

Schnelleres Abbinden – ohne Verlust an Festigkeit

Untersuchungen zum Eindringverhalten von Klebstoffen auf Polyharnstoffbasis an der FH Rosenheim und bei der Nolax AG

Von Sebastian Meyer* und Patrick Steiner**

Moderne, industrielle Fertigungslinien in der Holzindustrie zeichnen sich durch hohe Produktionsgeschwindigkeiten und zuverlässige Prozessführung aus. Klebstoffe, die auf solchen Anlagen verwendet werden, stellen auf Grund ihrer beschränkten Reaktionsgeschwindigkeiten oft einen Flaschenhals dar, das heißt, sie benötigen lange Presszeiten. Die Nolax AG, Teil der Schweizer Collano-Gruppe, hat ein neues 2-K-Polyharnstoff-System entwickelt, das innerhalb von Sekunden abbindet und die Presszeit entsprechend reduziert. Im Rahmen einer Diplomarbeit an der FH Rosenheim wurden Klebfestigkeit und Eindringtiefe des Klebstoffs untersucht. Trotz der kurzen Abbindezeiten findet demnach ein Eindringen des Klebstoffs statt und die Festigkeit der Verbindung erzielt die nach DIN geforderten Werte.

Die Verwendung von Polyharnstoff ist in der Beschichtungstechnologie Stand der Technik. Die enorme Schnelligkeit der Reaktion von Isocyanat und Amin zu Polyharnstoff (Polyurea) sowie die hervorragenden Eigenschaften nach dem Aushärten machen Polyharnstoffe für die Anwendung als Oberflächenbeschichtung so attraktiv. Bemerkenswert ist dabei der erfolgreiche Einsatz auf einer Vielzahl von Substraten. Durch diese Vorteile ist die Verwendung von Polyharnstoffen auf dem Gebiet der Klebstoffe so interessant, dass sich die Nolax AG intensiv mit dieser Thematik beschäftigt. Als Resultat dieser Aktivitäten wurde mittlerweile ein Patent eingereicht. Im Gegensatz zur Beschichtungstechnologie steht die Entwicklung von Klebstoffen auf Polyharnstoffbasis daher noch am Anfang.

In den vergangenen Jahren wurde auf dem Gebiet der superschnellen Klebstoffe stets versucht, bestehende Systeme

partner des Isocyanates, im Fall von PU-Klebstoffen ein Polyol, wird durch ein Polyamin ersetzt. Auch diese Reaktion führt zu einem duroplastischen Klebstoff.

Eindringverhalten von Klebstoffen in Holz

Über das Eindringverhalten von Klebstoffen in Holz im Allgemeinen gibt es einige Untersuchungen. Diese befassen sich aber oftmals mit dem Eindringen in Späne oder Fasern zur Herstellung von Holzwerkstoffen. Einig sind sich die in der Literatur mehrfach genannten Autoren in dem Punkt, dass ein tiefes Eindringen des Klebstoffs nicht zwangsläufig zu einer hohen Festigkeit der Klebeverbindung führt. Die optimale Eindringtiefe ist nicht bekannt [1]. Daher wird ein besonderes Augenmerk auf die „interphase region“ gerichtet. Dieser Begriff umschreibt nach Brady und Kamke den Bereich, in

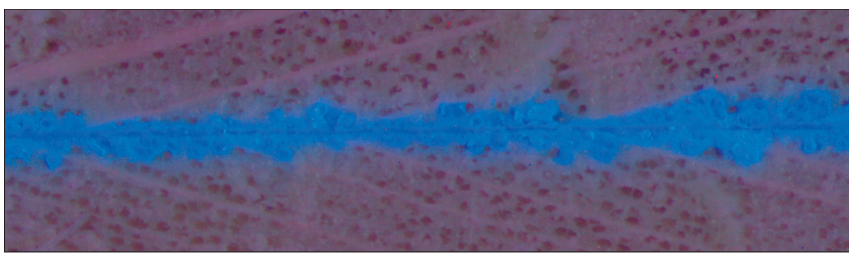


Abbildung 1 Unbearbeitete Aufnahme der Klebstoffuge



Abbildung 2 Die extrahierte Maske dient als Grundlage zur Ermittlung der Eindringtiefe
Fotos und Grafiken: Nolax/FH Rosenheim

me durch Zufuhr von Energie (Wärme, Hochfrequenz, usw.) oder Zugabe von Katalysatoren zu beschleunigen. Polyharnstoffbasierte Klebstoffe stellen diesbezüglich einen neuen Ansatz dar, da die hohe Reaktionsgeschwindigkeit aus den beiden Komponenten des Systems resultiert und nicht durch eine zusätzliche Beeinflussung von außen erreicht wird. Ziel der vorliegenden Arbeit war es, Verklebungen mit dem Polyharnstoffbasierten Klebstoff „Lignofast“ der Nolax AG hinsichtlich Festigkeit und Eindringtiefe für die praktische Anwendung zu untersuchen.

Bei „Lignofast“ handelt es sich um ein Zwei-Komponentensystem, das aus den Komponenten Polyamin und Polyisocyanat besteht. Beide Ausgangsstoffe reagieren in einer exothermen Reaktion zu Polyharnstoff. Die Reaktion ist vergleichbar mit der Reaktion von PU-Klebstoffen, lediglich der Reaktions-

dem sowohl Holzzellen als auch Klebstoff vorhanden sind [2].

Genauere Untersuchungen der Klebfuge und des ins Holz penetrierten Klebstoffes wurden von Niemz et. al [3] durchgeführt. Dabei wurden verschiedene Verfahren von der Auflichtmikroskopie bis zur Neutronenradiographie genutzt. Eine Untersuchung von Schirle et al. [4] befasst sich mit der Benetzung und dem Eindringverhalten von Klebstoffen bei verschiedenen Oberflächenvorbehandlungen. In dieser Untersuchung wurde die Eindringtiefe von 1K-PU-Klebstoffen, die mit einem Fluoreszenzfarbstoff versetzt waren, ermittelt. Die Analyse wurde mit einem Auflichtmikroskop unter UV-Licht durchgeführt. Die Eindringtiefen in Fichtenholz lagen bei Verklebungen abhängig vom aufgetragenen Pressdruck bei 150 µm im Frühholz und 70 µm im Spätholz.

Versuchsdurchführung

Für die Untersuchungen wurden die Holzarten Buche und Fichte verwendet. Es wurden u. a. die Prozessparameter Holzfeuchte, Pressdruck, Auftragsmenge und Mischungsverhältnis variiert. Die Untersuchungen der Klebfestigkeiten wurden nach DIN 205 an mehr als 2200 Prüfkörpern durchgeführt. Auf Grund der hohen Anzahl an Variablen und deren Stufen wurde eine Software zur statistischen Versuchsplanung eingesetzt. Durch die Kombination der DIN EN 205 mit zwei weiteren Normen (DIN 12765 und DIN 14257-C4) wurden die Anforderungen an den Klebstoff durch bestimmte Lagerfolgen direkt vor der Prüfung erhöht.

Neues Verfahren zur Ermittlung der Eindringtiefe

Das Verfahren zur Ermittlung der Eindringtiefe wurde im Rahmen dieser Diplomarbeit entwickelt. Auf eine Unterscheidung nach Früh- und Spätholz wird bei diesem Verfahren verzichtet.

Dazu wurde der Isocyanatkomponente des Klebstoffs vor der Verklebung ein Fluoreszenzfarbstoff zugegeben (Gewichtsanteil 0,1%). Während einer mikroskopischen Aufnahme der Klebefuge im Hirnholz (Abbildung 1) wurde der Prüfkörper mit UV-Licht bestrahlt, wodurch der Fluoreszenzfarbstoff aktiviert wurde. Dadurch erhielt man einen sehr guten Kontrast zwischen Klebstoff und Substrat, der für die folgende computergestützte Analyse der Digitalaufnahme notwendig war. Zur Auswertung der Aufnahmen wurde das Programm „Image J“ verwendet. Ausgehend vom Bild im Ursprungszustand (Abbildung 1) wurden mehrere Modifikationen durchgeführt. Diese führten schließlich zu einer extrahierten Maske der Klebstoffuge, die hinsichtlich ihrer Gesamtfläche sowie ihrer Breite analysiert werden konnte (Abbildung 2). Der Quotient aus der Gesamtfläche und der doppelten Breite ergibt die mittlere Eindringtiefe.

Ergebnisse

Die Darstellung aller Ergebnisse würde den Rahmen dieses Artikels überschreiten. Deshalb werden nachfolgend nur ausgewählte, einzelne Verklebungen mit ihren Verarbeitungsparametern aufgeführt (siehe Tabelle). Die dargestellten Ergebnisse beziehen sich alle auf die Prüfung nach C4 aus DIN 12765 (Abbildung 3).

Es ist zu sehen, dass trotz des großen Spektrums, in dem die überprüften Parameter variiert wurden, die Grenze von 4 N/mm² stets übertroffen wurde. Erst oberhalb der Zugscherfestigkeit von 4 N/mm² darf der Klebstoff der Beanspruchungsgruppe C4 zugeordnet werden. Beispielhaft für die große Bandbreite sei auf die Kombination von niedrigem Pressdruck und hohem Auftragsgewicht bei Nr. 44 im Vergleich zu Nr. 3 mit niedrigem Auftragsgewicht und hohem Pressdruck hingewiesen. Beide Verklebungen weisen trotz stark unterschiedlicher Verarbeitungsparameter Werte von über 6 N/mm² auf. Im Folgenden wird der Einfluss verschiedener Parameter kurz diskutiert:

Holzfeuchte

Bei der Betrachtung kann eine klare Tendenz dahingehend festgestellt werden, dass mit niedrigeren Holzfeuchten bessere Ergebnisse erzielt werden. Dennoch ist der Abfall nur geringfügig und Proben mit Holzfeuchten von 20% erreichten oft mehr als 6 N/mm².

Mischungsverhältnis

Bei einem Verhältnis von 100:50 (NCO:-NH₂) wurden stets die besten Werte erzielt. Insbesondere fiel in diesem Zusammenhang auf, dass mit einem Mischungsverhältnis von 100:50 die schlechteren Werte bei höheren Holzfeuchten zum Teil kompensiert werden können.

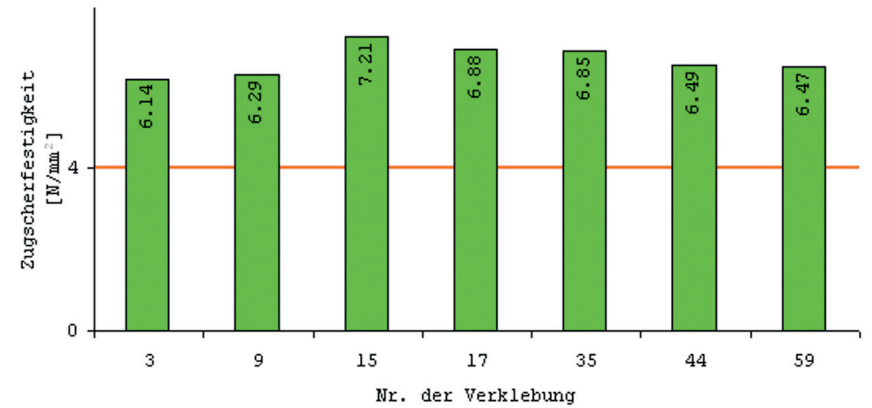


Abbildung 3 Auszug aus den Ergebnissen der Tests nach C4 (DIN 12765)

Verarbeitungsparameter zu Abbildung 3

Nr. der Verklebung	3	9	15	17	35	44	59
Auftragsgewicht [g/m ²]	130	130	130	200	200	200	200
Mischungsverhältnis 100%-NCO : X%-NH ₂ [%]	50	50	50	50	67	60	50
Pressdruck [N/mm ²]	1	0,2	0,05	0,05	1	0,05	1
Holzfeuchte u [%]	20	4	4	20	11	11	11
Zugscherfestigkeit [N/mm ²]	6,14	6,29	7,21	6,88	6,85	6,49	6,47

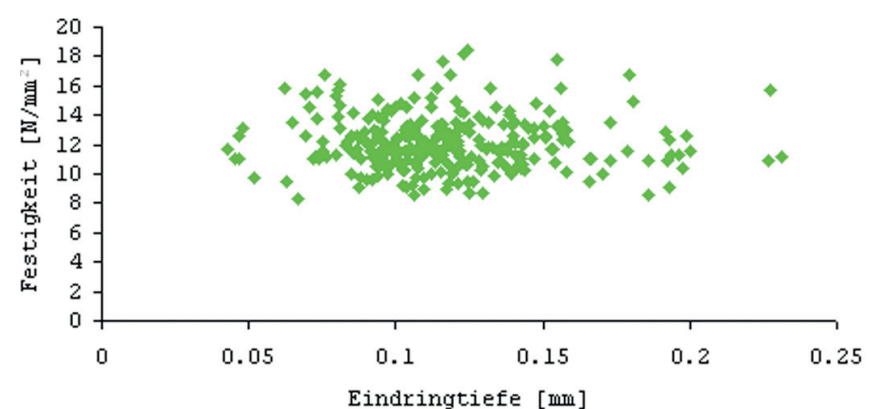


Abbildung 4 Gegenüberstellung Festigkeit – Eindringtiefe

Pressdruck

Hier konnte keine einheitliche Tendenz festgestellt werden, es wurden jedoch über die ganze Bandbreite von 1 N/mm² bis zu sehr niedrigen Drücken von 0,006 N/mm² gute Werte erzielt.

Holzart

Die Untersuchungen mit Fichte sind hier nicht explizit aufgeführt, da die Tendenzen bei den meisten Parametern identisch mit denen bei Buche sind. So werden beispielsweise auch bei Fichte mit sinkender Holzfeuchte bessere Zugscherfestigkeiten erreicht.

Einfluss der Eindringtiefe

Eine wesentliche Frage der Diplomarbeit war jedoch, welcher Zusammenhang zwischen Eindringtiefe und erzielter Zugscherfestigkeit existiert. Wie in Abbildung 1 zu erkennen ist, findet trotz der hohen Reaktionsgeschwindigkeit ein Eindringen des Klebstoffs in das Holz statt. Die Tiefe des Eindringens wird durch verschiedene Parameter beeinflusst, so führt beispielsweise ein höherer Druck oder ein höheres Auftragsgewicht zu einem tieferen Eindringen des Klebstoffs in das Holz. Trägt man jedoch die Eindringtiefe über der Festigkeit auf, so kann festgestellt werden, dass es für die überprüften Parameter keine gegenseitige Beeinflussung gibt (Abbildung 4).

Zusammenfassung

Die Untersuchungen zeigen grundsätzlich, dass es sich beim Klebstoffsystem „Lignofast“ um ein sehr robustes System handelt. Obwohl die Parameter zum Teil sehr extrem gewählt waren, wurden die erforderlichen 4 N/mm² nur bei einer von 70 Parameterkombinationen nicht erfüllt. Die überprüften Parameterstufen waren bewusst so breit gewählt, dass sie die ganze Bandbreite praxisnaher Verklebungsparameter darstellen. Es kann daher auf eine äußerst

hohe Prozesssicherheit in der industriellen Anwendung geschlossen werden. Dies stellt einen enormen Vorteil gegenüber anderen schnellen Klebstoffen dar. Diese sind meist durch Katalysatoren stark beschleunigt, was dazu führen kann, dass schon geringe Abweichungen (Sommer/Winter) von den idealen Verarbeitungsparametern zu fehlerhaften Verklebungen führen können.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der neue Klebstoff „Lignofast“ die nach DIN geforderte Festigkeit auch bei erheblicher Variation der Verarbeitungsparameter erfüllt.

Ausblick

Weitere Versuche, die nach der Realisierung der Diplomarbeit durchgeführt wurden, haben auch sehr gute Ergebnisse bei Auftragsmengen unter 100 g/m² gezeigt.

Für die Versuche im Rahmen der Diplomarbeit wurde eine Version mit etwa 20 s Topfzeit verwendet. Zwischenzeitlich wurde eine weitere, noch schnellere Version des Klebstoffs mit einer Topfzeit von etwa 5 s entwickelt, womit die Leistungsfähigkeit moderner, industrieller Handling- und Presstechnologie erreicht ist.

Literaturverzeichnis

- [1] Kamke, F. A.: Adhesive penetration in wood – A review“; Wood and Fiber Science; Sheridan Press, Hanover, Pennsylvania; Nr. 2 (2007); S. 205–220
- [2] Kamke, F. A.: Adhesive penetration in wood – A review; Wood and Fiber Science; Sheridan Press, Hanover, Pennsylvania; Nr. 2 (2007); S. 205–220
- [3] Niemz, P.; Mannes, D.; Lehmann, E.; Vontobel, P.; Haase S.: Untersuchungen zur Verteilung des Klebstoffes im Bereich der Leimfuge mittels Neutronenradiografie und Mikroskopie; Holz als Roh- und Werkstoff; Springer-Verlag, Nr 62 (2004); S.424–432
- [4] Schirle, M. A.; Künninger, T.; Fischer, A.; Richter, K.: Charakterisierung der Holzverklebung mit 1 Komponente Polyurethan (1K-PUR); KTI Abschlussbericht 4126.1 (2002)

* Dipl.-Ing. (FH) Holztechnik Sebastian Meyer hat diese Versuche für seine Diplomarbeit mit dem Thema „Untersuchungen zum Eindringverhalten von Klebstoffen auf Polyharnstoffbasis“ an der FH Rosenheim durchgeführt. Betreut wurde die Arbeit seitens der Hochschule durch Prof. Dr. Harald Larbig und Prof. Dr. Andreas Michanickl. Die Eindringtiefe des Klebstoffs in die Holzmatrix ermittelte Meyer mithilfe einer neu entwickelten Analyseverfahren an der ETH Zürich bei Prof. Dr. Peter Niemz. Sebastian Meyer arbeitet heute bei der Nolax AG (E-Mail: lignofast@nolax.com).

** Patrick Steiner, DVS-EWF-European Adhesive Engineer, leitet bei Nolax die Anwendungstechnik. Er hat die Diplomarbeit seitens Nolax betreut.