

MATERIALEIGENSCHAFTEN VON MODIFIZIERTEM LAUBHOLZ

Zusammenfassung

In den letzten Jahren wurden einige innovative Verfahren der Holzmodifizierung zur Praxisreife entwickelt (MILITZ und MAI 2007). Aufgrund der Verfügbarkeit und der Einfachheit der Prozessumsetzung richten sich die meisten Verfahren zunächst auf Kiefernholz. Weitere einheimische Holzarten wurden in der Vergangenheit wenig auf ihre Eignung zur Holzmodifizierung hin untersucht. In den vorliegenden Arbeiten wurden zunächst einige Laubholzarten bezüglich ihrer Imprägnierfähigkeit untersucht. Von den untersuchten Holzarten ließen sich neben der Buche (*Fagus silvatica*) die Linde (*Tilia cordata*) und die Erle (*Alnus glutinosa*) sehr gut, die Pappeln (*Populus balsamifera* und *Populus tremula*) gut und die Weide (*Salix caprea*) ungenügend tränken. Aufgrund der Verfügbarkeit richteten sich weitere Versuche vor allem auf die Buche.

Native Buche ist für den Einsatz im Außen- und Feuchtraum nicht geeignet, da Dauerhaftigkeit und Dimensionsstabilität gering sind. In einem vom BMBF geförderten Projekt „Modifizierte Buchenholzprodukte“ wurde ein Prozess entwickelt, durch den diese nachteiligen Eigenschaften verbessert werden. Dabei wird die Vernetzungschemikalie DMDHEU (Dimethyloldihydroxyethyleneurea) durch Vakuum-Druck-Imprägnierung in das Holz eingebracht und anschließend unter Heißdampfbedingungen ausreagiert. Es wird davon ausgegangen, dass es dabei zu einer Vernetzung der Hydroxylgruppen der Zellwandzucker mit dem DMDHEU sowie zu Polykondensationsprozessen kommt (Krause *et al.* 2003; Bollmus 2010).

Umfangreiche Laborversuche zeigten, dass sich durch die Behandlung die Dauerhaftigkeit und Dimensionsstabilität erhöhen lassen. Beschichtung und Verleimung des Holzes sind möglich. Mechanische Eigenschaften werden dahingehend beeinflusst, dass Druckfestigkeit und Härte erhöht werden, Biegefestigkeit und Biege-Elastizitätsmodul sich nicht signifikant verändern, Scher- und Zugfestigkeit ebenso wie die Bruchschlagarbeit reduziert werden. Im Weiteren wurde ein sich in der Praxis anwendbarer Prozess entwickelt. Unter Einbringen des wasserlöslichen Holzvernetzers DMDHEU im Vakuum-Druck-Imprägnierverfahren und die anschließende Ausreaktion im Heißdampftrockner lassen sich die Material- und Produkteigenschaften deutlich verbessern. In Zusammenarbeit mit den Industriepartnern Fahlenkamp, Variotec und Becker wurde für erste Vollholz- und Furnierformteilanwendungen der Modifizierungsprozess soweit optimiert, dass erste Produkte mit den hierfür erforderlichen Materialeigenschaften hergestellt werden konnten. Beispiele für solche in der Zusammenarbeit mit den Firmen bereits im Industriemaßstab realisierte Leit- oder marktfähige Serienprodukte sind Picknickbankgarnituren, Terrassendeckings oder Formholzsitzmöbel für den Außenbereich.

Hintergrund des Forschungsprojektes

Holz aus heimischen Forsten hat gegenüber zahlreichen Konkurrenzmaterialien den Vorteil, dass es nachhaltig und weitgehend CO₂-neutral gebildet wird. Allerdings haben eine ganze Reihe einheimischer Holzarten den Nachteil, dass das Holz nicht oder nur wenig dauerhaft gegenüber Witterungseinflüssen sowie zahlreichen Holzschädlingen ist. Um diese technologischen Nachteile auszugleichen, wurden in den letzten Jahren einige innovative Verfahren der Holzmodifizierung entwickelt. Einheimische Kiefer (*Pinus sylvestris*) wurde dabei häufig untersucht, da sie sich gut imprägnieren lässt und gut verfügbar ist. Andere in heimischen Wäldern verfügbaren Holzarten wurden in der Vergangenheit wenig auf ihre Eignung zur Holzmodifizierung untersucht.

Die neu entwickelten Verfahren verwenden überwiegend reaktive Stoffe, die in organischen Lösemitteln oder Wasser gelöst werden und mit den Zellwandpolymeren des Holzes reagieren sollen. Der erste Schritt einer Prozessentwicklung richtet sich deshalb immer auf die Eignung einer Holzart, sich mit solchen Flüssigkeiten imprägnieren zu lassen. Um dieses zu beurteilen, wurde in einem Forschungsprojekt die Imprägnierbarkeit diverser Holzarten untersucht (Schmidt 2004). Einer der vielversprechenden Modifizierungsprozesse (DMDHEU) wurde im Rahmen des vom BMBF finanzierten Forschungsverbundes „Innovative Buchenholzprodukte“ in weiteren Schritten mit der in Deutschland wichtigsten Laubholzart, der Buche (*Fagus sylvatica*), untersucht. In enger Zusammenarbeit mit einigen Industriebetrieben wurden Leitprodukte entwickelt und eingehend untersucht. Im Folgenden sollen einige der wichtigsten Materialeigenschaften dargestellt werden. Weiterführende Literatur zum Thema "Holzmodifizierung" und DMDHEU ist zu finden bei Hill (2006) und Miltz und Mai (2007).

Imprägnierbarkeit

Wie oben schon erwähnt, ist eine gleichmäßige Imprägnierung für viele Holzmodifizierungsverfahren eine Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Behandlung. Allerdings ist eine gleichmäßige Imprägnierung von vielen einheimischen Holzarten nicht oder nur eingeschränkt möglich. So ist bekannt, dass sich fast alle kernholzbildenden Holzarten nur sehr schwer mit Flüssigkeiten tränken lassen (MILTZ und MAI 2007) und sie daher ungeeignet für eine Modifizierung sind. Die Imprägnierbarkeit von einigen Laubholzarten wurden daher in einem Forschungsprojekt detailliert untersucht (SCHMIDT 2004). Dazu wurden Hölzer ausgesucht, die keinen sichtbaren Kern bilden. Von den untersuchten Holzarten ließen sich Buche (*Fagus sylvatica*) Linde (*Tilia cordata*) und Erle (*Alnus glutinosa*) sehr gut, die Pappeln (*Populus balsamifera*) und (*Populus tremula*) gut und die Weide (*Salix caprea*) ungenügend tränken (siehe folgende Abbildungen).

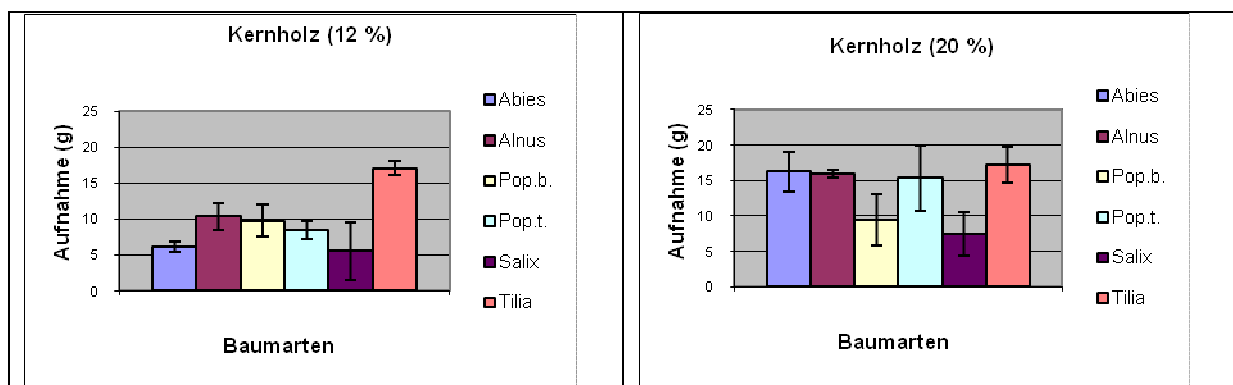
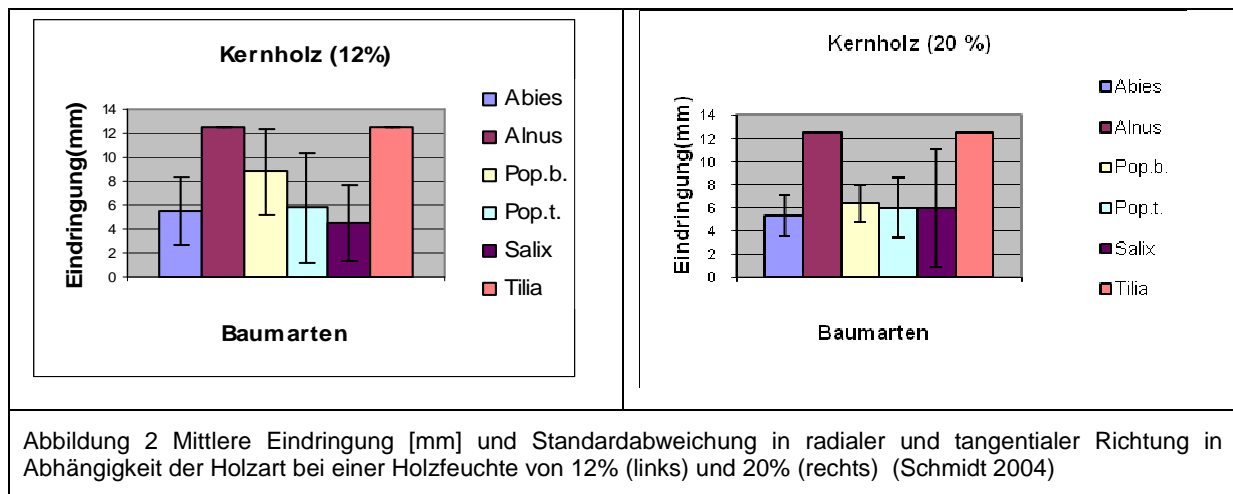


Abbildung 1: Mittlere Tränkmittelaufnahme [g] und Standardabweichung in radialer und tangentialer Richtung in Abhängigkeit der Holzart bei einer Holzfeuchte von 12% (links) und 20% (rechts) (Schmidt 2004)



Aufgrund der sehr guten Verfügbarkeit richteten sich weitere Versuche der Prozessentwicklung vor allem auf die Buche.

Verfahren

Im Verlauf des Projektes „Modifizierte Buchenholzprodukte“ wurde ein Verfahren entwickelt, mit dem verschiedene Anwendungen des von Natur aus nicht für Außenanwendungen geeigneten Buchenholzes im Außen- und Feuchtraum ohne Biozideinsatz möglich wurden. Das Verfahren beruht, unter Einsatz von in der Holzindustrie seit Jahrzehnten bekannter Anlagen, auf einer Vakuum-Druck-Imprägnierung mit einer wasserbasierten DMDHEU-Lösung (Dimethyloldihydroxyethyleneurea). Anschließend wird das DMDHEU im Holz unter Heißdampfbedingungen ausreagiert und so dauerhaft in der Zellwand fixiert. Es wird davon ausgegangen, dass es dabei neben Polykondensationsprozessen des DMDHEU zu einer Bindung zwischen dem DMDHEU und den Zellwandzuckern kommt. Diese wird vermutlich über die Hydroxylgruppen der Zucker gebildet.

Die Untersuchungen der Eigenschaftsverbesserung von Buchenholz durch Holzmodifizierung haben gezeigt, dass eine Holzvernetzung mit Buche grundsätzlich möglich ist. Es wurde allerdings auch deutlich, dass eine Prozessoptimierung hinsichtlich der Holzart Buche notwendig ist. Im Zuge der Prozessoptimierung wurden die Parameter Zeit, Temperatur und Feuchte während des Prozesses angepasst. Anschließend folgten weiterführende Untersuchungen der Materialeigenschaften wie die Dimensionsstabilität, die Resistenz gegenüber Holz abbauenden Pilzen sowie einer Reihe mechanischer Eigenschaften, deren Ergebnisse nachfolgend exemplarisch gezeigt werden sollen.

Ergebnisse

Quell-Schwind-Verhalten

Die ASE (Anti-Swell-Efficiency) als ein Maß für die Steigerung der Dimensionsstabilität durch den Vernetzungsprozess wird im Verhältnis zu unbehandelten Prüfkörpern bestimmt. Um die ASE zu bestimmen, wurden die Prüfkörper darrgetrocknet (Holzfeuchte = 0 %) und im Vakuum-Verfahren mit Wasser imprägniert. Anschließend wurden die Prüfkörper 24 Stunden in Wasser gelagert und wieder darrgetrocknet. Dieser Zyklus wurde zehn Mal wiederholt. Zur Berechnung der ASE dienen die Dimensionmessungen im darrgetrockenen und wassergesättigten Zustand (Abbildung 3).

Die ASE zeigt eine Abhängigkeit von der Konzentration der Imprägnierlösung DMDHEU. Dabei gilt, je höher die Konzentration, desto höher die ASE. Die Prüfkörper wiesen allerdings je nach Zyklus eine schwankende ASE auf. Eine tendenzielle Abnahme der ASE mit ansteigendem Zyklus ist durch eine leichte Auswaschung des Vernetzers zu erklären. Die

ASE nach zehn Zyklen betrug je nach Konzentration der Imprägnierlösung zwischen 25 % und 37 %.

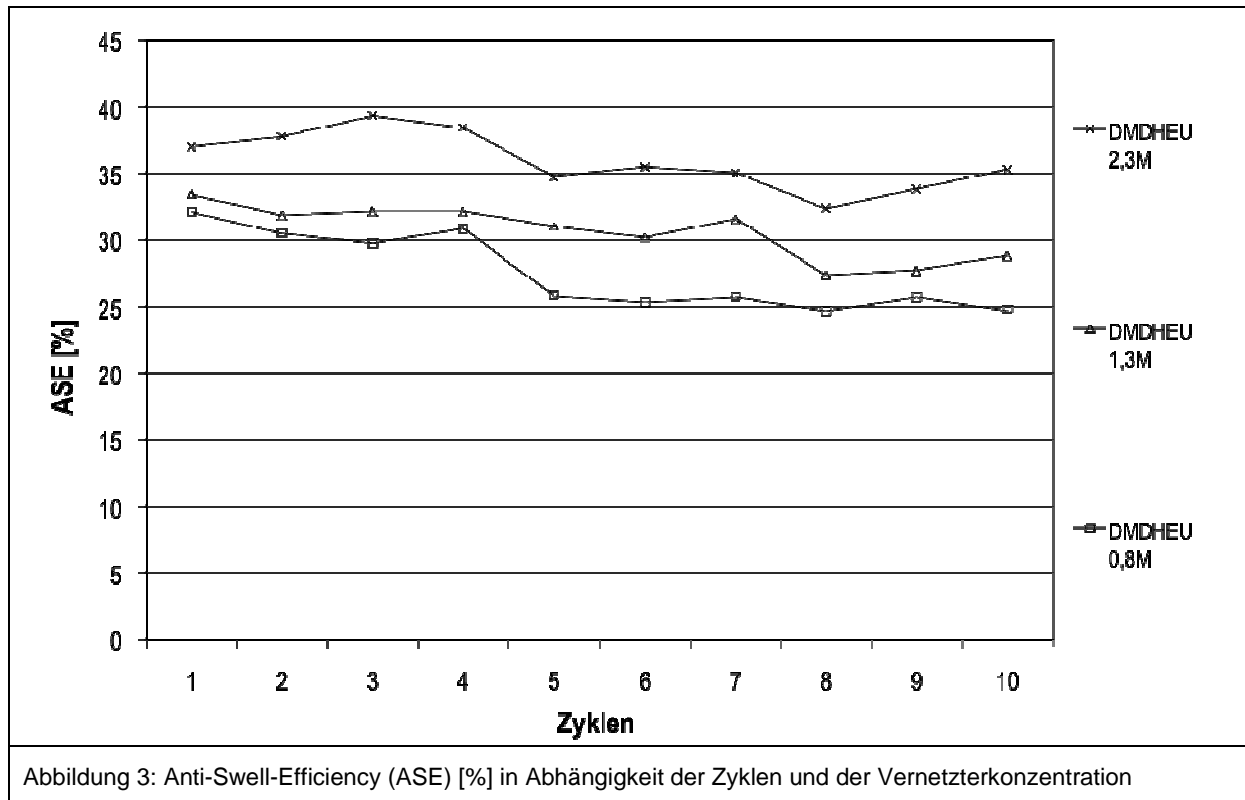


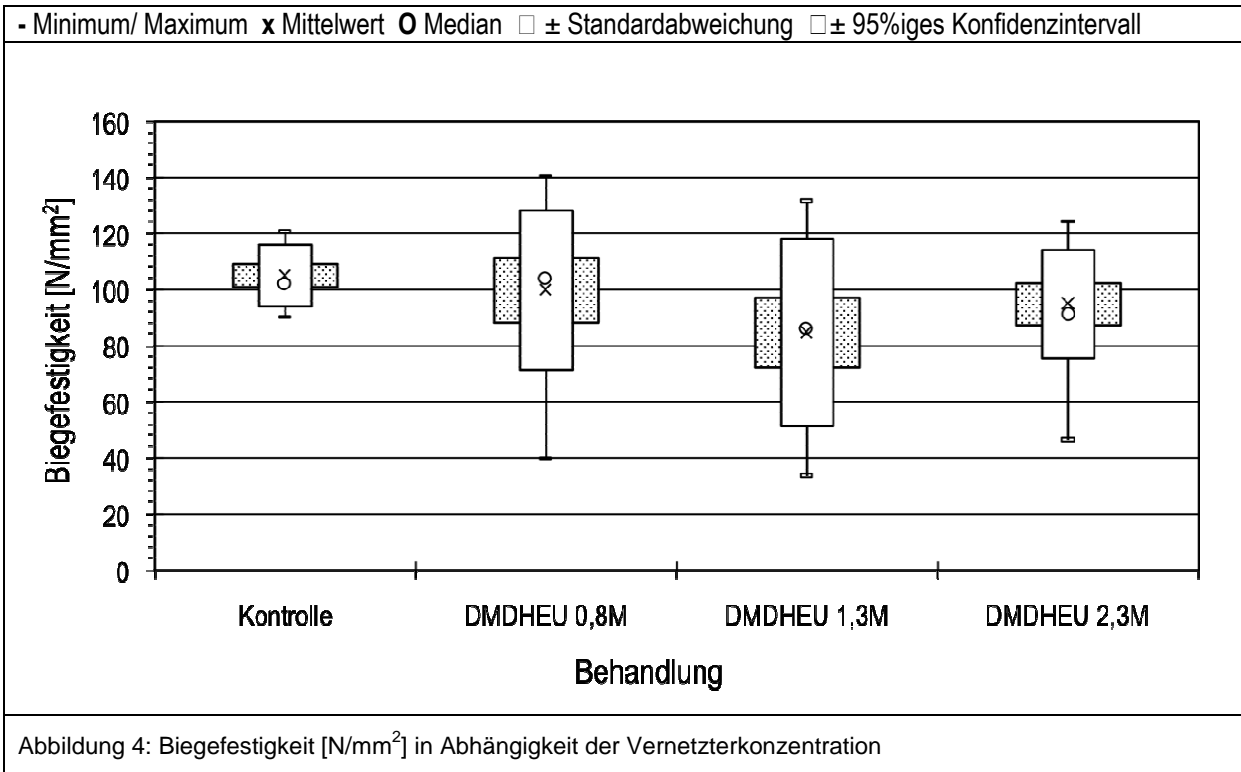
Abbildung 3: Anti-Swell-Efficiency (ASE) [%] in Abhängigkeit der Zyklen und der Vernetzterkonzentration

Mechanische Festigkeiten

Die **Druckfestigkeit** parallel zur Faser stieg durch die Behandlung signifikant an. Tendenziell gilt, je höher die Vernetzterkonzentration, desto höher war die Druckfestigkeit. Durch die Behandlung wurde die Druckfestigkeit von ca. 60 N/mm² (unbehandelte Kontrollen) um bis zu 60 % auf ca. 96 N/mm² (DMDHEU 2,3 M) erhöht.

Durch die Behandlung wurde die **Zugfestigkeit** signifikant von ca. 148 N/mm² auf bis zu 90 N/mm² (DMDHEU 2,3 M) reduziert, wobei die Konzentration der Behandlung keinen signifikanten Einfluss hat.

Die **Biegefestigkeit** der Buche wurde durch eine Behandlung mit DMDHEU nicht signifikant beeinflusst (Abbildung 4). Im Mittel liegt die Biegefestigkeit bei ca. 80 bis 100 N/mm². Allerdings hat die Behandlung einen Einfluss auf die Homogenität der Biegeeigenschaft. Die Kontrollen weisen im Vergleich zu allen Behandlungen eine deutlich niedrigere Streuung der Werte auf.



Der **Elastizitätsmodul** wurde während Biege- und Zugbeanspruchung gemessen. Signifikante Unterschiede bestanden zwischen den E-Moduln nicht. Der E-Modul lag bei allen untersuchten Prüfkörpern im Mittel zwischen ca. 14500 und 17000N/mm².

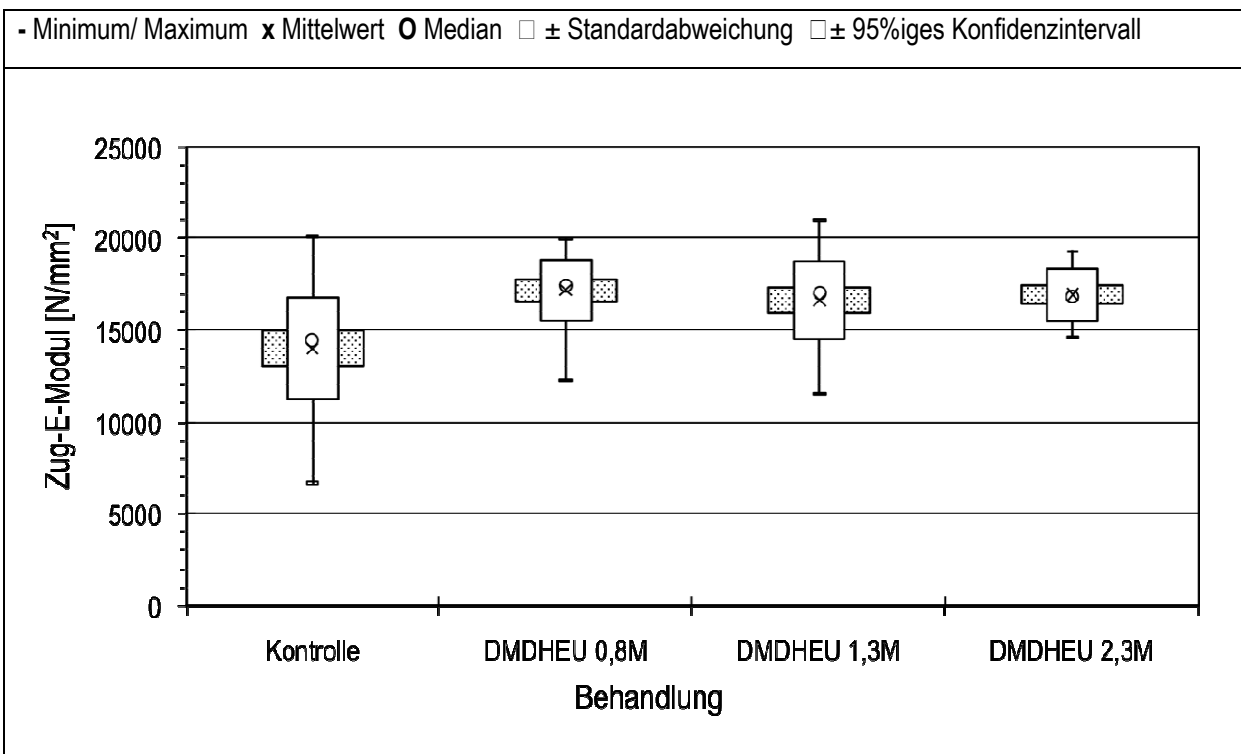
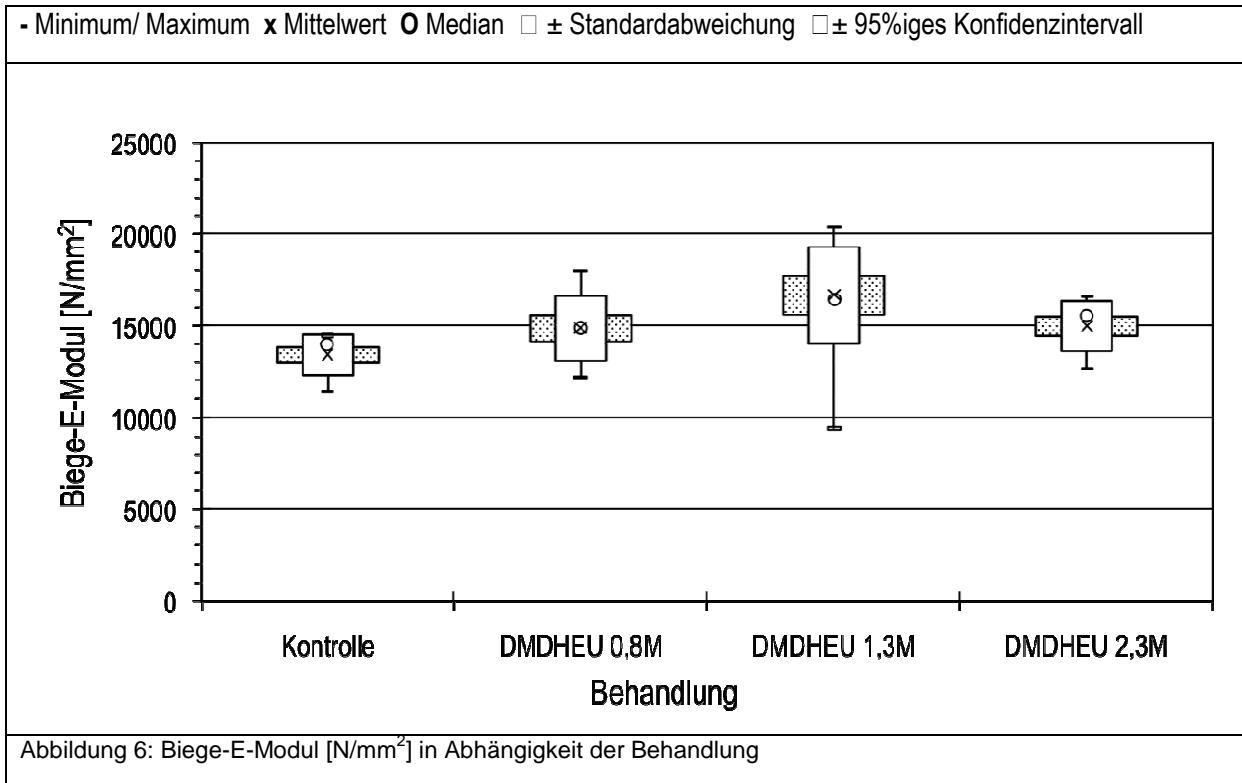
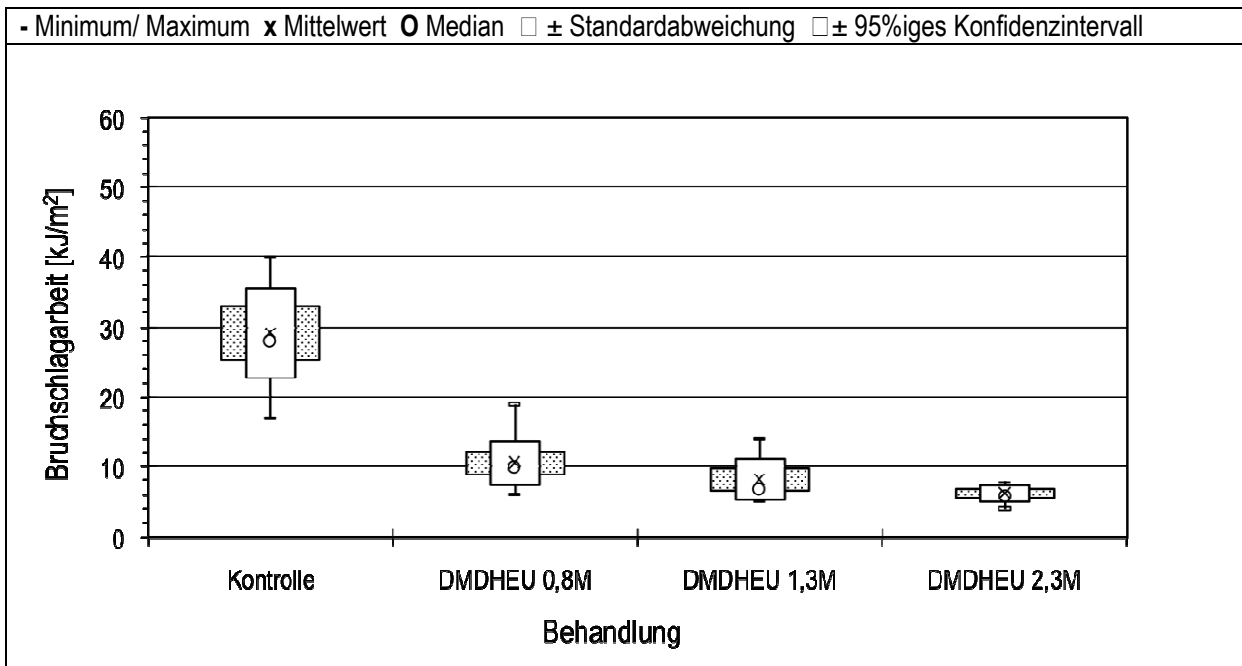


Abbildung 5: Zug-E-Modul [N/mm²] in Abhängigkeit der Behandlung



Die **Bruchschlagarbeit** der Buche wird durch eine Behandlung mit DMDHEU signifikant von ca. 30kJ/m² auf bis zu ca. 6kJ/m² (DMDHEU 2,3M) reduziert. Tendenziell gilt, je höher die Vernetzerkonzentration, desto geringer ist die Bruchschlagarbeit des Holzes (Abbildung 7).



Entsprechend zur Druckfestigkeit nahm die **Härte nach BRINELL** mit zunehmender Vernetzerkonzentration zu; ähnlich wie bei der Untersuchung der Zugfestigkeit nahm auch die **Scherfestigkeit** ab.

Natürliche Dauerhaftigkeit

Tabelle 1 zeigt die ermittelten Dauerhaftigkeitsklassen für die untersuchten Behandlungen in Abhängigkeit der Vernetzerkonzentration und des Prüfpilzes. Die endgültige Klassifizierung beruht auf der Pilzart, die den höchsten Masseverlust an den Prüfkörpern hervorgerufen hat. Für die Vernetzerkonzentration DMDHEU 1,3 M wurde daher die Dauerhaftigkeitsklasse 2 ermittelt, für DMDHEU 2,3 M die Dauerhaftigkeitsklasse 1.

Tabelle 1: Dauerhaftigkeitsklassen in Abhängigkeit von Masseverlust [%], Vernetzerkonzentration und Prüfpilz

Prüfpilz	Masseverlust [%]		Dauerhaftigkeitsklasse (CEN/TS 15083-1)
	Median	Mittelwert	
1,3M DMDHEU			
<i>Coniophora puteana</i>	8,50	9,95	2
<i>Poria placenta</i>	0,44	0,51	1
<i>Trametes versicolor</i>	1,21	3,05	1
2,3M DMDHEU			
<i>Coniophora puteana</i>	0,59	1,37	1
<i>Poria placenta</i>	0,67	0,74	1
<i>Trametes versicolor</i>	0,81	1,06	1

Im Folgenden werden die ermittelten Masseverluste in Abhängigkeit der Stickstoffkonzentration als Maß für die Vernetzungsintensität der axial zugeordneten Prüfkörper dargestellt. Abbildung 8 zeigt die Ergebnisse nach Inkubation mit dem Weißfäuleerreger *Trametes versicolor*.

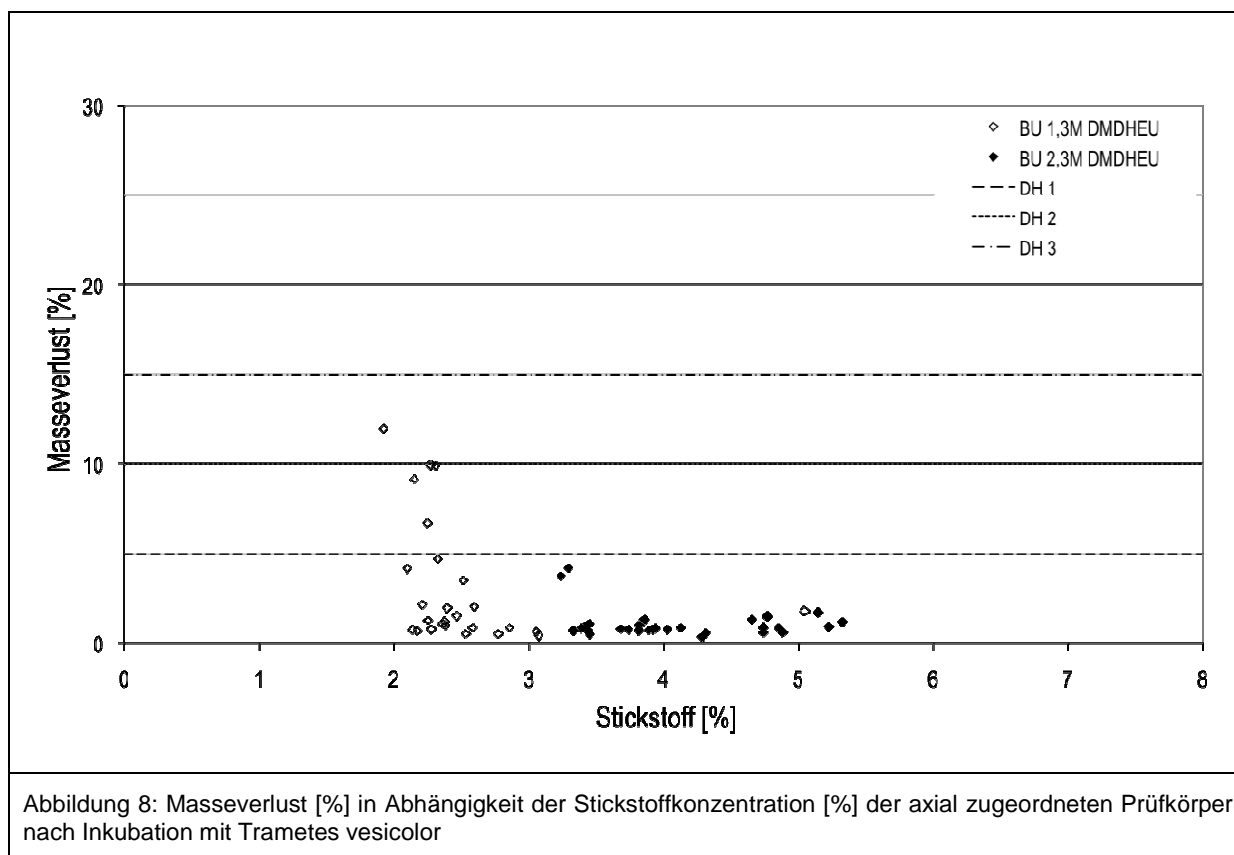


Abbildung 8: Masseverlust [%] in Abhängigkeit der Stickstoffkonzentration [%] der axial zugeordneten Prüfkörper nach Inkubation mit *Trametes vesicolor*

Alle Prüfkörper, die mit der Vernetzerkonzentration 2,3 M imprägniert wurden, erreichten in diesem Versuch die Dauerhaftigkeitsklasse 1, obwohl sie eine große Streuung der Stickstoffwerte aufwiesen. Der N-Anstieg des Holzes resultiert aus dem in der Zellwand fixierten Vernetzer. Die Prüfkörper, die mit der 1,3 M Lösung imprägniert wurden, erreichten die Dauerhaftigkeitsklassen 1 oder 2. Die Stickstoffwerte lagen dabei zwischen ca. 2 bis 3 %. Auffällig ist hierbei, dass Prüfkörper mit vergleichbaren Stickstoffwerten große Unterschiede im durch *Trametes versicolor* verursachten Masseverlust aufwiesen. Es scheint, dass ein Stickstoffwert von ca. 2,7 % erreicht werden muss, um einen sicheren Schutz und damit die Dauerhaftigkeitsklasse 1 zu erzielen.

Ähnlich verhielt es sich bei den Versuchen mit dem Braunfäuleerreger *Coniophora puteana*. Auch hier wurde für die 1,3 M Lösung die Dauerhaftigkeitsklasse 2 ermittelt und für die 2,3 M Lösung die Dauerhaftigkeitsklasse 1. Noch bessere Ergebnisse erbrachten die Versuche nach einer Inkubation mit dem Braunfäuleerreger *Poria placenta*. Alle Prüfkörper erreichten in diesem Versuch die Dauerhaftigkeitsklasse 1. Die Grenzkonzentration für diesen Pilz scheint durch die verwendeten Imprägnierlösungen nicht unterschritten zu sein.

Beständigkeit gegen erdbewohnende Mikroorganismen

Des Weiteren wurde die Resistenz gegenüber erdbewohnenden Mikroorganismen an Sperrholz untersucht. Die Veränderung der Holzmatrix durch den Pilzabbau wurde mit Hilfe des dynamischen Elastizitätsmoduls (MOE_{dyn}) bestimmt. Massivholz (Virulenz) und unbehandeltes Sperrholz (Referenz) wiesen nach 26 Wochen einen Verlust der Steifigkeit auf, erkennbar am reduzierten MOE . Sperrholz, hergestellt aus DMDHEU-behandelten Furnieren, dagegen zeigte keinen Verlust des MOE_{dyn} . Diese Ergebnisse entsprechen den Versuchsergebnissen, die an DMDHEU-behandeltem Buchenvollholz ermittelt wurden.

Modifizierung und Eignungstests

Im Folgenden sollen die in Zusammenarbeit mit drei Holzindustriepartnern entwickelten ersten Pilot- sowie weiterentwickelten Folgeprodukte aus optimierten Prozessgenerationen dargestellt werden. Im Verlauf der Projektphase konnten mit den Partnerunternehmen diverse Produktbeispiele realisiert werden (Fahlenkamp GmbH & Co, Variotec GmbH & Co KG, Becker KG). Einige Beispiele sind im Folgenden beschrieben.

Terrassendecking

Zu Beginn des Projektes wurden zur Übertragbarkeit auf Praxisbedingungen der bis dahin für Buche nur im Labormaßstab durchgeführten Modifizierungsprozesse rund 10 m³ Buchenholz in Brettware der Abmessungen 3300 x 120 x 35 mm³ behandelt. Das Holz wurde in fünf Curing-Prozessen im Heißdampftrockner behandelt, wobei die Parameter Zeit, Feuchte und Temperatur variierten. Aus einem Teil der modifizierten Brettware wurden in der Zusammenarbeit mit der Firma Fahlenkamp Terrassendecking-Dielen gehobelt und diese im Raum Göttingen zu einem rund 30 m² großen Versuchsfeld auf Kanteln aus modifiziertem Buchenholz der Maße 52 x 80 mm² montiert (Abbildung 9).



Abbildung 9: Terrasse aus modifizierten Deckingmodulen

Zur Vermeidung von Verfärbungen durch UV-Vergrauung oder Verblauung wurde das fertige Decking mit einem handelsüblichen UV- und Bläueschutzmittel (Sadolin Pflegeöl 627) im Pinselauftragverfahren gestrichen.

Die Terrassendeckingmodule wurden nach Fertigstellung der an der Universität Göttingen modifizierten Bretter beim Industriepartner Fahlenkamp gehobelt und zu rund 0,95 x 1,40 m großen Modulen auf Kanthölzer der Abmessungen 52 x 80 mm verschraubt.

Aus den für die Terrassendeckingprozesse bestimmten modifizierten 287 Buchenbrettern wurden 31 Deckingmodule gefertigt und mit Bläue- und UV-Schutzlasuren behandelt, von denen 29 in Außenbewitterungs-Tests einfließen und zwei Module als Ausstellungs- und Vergleichs-Exemplare dienen. 27 Module (= 81 % aller Bretter) entfielen hierbei auf die Qualitätsstufe „A“, vier Module (= 9 % aller Bretter) auf „B“ und 10 % der Bretter wurden als „C-Qualität“ aussortiert. Hierbei waren Bretter der Qualität A vollkommen fehlerfrei; B wies kleinere Risse sowie Hobel- oder Astfehler auf, während C aufgrund stärkerer Risse oder Abplatzungen für eine Verwendung nicht in Frage kam und verworfen wurde. Auffällig war, dass besonders die Rissbildung in Abhängigkeit der durchgeführten Curing-Prozesse variierte. Dies zeigte sich sowohl bei der Rissbegutachtung im Anschluss an die Behandlung als auch nach der mehrmonatigen Freilandbewitterung der Terrassenmodule.

Picknickbank

Ebenso wie für das Terrassendecking beschrieben wurde auch für diverse Picknickbänke aus modifiziertem Buchenholz ein Pilotprojekt im Frühjahr 2006 gestartet (Abbildung 10).



Abbildung 10: Picknickbänke aus modifizierter Buche

Die 36-monatige Beobachtungsphase der Pilotterrassen- und Bankelemente erlaubt folgende Materialcharakterisierungen für das verwendete modifizierte Holz.

- Die Dauerhaftigkeit des modifizierten Buchenholzes gegenüber holzerstörenden Mikroorganismen in der Gefährdungsklasse 3 (dauerhaft der Witterung ausgesetzt, ohne Erdkontakt, hier: Terrassendecking) und 4 (dauerhaft der Witterung ausgesetzt, mit Erdkontakt, hier: Picknickbänke) kann als hervorragend bezeichnet werden, Abbauspuren traten auch nach rund dreijähriger Exposition in der Außenbewitterung bzw. im Bodenkontakt nicht auf.
- Das Quell-/Schwindvermögen der der Außenbewitterung ausgesetzten Pilotprodukte aus modifiziertem Buchenholz konnte deutlich verbessert werden, so dass das für mäßig maßhaltige Beanspruchungen erforderliche Stehvermögen der Bänke und Deckings ohne Einschränkungen erreicht wurde.
- Die Materialausbeute fehlerfreier modifizierter Brettware war bei dem ersten Pilotprozess noch nicht zufriedenstellend, je nach Prozess mussten rund 20 bis 40 % der modifizierten Buchenbretter in der Startphase des Projektes aufgrund stärkerer Rissbildungen und gelegentlicher Verwerfungen aussortiert bzw. durch Ablängen nutzbar gemacht werden.
- Die unmittelbar nach dem Verbauen und der beginnenden Außenexposition stattgefundenen erneuten Rissbildungen an einzelnen Brettern kamen bereits nach kurzer Zeit zum Stillstand, spätere Rissbildungen traten nicht mehr bzw. nicht nennenswert auf; eine weitere Ausdehnung dieser Risse in der Folgezeit kann vernachlässigt werden.
- Der Problematik der Vergrauung durch UV-Licht und der Verblauung durch Bläueorganismen kann durch eine Behandlung mit Schutzlasuren oder Ölen entgegengewirkt werden. Ein Schutz des Holzes gegen diese Holzverfärbungen findet durch den biozidfreien DMDHEU-Modifizierungsprozess nicht statt, da das auf einer Veränderung der Holzstruktur basierende Verfahren einzig zu einer Verbesserung der Dauerhaftigkeit sowie einigen physikalischen und mechanischen Holzeigenschaften führt.
- Ein gleichzeitiges Einbringen von UV- und Bläueschutzkomponenten unmittelbar im Modifizierungsprozess wäre prinzipiell möglich, führt jedoch durch die hierbei

vollzogene Volltränkung zu einer Vergeudung von Schutzmittel, das aufgrund des Auftretens von Vergrauung und Bläue an der Holzoberfläche lediglich oberflächennah benötigt wird.

Die Modifizierung erfolgte in den Prozessanlagen der Universität Göttingen, das Hobeln, der Zuschnitt und die Montage der Bänke beim Industriepartner Fahlenkamp. Im Gegensatz zu den Terrassendeckings wurden die Bänke nicht mit Bläue- und UV-Schutzlasuren behandelt. Vergleichbar mit dem Terrassendeckings, zeigten auch die Picknickbänke ein prozessabhängiges Rissverhalten. Es wird daher davon ausgegangen, dass insbesondere das Rissverhalten durch die Prozesssteuerung erheblich beeinflusst wird.

Außentüren

Das für den Einsatz in Gebrauchsdimensionen bei einem Industriepartner in Auftrag gegebene modifizierte Buchenholz wurde bei der Firma Variotec weiterverarbeitet. Es wurden zwei baugleiche Pilot-Außentüren aus modifiziertem Buchenholz hergestellt. Während die eine Tür für Ausstellungs- und Demonstrationszwecke erhalten blieb, wurde die zweite Tür im Prüfzentrum für Bauelemente (PfB) in Rosenheim auf verschiedene Gebrauchseigenschaften geprüft und hierbei testbedingt zerstört.

Bei nahezu allen Prüfungen (v.a. Windwiderstandsfähigkeit, Schlagregendichtheit, Luftdurchlässigkeit, Stoßfestigkeit) entfiel hierbei die getestete Außentür aus modifiziertem Buchenholz auf eine der höchsten zu erreichenden Prüfklassen; lediglich bei der Prüfung der Einbruchhemmung fiel die modifizierte Tür aufgrund der erhöhten Materialsprödigkeit ins Mittelfeld ab.

Rund 1,5 m³ modifiziertes Buchenbrettholz der Abmessungen 1400 x 120 x 35 mm³, das in den Prozessanlagen der Universität Göttingen hergestellt wurde, wurde beim Industriepartner Variotec zur Erlangung der benötigten Dicken und Längen schicht- und keilzinkenverleimt und abschließend in den Fertigungsprozess der Außentürenherstellung eingebracht.

Die doppelflügelige Tür wurde im Sommer 2008 als Außentür in ein Funktionsgebäude der Abteilung Holzbiologie/ Holzprodukte eingebaut (Abbildung 11). Dabei erwiesen sich die Dauerhaftigkeit, die Maßhaltigkeit und die Dichtheit der Tür als hervorragend. Allerdings stellten sich im Verlaufe des heiß-trockenen Sommers sowie der herbstlichen Wiederbefeuchtungsphase bei der bewitterten Außentür vereinzelt kleinere und etwas größere Risse ein.



Abbildung 11: Doppelflügelige Tür aus modifizierter Buche

Außenfurnierformholz

Aufbauend auf den mit modifiziertem Buchenfurnierformholz erreichten ersten erfolgreichen Pilotprodukten wurden in der Zusammenarbeit mit dem Projektpartner Becker weitere Produktanwendungen erarbeitet. Hierbei hatten die an Materialprüfkörpern durchgeführten Eigenschaftsuntersuchungen von modifiziertem Buchensperrholz gezeigt, dass – besser noch als in den Vollholzanwendungen – die Dauerhaftigkeit und die Maßhaltigkeit der Prüfkörper zu hervorragenden Ergebnissen führen. So konnten in den vergangenen Monaten von der Firma Becker eine Reihe von praxisreifen Produktbeispielen auf dem Markt etabliert werden, die vom mittleren bis zum hochwertigen Preissegment reichen (Abbildung 12).



Ausblick

Während der Buchenholzmodifizierungs-Prozess für Furnierformholz-Anwendungen bereits gute Resultate und ein zunehmend breiter werdendes Marktspektrum liefert, sind für den Vollholzbereich weitere Anstrengungen nötig, um diesen Erfolg auch auf den Sektor modifizierter Buchen-Vollholzprodukte auszudehnen.

Der im Verlaufe des Projektes „Buchenholzmodifizierung“ entwickelte Holzvernetzungs-Prozess hat für die deutliche Verbesserung einer Reihe von Holzeigenschaften gesorgt: So konnte insbesondere die Dauerhaftigkeit und die Formstabilität des modifizierten Buchenholzes deutlich verbessert werden. Die veränderten Festigkeitseigenschaften schließen einzelne Anwendungen, die durch solche Beanspruchungen besonders gefordert werden, von vornherein aus, eröffnen aber weiteren, neuen Anwendungen eine verbesserte Ausgangslage für neue und erweiterte Nutzungen.

Besonders hoch waren die Eigenschaftsverbesserungen bei modifizierten Buchenfurnieren: So konnte beispielsweise das radiale Quell- und Schwindverhalten durch Behandlung der Furniere mit hohen Vernetzerkonzentrationen um das zwei- bis vierfache gegenüber unbehandelten Buchenfurnieren verbessert werden. Auch das Festigkeitsverhalten von modifizierten Buchenfurnieren ist gegenüber modifiziertem Buchenvollholz günstiger. Entsprechend tritt auch die Problematik der Rissbildung bei modifizierten Furnierholzprodukten weit weniger oder gar nicht in Erscheinung als dies bei Vollholzprodukten der Fall ist.

Die guten Materialeigenschaften von Furnierformholz aus modifiziertem Buchenschäl furnier haben dazu geführt, dass bereits eine Reihe von Furnier-Anwendungen bis zur Marktreife entwickelt wurde und erste Produkte in Serienfertigung produziert werden. Auch erste Produkte aus modifiziertem Buchenvollholz konnten insbesondere durch die deutliche Verbesserung der Dauerhaftigkeit und der Dimensionsstabilität in der Zusammenarbeit mit einzelnen Industrie-Projektpartnern in Form erster Leit- und Pilotprodukte hergestellt werden. So können die erreichten Materialeigenschaften für Produkte im mittleren Preissegment (z.B. Terrassendeckings, Gartenmöbel) als geeignet hinsichtlich der erforderlichen Anforderungen angesehen werden, während insbesondere die bislang nicht hinreichend gelöste Rissproblematik bei modifizierten Buchenvollholzprodukten im oberen Preissegment (z.B. Außentüren) sicherlich aufgrund optischer Beeinträchtigungen zu Skepsis oder Ablehnung auf Seiten der Verbraucher führen könnte. Durch fortlaufende Prozessoptimierungen wurden diese Probleme in der letzten Projektphase bereits erheblich reduziert. Weitere Arbeiten, auch über das Projektende hinaus, sollen weitere Verbesserungen bringen. Dabei haben die Optimierungen zur Vernetzung des vom Schwierigkeitsgrad her als naturgemäß besonders anspruchsvoll geltenden Buchenholzes gezeigt, dass die Übertragbarkeit der Holzvernetzung mit DMDHEU auf andere, bislang weniger untersuchte Baumarten einfacher ist!

Fazit

Die Ergebnisse der umfassenden Untersuchung des mit DMDHEU-modifizierten Buchenholzes zeigen, dass es mit Einschränkungen für kommerzielle Produkte im Außen- und Feuchtraumbereich geeignet ist. Die Quell- bzw. Schwindeigenschaften sowie die Dauerhaftigkeit des Holzes werden positiv beeinflusst. Die Dauerhaftigkeit gemäß CEN TS 15083-1 gegenüber Holz abbauenden Pilzen verbesserte sich von der Klasse 5 (nicht dauerhaft) in die der Klasse 1 oder 2 (sehr dauerhaft oder dauerhaft), das bei Buche besonders ungünstige Quell-/Schwindverhalten wurde um 30 bis 40 % verbessert. Auch einige Festigkeitseigenschaften, wie die Härte und die Druckfestigkeit des naturgemäß bereits guten Buchenholzes konnten durch den Modifizierungsprozess erhöht werden. Für die Biegefestigkeit sowie das Zug- und das Biege-E-Modul konnten die guten Eigenschaften

der Buche auch nach der Holzmodifizierung erhalten bleiben, während sich die Werte für die Zug- und Scherfestigkeit sowie die Beanspruchung durch Bruchschlagarbeit verschlechterten. Die teilweise verringerten mechanischen Eigenschaften und hier besonders die erheblich reduzierte Bruchschlagarbeit führen dazu, dass die Verwendung zur Herstellung von einigen Produkten nicht zu empfehlen ist. Für eine Reihe von Anwendungen führen die Eigenschaftsverbesserungen des modifizierten Buchenholzes jedoch zu einer erweiterten Verwendungs- und Produktpalette von Buche im Außen- und Feuchtraumbereich.

Forschungsverbund „Innovative Buchenholzprodukte“, www.buchenholzmodifizierung.de

Dank

Die Autoren danken dem BMBF für die finanzielle Unterstützung des Projektes (FKZ 0330565A), den Vertretern des PTJ und des UFZ für die projektbegleitende Unterstützung und den Projektpartnern für die gute Zusammenarbeit. Herrn Wolfgang Schmidt wird für die Durchführung der Arbeiten der Imprägniersuche im Rahmen seiner Masterarbeit gedankt.

Literatur

BOLLMUS, S. 2010: Biologische und technologische Eigenschaften von Buchenholz nach einer Modifizierung mit 1,3-dimethylol-4,5-dihydroxyethyleneurea (DMDHEU). Georg-August-Universität Göttingen, Dissertation (unveröffentlicht).

HILL, C.A.S. 2006: Wood modification – chemical, thermal and other processes. West Sussex: John Wiley & Sons. Ltd.

KRAUSE, A.; JONES, D.; ZEE, M.V.D.; MILITZ, H. 2003: Interlace treatment – Wood modification with N-Methylol-compounds. European Conference on Wood Modification. Ghent, Belgium. Proceedings: 317-327.

MAI, C. und MILITZ, H. 2007: Holzvergütung – Sonstige Vergütungsverfahren. In: Taschenbuch der Holztechnik. Hrsg. Wagenführ, A. und Scholz, F.. Fachbuchverlag Leipzig.

SCHMIDT, W. 2004: Tränkbarkeit und Holzmodifizierung einiger Sekundärbaumarten. Georg-August-Universität Göttingen, Masterarbeit.