

Untersuchungen zur Verbesserung der Zugscherfestigkeit von 1K PUR in Holzverbindungen im feuchten Zustand

PETER NIEMZ, OLIVER KLÄUSLER UND SVEN SCHLEGEL

ETH Zürich, Institut für Baustoffe, Arbeitsgruppe Holzphysik, CH 8093 Zürich, Stafano-Francini-Platz 3

Zusammenfassung: *Untersuchungen zur Verbesserung der Zugscherfestigkeit von 1K PUR in Holzverbindungen im feuchten Zustand.* Buchenholz (*Fagus sylvatica* L.) wurde mit einem Einkomponenten-Polyurethanklebstoff (1K PUR) verbunden und anschliessend die Zugscherfestigkeit nach EN 302-1 (2011) bestimmt. Die Ergebnisse bestätigen einen erheblichen Verlust an Zugscherfestigkeit und Holzbruchanteil an nassen Prüfkörpern. Wie Mikroskop-bilder zeigen, geht der Festigkeitsverlust im nassen Zustand mit einem Adhäsionsversagen einher. Im trockenen Zustand dominieren hingegen Kohäsionsversagen in der Klebfuge sowie Holzbruch. Durch Primern mit N,N-Dimethylformamid (DMF) konnte die Nasshaftung deutlich verbessert werden. Zusätzlich wurden vergleichend die Primer HMR (hydroxymethyliertes Resorcinol), pMDI (polymeres Diphenylmethandiisocyanat) und Wasser geprüft. Wasser brachte im nassen Zustand keine Verbesserung des Holzbruchanteiles, HMR bewirkte den bereits aus der Literatur bekannten Anstieg des Holzbruchanteiles. HMR konnte sich allerdings bisher in der Praxis wegen des vorhandenen Formaldehydes und der aufwendigen Bearbeitung nicht durchsetzen. Der Schwerpunkt der Arbeit bestand in der Erforschung der Wirkmechanismen des Primers. Von der Fa. Purbond wurden aufbauend auf diesen Arbeiten nichttoxische Primer für die industrielle Anwendung entwickelt und getestet.

Keywords: Laubholz, Nadelholz, 1K PUR, Primer, MUF, PRF Klebstoffe

EINLEITUNG

Klebstoffe sind im konstruktiven Holzbau einer erhöhten Beanspruchung ausgesetzt. Die Eigenschaften der Verklebung werden nach EN 301-1 im trocken Zustand (A1), nach Kochwasserlagerung (A4) sowie Rücktrocknung (A5) geprüft. Zusätzlich erfolgt eine Delaminierungsprüfung nach EN 301-2. 1K PUR gewinnt auf Grund des Fehlens von Formaldehyd und der einfachen Verarbeitbarkeit an Bedeutung. Inzwischen beträgt der Anteil an Flächenverklebung mittels 1K PUR heute etwa 15%, mit steigender Tendenz. Das vor einigen Jahren noch bestehende Problem der im Vergleich zu PRF Klebstoffen geringeren Temperaturbeständigkeit konnte bereits erfolgreich gelöst werden, Purbond produziert heute entsprechende Systeme industriell für den nordamerikanischen Markt (siehe Clauss (2011)). Solche temperaturbeständige Klebstoffe werden inzwischen von Purbond produziert. Ein weiteres zu lösendes Problem ist der geringere Holzbruchanteil von 1K PUR insbesondere im feuchten Zustand (Lagerfolge A3 oder A4 nach EN 302-1) sowie nach Delaminierungstest nach EN 302. Bild 1 zeigt den Einfluss der Holzfeuchtigkeit auf die Zugscherfestigkeit von mit unterschiedlichen Klebstoffen verklebtem Buchenholz. Dabei ist deutlich erkennbar, dass es bei 1K PUR bei hoher rel. Luftfeuchte (93%) oder Wasserlagerung zum Adhäsionsbruch kommt. Bedingt durch veränderte Holzinhaltstoffe, höhere Dichte und Quellmasse, aber auch höhere E-Modul, treten bei der Verklebung von Laubholz kommt es insbesondere bei der Delaminierungsprüfung oft zu einem zu hohen Anteil an geöffneten Klebfugen. Zugelassen ist nach EN 302-2 ein Gesamtprozentsatz an Delaminierungen von maximal 4%. Derzeit ist dies für Buche nur mit einem speziellen MUF Harz mit langer geschlossener Wartezeit möglich (Schmidt 2014). Dafür erfolgte eine bauaufsichtliche Zulassung. Zwischenzeitlich hat auch Purbond (Henkel) für die Reihe HBS und dem Primer PR3105 eine Zulassung. Bei der Verklebung von Esche treten noch grössere Probleme auf (Knorz (2014)). Keiner der von (Knorz et al. (2014)) geprüften Klebstoffe erreichte die Norm. Industriell werden aber sowohl

Buche als auch Esche und Eiche in der Schweiz verklebt. Schadensfälle durch Öffnen von Klebfugen unter praktischen Bedingungen sind jedoch nicht bekannt. Dies zeigt auch etwas die Thematik der Prüfmethode der Delaminierung. In der Schweiz sind Zulassungen wie es in Deutschland nicht erforderlich. Generell muss sicher auch die Prüfmethodik der Delaminierungsprüfung hinterfragt werden, da Praxiserfahrungen zeigen, dass über lange Zeit eingesetzte Systeme den praktischen Anforderungen entsprechen (Radovic und Rothkopf (2003), Fischer, Risi, Richter (2004)). Nachfolgend werden Ergebnisse von Arbeiten zur Optimierung der Verklebungsgüte durch Primern im nassen Zustand vorgestellt, die an der ETH Zürich durchgeführt wurden. Dabei werden die Ergebnisse mit MUF und PRF Verklebungen verglichen.

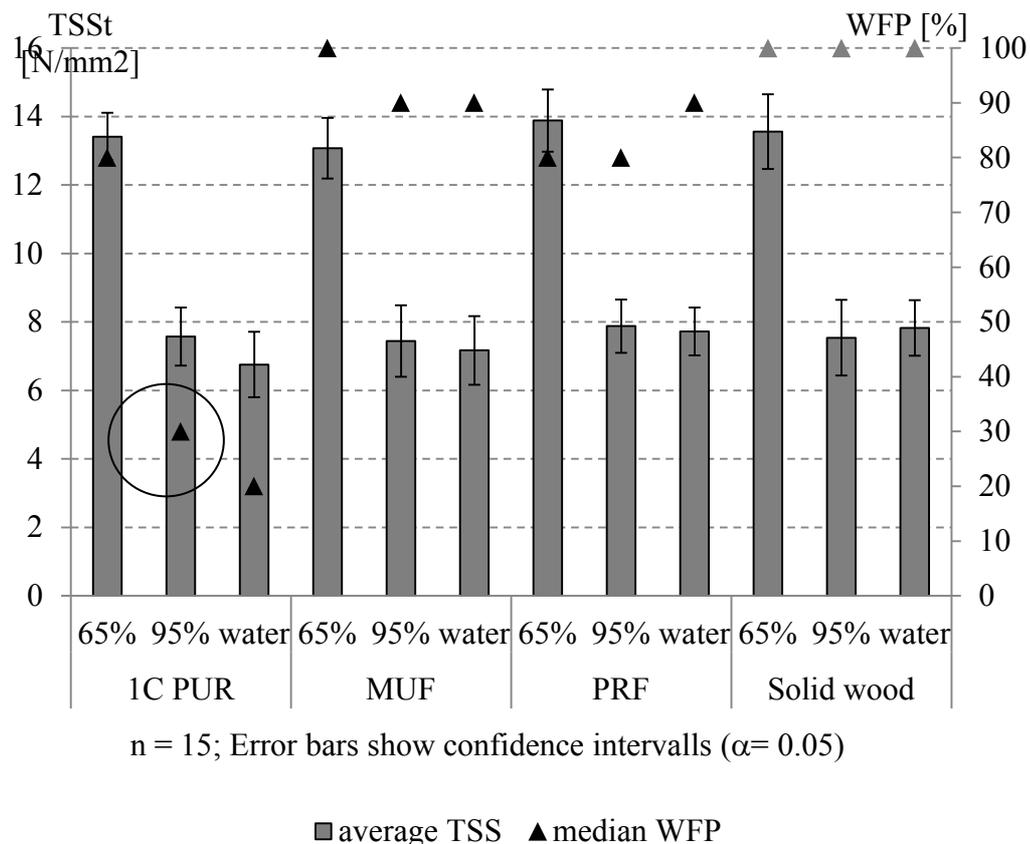


Bild 1: Zugscherfestigkeit (TSS) für Vollholz und Holzbruchanteil (WFP) von mit verschiedenen Klebstoffen verklebtem Buchenholz im Normalklima, nach Lagerung bei 95% rel. Luftfeuchte sowie Wasserlagerung (Kläusler (2014))

VERSUCHSMATERIAL UND VERSUCHSMETHODIK

Die Versuchsdurchführung erfolgte wie folgt:

Holz

Zugproben aus Buchenholz (*Fagus sylvatica L.*) wurden nach der Klimatisierung des Holzes im Normalklima (20°C / 65% relative Luftfeuchtigkeit nach prEN 302-1 (2011)) hergestellt. Die mittlere Rohdichte des Holzes betrug 679 kg/m³.

Klebstoff

Es wurde 1K PUR HB S 309 (Purbond® AG, Switzerland), verwendet (Auftragsmenge 180g/m², einseitig).

Primer

Die verwendeten Primer-systeme werden in Tabelle 1 dargestellt. Folgende Primer wurden verwendet:

- DMF (C₃H₇NO, MW 73.09 g/mol)
- pMDI Desmodur® VKS 20 (Bayer MaterialScience)
- HMR nach Lopez-Suevos und Richter (2009).

Der Primerauftrag erfolgte 30 Minuten nach dem Hobeln.

Tabelle 1 Primer-Flüssigkeiten, Auftragsmengen und Wartezeiten

	Bezeichnung	Auftragsmenge [g/m ²] *	Wartezeit
Kein Auftrag	Referenz	0	0
HMR	HMR	195	18 h
Wasser	Water	20	3 Min
DMF, Konzentration 5%	DMF 5	40	30 Min
DMF, Konzentration 100%	DMF 100	40	30 Min
VKS 20, 30 min. Wartezeit	pMDI 30	30	30 Min
VKS 20, 1 Tag Wartezeit	pMDI 1d	30	Tag

* mittlere Auftragsmenge pro Fügefläche

Verklebung

Vor der Verklebung wurden die Proben im Normalklima bei 20°C/65% rel. Luftfeuchte gelagert. Nach der Anwendung des Primersystems wurde 180g/m² Klebstoff einseitig aufgetragen. Die darauf folgende Presszeit betrug 75 Minuten und der Pressdruck 0.8 MPa. Anschliessend wurden aus den verklebten Brettchen Zugscherproben nach EN302-1 (2011) gefertigt. Die Zugscherfestigkeit wurde nach Lagerfolge A1 (Holzfeuchte 13.4%), A4 (Holzfeuchte 121.4% und A5 (Holzfeuchte 14.7%) an jeweils 12 Proben bestimmt. Der Holzbruchanteil wurde gemäss ASTM D5266-99 ermittelt.

VERSUCHSERGEBNISSE

Bild 2 und 3 zeigen die Versuchsergebnisse. Im trockenen Zustand (A1) erfüllen alle Klebstoffe die Anforderungen. PUR ohne Vorbehandlung erreicht nach Lagefolge A4 im Vergleich zur Norm zu geringe Zugscherfestigkeitswerte. Nach Lagerfolge A5 (Rücktrocknung) steigt die Festigkeit bei allen Varianten. Der HMR Primer brachte wie erwartet einen Anstieg der Zugscherfestigkeit und des Holzbruchanteiles nach Lagerfolge A4,

die Variabilität der Messwerte ist allerdings gross. Analoges gilt für wie HMR gilt auch für DMF und 100%ige Konzentration. Zugscherfestigkeit und Holzbruchanteil steigen nach Primern mit DMF mit 100%iger Konzentration stark. Der DMF-Auftrag bewirkt auch Veränderungen in der Ausbildung der Klebfuge und beeinflusst die Eigenschaften dieser selbst. Bild 4 zeigt eine Fluoreszenzaufnahme einer PUR Klebfuge mit und ohne Primer. DMF verändert auch die Eigenschaften des Holzes und der Klebfuge selbst (Kläusler (2014)). Ein industrieller Test bestätigte für 1K PUR die positive Wirkung des DMF Primerns. Basierend auf diesen Untersuchungen entwickelte die Fa. Purbond 2 industriell verfügbare Primersysteme für Buche und Lärche, allerdings auf anderer chemischer Basis (nicht toxisch). Diese sind in Deutschland zugelassen. Generell sollten allerdings Primer nur im Ausnahmefall eingesetzt werden, da sie einen höheren Arbeitsaufwand, verlängerte Wartezeiten und auch einen erhöhten Platzbedarf für die Zwischenlagerung benötigen. In vorhandenen Produktionsanlagen ist die Technik nur schwer einsetzbar.

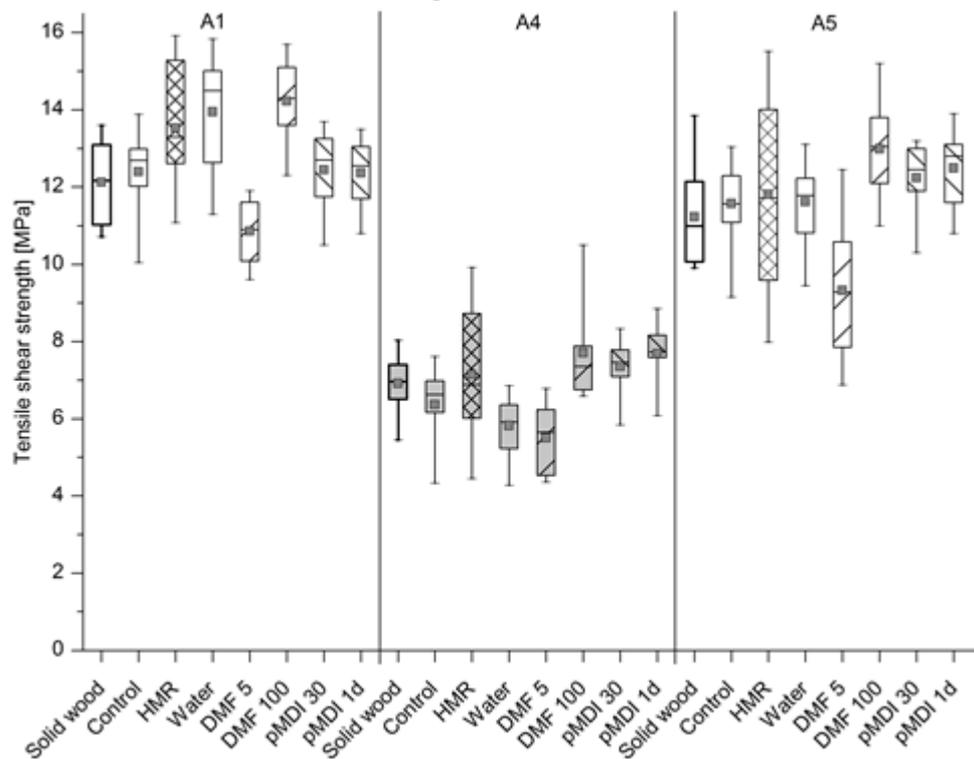


Bild 2: Einfluss der Vorbehandlung auf die Zugscherfestigkeit von mit 1 KPUR verklebtem Buchenholz bei Verwendung verschiedener Primer-Systeme (Kläusler (2014))

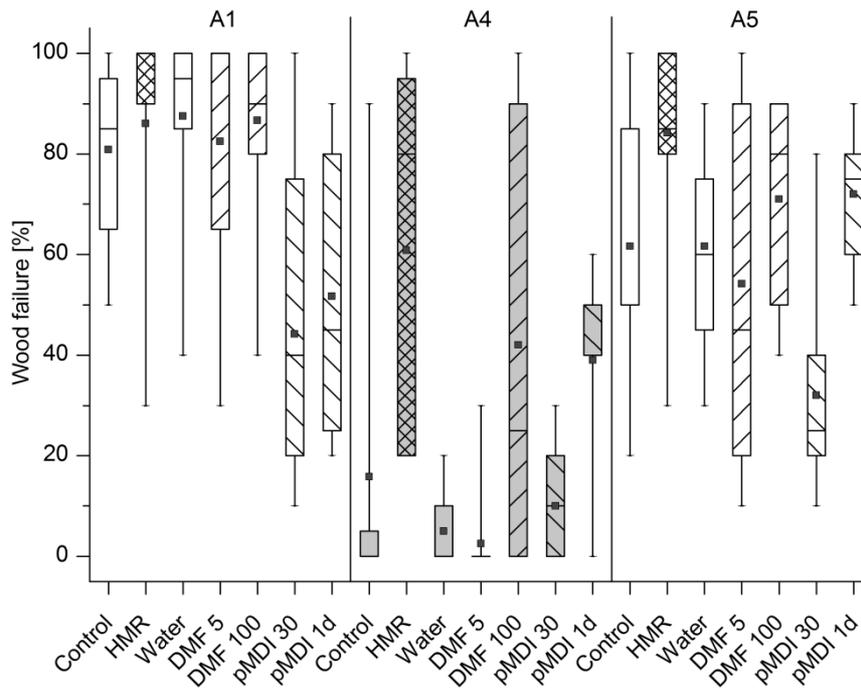
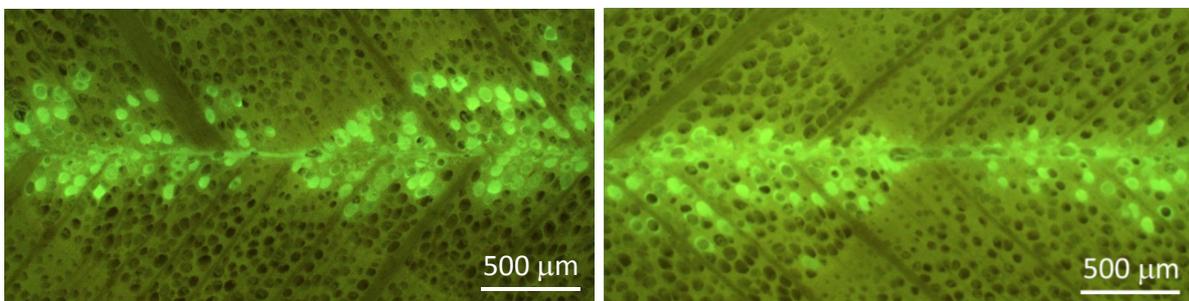


Bild 3: Einfluss der Vorbehandlung auf den Holzbruchanteil bei Verklebung von Buchenholz mit 1K PUR (Kläusler (2014))



PUR Klebfuge ohne Primer

PUR Klebfuge mit Primern mit DMF

Bild 4: Fluoreszenzaufnahme einer PUR- Klebfuge mit und ohne DMF-Primer (Kläusler 2014)

LITERATURVERZEICHNIS

1. Kläusler, O.: Improvement of one-component Polyurethane bonded wooden joints under wet conditions. PhD thesis, ETH Zürich 2014
2. Schmidt, M.K.: Die Verklebung von Buchenholz für tragende Holzbauteile unter besonderer Berücksichtigung der Farbverkernung, Dissertation TU München 2014.
4. Knorz, M.; Schmidt, M.; Torno, S.; van de Kuilen J.W.: Structural bonding of ash (*Fraxinus excelsior* L.): resistance to delamination and

- performance in shearing tests. *Europ. Journal of Wood and Wood Products*. 72(2014): 297-309.
5. Radovicz, B.; Rothkopf, C.: Eignung von 1 KPUR Klebstoffen unter Berücksichtigung von 10-jährigen Praxiserfahrungen. *Bauen mit Holz* (2003) 6, S. 1-6
 6. Fischer, A.; Risi, W.; Richter, K.: Zustandsbeurteilung von Klebfugen. *Bauen mit Holz* (2004)11; S.1-8
 7. Tagungsband: 2. Kooperationsforum mit Fachausstellung Kleben von Holz und Holzwerkstoffen. Bayer Innovativ, Würzburg 23.-24.6.2014
 8. Vick, C.B.; Okkonen, E.A.: Strength and durability of one-part polyurethane adhesive bonds to wood. *Forest Prod. J.* 48(1998)11-12:71-76
 9. Chrsitensen, A. W.; Vick, C.B. Okkonen, E.A. Enhanced durability of One-Part Polyurethane Bonds to Wood Due to the Use of HMR Primer *Proceedings of International Conference Wood Adhesiveness 2000*
 10. Vick, C. B.; Richter, K. H.; River, B. H. (1996), Enhancing adhesion of adhesive to wood with coupling agent comprising resorcinol-formaldehyde deriv. which forms durable, weather-resistant bonds to untreated and preservation treated woods (US5543487-A).
 11. Fischer, A., Risi W., Richter, K. (2004) Zustandsbeurteilung von Klebfugen wetterbeanspruchter Holzbrücken. *Bauen mit Holz* 11
 12. Radovicz, B.; Rothkopf, C.: Eignung von 1 K PUR Klebstoffen für den Holzbau unter Berücksichtigung 10-jähriger Erfahrung.
 13. *Bauen mit Holz* (2003)6

Korrespondierender Autor:

Prof. Dr. Ing. habil. Dr. h.c. Peter Niemz
ETH Zürich, Institut für Baustoffe
Stefano- Frascini- Platz 3
8093 Zürich,
Switzerland
e-mail: niemzp@ethz.ch
phone: +41446323230