

iVTH Kurzbericht zum AiF Forschungsvorhaben Nr. 18557 BR

Entwicklung einer modellgestützten Prozesssimulation zur Herstellung dekorativer, dreidimensional geformter Furnieroberflächen

Forschungsstelle 1:

TU Dresden, Institut für Naturstofftechnik, Professur für Holztechnik und Faserwerkstofftechnik, 01062 Dresden

Forschungsstelle 2:

Hochschule Schmalkalden, Fakultät Maschinenbau, 98574 Schmalkalden

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. A. Wagenführ

Laufzeit: 01.01.2015 – 30.06.2017

Überblick

Ziel des Forschungsvorhabens war die Beschreibung des Umformverhaltens von Einzelfurnieren und Furnierpaketen durch ein Simulationsmodell auf Basis der Finite-Elemente-Methode (FEM). Mit diesem Modell soll sowohl das elastische als auch das plastische Verhalten, wie es bei einer Furnierumformung auftritt, abgebildet werden.

Für jegliche Modellerstellung ist zunächst die Beschreibung der mechanischen Kennwerte (Parameterermittlung) erforderlich. Neben der Parameterermittlung war ein wesentlicher Arbeitspunkt die Furniercharakterisierung. Zur Ermittlung der real wirkenden und im Modell anzusetzenden Querschnittsfläche der Furniere wurden mikroskopische Untersuchungen durchgeführt. Die ermittelten Werte wurden für die Entwicklung eines FE Modells einer Furniereinzellage verwendet. Mit einem solchen Modell können auch Furnierzuschnitte abgebildet werden, so dass hiermit eine Grundlage für eine Zuschnittsoptimierung geschaffen wurde.

Im Hinblick auf die Modellbildung zur Umformung von Mehrlagenpaketen wurden in Reibversuchen Reibkoeffizienten zur Abbildung der Reibung zwischen Einzelfurnierlagen bzw. zwischen Furnier und Form durchgeführt.

Für alle Versuche wurde Messerfurnier der Holzart Rotbuche verwendet. Das Furnier wurde aus einem Stamm hergestellt, sodass es keine Standorteinflüsse bzw. Einflüsse von Herstellungsparametern gibt. Die Furniere wurden in 0,3 mm; 0,6 mm und 1,2 mm Dicke hergestellt und i. d. R. auch in diesen Dicken untersucht.

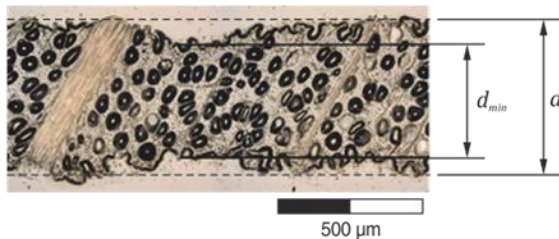
Holz ist ein anisotropes Material, alle Untersuchungen wurden in Abhängigkeit von der Faserrichtung durchgeführt. Für Furniere bedeutet das, Untersuchungen parallel und senkrecht zur Faserrichtung durchzuführen. Während der Furnierherstellung wurde versucht, die senkrechte Richtung in tangentiale und radiale Richtung zu differenzieren, so dass im Ergebnis die Richtungen definiert wurden: LR = Furnier der Richtung Longitudinal – Radial; LT = Furnier der Richtung Longitudinal – Tangential; LRT = Furnier der Mischrichtung Longitudinal-Radial-Tangential, die in der Realität wohl am ehesten vorliegt. In den Auswertungen zeigte sich jedoch, dass eine solche Unterteilung nur für sehr spezifische Fragestellungen notwendig und sinnvoll ist.

Im Rahmen des Projektes wurde auf der Grundlage der untersuchten Parameter sowie aus den Erkenntnissen zum Materialverhalten ein elasto-plastisches Werkstoffmodell zur Beschreibung von 2D-Formgebungsgrenzen von Furnieren numerisch verifiziert.

Grundlagen zum Werkstoffmodell Furnier

Eine Voraussetzung für die Berechenbarkeit und damit die Modellbildung ist die Erfassung der real wirksamen Querschnitte der Furniere. Die Querschnittsfläche der Furniere ist infolge der Herstellung und weiterer Verarbeitungsprozesse beschädigt (Messerrisse auf der offenen Seite, Ausbrüche auf beiden Seiten). Da die Querschnittsfläche zur Berechnung von Spannungen benötigt wird, könnten somit Unterschiede zu entsprechenden Spannungen von Vollholz erklärt und verifiziert werden. Zudem wird durch Messerrisse das Dehnungsverhalten beeinflusst, was durch die quantitative Beschreibung dieser Risse ebenfalls verifizierbar wird.

Messerrisse (Anzahl, Tiefe und Richtung) sowie Ausbrüche an der Furnieroberfläche (Bild 1) wurden mikroskopisch an allen Schnittrichtungen und Furnierdicken erfasst. Bei allen Furnierdicken sind Risttiefen zwischen 10% bis zu 60 % (!) der Furnierdicke zu verzeichnen. Sie weisen damit eine sehr breite Streuung auf. Im Mittel liegen die Risttiefen zwischen 30% und 40% der Furnierdicke.



d ... Sollstärke
 d_{min} ... minimale Dicke, Folge von Ausbrüchen

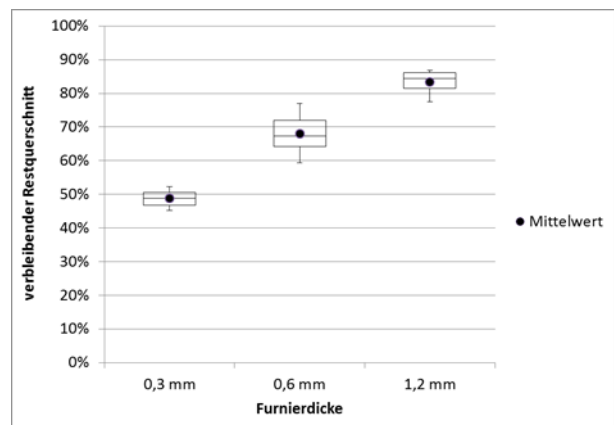


Bild 2 verbleibende, intakte Furnierdicke (ohne Ausbrüche)

Die prozentualen Schädigungen des Querschnittes durch Ausbrüche an der Furnieroberfläche nehmen mit zunehmender Furnierdicke deutlich ab (Bild 2). Dabei differieren die Absolutwerte der Ausbrüche kaum. Nur durch den Bezug auf die Gesamtdicke werden die Unterschiede deutlicher.

Mit der Grundlage der ermittelten Querschnittsschwächungen wurde die Belastbarkeit (Steifigkeiten und Festigkeiten) der Einzelfurniere analytisch beschrieben. Für den Fall uniaxialer Zugbelastung senkrecht zur Faser lässt sich basierend auf diesen Ergebnissen das in Bild 3 gezeigte Schichtmodell ableiten, welches das Furnier in Dickenrichtung in 3 Bereiche teilt. Basierend auf dieser Modellvorstellung wurden zur Berechnung der geminderten Furniersteifigkeit sowie der geminderten Zugfestigkeit von Furnier senkrecht zur Faserrichtung Gleichungen entwickelt, mit denen diese Größen mit Hilfe von Literaturwerten für Vollholz ermittelt werden können. Für die querschnittsmindernden Einflussgrößen wurden die Medianwerte der Messergebnisse (Tabelle 1) zugrunde gelegt.

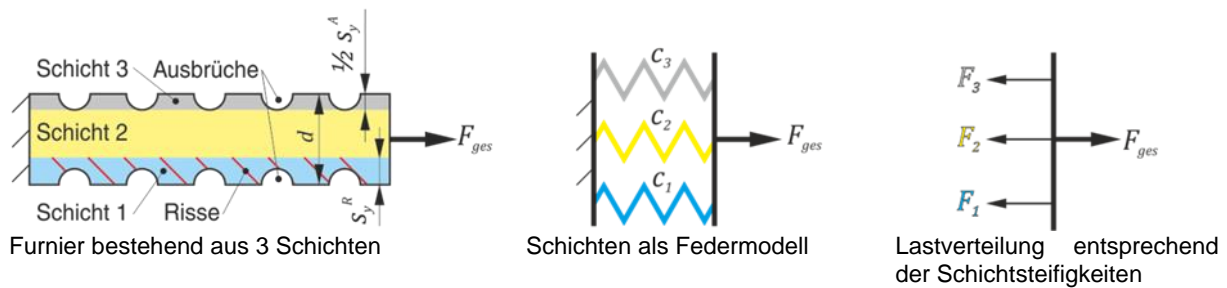


Bild 3 Schichtmodell eines quergemesserten Furniers, bei uniaxialer Belastung senkrecht zur Faser

Tabelle 1 Vergleich Dicke der Furnierrandschichten; bei verschiedenen Furnierstärken

relative Schichtdicke	Furnierdicke[mm]		
	0,3	0,6	1,2
Schicht 3 (Ausbrüche), $s_y^A/2d$	25 %	17 %	8 %
Schicht 1 (Risse*), s_y^R/d	37 %	31 %	38 %
Faktor: Schicht 1/Schicht 3	1,5	1,8	4,8

* Obgleich Risse und Ausbrüche vorhanden sind, charakterisiert die relative Risttiefe s_y^R/d die Dicke von Schicht 1, da für alle untersuchten Furnierstärken gilt: $s_y^A/2d < s_y^R/d$

2D Formänderung

Um die Biegeeigenschaften des sehr biegeweichen Werkstoffes Furnier zu charakterisieren, sind klassische, die Last-Verformungs-Kennlinie aufzeichnende, 3- oder 4-Punkt-Biegeversuche ungeeignet. Daher wurde ein spezielles Biegeprüfverfahren entwickelt, das die eingeleiteten Lasten (Lastrandbedingungen) vorgeben bzw. definiert erfassen kann und die Dehnungen von Zug- und Druckrandfaser der dünnen Furnierbiegeprobe bei unterschiedlichen Biegeradien erfasst. Bild 4 und Bild 5 zeigen beispielhaft die teilweise überraschenden Ergebnisse für die 0,6 mm dicken Furniere. In den Diagrammen dargestellt sind Dehnungen infolge der Biegung auf der Zugseite des Furniers (im oberen Teil, rot dargestellt) sowie die Stauchungen auf der Druckseite des Furniers (im unteren Teil, blau dargestellt). Der Biegeradius nimmt zur y-Achse hin ab, d. h. die Belastung und damit die Dehnung ist größer, je näher die Graphen Richtung y-Achse verlaufen. Für den Furnierverarbeiter lassen sich aus diesen Diagrammen sowohl die rissbedingte Biegeasymmetrie (je nach Krümmungsrichtung) als auch die realisierbaren Grenzbiegeradien in Abhängigkeit der Schädigungs-kategorie (Oberflächenschädigungen) ablesen.

Wie die Diagramme zeigen, wurden in diesen Biegeversuchen Dehnungen ermittelt, die deutlich über den aus der Literatur bekannten Grenzdehnungen liegen (Strich-Punkt-Linie in den Schaubildern). Bei der Biegeumformung von Furnier ist ein äußerst komplexes Versagensverhalten vorzufinden. Bei Umformung senkrecht zur Faser (Faserlastwinkel 90°) sind die herstellungsbedingten Messerrisse maßgebend. Bei Krümmung um die geschlossene Furnierseite kommt es hierbei zu Dehnungseffekten, welche der Öffnung der vorhandenen Messerrisse zuzuschreiben sind. Es liegt somit ein asymmetrisches Biegeverhalten vor. Ebenso werden die Formungseigenschaften in Faserrichtung (Faserlastwinkel 0°) durch die Messerrisse beeinflusst. Daraus kommt es, nicht wie erwartet,

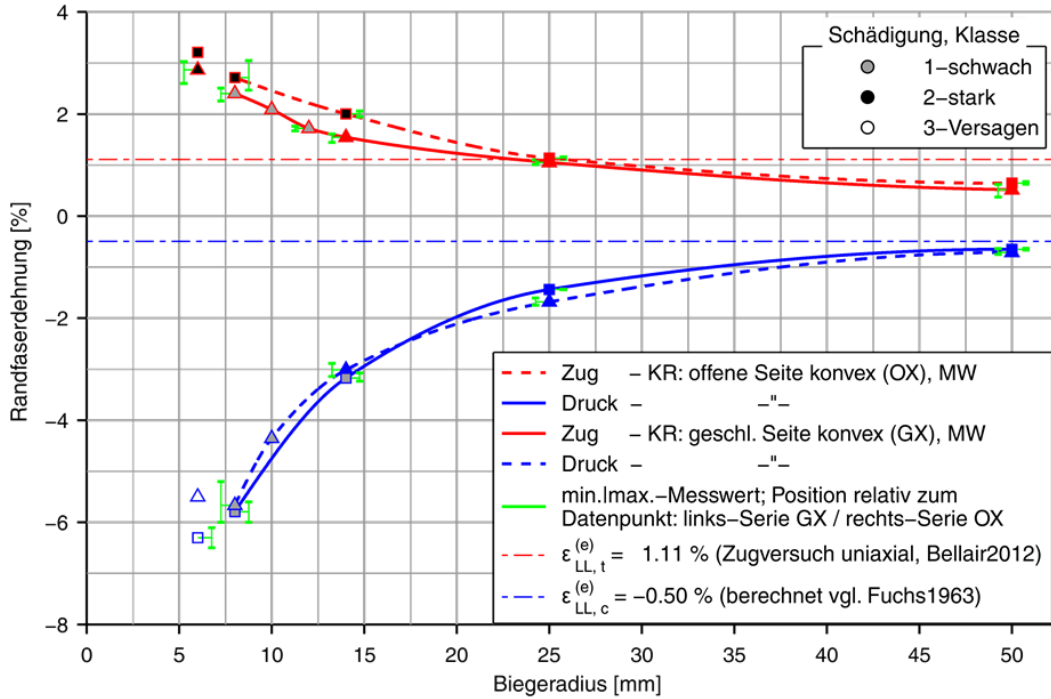


Bild 4 Randfaserdehnungen – Messwerte: Furnier 0,6mm, Faserlastwinkel 0°, 20°C / $\omega=10\%$

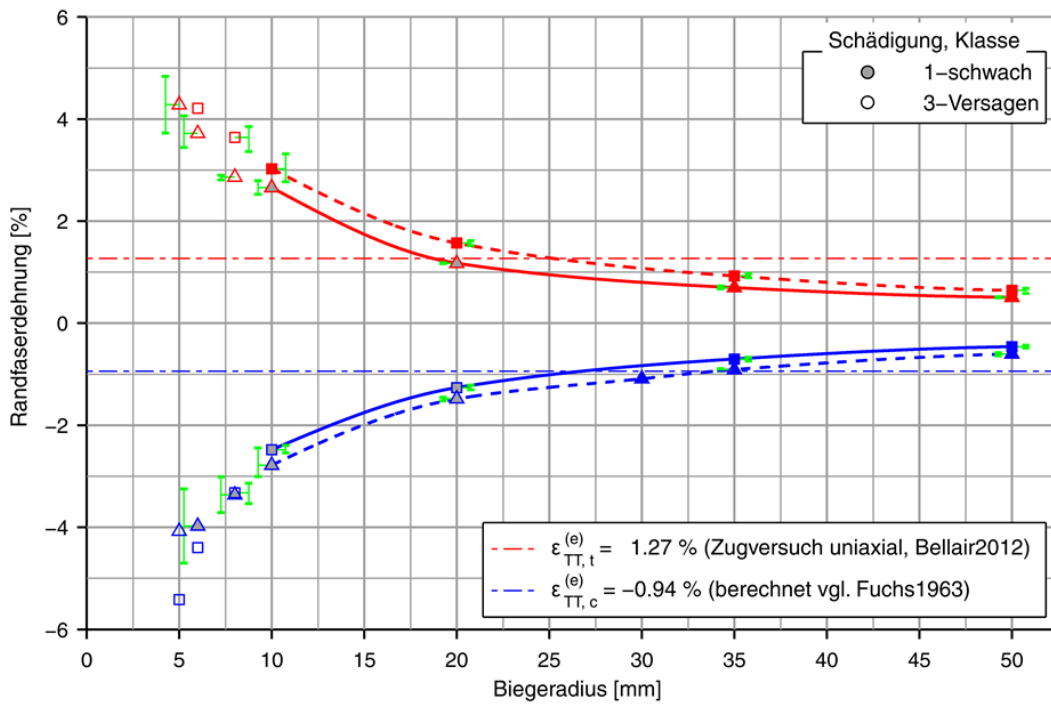


Bild 5 Randfaserdehnungen – Messwerte: Furnier 0,6mm, Faserlastwinkel 90°, 20°C / $\omega=10\%$

zu einem relativ spontanen Zugversagen bei Erreichen der Zugfestigkeit in der Zugrandfaser, sondern zu einer sukzessiven Veränderung des oberflächennahen Furnierbereichs, gekennzeichnet durch das allmähliche Aufstellen von Faserbündeln. Bild 6 zeigt dieses Phänomen schematisch.

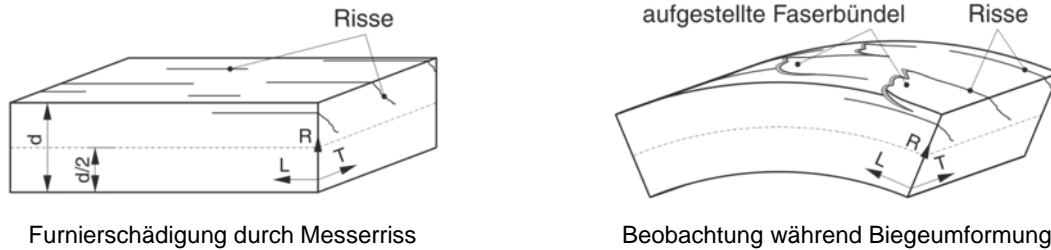
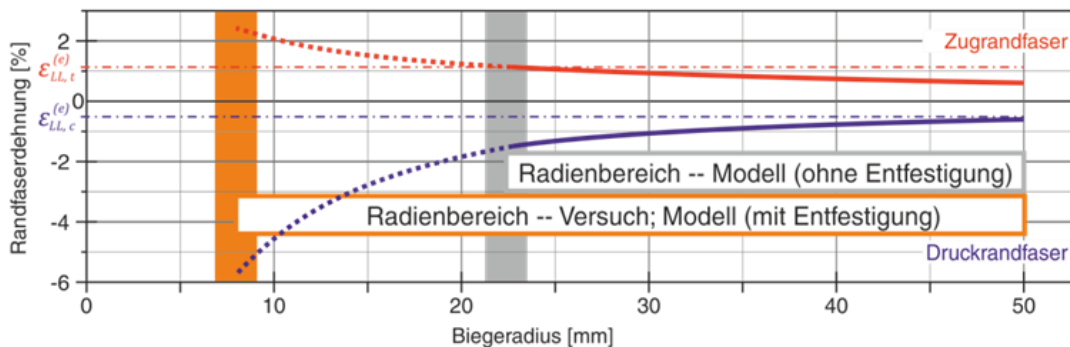


Bild 6 Effekt sich aufstellender Faserbündel beim Furnierbiegen, offene Furnierseite konvex gekrümmt – schematisch

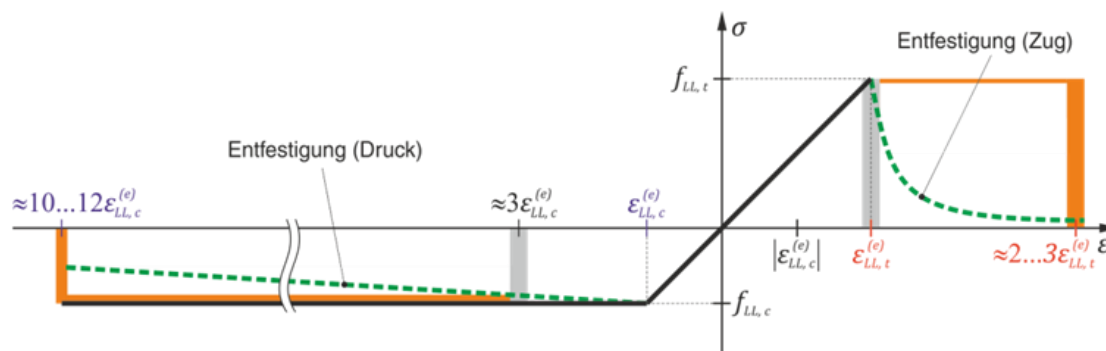
Mit den Ergebnissen der Biegeversuche wurde eine Modellgleichung entwickelt, mit deren Hilfe der minimal mögliche Biegeradius mit Hilfe der Zug- und Druckfestigkeiten sowie des E-Moduls eines Furniers berechnet werden kann.

Ausblick

Die dargestellten Ergebnisse zeigen, dass das bislang dem Werkstoffmodell zugrunde gelegte Spannungs-Dehnungs-Verhalten das reale Verhalten nur unzureichend abbildet. Insbesondere in Faserrichtung ergibt sich die Notwendigkeit, das Modell um eine stark regressive Entfestigung zu ergänzen, wie in Bild 7 am Beispiel 0,6mm dicken Furniers (Faserlastwinkel 0°, Normklima) gezeigt.



(a) abzubildende Randfaserdehnungen (Messergebnisse des Formbiegeversuchs)



(b) abzubildende Werkstoffentfestigungen (insbesondere im Zugbereich);

bislang erfasstes Dehnungsintervall (Radienbereich – Modell): $[3 \varepsilon_{LL,c}^{(e)} ; \varepsilon_{LL,t}^{(e)}]$,

zu erfassendes Dehnungsintervall (Radienbereich – Versuch): $[10 \dots 12 \varepsilon_{LL,c}^{(e)} ; 2 \dots 3 \varepsilon_{LL,t}^{(e)}]$

Bild 7: Biegeformung von Furnier – weiterer Modellierungsbedarf, am Beispiel 0,6mm Furnier, Faserlastwinkel 0°; (a) vom Biegemodell abzubildende Randfaserdehnungen bzw. Biegeradien; (b) vom Werkstoffmodell abzubildender Spannungs-Dehnungs-Verlauf (Entfestigung, insbesondere für Belastungsmodus Zug, bis weit in den postkritischen (plastischen) Bereich)

Über die im aktuellen Projekt entwickelten Rechenmodelle (vgl. Bild 7– Modell ohne Entfestigung) hinaus, könnte diese Erweiterung das Verformungsverhalten von Furnier deutlich weiter beschreiben (vgl. Bild 7– Modell mit Entfestigung).

Danksagung

Das IGF-Vorhaben 18557 BR der Forschungsvereinigung Internationaler Verein für Technische Holzfragen e.V. - iVTH, Bienroder Weg 54 E, 38108 Braunschweig wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Der vollständige Bericht kann bestellt werden bei:

Internationaler Verein für Technische Holzfragen e.V. (iVTH)
Bienroder Weg 54 E
38108 Braunschweig