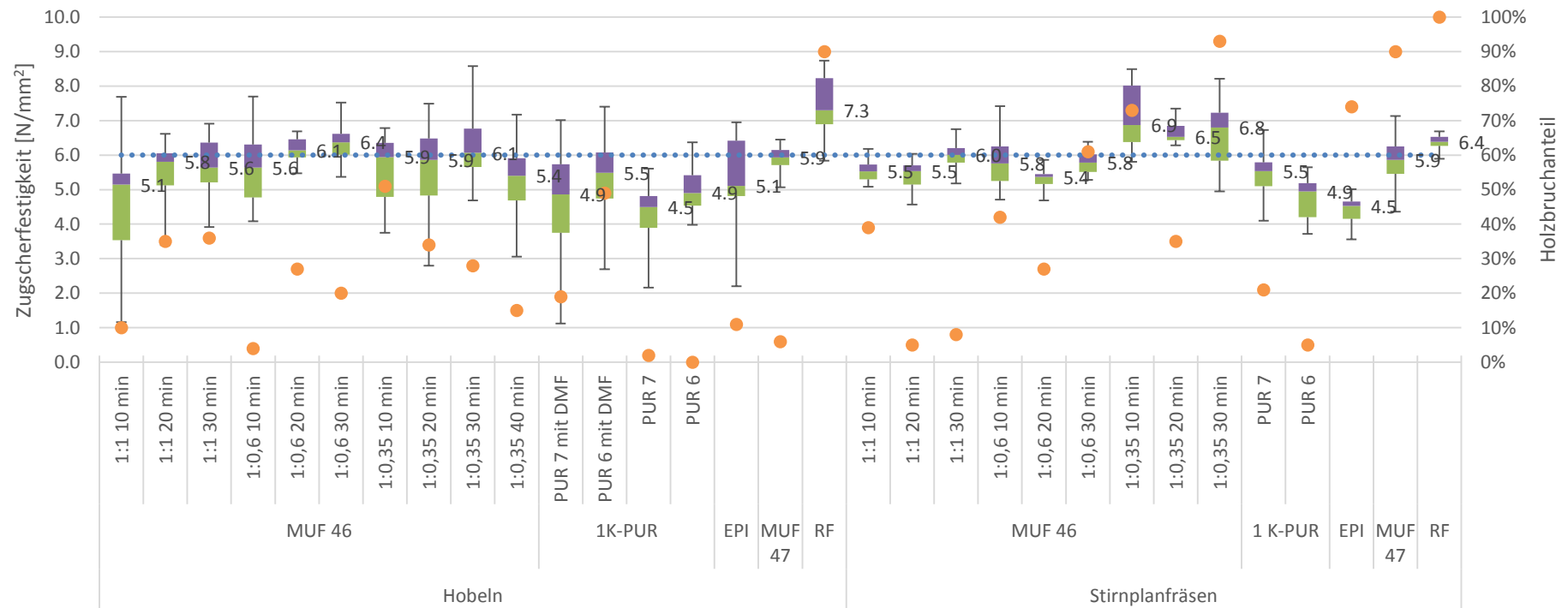


Abbildung 2 Zugscherfestigkeit und Holzbruch nach Behandlung A4

Die Varianten MUF 46 100:35 40 min auf gehobelter Oberfläche und MUF 47 auf gefräster Oberfläche erreichen nach Behandlung A1 mit 13.1 N/mm² bzw. 12.8 N/mm² die höchsten Zugscherfestigkeiten aller MUF Varianten. Im Gegensatz dazu erreichen beide Varianten nach Behandlung A4 nicht den Grenzwert von 6 N/mm². Im Gegensatz dazu, weist Variante MUF 46 100:35 30 min auf gefräster Oberfläche mit 6.8 N/mm² eine der höchsten Zugscherfestigkeiten nach A4 auf. Dabei erreicht diese Variante nach Behandlung A1 nicht den Grenzwert der Norm.

Statistisch zeigen sich nur wenige signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Varianten. Bei einem Signifikanzniveau von $\alpha=0.05$ können zwar einige signifikante Unterschiede ermittelt werden, diese deuten aber nicht auf klare Trends bezüglich des Einflusses von Mischungsverhältnis, geschlossener Wartezeit oder Oberflächenbearbeitung hin (Abbildung 3). In Abbildung 3 bedeuten schwarz gefüllte Kästchen einen signifikanten Unterschied nach Behandlung A1 und grün gefüllte Kästchen markieren einen Unterschied nach Behandlung A4.

			Hobeln												Stirnplanfräsen																			
			MUF 46										1K-PUR		MUF 46										1 K-PUR									
			1:1 10 min	1:1 20 min	1:1 30 min	1:0,6 10 min	1:0,6 20 min	1:0,6 30 min	1:0,35 10 min	1:0,35 20 min	1:0,35 30 min	1:0,35 40 min	PUR 7 mit DMF	PUR 6 mit DMF	PUR 7	PUR 6	EPI	MUF 47	RF	1:1 10 min	1:1 20 min	1:1 30 min	1:0,6 10 min	1:0,6 20 min	1:0,6 30 min	1:0,35 10 min	1:0,35 20 min	1:0,35 30 min	PUR 7	PUR 6	EPI	MUF 47	RF	
Hobeln	MUF 46	1:1 10 min	X																															
		1:1 20 min		X																														
		1:1 30 min			X																													
		1:0,6 10 min				X																												
		1:0,6 20 min					X																											
		1:0,6 30 min						X																										
		1:0,35 10 min							X																									
		1:0,35 20 min								X																								
		1:0,35 30 min									X																							
		1:0,35 40 min										X																						
Hobeln	1K-PUR	PUR 7 mit DMF										X																						
		PUR 6 mit DMF												X																				
		PUR 7													X																			
		PUR 6														X																		
		EPI															X																	
	MUF 47	MUF 47															X																	
		RF																	X															
		Stirnplanfräsen	MUF 46	1:1 10 min																		X												
				1:1 20 min																				X										
				1:1 30 min																					X									
1:0,6 10 min																								X										
1:0,6 20 min																									X									
1:0,6 30 min																										X								
1:0,35 10 min																											X							
1:0,35 20 min																												X						
1:0,35 30 min																													X					
1 K-PUR	PUR 7																													X				
	PUR 6																													X				
MUF 47	MUF 47																														X			
	RF																															X		

Abbildung 3 Signifikanz der Zugscherversuche (Schwarz bei Lagerfolge A1, Grün bei Lagerfolge A4)

5.2 Delaminierungsversuche

Die Ergebnisse der Delaminierungsversuche weisen Ähnlichkeiten zu denen der Zugscherversuche auf. Keine der getesteten Varianten kann die Forderungen der Norm DIN EN 15425 (2008) - mit einer maximalen Delamination von $< 5\%$ - erfüllen (Abbildung 4 Vergleich Delaminierung Jowat und AHB). Die geringste Delamination wurde bei der 1K-PUR Variante PUR 6 mit DMF (31.17%) und der Variante MUF 46 (33.11%) bei einem Mischungsverhältnis von 100:60 und einer geschlossenen Wartezeit von 30 Minuten beobachtet. Im Gegensatz zur Untersuchung von KNORZ (2014) kann hier kein direkter Zusammenhang zwischen geschlossener Wartezeit und Delaminierungsbeständigkeit festgestellt werden.

Der Vergleich der Ergebnisse (Messungen) von Jowat Swiss AG (blau) und der Berner Fachhochschule für Architektur, Holz und Bau (rot) zeigt nur geringe Unterschiede zwischen den unabhängig voneinander durchgeführten Prüfungen (Abbildung 4). Die Unterschiede liegen im Bereich der Streuung. Dies belegt die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse und schliesst einen Fehler bei der Durchführung der Prüfung aus.

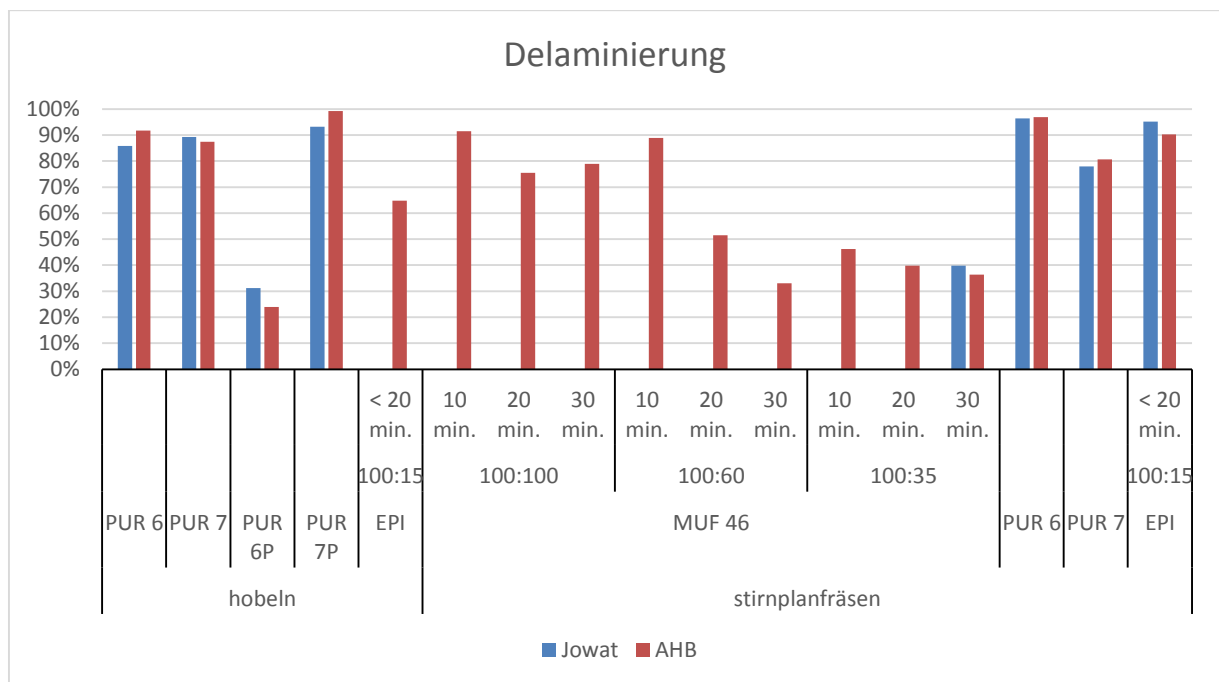


Abbildung 4 Vergleich Delaminierung Jowat und AHB

5.3 Holzinhaltsstoffe

Alle in dieser Untersuchung eingesetzten Klebstoffe sind handelsübliche Systeme welche zur Verklebung von Buche und Fichte im industriellen Massstab erfolgreich eingesetzt werden. Eine mögliche Ursache für die geringen Festigkeitswerte bei verklebtem Eschenholz könnte eine Wechselwirkung des Klebstoffs mit

Holzinhaltsstoffen sein. Zur Bestimmung des Extraktstoffgehalts wurden jeweils zwei Proben von Esche, Buche und Fichte am Institut für Holztechnologie Dresden untersucht. Dabei wurde der Gehalt von Alkansäuren, Fettsäuren und der pH-Wert ermittelt. Die Ergebnisse zeigen, dass der Gehalt an Essigsäure sowie der pH-Wert von Eschenholz zwischen den Werten von Buche und Fichte liegt (Tabelle 5). Nur der Gehalt an Ameisensäure in Eschenholz liegt weit höher als der in Buche und Fichte.

Tabelle 5: Vergleich Gehalt an Alkansäuren und pH-Wert

Holzart	Essigsäure [mg/kg]		Ameisensäure [mg/kg]		Σ [mg/kg]		Mittelwert	pH-Wert
	Probe 1	Probe 2	Probe 1	Probe 2	Probe 1	Probe 2		
Buche	113.9	114.5	9.58	9.58	123.5	124.1	123.8	5.39
Esche	225.6	227.5	50.72	50.72	276.3	278.2	277.3	5.18
Fichte	421.3	423.8	13.17	13.21	434.7	437	435.9	4.74

Der Gehalt an gesättigten Fettsäuren in Eschenholz ist vergleichbar mit dem Gehalt in Buche. Jedoch ist der Gehalt an ungesättigten Fettsäuren in den Proben aus Esche eher vergleichbar mit dem Gehalt in den Fichteproben (vgl. Tabelle 6).

Tabelle 6: Fettsäuregehalt

Holzart		Fettsäuren [mg/kg]		
		Σ	gesättigt	ungesättigt
Buche	Probe 1	163.01	87.11	75.91
	Probe 2	175.91	89.88	86.03
	Mittelwert	169.46	88.49	80.97
Esche	Probe 1	616	90.78	525.22
	Probe 2	595.54	85.92	509.63
	Mittelwert	605.77	88.35	517.42
Fichte	Probe 1	678.78	187.78	491
	Probe 2	703.63	196.65	506.99
	Mittelwert	691.21	192.22	498.99

Hierzu müssten weitere Arbeiten durchgeführt werden um zu prüfen, wie diese Inhaltstoffe das Aushärtungsverhalten beeinflussen. Das sollte ggf. Inhalt eines Nachfolgeprojektes sein.

6 Zusammenfassung

Bereits im Normalklima (A1) erfüllen nicht alle untersuchten Varianten die Mindestanforderung für Zugscherprüfkörper nach DIN EN 15425 (2008). Nach Behandlung A4 erreicht nur noch eine geringe Anzahl der getesteten Varianten die geforderte Zugscherfestigkeit von 6 N/mm^2 . Am sichersten scheint die Verklebung mit PRF bzw. die Klebung mit MUF unter sehr spezifischen Herstellungs- und Verklebungsparametern.

Bestätigt werden diese Aussagen nach Auswertung der Delaminierungsversuche bei denen kein Klebstoff den Anforderungen gerecht werden konnte. Bei einem der beiden PUR Klebstoffe konnte nach Primern mit DMF im Delaminierungsversuch eine deutliche Verbesserung erreicht werden (Werte lagen im Bereich von MF).

Bei den MUF Klebungen ist kein eindeutiger Einfluss von Mischungsverhältnis oder geschlossener Wartezeit nachweisbar. Andere Parameter weisen einen deutlich stärkeren Einfluss auf.

Eine mögliche Ursache für die geringere Festigkeit der Verklebung von Eschenholz könnte der Extraktstoffgehalt sein. Im Vergleich zu Nadelholz weisen die untersuchten Esche-Proben eine geringere Menge an Säuren auf. Vor allem die verwendeten säurehärtenden Klebstoffe könnten negativ von dem geringeren Gehalt an Säuren beeinflusst werden. Die Säuren können aber auch Auswirkung bei der Reaktion von Isocyanaten haben was die Festigkeit bei PUR Verklebungen beeinflussen kann.

Diese Untersuchung zeigt den grossen Optimierungsbedarf von Verklebung mit Eschenholz. In weiterführenden Untersuchungen sollten vorrangig die grundlegenden Ursachen ermittelt werden, die zu einer Verschlechterung der Verklebung von Eschenholz führen. Um klebstoffseitige Parameter zu optimieren, muss zuerst ein Klebstoffsystem gefunden werden, welches die Festigkeitsanforderungen der entsprechenden Normen erfüllt.

Zwischenzeitlich wurde von Purbond ein Primer entwickelt, der anscheinend die Klebefestigkeit von Polyurethan bei Laubholz (vergleiche Artikel: Holz Zentralblatt Nr.21 2014) verbessert. In einem Anschlussprojekt soll dieser Primer sowie weitere optimierte MUF Systeme getestet werden. Es ist geplant, die Arbeiten in einem neuen Projekt fortzusetzen, dabei sollen der neu entwickelte Primer von Purbond und weiterentwickelte Melainharze getestet werden.

7 Quellen

Blaß, H. J.; Frese, M.; Glos, P.; Linsenmann, P.; Denzler, J. (2005); Biegefestigkeit von Brettschichtholz aus Buche. Universitätsverlag Karlsruhe, Karlsruhe

DIN EN 14080 Holzbauwerke –Brettschichtholz und Balkenschichtholz – Anforderungen; Deutsche Fassung

DIN EN 301 (2006), Klebstoffe für tragende Holzbauteile - Phenoplaste und Aminoplaste -Klassifizierung und Leistungsanforderungen

DIN EN 302-1 (2013): Klebstoffe für tragende Holzbauteile –Prüfverfahren –Teil 1: Bestimmung der Längszugscherfestigkeit, Deutsche Fassung EN 302-1:2013

DIN EN 302-2 (2013): Klebstoffe für tragende Holzbauteile – Prüfverfahren –Teil 2: Bestimmung der Delaminierungsbeständigkeit; Deutsche Fassung EN 302-2:2013

DIN EN 15425 (2008): Einkomponenten-Klebstoffe auf Polyurethanbasis für tragende Holzbauteile – Klassifizierung und Leistungsanforderungen; Deutsche Fassung EN 15425:2008

Frühwald, K.; Schickhofer, G. (2005): Strength grading of Hardwoods, Proceedings of the 14th. Symposium on Nondestructive Testing of Wood, Hannover

Gehri, E. (1992): Holz – Bewährtes oder Neues? Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen (1992) 9: 21-737

Kläusler, O., Hass, P., Amen, C., Schlegel, S., Niemz, P. (2014): Improvement of tensile shear strength and wood failure percentage of 1C PUR bonded wooden joints at wet stage by means of DMF priming. European Journal of Wood and Wood Products (2014), Volume 72, Issue 3, 343-354.

Knorz, M., Schmidt, M., Torno, S., Kuilen, J.W. (2014): Structural bonding of ash (*Fraxinus excelsior* L.): resistance to delamination and performance in shearing tests. Eur. J. Wood Prod. (2014) 72:297–309

Krackler V, Keunecke D, Niemz P, Hurst A (2011) Possible fields of hardwood application. *Wood Res* 56(1):125–136

Ohnesorge, D.; Richter, K.; Becker; G. (2010): Influence of wood properties and bonding parameters on bond durability of European Beech (*Fagus sylvatica* L.) glulams. *Ann. For. Sci.* 67 (2010) 601.

Schmidt, M.; Glos, P.; Wegener, G. (2009): Verklebung von Buchenholz für tragende Bauteile. *European Journal of Wood and Wood Products*. (2010) 68:43–57

Anlage 1:Prüfvorgabe Jowat Swiss DP14/04

Kunde
Jowat Swiss AG
Dr. Heiko Jung
Schiltwaldstrasse 33
6033 Buchrain LU
Schweiz
PL: Herr Martin Lehmann / Dipl. Ing. FH/STV
PL: Sven Schlegel / ETH Zürich
BM: Herr Ralph Kirst / Jowat AG

Ansprechpartner	Messung
Dr. Heiko Jung	HJ/RK/TG
Tel.: +41 41 445 1112	Tel.: +41 41 445 1111
Fax: +41 41 440 2346	Fax: +41 41 440 2346

8 Aufgabenstellung/Problem/Anforderung:

Delaminierungsprüfung in Anlehnung nach EN 302-2: 2004

Mustermaterialien/Herstellung

Gefertigt beim Kunden ☒

Klebstoff(e)	PUR 1, PUR 2, MUF 30:100 und EPI	
Klebstoff	Die PUR's wurden von der Jowat Swiss AG zur Verfügung gestellt. MUF's und EPI von Dynea zur Verfügung gestellt.	Auftragsverfahren 200 g/m ² – 220 g/m ² wurden mit einem ECOPUR HK Dosiersystem von Oest aufgetragen.
Werkstoff	BSH: Eschenholz (Fraxinus excelsior), Dichte ca. 669 kg/m ³ , Holzfeuchte: 8-10% lxbxh= 150mm x 160mm x 75mm hergestellt bei neuholzbau Lungern am 10.02.2014.	Vorbehandlung Normalhobeln Rotolezhobeln Primerbehandlung
Umgebungs-klima	20.2 °C; 28%r.Lf	Herstellungsbedingungen Furnierpresse, (n/a) N/mm ² OZ = PUR 1: OZ ca. 13'(OWZ ≈2 min, GWZ ≈11-13 min) PUR 2: OZ ca. 18'(OWZ ≈2 min, GWZ ≈14-18 min) PZ = 16h

Durchgeführte Prüfungen

1. Delaminierungsprüfung in Anlehnung an EN 302-2: 2004

Prüfreihe nach Klebstofftyp I; Vakuum von 70 kPa bis 85 kPa während 15 Minuten, Druck von 500 kPa bis 600 kPa während 1 Stunde, dieser Vakuum – Druck – Zyklus ist ein weiteres mal zu wiederholen. Danach werden sie Luftgetrocknet während 20 Stunden bei 62-68 °C / relative Luftfeuchte 10-15% und einer Luftgeschwindigkeit von 2.0 – 2.5 m/s. Das ganze wird zwei weitere male wiederholt und danach ausgewertet.

Anlage 1:Prüfvorgabe Jowat Swiss DP14/04

9 Prüfergebnisse Tabelle 1:

Prüfkörper	Höchstprozensatz einer Einzelfuge		Gesamtprozensatz der Delaminierung		Bemerkungen
10.1	IST=50%	n.i.O	IST=97%	n.i.O	PUR 1, Primer DMF, gehobelt
10.3	IST=50%	n.i.O	IST=91%	n.i.O	PUR 1, Primer DMF, gehobelt
10.5	IST=50%	n.i.O	IST=95%	n.i.O	PUR 1, Primer DMF, gehobelt
10.7	IST=50%	n.i.O	IST=97%	n.i.O	PUR 1, Primer DMF, gehobelt
10.9	IST=50%	n.i.O	IST=86%	n.i.O	PUR 1, Primer DMF, gehobelt
10.11	IST=50%	n.i.O	IST=93%	n.i.O	PUR 1, Primer DMF, gehobelt
12.1	IST=100%	n.i.O	IST=84%	n.i.O	PUR 1, gehobelt
12.3	IST=100%	n.i.O	IST=95%	n.i.O	PUR 1, gehobelt
12.5	IST=100%	n.i.O	IST=92%	n.i.O	PUR 1, gehobelt
12.7	IST=100%	n.i.O	IST=97%	n.i.O	PUR 1, gehobelt
12.9	IST=100%	n.i.O	IST=90%	n.i.O	PUR 1, gehobelt
12.11	IST=100%	n.i.O	IST=78%	n.i.O	PUR 1, gehobelt
24.1	IST=100%	n.i.O	IST= -%	n.i.O	PUR 1, Rotoles
24.3	IST=100%	n.i.O	IST=96%	n.i.O	PUR 1, Rotoles
24.5	IST=100%	n.i.O	IST=97%	n.i.O	PUR 1, Rotoles
24.7	IST=100%	n.i.O	IST=96%	n.i.O	PUR 1, Rotoles
24.9	IST=100%	n.i.O	IST=98%	n.i.O	PUR 1, Rotoles
24.11	IST=100%	n.i.O	IST=95%	n.i.O	PUR 1, Rotoles
11.1	IST=15%	i.O	IST=31%	n.i.O	PUR 2, Primer DMF, gehobelt
11.3	IST=36%	i.O	IST=30%	n.i.O	PUR 2, Primer DMF, gehobelt
11.5	IST=37%	i.O	IST=34%	n.i.O	PUR 2, Primer DMF, gehobelt
11.7	IST=26%	i.O	IST=30%	n.i.O	PUR 2, Primer DMF, gehobelt
11.9	IST=41%	n.i.O	IST=37%	n.i.O	PUR 2, Primer DMF, gehobelt
11.11	IST=44%	n.i.O	IST=25%	n.i.O	PUR 2, Primer DMF, gehobelt
	Höchstprozent-satz einer Einzelfuge darf max. 40% betragen		Gesamtprozent-satz der Delaminierung darf max. 4.0% betragen		

Anlage 1:Prüfvorgabe Jowat Swiss DP14/04

Prüfkörper	Höchstprozensatz einer Einzelfuge		Gesamtprozensatz der Delaminierung		Bemerkungen
13.1	IST=100%	n.i.O	IST=82%	n.i.O	PUR 2, gehobelt
13.3	IST=53%	n.i.O	IST=84%	n.i.O	PUR 2, gehobelt
13.5	IST=51%	n.i.O	IST=91%	n.i.O	PUR 2, gehobelt
13.7	IST=53%	n.i.O	IST=88%	n.i.O	PUR 2, gehobelt
13.9	IST=100%	n.i.O	IST=88%	n.i.O	PUR 2, gehobelt
13.11	IST=53%	n.i.O	IST=82%	n.i.O	PUR 2, gehobelt
25.1	IST=53%	n.i.O	IST=79%	n.i.O	PUR 2, Rotoles
25.3	IST=53%	n.i.O	IST=82%	n.i.O	PUR 2, Rotoles
25.5	IST=46%	n.i.O	IST=84%	n.i.O	PUR 2, Rotoles
25.7	IST=47%	n.i.O	IST=76%	n.i.O	PUR 2, Rotoles
25.9	IST=51%	n.i.O	IST=68%	n.i.O	PUR 2, Rotoles
25.11	IST=100%	n.i.O	IST=79%	n.i.O	PUR 2, Rotoles
23.1	IST=53%	n.i.O	IST=53%	n.i.O	MUF 100:30, gehobelt
23.3	IST=17%	i.O	IST=36%	n.i.O	MUF 100:30, gehobelt
23.5	IST=43%	n.i.O	IST=38%	n.i.O	MUF 100:30, gehobelt
23.7	IST=14%	i.O	IST=39%	n.i.O	MUF 100:30, gehobelt
23.9	IST=22%	i.O	IST=23%	n.i.O	MUF 100:30, gehobelt
23.11	IST=38%	n.i.O	IST=50%	n.i.O	MUF 100:30, gehobelt
26.1	IST=100%	n.i.O	IST=83%	n.i.O	EPI, gehobelt
26.3	IST=100%	n.i.O	IST=89%	n.i.O	EPI, gehobelt
26.5	IST=100%	n.i.O	IST=86%	n.i.O	EPI, gehobelt
26.7	IST=100%	n.i.O	IST=82%	n.i.O	EPI, gehobelt
26.9	IST=100%	n.i.O	IST=97%	n.i.O	EPI, gehobelt
26.11	IST=100%	n.i.O	IST=94%	n.i.O	EPI, gehobelt
	Höchstprozent-satz einer Einzelfuge darf max. 40% betragen		Gesamtprozent-satz der Delaminierung darf max. 4.0% betragen		

Anlage 1:Prüfvorgabe Jowat Swiss DP14/04

10 Bemerkungen:

Die Lagerung der Prüfkörper erfolgte im Labor der Jowat Swiss AG hierbei konnte festgestellt werden, dass die Gewichtsveränderung der Prüfkörper über 22 Tage ca. 5g betragen hat..

Die durchschnittliche Trocknungszeit zwischen den Zyklen betrug ca. 24-28h

Die Beurteilung der Einzelfugen entspricht bei 50% = 160mm (Quellen des Prüfkörpers) und bei 100% = 300mm Fugenöffnung(dies bedeutet die Fuge ist beidseitig offen, jedoch hält noch an kleinen Stellen flächig).

Die Anordnung der Lamellen war nur bei 10.x und 11.x Normkonform ansonsten bestanden Abweichungen. Direkt bemerkbar machte sich dies bei der Delaminierungsprüfung bei Herz-Herz Verklebungen. Diese Delaminierung wurde als gültig gewertet, da ansonsten über 50% der Leimfugen nicht gewertet werden könnten.

Die Dichte wurde als Durchschnittswert aller verwendeten Prüfkörper eruiert. Die Dichte nach dem 3. Zyklus (Nasszustand) wurde ebenfalls protokolliert und mit einem Durchschnittswert von 1202kg/m³ dokumentiert.

11 Die hier ermittelten Prüfwerte beziehen sich auf die uns zur Verfügung gestellten Muster bzw., falls wir die Klebung hergestellt haben, auf die bei uns hergestellten Musterklebungen. Da die zu klebenden Werkstoffe wie auch die von uns hergestellten Klebstoffe innerhalb der festgelegten Spezifikationen schwanken, können auch diese Werte Veränderungen unterliegen; sie sind daher keine Eigenschaftszusicherungen im Sinne der Rechtsprechung des BGH.

CH-Buchrain, den 23.05.2014

Unterschrift: Dr. Heiko Jung

Delaminierungsprüfungen an Brettschichtholz aus Esche

Prüfbericht

Bericht Nr. R006393-10-63FE-01-SB-01

Auftrag Nr. R006393-10-63FE-01

Klassifizierung öffentlich

Prüfgegenstand Brettschichtholz aus Esche

Typ, Modell

Datum 21.11.2014

Auftraggeber Bundesamt für Umwelt BAFU
Abteilung Wald
Herrn W. Riegger

**Adresse der
Forschungsstelle** Berner Fachhochschule
Institut für Werkstoffe und Holztechnologie
Kompetenzbereich Holz- und Bauklebstoffe
Solothurnstrasse 102, CH-2504 Biel

Sachbearbeiter Martin Lehmann

Kompetenzbereichsleiter Dr. Frédéric Pichelin



SCHWEIZERISCHER PRÜFSTELLENDIENST
SERVICE SUISSE D'ESSAI
SERVIZIO DI PROVA IN SVIZZERA
SWISS TESTING SERVICE



Berner Fachhochschule
Institut für Werkstoffe und Holztechnologie

Nach ISO/IEC 17025 akkreditiert, STS 317

1 Prüfgrundlagen

Position	Angaben
Auftragserteilung	P. Niemz
Prüfer	Martin Lehmann
Normen und Standards	SN EN 301:2013 und SN EN 302-2:2013
Abweichungen zu den Normen	Es handelt sich um Brettschichtholz aus Esche, Die Prüfkörper wurden vor der Prüfung im Klima 23°C und 50% r.h. gelagert, die Trocknung nach dem Wässern dauerte ca. 30 Stunden
Wareneingang	Wareneingang Nr. und Datum
Probenentnahmen	Die Proben wurden durch die ETH bei der n'H Lungern hergestellt und entnommen
Vorklimatisierung	23°C und 50% rh mind. 60 Tage
Datum und Zeitraum der Prüfung	01. Juli bis 30. August

Tabelle 7: Prüfgrundlagen

2 Prüfung

2.1 Prüfmittel und Prüfhilfsmittel

Gerät oder Messmittel	Interne Nr.
Autoklav	36.9758
Trockenschrank	36.9757
Metallmassstab	42.9751
Dickenlehre	-
Lupe x 10	-

Tabelle 8: Prüfmittel und Prüfhilfsmittel

2.2 Übersicht Prüfablauf

Die Ergebnisse der Prüfung können der untenstehenden Tabelle entnommen werden.

Die SN EN 301:2013 fordert für Klebstoffe eine Delaminierung von unter 5%. Diese Anforderung wurde von keinem Prüfkörper erfüllt. Die Ursachen welche zu dieser hohen Delaminierung führte müssen in einem weiteren Projekt untersucht werden.

3 Prüfergebnisse

Die Ergebnisse der Prüfung können der untenstehenden Tabelle entnommen werden.

Die SN EN 301:2013 fordert für Klebstoffe eine Delaminierung von unter 5%. Diese Anforderung wurde von keinem Prüfkörper erfüllt. Die Ursachen welche zu dieser hohen Delaminierung führte müssen in einem weiteren Projekt untersucht werden.

Prüfkörper Nr.	Klebstoff	Dauer der Trocknung			Delamination	Anforderung EN 301 erfüllt
		1. Zyklus	2. Zyklus	3. Zyklus		
10-2	PUR 6P	30	30	30	100%	Nein
10-4	PUR 6P	30	30	30	100%	Nein
10-6	PUR 6P	30	30	30	100%	Nein
10-8	PUR 6P	30	30	30	100%	Nein
10-10	PUR 6P	30	30	30	96%	Nein
10-12	PUR 6P	30	30	30	96%	Nein
11-2	PUR 7P	30	30	30	24%	Nein
11-4	PUR 7P	30	30	30	25%	Nein
11-6	PUR 7P	30	30	30	17%	Nein
11-8	PUR 7P	30	30	30	27%	Nein
11-10	PUR 7P	30	30	30	28%	Nein
11-12	PUR 7P	30	30	30	23%	Nein
12-2	PUR 6	30	30	30	84%	Nein
12-4	PUR 6	30	30	30	94%	Nein
12-6	PUR 6	30	30	30	92%	Nein
12-8	PUR 6	30	30	30	88%	Nein
12-10	PUR 6	30	30	30	93%	Nein
12-12	PUR 6	30	30	30	74%	Nein
13-2	PUR 7	30	30	30	93%	Nein

13-4	PUR 7	30	30	30	86%	Nein
13-6	PUR 7	30	30	30	97%	Nein
13-8	PUR 7	30	30	30	85%	Nein
13-10	PUR 7	30	30	30	90%	Nein
13-12	PUR 7	30	30	30	98%	Nein
14-2	EPI	30	30	30	71%	Nein
14-4	EPI	30	30	30	65%	Nein
14-6	EPI	30	30	30	48%	Nein
14-8	EPI	30	30	30	80%	Nein
14-10	EPI	30	30	30	76%	Nein
14-12	EPI	30	30	30	49%	Nein
15-2	MUF 46	29	30	30	94%	Nein
15-4	MUF 46	29	30	30	92%	Nein
15-6	MUF 46	29	30	30	94%	Nein
15-8	MUF 46	29	30	30	85%	Nein
15-10	MUF 46	29	30	30	94%	Nein
15-12	MUF 46	29	30	30	76%	Nein
16-2	MUF 46	29	30	30	93%	Nein
16-4	MUF 46	29	30	30	67%	Nein
16-6	MUF 46	29	30	30	83%	Nein
16-8	MUF 46	29	30	30	75%	Nein
16-10	MUF 46	29	30	30	67%	Nein
16-12	MUF 46	29	30	30	66%	Nein
17-2	MUF 46	29	30	30	74%	Nein
17-4	MUF 46	29	30	30	73%	Nein
17-6	MUF 46	29	30	30	76%	Nein
17-8	MUF 46	29	30	30	73%	Nein
17-10	MUF 46	29	30	30	86%	Nein
17-12	MUF 46	29	30	27	87%	Nein
18-2	MUF 46	21	30	30	86%	Nein
18-4	MUF 46	26	30	30	92%	Nein
18-6	MUF 46	26	30	30	95%	Nein
18-8	MUF 46	27	30	30	95%	Nein
18-10	MUF 46	29	30	27	79%	Nein
18-12	MUF 46	29	30	30	86%	Nein
19-2	MUF 46	27	30	30	32%	Nein
19-4	MUF 46	30	30	30	51%	Nein
19-6	MUF 46	30	30	30	40%	Nein
19-8	MUF 46	30	30	30	54%	Nein
19-10	MUF 46	30	30	30	56%	Nein

19-12	MUF 46	30	30	30	75%	Nein
20-2	MUF 46	30	30	30	31%	Nein
20-4	MUF 46	30	30	30	37%	Nein
20-6	MUF 46	30	30	30	40%	Nein
20-8	MUF 46	30	30	30	43%	Nein
20-10	MUF 46	30	30	30	32%	Nein
20-12	MUF 46	30	30	30	16%	Nein
21-2	MUF 46	30	30	30	57%	Nein
21-4	MUF 46	30	30	30	60%	Nein
21-6	MUF 46	30	30	30	45%	Nein
21-8	MUF 46	30	30	30	39%	Nein
21-10	MUF 46	30	30	30	32%	Nein
21-12	MUF 46	30	30	30	44%	Nein
22-2	MUF 46	30	30	30	38%	Nein
22-4	MUF 46	30	30	30	40%	Nein
22-6	MUF 46	30	30	30	45%	Nein
22-8	MUF 46	30	30	30	35%	Nein
22-10	MUF 46	30	30	30	43%	Nein
22-12	MUF 46	30	30	30	38%	Nein
23-2	MUF 46	30	30	30	25%	Nein
23-4	MUF 46	30	30	30	36%	Nein
23-6	MUF 46	30	30	30	44%	Nein
23-8	MUF 46	30	30	30	38%	Nein
23-10	MUF 46	30	30	30	28%	Nein
23-12	MUF 46	30	30	30	48%	Nein
24-2	PUR 7	30	30	30	100%	Nein
24-4	PUR 7	30	30	30	96%	Nein
24-6	PUR 7	30	30	30	97%	Nein
24-8	PUR 7	30	30	30	97%	Nein
24-10	PUR 7	30	30	30	100%	Nein
24-12	PUR 7	30	30	30	88%	Nein
25-2	PUR 6	30	30	30	88%	Nein
25-4	PUR 6	30	30	30	86%	Nein
25-6	PUR 6	30	30	30	80%	Nein
25-8	PUR 6	30	30	30	80%	Nein
25-10	PUR 6	30	30	30	72%	Nein
25-12	PUR 6	30	30	30	79%	Nein
26-2	EPI	30	30	30	83%	Nein
26-4	EPI	30	30	30	92%	Nein
26-6	EPI	30	30	30	90%	Nein

26-8	EPI	30	30	30	85%	Nein
26-10	EPI	30	30	30	94%	Nein
26-12	EPI	30	30	30	98%	Nein

Tabelle 9: Prüfergebnisse