

Holzverfärbungen der Rotbuche (*Fagus sylvatica* [L.]) und Möglichkeiten vorbeugender Maßnahmen *

Von Dr. Gerald Koch, Prof. Dr. Josef Bauch, Dr. Jürgen Puls, Dr. Eckart Schwab und Dr. Johannes Welling, Hamburg

Lagerungs- und prozessbedingte Verfärbungen im Buchenholz stellen eine erhebliche Qualitätsminderung dar, die infolge der steigenden Nachfrage nach heller, gleichmäßig gefärbter Buche zu vermehrten Reklamationen aus der holzverarbeitenden Praxis geführt hat. Um den hohen Qualitätsanforderungen des deutschen Marktes an das Buchenholz gerecht zu werden, ist daher eine ausgesprochen sorgfältige Behandlung der Buche vom Einschlag über die Bearbeitung bis zum Halb- und Fertigprodukt unerlässlich. Im Rahmen eines laufenden Forschungsvorhabens werden von den Instituten für Holzbiologie, Holzchemie und Holzphysik der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg, die unterschiedlichen Ursachen der lagerungs- und prozessbedingten Verfärbungen im Buchenholz untersucht. In diesem Beitrag wird eine Übersicht über den heutigen Wissensstand der unterschiedlichen Verfärbungsursachen im Buchenholz gegeben.

In der Praxis wird bei der Beschreibung der Ursache einer Verfärbung im Buchenholz häufig nur zwischen biotisch bedingten Verfärbungen (durch Pilze und Bakterien) und abiotisch bedingten Verfärbungen (meist als Oxidationsreaktionen bezeichnet) unterschieden. Ein effektiver vorbeugender Schutz vor Verfärbungen und ungleichmäßigen Farbänderungen erfordert jedoch eine grundlegende Differenzierung und Kenntnis der in Frage kommenden Ursachen, die durch unterschiedliche physiologische, mikrobiologische, biochemische und chemische Reaktionen verursacht werden können (z.B. Bauch 1984 u. 1986). In Bezug auf den Zeitpunkt des Auftretens wertmindernder Verfärbungen muss bei der Buche differenziert werden zwischen Verfärbungen,

- die bereits im Baum entstehen (z.B. Spritzkernbildung)
- die im frisch eingeschlagenen und/oder eingeschnittenen Holz noch vor einer natürlichen oder technischen Trocknung induziert werden (Einlauf, Verstocken)
- die beim Trocknen und Dämpfen des Holzes eingeleitet bzw. intensiviert werden (prozessbedingte Verfärbungen, z.B. rötliche Flecken oder Streifen).

Dieser Beitrag gibt an ausgewählten Beispielen, bei denen es sich um Einsendungen und Anfragen (s. Abbildungen 1-6) buchenholzbe- und -verarbeitender Betriebe handelt, einen Überblick über den Wissensstand der unterschiedlichen Verfärbungsursachen im Buchenholz nach dem Einschlag.

* Die Untersuchungen werden im Rahmen eines laufenden Forschungsvorhabens der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung (Projekt AiF 11850) mit Mitteln des Bundeswirtschaftsministers über die AiF gefördert.

Bei der Untersuchung lagerungs- und prozessbedingter Verfärbungen müssen aber auch die Reaktionsmechanismen (Bildung und Verteilung von Inhaltsstoffen) im lebenden Baum berücksichtigt werden. Die Buche ist im Vergleich zu den obligatorischen Kernholzbildern (z.B. Eiche) eine Baumart, die über den gesamten Stammquerschnitt (mit Ausnahme rotkerniger Bereiche) physiologisch aktiv ist und somit eine hohe Prädisposition für Verfärbungen aufweist.

Holzverfärbungen im lebenden Baum

Die Buche zählt zu den Baumarten, bei denen häufig, durch exogene Faktoren induziert, ein fakultativer Farbkern auftritt (Abbildung 1). Dieser Farbkern, bei Buche auch **Rotkern** genannt, kann in Ausprägung, Größe, Form und den spezifischen Eigenschaften stark variieren. Grundlegende holzbiologische Untersuchungen haben gezeigt, daß die Rotkernbildung eine physiologische Erscheinung ist, die durch verschiedene biotische und abiotische Faktoren in älteren Buchen ausgelöst wird (Zycha 1948, Ne esany 1969). Die Entstehung und Ausprägung des Rotkerns wird dabei von individuellen Merkmalen des Baumes, wie Alter, Durchmesser, Faulastanteil oder relative Kronenlänge, und von Standortfaktoren bestimmt (Racz 1961, Torelli 1979, Höwecke, Mahler 1991, Kotar 1995), deren Wechselwirkungen jedoch nicht eindeutig bekannt sind. Die Farbänderung des Holzes wird primär durch das Eindringen von Luftsauerstoff ausgelöst, indem lösliche Kohlenhydrate und Stärke im parenchymatischen Gewebe über Shikimisäure zu phenolischen Verbindungen und deren Polymerisaten oxidiert werden (Dietrichs 1964). Diese hochmolekularen Verbindungen werden aber nicht in die Zellwand eingelagert und sind aufgrund ihrer chemischen Struktur kaum reaktionsfähig, so dass sich die Dauerhaftigkeit des Rotkerns nicht erhöht.

Auf Initiative der Forstwirtschaft und des buchenholzverarbeitenden Handwerks werden zunehmend Anstrengungen unternommen, rotkerniges Buchenholz dekorativ im Innenausbau und im Möbelbereich zu verwenden, zumal der Rotkern die technologischen Eigenschaften des Buchenholzes nicht beeinträchtigt. Die stark ausgeprägten Farbvariationen (insbesondere im Übergangsbereich vom hellen zum rötlich gefärbten Gewebe) eröffnen individuelle, optisch ansprechende Gestaltungsmöglichkeiten, wenn die natürlichen Farben durch entsprechende Oberflächenbehandlung dauerhaft erhalten werden können. Die unterschiedliche Ausbildung des Rotkerns im lebenden Baum erschwert jedoch die Aushaltung eines „einheitlichen Sortiments“ für Serienproduktionen.

Außer dem „normalen Rotkern“ treten bei der Buche noch andere in Genese und Ausprägung veränderte Kerntypen auf, die nach Sachsse (1991), Mahler, Höwecke (1991) und Seeling (1998) als **Spritzkern, Wolkenkern, Wundkern, unregelmäßiger Kern und abnormer Kern** unterschieden werden. In der forst- und holzwirtschaftlichen Praxis gibt es aber bisher keine einheitliche Klassifizierung der unterschiedlichen Kerntypen. Die Ursachen der unregelmäßigen und abnormen Kernbildung sind darüber hinaus noch nicht hinreichend geklärt. Das Auftreten von Spritzkernen mit ausgeprägten grau-schwarzen Verfärbungen (Abbildung 2), die zu einer starken Entwertung des Buchenstammholzes führen, beruht dagegen nach Untersuchungen von Schmidt, Mehringer (1989) eindeutig auf Bakterieninfektionen. Die Infektion erfolgt vornehmlich durch

Wurzelverletzungen und tritt besonders auf staunassen und stark verdichteten Standorten auf. Durch die Stoffwechselaktivität der Bakterien wird der pH-Wert der Kapillarflüssigkeit im Holz erhöht (von 5,5 auf etwa 7,3), wodurch Verfärbungsreaktionen ausgelöst werden.

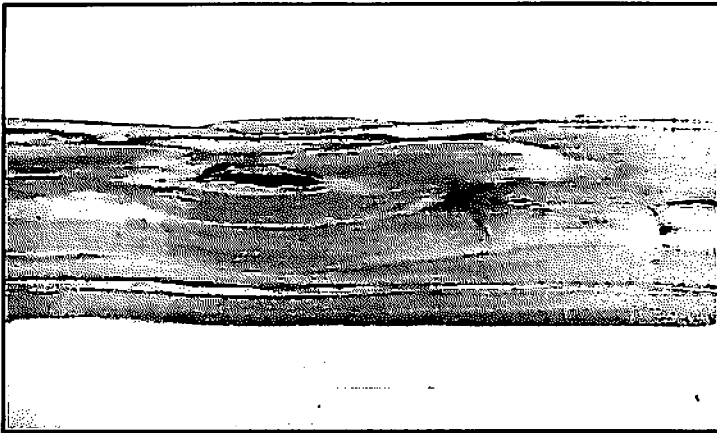


Abbildung 1 Längsschnitt einer Buche mit starker Rotkernbildung im zentralen Bereich



Abbildung 2 Spritzkern mit ausgeprägten grau-schwarzen Verfärbungen infolge eines Befalls durch Bakterien

Holzverfärbungen nach dem Einschlag

Bei der Buche können infolge einer unsachgemäßen Lagerung qualitätsmindernde Verfärbungen eintreten, die auf physiologische Reaktionen (sog. Einlauf) oder einem Befall durch Mikroorganismen (sog. Verstocken) beruhen.

Als **Einlauf** bezeichnet man bei der Buche eine grau- bis rotbraune streifenförmige Verfärbung (Abbildung 3), die ausgehend von den Hirnflächen, durch die Aktivität noch lebender Parenchymzellen verursacht wird. Infolge des eindringenden Sauerstoffes werden Stressreaktionen ausgelöst, die durch den Abbau von Reservekohlenhydraten und Stärke zur Synthese akzessorischer phenolischer Verbindungen (Dietrichs 1964) und zur Bildung von Thyllen führen. Der dekorative Wert des Buchenholzes wird durch die streifenförmige Verfärbung stark gemindert. Zusätzlich wird die Permeabilität des Buchenholzes durch die Thyllenbildung beeinträchtigt. Als effektive Schutzmaßnahme gegen den Einlauf muß der Sauerstoffgehalt im Stammholz und damit die Reaktionsfähigkeit der Parenchymzellen möglichst niedrig gehalten werden. Zu diesen Maßnahmen gehören der Einschlag im Winter, eine rasche Abfuhr und Aufarbeitung, Wasserlagerung, evtl. auch Hirnflächenanstriche (z.B. Zycha 1952, Liese 1958 u. 1961). Als neuartiges Verfahren wird für Buchenrundholz auch die Schutzgaslagerung erprobt, bei der das Holz durch Sauerstoffentzug in einer Kohlendioxid- oder Stickstoffatmosphäre konserviert wird (Mahler 1992). Die Ergebnisse der von Maier et al. (1999) durchgeführten Lagerungsversuche haben gezeigt, dass auch bei empfindlichen Holzarten wie Buche und Bergahorn, die natürliche, helle Farbe des Holzes nach einem halben Jahr der Konservierung durch Sauerstoffentzug erhalten war (Maier et al. 1999).

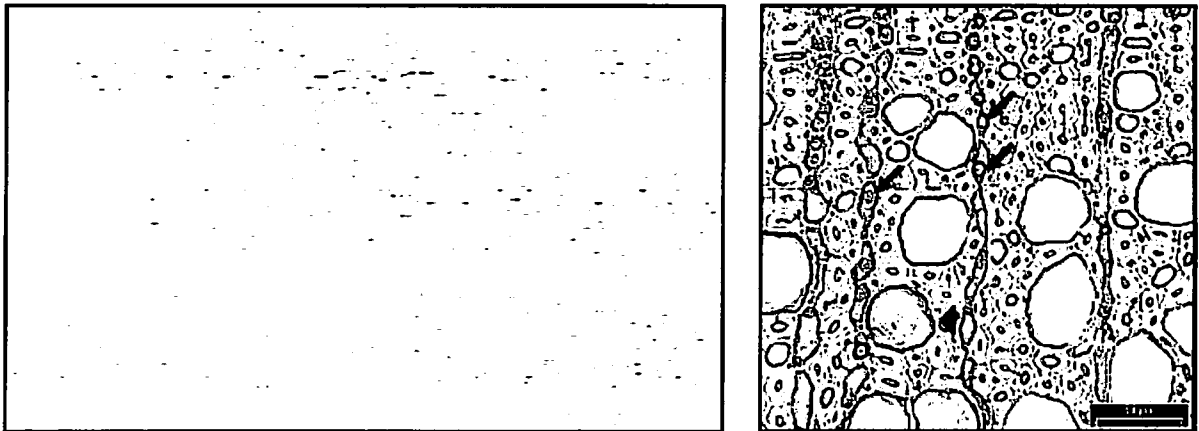


Abbildung 3 Rotbraune streifenförmige Verfärbungen (sog. Einlauf) infolge einer unsachgemäßen Lagerung des Buchenstammholzes (links). Sie beruhen auf stressphysiologischen Reaktionen, die zur Synthese phenolischer Inhaltsstoffe (→) und zur Thyllenbildung (←) führen (rechts)

Im lagernden Holz frisch eingeschlagener Buchen sowie im frisch eingeschnittenen Stammholz können bevorzugt über die Schnittflächen Pilzinfektionen eintreten, die zu mikrobiellen Verfärbungen führen (Abbildung 4). Dieser Befall durch Mikroorganismen wird als **Verstocken** oder **Stockflecken** bezeichnet und im wesentlichen durch Schimmelpilze (Ascomyceten) und Bakterien verursacht. Durch den Abbau von Inhaltsstoffen im parenchymatischen Gewebe und deren Reaktion mit den Stoffwechselprodukten der Pilze und Bakterien können bereits innerhalb weniger Tage intensive Verfärbungen entstehen. Bei längerer unsachgemäßer Lagerung kann zusätzlich ein Befall durch Weißfäulepilze (z.B. *Trametes versicolor*) erfolgen. Hierdurch wird neben der Holzverfärbung auch ein Abbau der Zellwand und damit eine Abnahme der Festigkeit eingeleitet (Mayer-Wegelin 1950). 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. Einschnitt erfolgen müssen. Die Beschränkung des Bucheneinschlages auf die Wintermonate sollte dabei besonders eingehalten werden, um wertmindernde Verfärbungen zu vermeiden, wie sie bei milden Frühjahrstemperaturen auftreten, z.B. im Jahr 1999 besonders intensiv. Durch die starke, exportbedingte Nachfrage nach Buchenstammholz wurde die Buche bis weit in das Frühjahr hinein eingeschlagen und damit das Risiko des Auftretens qualitätsmindernder Verfärbungen erhöht.



Abbildung 4 Verfärbungen durch einen Befall mit Mikroorganismen auf der Oberfläche frisch gedämpfter und nicht ausreichend belüfteter Buchenschnittware (links). In den verfärbten Bereichen konnten Pilzhyphe (→) und ein Abbau der parenchymatischen Zellinhaltsstoffe (<) nachgewiesen werden (rechts)

Die **Beregnung** und die **Wasserlagerung** stellen bewährte Maßnahmen dar, um Buchenstammholz während mehrmonatiger Lagerung vor qualitätsmindernden Verfärbungen zu schützen (z.B. Peek 1990). Der Erfolg der Naßlagerung setzt aber eine schnelle Einlagerung der Stämme sowie eine ausreichende und kontinuierliche Beregnung der Polter voraus (Jäger 1969, Peek 1990, Selig, Lewark 1993). In einzelnen Fällen traten jedoch nach dem Einschnitt und der technischen Trocknung von wassergelagertem Buchenholz oberflächliche Verfärbungen auf (Moltesen 1971, Paserin 1971, Metzendorf 1973). Diese Verfärbungen beruhen nach Höster (1974) auf einer Oxidation phenolischer Inhaltsstoffe, die aus den Vakuolen abgestorbener Parenchymzellen in das umgebende Gewebe diffundieren und beim Trocknen mit dem Verdunstungsprozess an die Holzoberfläche transportiert werden. Nach Untersuchungen von Moltesen (1971) und Berndt, Liese (1973) können Verfärbungen während der Wasserlagerung auch durch eine Besiedelung des Holzes mit Bakterien verursacht werden. Bakterieninfektionen führen aber erst nach über einjähriger Wasserlagerung zu ausgeprägten Verfärbungen.

Prozessbedingte Verfärbungen

Im Gegensatz zu den bisher als qualitäts- bzw. wertmindernd beschriebenen Verfärbungen werden beim Trocknen, Dämpfen und Kochen durch eine prozessbedingte Steuerung (Temperatur und Holzfeuchte) Farbänderungen hervorgerufen. Während bei der technischen Holz Trocknung die Erhaltung der hellen Farbe des Buchenholzes erwünscht ist, werden beim Dämpfen und Kochen des Holzes in Abhängigkeit von der Prozesssteuerung rötliche Farbtöne angestrebt.

Die Verfärbungen während der **technischen Trocknung** werden in der Literatur meist als Oxidationsreaktionen zwischen den phenolischen Inhaltsstoffen und dem bei der Trocknung eindringenden Sauerstoff beschrieben. Nach Untersuchungen von Kollmann et al. (1951) und Wegener, Fengel (1987, 1988) können Verfärbungen auch durch hydrolytische Reaktionen von Hemicellulosen verursacht werden, die schrittweise zu Monosacchariden abgebaut werden und Kondensationsreaktionen mit Stickstoffverbindungen eingehen. Diese Reaktionen treten bei einer Temperatur oberhalb 40°C und einer Holzfeuchtespanne von 30%-60% auf. Die hydrolytischen

Vorgänge werden dabei durch eine Abnahme des pH-Wertes beim Trocknen des Holzes gefördert. Da Laubhölzer im Vergleich zu Nadelhölzern einen höheren Gehalt an Hemicellulosen aufweisen, verfärben sie sich bei der technischen Holz Trocknung stärker.

In der Praxis der technischen F/A-Schnittholztrocknung müssen für die Erhaltung der hellen Buchenholzfarbe folgende Grundregeln berücksichtigt werden (Brunner 1987):

- nicht zu lang anhaltendes Aufheizen bei zu feuchtem Klima (Gleichgewichtsfeuchte 15-17%)
- niedrige Anfangstemperatur während der ersten Phase der Trocknung, bis das Holz etwa 25-30% Holzfeuchte erreicht hat
- anschließende Anhebung der Temperatur auf maximal 50°C in der entsprechenden Holzfeuchtestufe.

Das Risiko der Verfärbungen wird weiterhin verringert, wenn das Holz unmittelbar nach dem Einschnitt technisch getrocknet wird (Trübswetter 1995).

Die Feuchte im Holz und deren Bewegung während der Trocknung haben einen starken Einfluss auf die Entstehung von ungleichmäßigen Verfärbungen (Abbildung 5). Windelberg (1993) führt die Bildung rötlich-brauner Farbeinschlüsse auf einen ungleichmäßigen Entfeuchtungsprozess mit einer dadurch bedingten lokalen Anreicherung phenolischer Inhaltsstoffe zurück. Durch Kondenswasser, das sich zu Beginn der technischen Trocknung auf dem noch kalten Holz niederschlägt, können weiterhin phenolische Inhaltsstoffe in die oberflächennahen Schichten transportiert werden, die mit dem Luftsauerstoff reagieren. Im Vergleich der unterschiedlichen Trocknungsverfahren liefert die Heißdampf-Vakuumtrocknung von Buchenschnittholz sehr gute Ergebnisse (Erhaltung der hellen Farbe bei vergleichsweise hohen Temperaturen und rascher Trocknung), da bei diesem Verfahren ein Zutritt von Luftsauerstoff praktisch ausgeschlossen ist. Trocknungsbedingte Verfärbungen lassen sich mit diesem Verfahren auch bei Eichenschnittholz vermeiden (Welling, Wöstheinrich 1995).

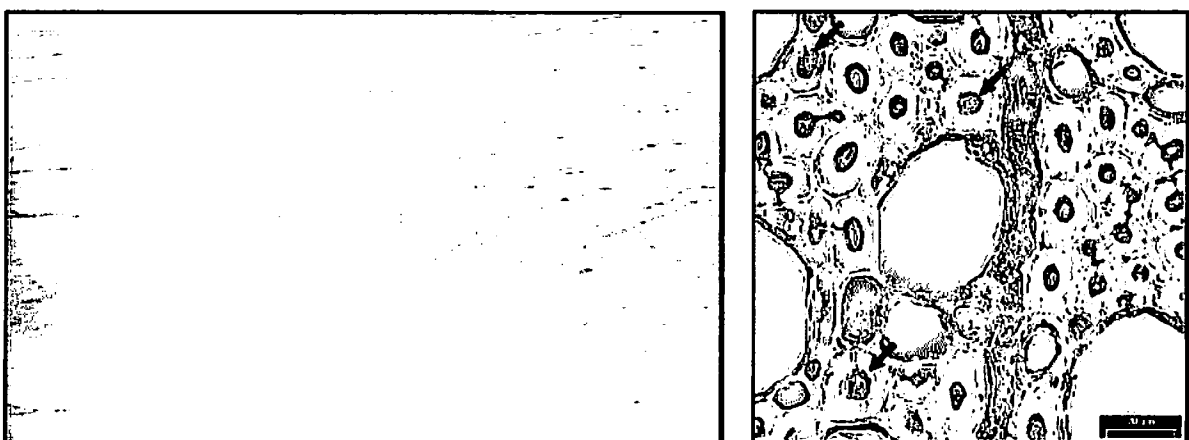


Abbildung 5 Prozessbedingte Verfärbungen durch die Anreicherung von wasserlöslichen Inhaltsstoffen auf der Holzoberfläche während der technischen Trocknung (links). Die Inhaltsstoffe (→) sind im Kapillarsystem (Lumen der Fasertracheiden und Gefäße) des Holzgewebes nachweisbar (rechts)

Die beim **Dämpfen** der Rotbuche auftretende Farbänderung hängt wesentlich von den Dämpfbedingungen ab. Um eine intensive und gleichmäßige Rotfärbung zu erzielen, ist eine Dämpfbehandlung von 24 bis 40 Stunden erforderlich. Längeres Dämpfen führt zu einer kontinuierlichen Helligkeitsabnahme, d.h. das Buchenholz wird dunkler, aber nicht rötlicher. Die Verfärbung ist darüber hinaus abhängig vom Feuchtegehalt des Holzes vor dem Dämpfprozess. Sie ist bei höherer Holzfeuchte intensiver und gleichmäßiger ausgeprägt (Kisseloff 1991). Buchenholz, das vor dem Dämpfen bis in den hygroscopischen Holzfeuchtebereich vorgetrocknet war, wird beim Dämpfen grau. Für die Erzielung einer gleichmäßigen Färbung sollte das Holz im saftfrischen Zustand, d.h. zügig nach dem Einschlag bzw. Einschnitt oder entsprechender Beregnung bzw. Wasserlagerung, gedämpft werden. Ungleichmäßig vorgetrocknetes Holz wird beim Dämpfen fleckig.

Kollmann et al. (1951) führen die Verfärbungen beim Kochen und Dämpfen des Holzes bei Temperaturen über 85°C auf eine chemische Modifikation der Ligninbausteine zurück, indem chromophore Gruppen (konjugierte Doppelbindungen in der C₃-Seitenkette) durch Wasserspaltung entstehen. Die Dampf- und Heißwasserbehandlung löst auch wasserlösliche Inhaltsstoffe (Zucker, Stärke, Phenole) bzw. Hydrolyseprodukte heraus, wodurch zusätzlich Verfärbungen entstehen können (Plath, Plath 1955). Im Temperaturbereich von 40 - 85°C führen Kollmann, Fengel (1965) die Farbänderung auf die beschriebenen hydrolytischen Reaktionen und anschließenden Kondensationsreaktionen zurück (vgl. Trocknung).

Seit Jahren führen die beim Dämpfen von Buchenschnittholz auftretenden fleckenförmigen bzw. streifenförmigen Verfärbungen (Abbildung 6) zu verstärkten Reklamationen und wirtschaftlichen Verlusten. Am Institut für Holzphysik und mechanische Technologie des Holzes der BFH durchgeführte Untersuchungen haben gezeigt, dass die unregelmäßigen Verfärbungen durch die Prozessführung nicht sicher vermieden werden können (Pfeiffer 1997). Die im Rahmen des laufenden Forschungsvorhabens durchgeführten Untersuchungen deuten vielmehr daraufhin, dass die Verfärbungen bereits latent auf eine ungleichmäßige Verteilung von Inhaltsstoffen im lebenden Baum zurückzuführen sind. Dieser Befund wird dadurch bestätigt, dass die Verfärbungen zum größten Teil jahringweise orientiert sind und in diesen Bereichen durch mikroskopische und UV-spektroskopische Untersuchungen eine höhere Konzentration von Inhaltsstoffen nachgewiesen werden konnte. Die ungleichmäßige Verteilung und höhere Konzentration der Inhaltsstoffe führt beim Dämpfen des Holzes (Mobilisierung und Kondensationsreaktionen der Inhaltsstoffe) zu einer ungleichmäßigen bzw. fleckenförmigen Verfärbung. Der Effekt wird intensiviert, wenn in diesen Bereichen bereits während der Lagerung durch Eindringen von Luftsauerstoff physiologische Reaktionen (Einlauf) eingesetzt haben.

Verfärbungen im Holz können zudem ausschließlich durch **chemische Reaktionen** ausgelöst werden. In vielen Fällen sind sie auf eine Reaktion von Gerbstoffen und z.T. anderen phenolischen Inhaltsstoffen (z.B. Catechin, Taxifolin u.a.) mit Eisenionen unter Bildung von grauen bis schwarzblauen Komplexverbindungen (Salze der Di- u. Tribrenzcatechinferrisäure) zurückzuführen (Otten 1996). Die Intensität der Verfärbung ist abhängig von der Eisenkonzentration, dem Feuchtegehalt (oberhalb Fasersättigung) und dem pH-Wert des Holzes.

Derartige Verfärbungen lassen sich durch technische Vorkehrungen verhindern, z.B. durch Vermeidung eines Metallkontaktes.



Abbildung 6 Auftreten von fleckenförmigen, jahringweise begrenzten Verfärbungen während des Dämpfens von Buchenschnittholz (links). Im Bereich der verfärbten Zonen konnte eine höhere Konzentration von Inhaltsstoffen (→) nachgewiesen werden (rechts)

Zusammenfassung

Da Verfärbungen im Buchenholz eine erhebliche Qualitätsminderung darstellen, haben sie infolge der steigenden Nachfrage nach heller, gleichmäßig gefärbter Buche zu vermehrten Reklamationen aus der holzverarbeitenden Praxis geführt. Die Anwendung vorbeugender Maßnahmen setzt zunächst die Kenntnis der Ursachen der unterschiedlichen Verfärbungen voraus, die bei der Buche durch physiologische, mikrobiologische, biochemische und chemische Reaktionen im Holz entstehen können.

Zu den physiologischen Reaktionen zählt die fakultative Farbkernbildung im lebenden Baum (Rotkern) sowie der Einlauf bzw. das Ersticken des Buchenholzes nach dem Einschlag. Die Verfärbungen werden durch Oxidationsreaktionen der Inhaltsstoffe im parenchymatischen Gewebe (Speichergewebe) ausgelöst.

Im lagernden Holz frisch eingeschlagener bzw. eingeschnittener Buchen können Verfärbungen auch durch einen Befall mit Mikroorganismen (Pilze und Bakterien) verursacht werden. Diese als Verstocken oder Stockflecken bezeichneten Verfärbungen entstehen durch den mikrobiellen Abbau der Inhaltsstoffe und deren Reaktion mit den Stoffwechselprodukten der Pilze und Bakterien. Der Einlauf und das Verstocken des Buchenholzes lassen sich durch vorbeugende Maßnahmen, wie die Begrenzung des Einschlags auf die Wintermonate, rasche Abfuhr und Aufarbeitung des Holzes, sowie durch Wasserlagerung vermeiden.

Prozessbedingte Verfärbungen bei der technischen Trocknung des Buchenholzes beruhen im wesentlichen auf Oxidationsreaktionen zwischen den phenolischen Inhaltsstoffen und dem bei der Trocknung eindringenden Sauerstoff. Sie können aber auch durch hydrolytische Reaktionen der Hemicellulosen verursacht werden. Die intensive Farbänderung beim Dämpfen und Kochen des Buchenholzes entsteht zum einen durch chemische Reaktionen des Lignins und der

Hemicellulosen. Die Dampf- und Heißwasserbehandlung löst aber auch Inhaltsstoffe bzw. Hydrolyseprodukte heraus, die das Holz verfärben.

Verfärbungen im Buchenholz können zudem durch die chemische Reaktion von Gerbstoffen und phenolischen Inhaltsstoffen mit Eisenionen unter Bildung von grauen bis schwarzblauen Komplexverbindungen verursacht werden. Derartige Verfärbungen lassen sich durch technische Vorkehrungen verhindern, z.B. durch Vermeidung eines Metallkontaktes.

Die Beschreibung der einzelnen Ursachen zeigt, dass Verfärbungen im Buchenholz wesentlich von den spezifischen Reaktionen der Inhaltsstoffe abhängen. Diese Reaktionen können bei der Buche bereits im lebenden Baum oder unmittelbar nach dem Einschlag durch die physiologische Aktivität noch lebender Parenchymzellen ausgelöst werden und bei der anschließenden Bearbeitung zu prozessbedingten Verfärbungen führen. Die genaue Kenntnis der speziellen Reaktionsmechanismen und chemischen Verbindungen im Buchenholz ist eine wichtige Voraussetzung für die Entwicklung vorbeugender Maßnahmen, um wertmindernde Verfärbungen eingrenzen bzw. verhindern zu können.

Schriftum:

- Bauch, J. (1984): Discolouration in the wood of living and cut trees. IAWA Bulletin, Vol. 5, 92-98
- Bauch, J. (1986): Verfärbungen von Rund- und Schnittholz und Möglichkeiten für vorbeugende Schutzmaßnahmen. Holz-Zentralblatt 112, 2217-2218
- Berndt, H.; Liese, W. (1973): Untersuchungen über das Vorkommen von Bakterien in wasserberieselten Buchenholzstämmen. Zbl. Bakt. Abt. II, 128, 578-594
- Brunner, R. (1987): Die Schnittholztrocknung, 5. Auflage, Buchdruckwerkstätten Hannover GmbH, 322 S.
- Dietrichs, H. H. (1964): Chemisch-physiologische Untersuchungen über die Splint-Kern-Umwandlung der Rotbuche (*Fagus sylvatica* [L.]) - ein Beitrag zur Frage der Holzverkernung. Mitteilungen der BFH Nr. 58, 141 S.
- Höster, H.-R. (1974): Verfärbungen bei Buchenholz nach Wasserlagerung. Holz als Roh- und Werkstoff 32, 270-277
- Höwecke, B.; Mahler, G. (1991): Untersuchungen zur Farbverkernung bei der Rotbuche in Baden-Württemberg. FVA-Baden-Württemberg, Abt. Arbeitswissenschaft und Forstbenutzung, 106 S.
- Jäger, D. (1969): Möglichkeiten der Rundholzkonservierung (3). Verfahren der Nasslagerung von Rundholz. Holz-Zentralblatt 95, 2196-2199
- Kisseloff, P. (1991): Trocknen und Dämpfen von Buchenschnittholz-Vortrag. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 142, 407-414
- Kollmann, F.; Keylwerth, R.; Kübler, H. (1951): Verfärbung des Vollholzes und der Furniere bei der künstlichen Holztrocknung. Holz als Roh- und Werkstoff 9, 382-391
- Kollmann, F.; Fengel, D. (1965): Änderung der chemischen Zusammensetzung von Holz durch thermische Behandlung. Holz als Roh- und Werkstoff 12, 461-468
- Kotar, M. (1995): Gesetzmäßigkeiten bei der Verbreitung des Rotkerns bei der Buche. Sammlung von Beiträgen aus der Jahrestagung der Sektion Forstliche Biometrie und Informatik des Deutschen Verbandes Forstlicher Forschungsanstalten 1, 197-222
- Liese, W. (1958): Der Schutz des Buchenstammholzes gegen Risse, Einlauf und Verstocken. Holz-Zentralblatt 84, 91-92
- Liese, W. (1961): Aufwand und Erfolg der Schutzverfahren für lagerndes Buchenholz. Forstarchiv 11, 234-236
- Mahler, G. (1992): Konservierung von Holz durch Schutzgas. Allgemeine Forstzeitung 47, 1024-1025
- Mahler, G.; Höwecke, B. (1991): Verkernungserscheinungen bei der Buche in Baden-Württemberg in Abhängigkeit von Alter, Standort und Durchmesser. Schweiz. Z. Forstwes. 142, 375-390
- Maier, T.; Schüler, G.; Mahler, G. (1999): Ganzjährig frisches Rundholz aus dem Lager. Eine neue Konservierungsmethode für die Forst- und Holzwirtschaft. Holz-Zentralblatt 125, 1092-1094
- Mayer-Wegelin, H. (1950): Vom Einfluss des Verstockens auf die Eigenschaften des Buchenholzes. Holz-Zentralblatt 76, 581-582.
- Metzendorf, E. (1973): Konservierung von Fichten- und Buchen-Rundholz durch Naßlagerung als Katastrophenvorsorge. Allgemeine Forstzeitung 28, 49-52
- Moltesen, P. (1971): Water storage of beech roundwood. Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Nr. 83, 5-33
- Ne esany , V. (1969): Forstliche Aspekte bei der Entstehung des Falschkerns der Rotbuche. Holz-Zentralblatt 95, 563-564
- Otten, U. (1996): Untersuchung über die Ursachen einer Verfärbung von Buchenholz (*Fagus sylvatica* [L.]) während des Kochens als Vorbehandlung für die Furnierherstellung. Diplomarbeit, Fachbereich Biologie der Universität Hamburg, 79 S.
- Paserin, V. (1971): Water storage of beechwood and its influence on the quality of wood. Mitteilungen der BFH Nr. 83, 34-44.

- Peek, R-D.** (1990): Holzeinlagerung nach Forstkalamitäten zur Qualitätserhaltung von Nadel- und Laubholz (1). Holz-Zentralblatt 116, 646
- Pfeiffer, J.** (1997): Untersuchung zur Ausbildung von Farbunterschieden beim Dämpfen von Rotbuchen (*Fagus sylvatica* [L.]). Diplomarbeit, Fachbereich Biologie der Universität Hamburg, 227 S.
- Plath, E.; Plath L.** (1955): Papierchromatographische Untersuchung an Dämpfkondensaten von Rotbuche. Holz als Roh- und Werkstoff 13, 226-237
- Racz, J.; Schulz, H.; Knigge, W.** (1961): Untersuchungen über das Auftreten des Buchenrotkerns. Forst- und Holzwirt, 16, 413-417
- Sachsse, H.** (1991): Kerntypen der Rotbuche. Forstarchiv 63, 238-242
- Schmidt, O.; Mehringer H.** (1989): Bakterien im Stammholz von Buchen aus Waldschadensgebieten und ihre Bedeutung für die Holzverfärbung. Holz als Roh- und Werkstoff 47, 285-290
- Seeling, U.** (1998): Kerntypen im Holz. Konsequenzen für die Verwertung am Beispiel der Buche (*Fagus sylvatica* [L.]). Schweiz. Z. Forstwes. 142, 375-390
- Selling, I.; Lewark, S.** (1993): Wasserlagerung von Buchenstammholz. Holz-Zentralblatt 119, 1605/1610
- Torelli, N.** (1979): Beitrag zur Ökologie und Physiologie der fakultativen Farbkernbildung bei der Rotbuche (*Fagus sylvatica* [L.]). Dissertation an der Humboldt-Universität Berlin
- Trübswetter, T.** (1995): Die Trocknung heller Laubhölzer und ihre Problematik. Holz-Zentralblatt 121, 2194 u. 2198
- Wegener, G.; Fengel, D.** (1987): Investigations on colour changes resulting from drying of european oak wood. In: Symp. Wood Pulp. Chem., Paris, France, 1 121-123
- Wegener, G.; Fengel, D.** (1988): Zum Stand der chemischen und mikroskopischen Untersuchungen an trocknungsverfärbtem Eichenschnittholz. Holz-Zentralblatt 114, 2238-2241.
- Welling, J.; Wöstheinrich, A.** (1995): Reduzierung von Verfärbungen durch Heißdampf-Vakuumtrocknung. Holz-Zentralblatt 121, 145-146 u. 150
- Windelberg, M.** (1993): Untersuchung von Verfärbungen bei Rotbuche (*Fagus sylvatica* [L.]). Diplomarbeit, Fachbereich Biologie der Universität Hamburg, 82S.
- Zycha, H.** (1948): Über die Kernholzbildung und verwandte Vorgänge im Holz der Rotbuche. Forstwissenschaftliches Centralblatt 67, 80-109
- Zycha, H.** (1952): Der Schutzanstrich für lagerndes Buchenholz. Holz-Zentralblatt 78, 1865