

Die Buche (*Fagus sylvatica* L.) ist mit rund 14 % der Gesamtwaldfläche die am meisten verbreitete Laubbaumart Deutschlands. Der Umfang des Einschlages (ca. 7,6 Mio. m³ Jahreseinschlag) und der Holzverwendung (ca. 65 % der Laubschnittholzindustrie) unterstreicht ihre wichtige ökonomische Rolle. Auch unter ökologischen Aspekten hat die waldbauliche Bedeutung der Buche in den letzten Jahren zugenommen, da bei der Umwandlung von reinen Fichtenbeständen in naturnahe Waldgesellschaften ein hoher Anteil Buchen gepflanzt wird. Buchenholz ist von hoher Qualität und hat aufgrund der anhaltenden Nachfrage nach hellen und gleichmäßig gefärbten Hölzern sowie seiner guten technologischen Eigenschaften ein großes wirtschaftliches Interesse erlangt. Die Preisbewertung des Buchenholzes wird jedoch durch die Ausbildung eines fakultativen Farbkerns, des so genannten „Rotkerns der Buche“, stark beeinflusst.

Während für helles, stark dimensioniertes Buchenholz in Furnierqualität Spitzenpreise bis 700 € pro Festmeter erzielt werden, lässt sich Buchenstammholz mit hohem Rotkernanteil nur mit starken Preisnachlässen vermarkten. Der Buchenstamm- und Buchenschnittholzmarkt unterliegt somit einer hohen Preisdiversität.

Neben der Rotkernbildung im lebenden Baum können bei der Buche stark qualitätsmindernde Verfärbungen während der Lagerung sowie der Be- und Verarbeitung des Holzes auftreten. In den letzten Jahren haben sie vermehrt zu Reklamationen und hohen ökonomischen

Verlusten geführt. Beanstandet werden vor allem streifen- bzw. fleckenförmige Verfärbungen bei der technischen Trocknung, dem Dämpfen und Kochen des Buchenholzes.

Um den hohen Qualitätsanforderungen des deutschen Marktes an das Buchenholz gerecht zu werden, ist eine sorgfältige Behandlung des Holzes vom Einschlag bis zur Verarbeitung erforderlich.

Im Rahmen eines gemeinsamen Forschungsvorhabens der Institute für Holzbiologie, Holzchemie und Holzphysik der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (BFH) in Verbindung mit dem Ordinariat für Holzbiologie der Universität Hamburg werden die Ursachen der ungleichmäßigen Farbänderungen von Buchenholz untersucht, um vorbeugende Maßnahmen zu ihrer Vermeidung entwickeln zu können.

Biotische und abiotische Ursachen

In der Praxis wird bei Verfärbungen im Buchenholz häufig nur zwischen biotisch bedingten Verfärbungen (durch Bakterien und Pilze) und abiotisch bedingten Verfärbungen (meist als Oxidationsreaktionen bezeichnet) unterschieden. Ein effektiver vorbeugender Schutz vor Farbänderungen erfordert jedoch eine grundlegendere Differenzierung. Unterschiedliche physiologische, mikrobiologische, biochemische und chemische Reaktionen im Holz, aber auch Kombinationen (z. B. Befall durch Mikroorganismen und chemische Reaktionen), kommen als Auslöser in Frage.

Ursachen u wirtschaftl von Holzve Interdisziplinäre Forsc

Gerald Koch, Josef Bauch, Jürgen Puls

Holzverfärbungen im lebenden Baum

Die Buche zählt zu den Baumarten mit fakultativem Farbkern (Abb. 1). Dieser Farbkern, bei Buche auch Rotkern genannt, kann in Ausprägung, Größe, Form und den spezifischen Eigenschaften stark variieren und gelegentlich auch als „Spritzkern“ vorkommen (Abb. 2). Die Ausbildung des Rotkerns wird von individuellen Merkmalen des Baumes (Alter, Durchmesser, Faulast-Anteil) und von Standortfaktoren bestimmt. In den häufigsten Fällen wird die Rotkernbildung durch Stammverletzungen im zentralen Bereich ausgelöst: Luftsauerstoff dringt in den Stamm ein und führt zur Bildung phenolischer Stoffe aus den Reservestoffen des Baumes (lösliche Kohlenhydrate und Stärke).

Die Rotkernbildung führt in der Regel zu einer starken preislichen Minderung

Abb. 1: Buchenstamm mit Rotkernbildung im zentralen Bereich



Abb. 2: Buchenstammabschnitt mit ausgeprägter Spritzkernbildung und gleichzeitiger Infektion durch Bakterien



Individuelle Bedeutung Verfärbungen

Untersuchung am Beispiel der Rotbuche

von *Andreas Welling (Hamburg)*

des Buchenholzes, da die Farbabweichungen nicht erwünscht sind. Auf Initiative der Forstwirtschaft und Naturschutzorganisationen werden jedoch zunehmend Anstrengungen unternommen, rotkerniges Buchenholz dekorativ im Innenausbau und im Möbelbereich zu verwenden, zumal durch die Rotkernbildung die technologischen Eigenschaften des Holzes nicht beeinträchtigt werden. Viel-

mehr eröffnen die stark ausgeprägten Farbvariationen individuelle, optisch ansprechende Gestaltungsmöglichkeiten (Abb. 3), die durch eine sorgfältige Oberflächenbehandlung dauerhaft erhalten werden können.

Die unterschiedliche Ausbildung des Rotkerns im lebenden Baum erschwert jedoch die Aushaltung eines „einheitlichen Sortiments“ für Serienproduktionen.



Abb. 3: Beispiele für die dekorative Verarbeitung von rotkernigem Buchenholz.
 Links: Buchenbrett mit farblich ausgeprägtem Rotkern
 Mitte: Türblatt aus rotkernigem Buchenfurnier
 Rechts: Fronten aus rotkernigem Buchenholz für Designermöbel

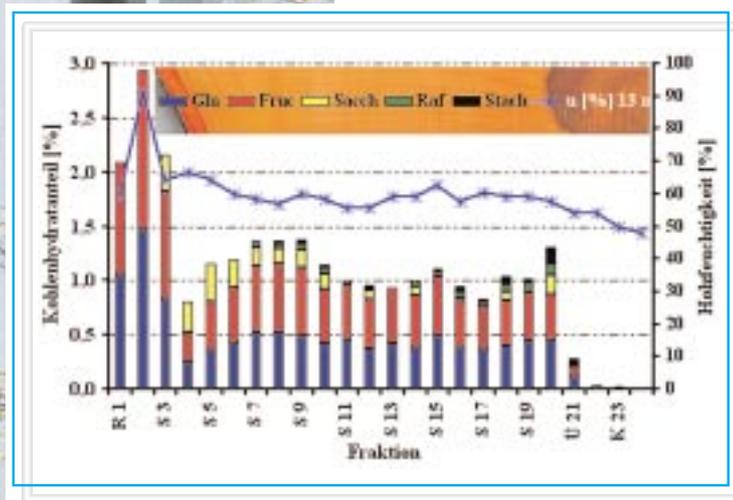


Abb. 5: Verteilung der löslichen Kohlenhydrate und Holzfeuchte über den Stammquerschnitt einer Buche mit Rotkern (R-Rinde, S-Splintholz, Ü-Übergang, K-Rotkern)

Lagerungsbedingte Verfärbungen

Starke qualitätsmindernde Verfärbungen treten bei einer unsachgemäßen Lagerung des frisch eingeschlagenen bzw. eingeschnittenen Buchenholzes auf, die entweder auf physiologische Reaktionen (Ersticken bzw. Einlauf) und/oder einen Befall durch Bakterien und Pilze (sog. Verstocken) zurückgeführt werden können.

Als Einlauf bezeichnet man bei der Buche eine grau- bis rotbraune streifenförmige Verfärbung, die durch die Aktivität noch lebender Speicherzellen verursacht wird. Infolge des eindringenden Sauerstoffs werden Reaktionen ausgelöst, die durch den Abbau von Reservestoffen zur Synthese von farbgebenden phenolischen Verbindungen und zur Bildung von Thyllen (anatomische Gefäßverschlüsse; Abb. 4) führen.

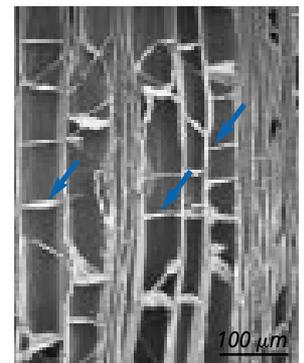


Abb. 4: Starke Thyllenbildung (axiale Gefäßverschlüsse) im unsachgemäß gelagerten Buchenstammholz

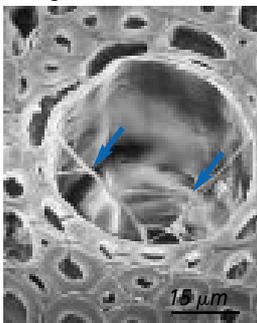
Wie intensiv die Verfärbung erfolgt, ist dabei abhängig von der Aktivität der Parenchymzellen und der Verteilung der Reservestoffe im lebenden Baum, die durch einen deutlich abnehmenden Gradienten vom äußeren zum inneren Splintholz charakterisiert wird (Abb. 5). Die Kohlenhydratverteilung ist weiterhin saisonalen Schwankungen unterworfen. Zu Ende der Vegetationsperiode – gleichbedeutend mit dem Beginn der Einschlagssaison – können im äußeren Splintholz hohe Kohlenhydratgehalte gemessen werden, die im frisch eingeschlagenen Buchenholz bei unsachgemäßer Lagerung zu den beschriebenen Verfärbungen führen.

Das Risiko, dass sich ungleichmäßige Farbänderungen ausbilden, ist im Zeitraum vom Einschlag bis zur technischen Trocknung des Buchenholzes besonders hoch, da die parenchymatischen Zellen auch noch mehrere Wochen nach dem Einschlag leben und physiologisch aktiv sein können. Buchenholz besitzt darüber hinaus im Vergleich zu anderen Holzarten einen hohen Anteil lebender Zellen (bis zu 30 % parenchymatischer Gewebeanteil), so dass sehr viele potenzielle Reaktionszentren existieren. Die gemessene Inhaltsstoffkonzentration ist dagegen mit rund 2 % im Vergleich zu anderen Holzarten eher gering.

Um die streifenförmigen Verfärbungen im lagernden Buchenholz zu vermeiden, muss der Sauerstoffgehalt im Gewebe und damit die Reaktionsfähigkeit der Parenchymzellen möglichst niedrig gehalten werden. Es empfiehlt sich daher, den Einschlag des Buchenholzes auf die Wintermonate (i.d.R. bei Außentemperaturen unter 10 °C) zu begrenzen und das Holz schnell aufzuarbeiten. Ist das nicht möglich, kommt eine Wasserlagerung in Frage, bei qualitativ hochwertigem Holz eventuell auch die Konservierung unter Sauerstoffabschluss. Aufgrund der gestiegenen – im wesentlichen exportbedingten – ganzjährigen Buchenholznachfrage, den geänderten Produktionsabläufen mit ganzjähriger Verarbeitung, aber auch durch das Aufkommen von Sturmholz und entsprechend langen Lagerungszeiten, werden diese tradierten Maßnahmen zum Teil nur eingeschränkt berücksichtigt bzw. nicht konsequent umgesetzt.

Im lagernden Holz frisch eingeschlagener Buchen sowie im frisch eingeschnittenen Stammholz können über die Schnittflächen Pilzinfektionen eintreten, die zu Verfärbungen führen (Abb. 6). Der Befall durch Bakterien und Pilze wird in der älteren Literatur als ‚Verstocken‘ oder ‚Stockflecken‘ bezeichnet. Durch den Abbau von Inhaltsstoffen im parenchymatischen Gewebe und deren Reaktion mit den Stoffwechselprodukten der Bakterien und Pilze können bereits innerhalb weniger Tage intensive Verfärbungen entstehen. Bei längerer unsachgemäßer Lagerung kann zusätzlich ein Befall durch

Abb. 6: Elektronenmikroskopischer Nachweis von Schimmelpilzhyphen im Gefäß eines verfärbten Buchengewebes



schrittweise zu Monosacchariden abgebaut werden und mit Stickstoffverbindungen reagieren. Diese Reaktionen treten im Buchenholz bei einer Temperatur oberhalb 40 °C und einer Holzfeuchte-spanne von 30–60 % auf.

Zur Vermeidung unerwünschter Verfärbungen wurden am Institut für Holzphysik und mechanische Technologie des Holzes der BFH Versuche mit alternativen Vakuumtrocknungsverfahren durchgeführt, um durch Ausschluss von Luftsauerstoff das Auftreten von trocknungsbedingten Verfärbungen zu verhindern. Im Rahmen dieser Untersuchungen konnten zwei Strategien entwickelt werden, durch die das Verfärbungsrisiko im frischen Eichen- und Buchenschnittholz minimiert werden kann.

- Niedrigtemperatur-Vortrocknung mit anschließender Endtrocknung mittels Frischluft-Abluftverfahren oder einem beliebigen Vakuumtrocknungsverfahren,
- Heißdampf-Vakuumtrocknung.

Bei der Niedrigtemperatur-Vortrocknung fallen die trocknungsbedingten Verfärbungen so schwach aus, dass sie mit bloßem Auge kaum erkannt werden können. Von Nachteil ist bei dieser Methode jedoch die lange Trocknungsdauer, die mehrere Wochen betragen kann.

Als Alternative kann die Heißdampf-Vakuumtrocknung empfohlen werden, mit der eine weitgehend verfärbungsfreie Trocknung erzielt werden kann. Dieses Verfahren setzt jedoch höhere Investitionskosten voraus.



Abb. 7: Anreicherung von farbgebenden Inhaltsstoffen an der Holzoberfläche eines getrockneten Buchenbrettes

Weißfäulepilze (z.B. *Trametes versicolor*) erfolgen. Hierdurch wird neben der Holzverfärbung auch ein Abbau der Zellwand und damit eine Abnahme der Festigkeit eingeleitet.

Als effektive Schutzmaßnahme gegen das Verstocken des lagernden Buchenholzes muss der kritische Feuchtebereich, innerhalb dessen Pilzinfektionen eintreten, durch rasches Abtrocknen der Oberflächen unterschritten werden. Im Wesentlichen gelten dieselben Schutzmaßnahmen wie gegen den Einlauf, die unmittelbar nach dem Einschlag bzw. dem Einschnitt erfolgen müssen.

Prozessbedingte Verfärbungen

Im Gegensatz zu den bisher beschriebenen Verfärbungen, die die Qualität bzw. den Wert des Holzes mindern, werden beim Trocknen, Dämpfen und Kochen durch die Steuerung der Parameter Temperatur und Holzfeuchte gezielte Farbänderungen hervorgerufen. Während bei der technischen Holz-trocknung die Erhaltung der hellen Farbe des Buchenholzes erwünscht ist, strebt man beim Dämpfen und Kochen des Holzes rötliche Farbtöne an, die in ihren Farbnuancen stark variieren können.

Technische Trocknung

Die ungleichmäßigen Farbänderungen während der technischen Trocknung (Abb. 7 u. 8) werden meist als Oxidationsreaktionen zwischen den phenolischen Inhaltsstoffen und eindringendem Sauerstoff beschrieben. Die Farbänderungen können aber auch durch hydrolytische Reaktionen von Hemicellulosen (Gerüstsubstanzen) verursacht werden, die

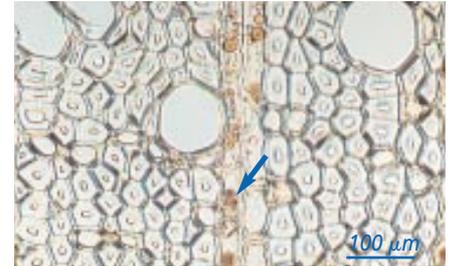


Abb. 8: Phenolische Inhaltsstoffe in den verfärbten Bereichen des getrockneten Buchenholzes

Die ungleichmäßigen Farbänderungen während der technischen Trocknung (Abb. 7 u. 8) werden meist als Oxidationsreaktionen zwischen den phenolischen Inhaltsstoffen und eindringendem Sauerstoff beschrieben. Die Farbänderungen können aber auch durch hydrolytische Reaktionen von Hemicellulosen (Gerüstsubstanzen) verursacht werden, die

Die ungleichmäßigen Farbänderungen während der technischen Trocknung (Abb. 7 u. 8) werden meist als Oxidationsreaktionen zwischen den phenolischen Inhaltsstoffen und eindringendem Sauerstoff beschrieben. Die Farbänderungen können aber auch durch hydrolytische Reaktionen von Hemicellulosen (Gerüstsubstanzen) verursacht werden, die

Die ungleichmäßigen Farbänderungen während der technischen Trocknung (Abb. 7 u. 8) werden meist als Oxidationsreaktionen zwischen den phenolischen Inhaltsstoffen und eindringendem Sauerstoff beschrieben. Die Farbänderungen können aber auch durch hydrolytische Reaktionen von Hemicellulosen (Gerüstsubstanzen) verursacht werden, die

Die ungleichmäßigen Farbänderungen während der technischen Trocknung (Abb. 7 u. 8) werden meist als Oxidationsreaktionen zwischen den phenolischen Inhaltsstoffen und eindringendem Sauerstoff beschrieben. Die Farbänderungen können aber auch durch hydrolytische Reaktionen von Hemicellulosen (Gerüstsubstanzen) verursacht werden, die

Die ungleichmäßigen Farbänderungen während der technischen Trocknung (Abb. 7 u. 8) werden meist als Oxidationsreaktionen zwischen den phenolischen Inhaltsstoffen und eindringendem Sauerstoff beschrieben. Die Farbänderungen können aber auch durch hydrolytische Reaktionen von Hemicellulosen (Gerüstsubstanzen) verursacht werden, die

Die ungleichmäßigen Farbänderungen während der technischen Trocknung (Abb. 7 u. 8) werden meist als Oxidationsreaktionen zwischen den phenolischen Inhaltsstoffen und eindringendem Sauerstoff beschrieben. Die Farbänderungen können aber auch durch hydrolytische Reaktionen von Hemicellulosen (Gerüstsubstanzen) verursacht werden, die

Dämpfen und Kochen

Die beim Dämpfen und Kochen des Buchenholzes oberhalb einer Temperatur von ca. 80 °C einsetzenden rötlichen Farbänderungen beruhen im wesentlichen auf einer chemischen Reaktion des Lignins in der Zellwand. Durch die Tempe-

atureinwirkung entstehen optisch aktive konjugierte Doppelbindungen (z.B. in der C3-Seitenkette des Ligninmoleküls). Die Dampf- und Heißwasserbehandlung löst auch wasserlösliche Inhaltsstoffe (Zucker, Stärke, Phenole) bzw. Hydrolyseprodukte heraus, wodurch zusätzlich Farbänderungen entstehen können.

Diese Farbreaktionen können gezielt durch die Prozesssteuerung eingestellt bzw. variiert werden und führen bei einer homogenen Inhaltsstoffverteilung zu einer gleichmäßigen Farbe, sofern das Holz zügig nach dem Einschlag bzw. Einschnitt oder entsprechender Beregnung gedämpft wird. Ungleichmäßig vorgetrocknetes Holz wird dagegen beim Dämpfen und Kochen des Holzes fleckig.

Charakterisierung und Steuerung der Verfärbungsreaktionen

In vielen Untersuchungen zur Verfärbungsursache bei Buche konnte festgestellt werden, dass Unterschiede bei prozessbedingten Farbänderungen auf einer ungleichmäßigen Verteilung der Inhaltsstoffe im parenchymatischen Gewebe beruhen (Abb. 9 u. 10). Im äußeren makroskopisch unverfärbten Splintholz liegen bereits phenolische Inhaltsstoffe latent vor, die durch die Wärmebehandlung in kondensierte chromophore (= farbgebende) Verbindungen umgewandelt werden. Sie führen,

wenn sie unregelmäßig verteilt im Gewebe vorliegen, zu ungleichmäßigen Farbänderungen.

Das nachfolgende Beispiel zeigt, wie sich Prozessparameter wie Temperatur, Holzfeuchtegehalt und pH-Wert des Holzes nutzen lassen, um die Farbgebung gezielt zu steuern.

Wir untersuchten, wie sich die Farbe von Buchenholz während der technischen Holztrocknung bei unterschiedlichen pH-Werten ändert. Dazu wurden Buchenbretter mit definierten Propionsäure-Pufferlösungen behandelt (pH-Wertebereich zwischen pH 3 und pH 7) und die Farbänderung nach Abschluss der Trocknung ermittelt. Die mit Pufferlösungen der pH-Werte 3 und 4 (unterhalb des natürlichen pH-Wertes der Buche von ca. 5,5) behandelten Proben wiesen einen signifikanten Anstieg ihrer Helligkeit (Farbwert L^*) und niedrigere Farbsättigungswerte im Vergleich zum Ausgangsfarbwert auf (Abb. 11). Dieses Verhalten führen wir darauf zurück, dass durch die Säurebehandlung die Oxidations- und Kondensationsreaktionen des Lignins und der phenolischen Inhaltsstoffe während der technischen Trocknung blockiert werden. Propionsäure, die auch als Konservierungsmittel in der Lebensmittelindustrie verwendet wird, bewirkt zusätzlich einen vorbeugenden Schutz gegen mikrobiell bedingte Verfärbungsreaktionen. Wegen ihrer positiven Umwelteigenschaften (z. B. leicht abbaufähig), scheint die Verwendung dieser organischen Säure auch für die Praxis interessant.

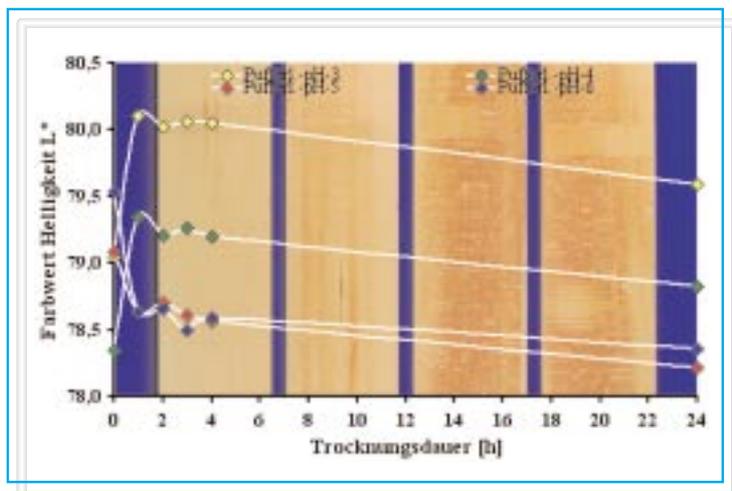


Abb. 11: Vergleich des Farbwertes L^* (Helligkeit) an der Holzoberfläche von Buchenproben, die mit unterschiedlichen pH-Wert-Lösungen (Propionsäure) behandelt und bei 50 °C getrocknet wurden

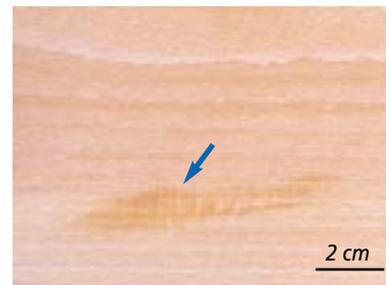
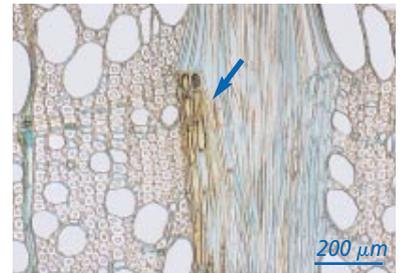


Abb. 9: Lokal begrenzte, fleckige Farbänderungen auf einem gedämpften Buchenbrettabschnitt

Fachübergreifende Zusammenarbeit

Die komplexe Natur der Reaktionen, die zu Farbänderungen im Buchenholz führen, erfordert eine fachübergreifende wissenschaftliche Zusammenarbeit, um praktikable vorbeugende Maßnahmen entwickeln zu können und damit eine bessere Wertschöpfung des Buchenholzes zu erzielen. Die Ergebnisse der Untersuchungen an



der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (BFH) lassen sich auch auf die Verfärbungsreaktionen anderer Holzarten mit vergleichbarer Inhaltsstoffverteilung übertragen. Sie leisten somit einen grundlegenden Beitrag, das wirtschaftliche Problem der Holzverfärbungen zu begrenzen bzw. zu verringern. ■

Abb. 10: Mikroskopischer Nachweis für die Einlagerung von farbgebenden Inhaltsstoffen im Speichergewebe (Holzstrahl)



Dr. Gerald Koch, Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (BFH), Institut für Holzbiologie und Holzschutz, 21027 Hamburg.

Prof. Dr. Josef Bauch, Universität Hamburg, Ordinariat für Holzbiologie, 21027 Hamburg.

Dr. Jürgen Puls, BFH, Institut für Holzchemie und chemische Technologie des Holzes, 21027 Hamburg.

Dr. Johannes Welling, BFH, Institut für Holzphysik und mechanische Technologie des Holzes, 21027 Hamburg.

Die erste Phase des Forschungsvorhabens wurde mit Mitteln des Bundeswirtschaftsministeriums über die AiF (Nr. 11850 N/1) gefördert.