

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 140 (1989)

Heft: 3

Artikel: Biologische und technologische Eigenschaften des Holzes geschädigter Fichten

Autor: Kuera, Ladislav J.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-764219>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 08.02.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Biologische und technologische Eigenschaften des Holzes geschädigter Fichten¹

Von *Ladislav J. Kučera*

Oxf.: 81: 48: 174.7 Picea

(Aus dem Fachbereich Holzkunde und Holztechnologie der ETH Zürich, CH-8092 Zürich)

1. Einleitung

Die Fichte ist die wichtigste Baumart des mitteleuropäischen Waldes. Eine hervorragende ökologische Bedeutung erreicht sie besonders in den Gebirgs-lagen. Das Fichtenholz hat dank seiner ausgezeichneten technischen Eigenschaften eine vielseitige Verwendung. Die wirtschaftliche Nutzung des Fichtenholzes ergibt die finanzielle Grundlage für die unverzichtbare Waldpflege. Daher ist die Fichtenholzqualität sowohl für die Forst- als auch für die Holzwirtschaft von Bedeutung. Im Schweizer Wald ist die Fichte an der Stammzahl mit 39,4% (Bäume ab 12 cm BHD) und am Holzvorrat mit 49,1% (Schaftholz-masse) vertreten (1).

Im Rahmen des Nationalen Forschungsprogrammes 12 «Holz, erneuerbare Rohstoff- und Energiequelle» des Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung wurde das hier vorgestellte Projekt in den Jahren 1986 bis 1988 durchgeführt. Die Veröffentlichung des umfangreichen Schlussberichtes ist im Jahr 1989 vorgesehen (2).

2. Aufgabenstellung und Zielsetzung

Unsere Ergebnisse sollten eine Grundlage bilden für Folgerungen auf verschiedenen Ebenen:

- forstpolitisch (Bewertung der Verluste in der Forstwirtschaft; Nutzungsplanung),

¹ Vortrag, gehalten am 15. Februar 1988 im Rahmen der Forst- und Holzwirtschaftlichen Kolloquien an der ETH Zürich.

- holzmarktbezogen (Prognose über die zukünftige Sortimentsentwicklung; Berechtigung allfälliger Preisnachlässe),
- holztechnologisch (Empfehlungen über die Verarbeitung und Verwendung des Holzes geschädigter Bäume).

Als konkrete Zielsetzungen sind zu nennen:

- Behebung allfälliger voreiliger Vorwürfe, welche im konfusen Begriff «Schadholz» ihren Ausdruck finden.
- Förderung der mengen- und sortimentsmässigen Verwendung des Holzes geschädigter Fichten.
- Schaffung von Grundlagen für forstpolitische und holztechnologische Tätigkeit, falls sich Qualitätsunterschiede als relevant erweisen sollten.

3. Versuchsmaterial und Teiluntersuchungen

Die Untersuchungen wurden an insgesamt 49 Bäumen von den Standorten Neuendorf SO und Ste-Croix VD durchgeführt.

Die 49 Versuchsbäume wurden so ausgewählt, dass gleiche Anteile an Stichproben vertreten waren bezüglich

- Standort,
- Entwicklungsstufe (junges und mittleres Baumholz bzw. altes Baumholz),
- soziologischer Stellung (beherrschte bzw. mitherrschende oder herrschende Fichten),
- Gesundheitszustand (gesund: Nadelverlust bis 10%; krank: Nadelverlust über 10%).

Als Untersuchungsmaterial dienten Stammabschnitte aus 2 m, 7 m und 12 m Höhe der Bäume. Die Splintholzmerkmale wurden zusätzlich an drei Stammabschnitten aus dem Kronenbereich, 12 Ästen und 4 Wurzeln je Baum ermittelt.

Die Untersuchungen der Holzeigenschaften umfassten folgende Teilbereiche:

a) Holzbiologie

- Splintholzanteil und -wassergehalt ermittelt durch (a) visuelle Erfassung nach zweistufigem Färbeverfahren, (b) Gewichtsbestimmung der Holzproben in frischem Zustand und nach Trocknung bei 103 °C bis zur Gewichtskonstanz (Darrtrocknung), (c) elektrische Widerstandsmessung mittels einer schrittweisen in den Baumkörper getriebenen doppelten Nadelsonde (Vitamat), (d) dreidimensionale Darstellung der Verteilung des freien Was-

sers im Holzkörper mittels der kernmagnetischen Resonanz (Kernspintomographie).

- Tracheidenlängen, bestimmt mit einer halbautomatischen Messanlage.
- Zellwandanteil, ausgewertet mit dem Bildanalysegerät Quantimet.

b) Holztechnologie

- Dauerhaftigkeit (Pilzresistenz nach der Norm EN 113),
- Durchlässigkeit für Wasser in axialer Richtung,
- Verleimbarkeit (Zugscherfestigkeit verleimter Prüflinge nach DIN 52 254).

Die Teiluntersuchungen ergaben rund 356 000 Messwerte, welche mit den Verfahren der parametrischen Statistik zu rund 75 000 statistischen Kennwerten (Mittelwerte, Vertrauensgrenzen usw.) verarbeitet wurden. Sämtliche Unterschiede oder Korrelationen, auf welche in diesem Bericht eingegangen wird, sind mindestens mit einer Wahrscheinlichkeit von $P = 95\%$ statistisch gesichert.

Im Sinne einer Materialbeschreibung wurden die Jahrringbreiten in den Nordradien der Stammabschnitte aus 2 m, 7 m und 12 m Höhe im Baum ausgemessen. Die Auswertung ergab eine stete, langsame und alterungsbedingte Abnahme der Jahrringbreiten. Sprunghafte Abnahmen der mittleren Jahrringbreiten haben an beiden Standorten in den Jahren 1912 bis 1914 und 1970 bis 1973 stattgefunden.

4. Methoden und Ergebnisse

4.1 Splintholzmerkmale

Die Photosynthesetätigkeit der Baumkrone wird unter anderem durch das verfügbare Wasserangebot bestimmt. Die Versorgung mit Wasser erfolgt über die funktionierenden Transportwege im Splintholz des Stammes. Die Splintholzbildung wird durch die Photosynthesetätigkeit in der Baumkrone bestimmt. In diesem Sinne stehen Baumkrone und Splintholz in einer wechselwirkenden Beziehung.

Die Merkmale des Splintholzes (Breite, Fläche, Anteil, qualifizierter Anteil) wurden in den drei Baumhöhen 2 m, 7 m, 12 m, ferner in drei Abschnitten aus dem Kronenbereich, 12 Ästen und 4 Wurzeln je Baum bestimmt. Es gelangten zwei herkömmliche Methoden (visuelle Beurteilung, Darrtrocknung) und zwei neuere Verfahren (die elektrische Widerstandsmessung und die Kernspintomographie) zum Einsatz. Die Bestimmung der Splintholzparameter mit dem Messgerät Vitamat (*Abbildung 1*) beruht auf dem Prinzip der Messung des elektrischen Widerstandes (*Abbildung 2*). In der Kernspintomographie werden Verteilungsmuster des freien Wassers in Holzproben (*Abbildung 4*) gewonnen.



Abbildung 1. Das Messgerät Vitamat (Prototyp 2) im Einsatz im Bergwald. Aufnahme Dr. J. Stahel.

Die Splintholzmerkmale zeigten eine starke Variabilität in Abhängigkeit von verschiedenen Baumcharakteristiken. Die mittlere Splintholzbreite der untersuchten Bäume betrug 34 mm (Minimum: 7 mm, Maximum: 81 mm), der mittlere Splintholzanteil 43% (Minimum: 9%, Maximum: 91%). Zwischen den Splintholzmerkmalen einerseits und dem Nadelverlust, der soziologischen Stellung und dem Baumalter andererseits konnten folgende Zusammenhänge aufgezeigt werden:

- Der Nadelverlust ist mit einer Reduktion der Splintholzmerkmale verbunden (*Abbildungen 3 und 6 bis 9*). Bereits ein geringer Nadelverlust führt zu einer deutlichen Verringerung des Splintholzanteiles.
- Herrschende Fichten wiesen höhere Werte der Splintholzmerkmale auf als beherrschte.
- Mit zunehmendem Baumalter werden der Splintholzanteil und einige weitere Splintholzcharakteristika reduziert.

Die ersten Anzeichen einer Störung der Wasserversorgung des Baumes wurden in Fichten mit tadellosen Kronen im Wurzelholz gefunden (*Abbildung 5*). Ebenfalls besteht ein klarer Zusammenhang zwischen dem Nadelverlust und der Form des Kernholzes im Stammquerschnitt. Mit steigendem Nadelverlust weicht der Grenzverlauf zwischen Kern- und Splintholz immer mehr von der regelmässigen Kreisform ab.

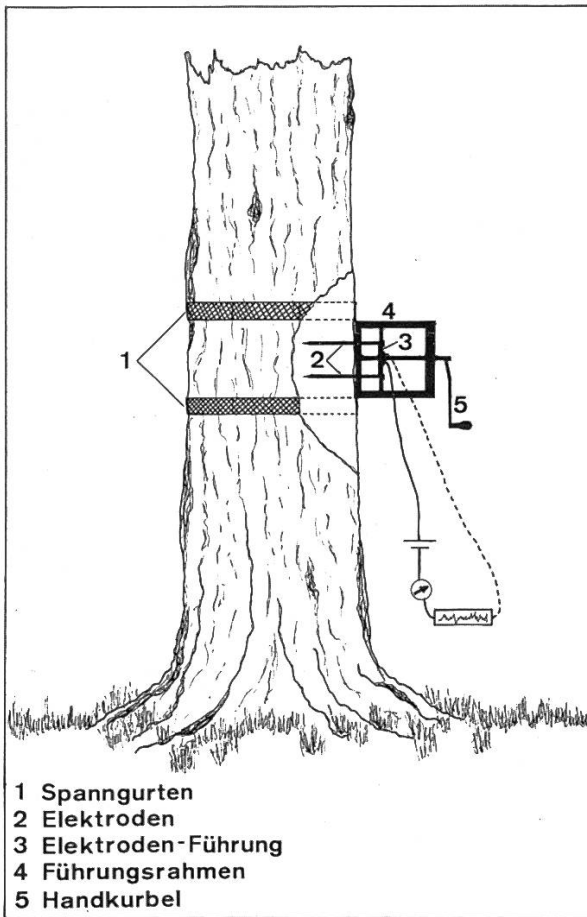
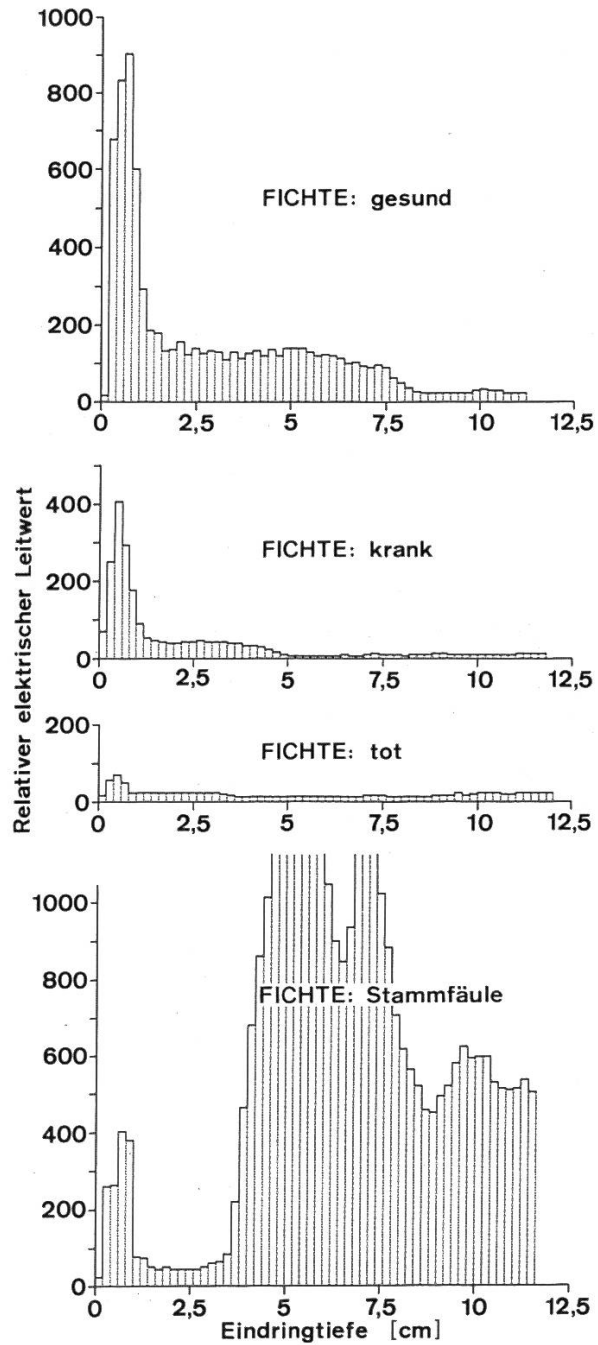


Abbildung 2. (oben). Das Messprinzip des Vitalitäts im Schema. Hauptbestandteile der Messeinrichtung und Messanordnung: 1 Spanngurten, 2 Elektroden, 3 Elektroden-Führung, 4 Führungsrahmen, 5 Handkurbel.

Abbildung 3. (rechts). Die Messkurven von vier Fichten. Gleicher Standort, gleiche Baumhöhe und Jahreszeit; Brusthöhendurchmesser zwischen 44 und 49 cm. Fichten von oben nach unten: gesund (Nadelverlust 0%), krank (NV 50%), abgestorben (NV 100%) und rotfaul (NV 65%). Abszissen: Eindringtiefe in cm, Ordinaten: relativer elektrischer Leitwert. Die Baumvitalität ist mit den Splintholzmerkmalen korreliert.



4.2 Tracheidenlänge

Die Länge der faserförmigen Zellen ist bestimmend für die erzielbare Zellstoffqualität. Da die letztgebildeten 10 bis 25 Jahrringe in den Seitenwarenbereich (Schwarten und Spreisseln) fallen, werden die darin enthaltenen Tracheiden zum erheblichen Teil zur Zellstoffgewinnung herangezogen.

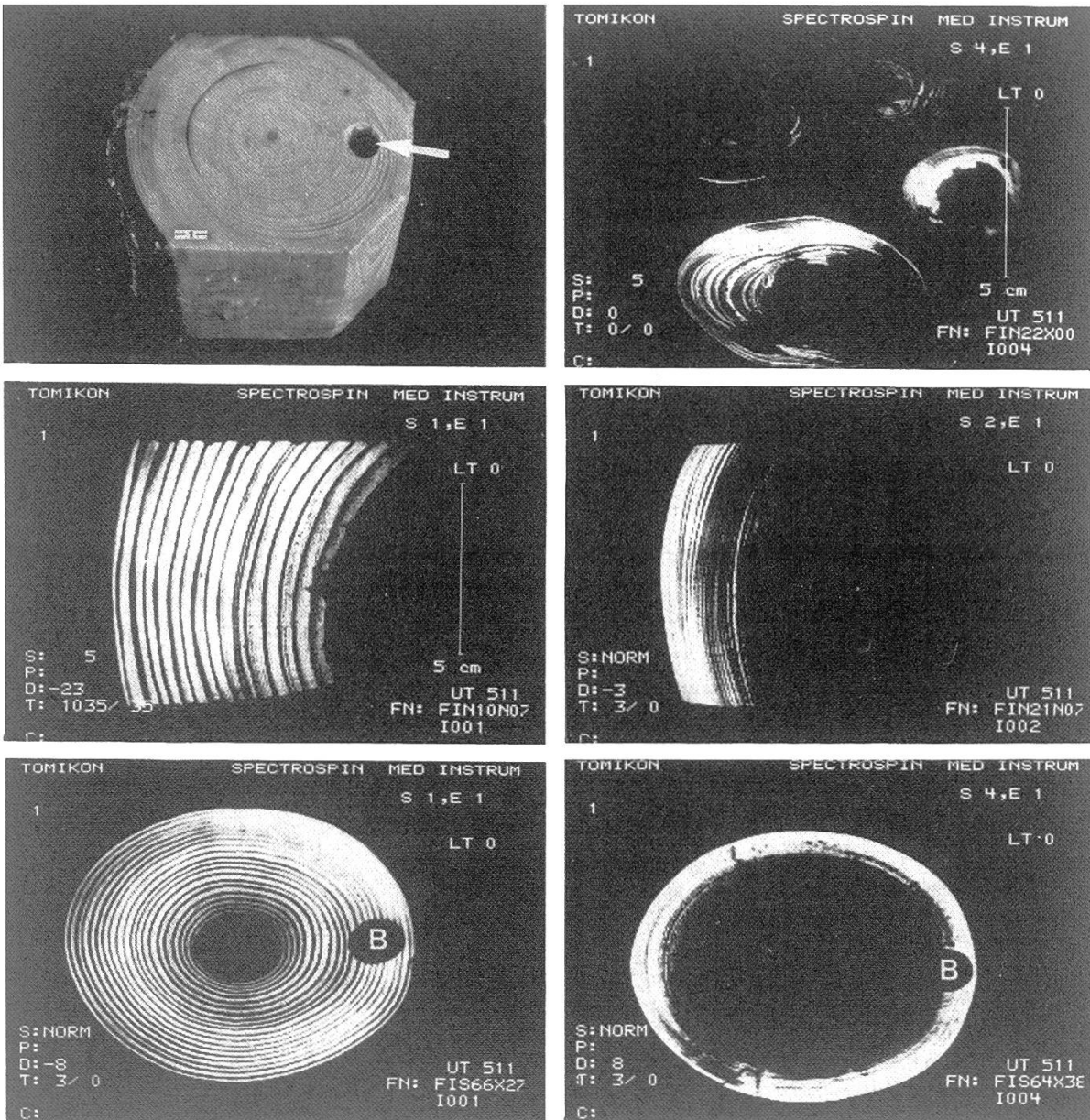


Abbildung 4. (oben links). Form und Grösse einer Stammholzprobe für die kernspintomographische (NMR) Untersuchung. Das Bohrloch (Pfeil) dient der Aufnahme des Glasröhrchens mit der Referenzlösung. Marke = 1 cm.

Abbildung 5. (oben rechts). Fichte FIN 22, herrschend, Nadelverlust 0%, Alter 100 Jahre, NMR-Aufnahme. Vier Wurzeln von verschiedenem Schädingungsgrad mit unregelmässiger Wasserverteilung im Querschnitt.

Abbildung 6. (Mitte links). Fichte FIN 10, herrschend, Nadelverlust 0%, Alter 44 Jahre, Nordradius aus 7 m Höhe, Querschnitt, NMR-Aufnahme. Breite Jahrringe und breiter Splintholzbereich mit gleichmässiger Wasserverteilung.

Abbildung 7. (Mitte rechts). Fichte FIN 21, beherrscht, Nadelverlust 65%, Alter 89 Jahre, Nordradius aus 7 m Höhe, Querschnitt, NMR-Aufnahme. Schmale Jahrringe und schmale Splintholzzone mit ungleichmässiger Wasserverteilung.

Abbildung 8. (unten links). Fichte FIS 66, beherrscht, Nadelverlust 10%, Alter 158 Jahre, Stammabschnitt aus 27 m Höhe, Querschnitt, Splintholzzone mit gleichmässiger Wasserverteilung. Bohrloch (B) für die Referenzlösung.

Abbildung 9. (unten rechts). Fichte FIS 64, herrschend, Nadelverlust 60%, Alter 214 Jahre, Stammabschnitt aus 38 m Höhe, Querschnitt, NMR-Aufnahme. Extrem schmale Jahrringe und eine schmale Splintholzzone mit ungleichmässiger Wasserverteilung. Bohrloch (B) für die Referenzlösung.

Die Teiluntersuchung «Tracheidenlänge» wurde am Probenmaterial aus 2 m und 12 m Höhe im Baum durchgeführt. In jeder Scheibe wurden am Nordradius zwei Positionen bestimmt: eine äussere in unmittelbarer Kambiumnähe und eine innere, welche je nach Zuwachs 1 cm, 2 cm oder 4 cm vom Kambium entfernt lag. Aus diesen Positionen wurden Holzspäne gewonnen, mazeriert und gefärbt. Die Längen von 100 Tracheiden je Position wurden in einer halbautomatischen Messanlage ermittelt.

Der arithmetische Mittelwert der 19 600 gemessenen Tracheidenlängen betrug 3,76 mm (Minimum je Position: 2,46 mm, Maximum je Position: 5,92 mm). Die kürzeste Tracheide wurde mit 0,98 mm, die längste mit 8,39 mm gemessen. Die Länge der Tracheiden ist eine recht konservative Grösse, welche weitgehend durch das Kambiumalter bestimmt wird. Mit zunehmendem Kambiumalter steigt die Tracheidenlänge, und zwar nach einem logarithmischen Muster: zuerst rasch, später nur noch langsam. In gleichaltrigen Bäumen mit verschiedenen breiten Jahrringen findet man die längeren Tracheiden im Baum mit geringeren Jahrringbreiten. Die geschädigten Bäume erwiesen sich als den gesunden ebenbürtig (Mittelwerte 3,73 bzw. 3,79 mm). Die herrschenden Fichten wiesen durchschnittlich längere Tracheiden auf als die beherrschten (Mittelwerte 3,94 mm bzw. 3,58 mm) und die Fichten vom Standort Neuendorf waren jenen aus Ste-Croix diesbezüglich überlegen (Mittelwerte 3,92 mm bzw. 3,59 mm).

4.3 Zellwandanteil

Innerhalb der gleichen Holzart ist der mikroskopisch messbare Zellwandanteil mit der Raumdichte eng korreliert. Die Raumdichte selbst ist ein zuverlässiger Indikator für die Festigkeitseigenschaften. Heute periphere Jahrringe werden später im Innern des Stammquerschnittes liegen und dann die Eigenschaften von Bau- und Schreinerholz beeinflussen. Es war deshalb wichtig festzustellen, ob und in welchem Masse die Zellwandanteile in den peripheren schmalen Jahrringen geschädigter Fichten verändert sind.

Die Proben für die Bestimmung der Zellwandanteile wurden aus 7 m Höhe im Baum gewonnen. Es wurden zwei radiale Positionen gewählt: eine äussere in der Kambiumnähe und eine innere, 4 cm (ausnahmsweise 2 cm) vom Kambium entfernt. Diese Positionen wurden an vier Radien (Haupt-Himmelsrichtungen) berücksichtigt, und das Ergebnis ist stets ein Mittelwert der vier Radien. Damit wurde versucht, Unregelmässigkeiten des Wachstums (zum Beispiel Druckholz) auszugleichen. Die Zellwandanteile wurden vollautomatisch jahrringweise sowie aus 0,5 cm und 1 cm langen radialen Gewebestreifen ermittelt.

Es wurde der mittlere Zellwandanteil in 392 Jahrringen gemessen. Der arithmetische Mittelwert aus diesen Messungen betrug 42,0% (Minimum: 29,6%, Maximum: 67,2%). Der Zellwandanteil wird – abgesehen vom juvenilen Holz

– vorwiegend durch die Standortgüte im weitesten Sinne beeinflusst. Die Fichten aus dem Standort Neuendorf mit höherer Bonität waren jenen aus Ste-Croix hinsichtlich Zellwandanteil überlegen (Mittelwerte 42,1% bzw. 38,9% aus 0,5 cm Gewebestreifen). Die Jahrringbreite ist mit dem Zellwandanteil indirekt proportional korreliert. In Kenntnis dieser Korrelation überraschte es nicht, dass die beherrschten Bäume mit ihren schmälere Jahrringen den herrschenden überlegen waren (Mittelwerte 42,5% bzw. 38,5% aus 0,5 cm Gewebestreifen). Die Zellwandanteile der gesunden und kranken Fichten erwiesen sich als weitgehend ähnlich (Mittelwerte 40,3% bzw. 40,7% aus 0,5 cm Gewebestreifen). Bei leicht erkrankten Bäumen ist zunächst mit schmaler werdenden Jahrringen eine geringe Zunahme der Zellwandanteile festzustellen. Eine Umkehr dieses Trends konnte in den letzten Jahrringen absterbender Bäume gelegentlich beobachtet werden.

4.4 Dauerhaftigkeit

In den letzten Jahren wurde aus der forst- und holzwirtschaftlichen Praxis wiederholt auf ein vermehrtes Auftreten von Verfärbungen und Pilzbefall im Rund- und Schnittholz aus den geschädigten Bäumen hingewiesen. Da diese Meldungen auf Einzelbeobachtungen beruhen, konnte nicht entschieden werden, ob es sich um eine verschärfte Wahrnehmung der Variabilität oder um eine tatsächliche Veränderung der Holzqualität handelt. Verfärbungen können mit einem Pilzbefall einhergehen; sie können aber auch als Folge von physiologischen Vorgängen (oxidative Verfärbungen, zum Beispiel die Tanninbräune der Fichte) oder oberflächlichem Algenbelag entstanden sein. Trifft letzteres zu, so kann von einer eigentlichen Veränderung der Holzqualität nicht gesprochen werden. Jedoch selbst im Falle eines vermehrten Pilzbefalles muss zwischen einer Veränderung der natürlichen Dauerhaftigkeit und Differenzen im Lagerverhalten des Holzes gesunder und kranker Bäume unterschieden werden.

Unter dem Begriff «natürliche Dauerhaftigkeit einer Holzart» versteht man die Zeit, während der das im verarbeiteten oder unverarbeiteten Zustand verwendete Holz ohne konservierende Massnahmen seinen ursprünglichen Gebrauchswert behält. Die Dauerhaftigkeit einer Holzart wird durch ihre Resistenz gegen einen Pilzbefall und -abbau bestimmt. Sie wird in diesem Sinne als Gewichtsverlust (%) einer Holzprobe als Folge eines kontrollierten Pilzbefalles während einer bestimmten Zeit angegeben. Im Gegensatz zum Laborversuch hängt die Dauerhaftigkeit einer Holzart unter praxisnahen Bedingungen (zum Beispiel Langzeit-Lagerung von Rund- und Schnittholz) nicht nur von den Eigenschaften (zum Beispiel Raumdichte; Anteil an Harzen, Gerbstoffen und Polyphenolen), sondern auch vom Zustand des Holzes (insbesondere Wassergehalt, allfällige Risse und Verletzungen der Oberfläche usw.) und vom Ausmass der Beanspruchung (zum Beispiel Feuchtigkeits- und Temperaturverhält-

nisse, Angebot an Pilzsporen usw.) ab. Diese praktische Art der Dauerhaftigkeit wird als «Lagerverhalten» bezeichnet.

Die Ermittlung der Dauerhaftigkeit wurde mit Rücksicht auf den Arbeitsaufwand auf 16 Fichten beschränkt. Das Material wurde auf der Höhe von 12 m den Stämmen entnommen. Von jedem Stammabschnitt wurden sowohl aus dem Kernholz als auch aus dem Splintholz Stichproben je 20 Versuchsklötzchen zugeschnitten. Die Untersuchung wurde nach dem Klötzchenverfahren in Kolleschalen gemäss dem Prinzip des kontrollierten Pilzbefalls ausgeführt. Als Testpilz wurde der Kellerschwamm (*Coniophora puteana* [Schumacher ex Fries] Karsten) eingesetzt. Die Versuchsdurchführung folgte weitgehend der Norm EN 113. Aus Gründen der Versuchshomogenität mussten verschiedene Proben bei Kontrollen aus dem Versuch ausgeschlossen werden, so dass die ursprüngliche Anzahl von 640 Proben auf noch 550 reduziert wurde. Die Pilzresistenz wurde durch den Gewichtsverlust der Proben nach 16 Wochen Versuchsdauer charakterisiert. Gleichzeitig wurde in diesem Versuch – sozusagen als Nebenprodukt – die Raumdichte des Holzes bei 12% Wassergehalt ermittelt.

Die mittlere Raumdichte des untersuchten Holzes lag bei $0,437 \text{ g/cm}^3$ (Minimum je Stichprobe: $0,360 \text{ g/cm}^3$, Maximum je Stichprobe: $0,552 \text{ g/cm}^3$). Die Raumdichte der leichtesten Probe betrug $0,342 \text{ g/cm}^3$, jene der schwersten Probe $0,578 \text{ g/cm}^3$. Der mittlere Abbauwert aller Proben erreichte 50,9% (Minimum je Stichprobe: 35,9%, Maximum je Stichprobe: 66,1%). Die Extremwerte der Einzelproben lagen bei 29,1% bzw. 67,6%. Die Raumdichte des Holzes kranker Bäume übertraf geringfügig jene der gesunden Bäume (Mittelwerte $0,447 \text{ g/cm}^3$ bzw. $0,427 \text{ g/cm}^3$). Ferner war das Holz aus der Position «ausen» etwas schwerer als jenes aus der Position «innen» (Mittelwerte $0,449 \text{ g/cm}^3$ bzw. $0,425 \text{ g/cm}^3$), wohl als Folge enger werdender Jahrringe. Die Abbauwerte des Holzes gesunder und kranker Fichten waren ebenbürtig (Mittelwerte 51,5% bzw. 50,2%). Hingegen zeigte das Kernholz eine etwas grössere Pilzresistenz als das Splintholz (mittlere Abbauwerte 49,3% bzw. 52,4%).

4.5 Durchlässigkeit

Die axiale Durchlässigkeit des Holzkörpers für Flüssigkeiten unter Laborbedingungen steht im Zusammenhang mit dem anatomischen Bau (Zellwanddicken, Anteil und Dimensionen des Wasserleitgewebes) und dem Zustand (insbesondere Inaktivierung der Leitbahnen durch Hoftüpfelverschluss oder Gefässverthyllung) des Holzes. Aus der axialen Durchlässigkeit kann vorsichtig auf das Trocknungsverhalten und die Imprägnierbarkeit des Holzes geschlossen werden. Der Vorteil der Prüfung der Durchlässigkeit liegt in der Einfachheit des Prüfverfahrens und der vielschichtigen Aussagekraft der Ergebnisse. Da die erkrankten Fichten sowohl schmale Jahrringe (mit erhöhtem Spätholzanteil) als auch reduzierte Splintholzanteile und verminderte Wassergehaltswerte im

Splintholz aufweisen, schien es angezeigt, die Durchlässigkeit des Holzes gesunder und kranker Fichten miteinander zu vergleichen.

Die Prüfung der Durchlässigkeit wurde am Holz von 16 Fichten durchgeführt. Die Proben stammten aus dem Splintholzbereich von Stammabschnitten aus 7 m Höhe über Boden. Nach jeder Haupthimmelsrichtung wurden 10 Klötzchen herausgesägt, welche eine Stichprobe bildeten. Die Prüfung der Permeabilität erfolgte in einer für diesen Zweck konstruierten Messanlage (3) in Faserrichtung, indem Leitungswasser bei Zimmertemperatur und 2 bar Druck durch einen kreisförmigen Prüfquerschnitt von 78,5 mm² gepresst wurde. Die axiale Probenlänge betrug 50 mm. Die Permeabilität wurde als Durchflussrate (ml/min) dargestellt.

Die gemessenen Durchflussraten zeigten eine extrem hohe Variabilität, welche nur teilweise durch die bekannten Baum- und Holzmerkmale erklärt werden konnte. Die mittlere Durchflussrate der 640 Proben betrug 78,0 ml/min (Minimum je Stichprobe: 6,5 ml/min, Maximum je Stichprobe: 220,7 ml/min). Die Streuung der Einzelwerte war noch ausgeprägter (Minimum: 1,4 ml/min, Maximum: 622,2 ml/min). Dies mag mindestens partiell mit der unterschiedlich langen Lagerungszeit und unterschiedlichen Güte der geschnittenen Oberflächen in Zusammenhang stehen. Dennoch konnte der erwartete indirekt proportionale Zusammenhang zwischen der Raumdichte der Proben und der Permeabilität belegt werden. Die mittleren Durchflussraten der beiden Standorte Neuendorf und Ste-Croix (Mittelwerte 83,7 ml/min bzw. 72,3 ml/min) und der Kategorien «gesund» und «krank» (Mittelwerte 97,6 ml/min bzw. 58,4 ml/min) zeigten zwar gewisse Unterschiede. Jedoch angesichts der ausgeprägten Variabilität des untersuchten Merkmals erwiesen sich diese Unterschiede als zufällig.

4.6 Verleimbarkeit

Die Verleimungstechnik nimmt in der industriellen Verarbeitung des Fichtenholzes eine wichtige Position ein. Verleimt wird das Fichtenholz mit folgenden Zielsetzungen:

- Gewinnung von grossflächigen Holzwerkstoffen (Holzspan-, Sperrholz- und Tischlerplatten),
- Herstellung von konstruktiven Holzverbindungen (Möbelbau, Holzkonstruktionen),
- Fabrikation von tragenden Bauteilen besonderer Form oder Grösse (verleimte Träger).

Die meisten Bedingungen einer erfolgreichen Verleimung sind bekannt und können relativ leicht beeinflusst werden (zum Beispiel Wahl des Leimtyps, Viskosität des Leimes, Dauer und Temperatur der Verleimung, Pressdruck, Beschaffenheit der zu verleimenden Oberflächen usw.). Holzkundliche Merk-

male haben ebenfalls einen Einfluss auf die Leimbindefestigkeit: die Holzart durch den anatomischen Bau und die Raumdichte, der Stammbereich (Splint- oder Kernholz) durch die Art und Menge der in den Zellwänden eingelagerten sekundären Metabolite (Terpene, Alkaloide, phenolische Verbindungen). Nicht ganz auszuschliessen ist ein Einfluss des pH-Wertes des Xylemwassers oder der Zellwand auf die erfolgreiche Verleimung. Da im Holz geschädigter Bäume mit Veränderungen der obigen Merkmale gerechnet werden kann, wurden seitens der Holzindustrie schon früh Vorbehalte angemeldet, welche sich allerdings hauptsächlich auf die Verwendung des Holzes aus dem Nasskernbereich der Tanne im Leimbau beschränkt haben. Unser Versuch soll zur Überprüfung möglicher Vorbehalte gegenüber Fichtenholz aus geschädigten Bäumen beitragen.

Die Untersuchung wurde auf das Kernholz beschränkt. Von den ausgewählten 16 Fichten mussten zwei wegen Kernfäule ausgeschlossen werden. Das Probenmaterial wurde aus 2 m Höhe über dem Boden gewonnen. Die roh zugesägten Platten wurden im Normklima konditioniert und anschliessend mit dem Resorzin-Phenol-Formaldehyd-Harz Kauresin 460 zusammengefügt. Die Verleimung und die Prüfungsdurchführung erfolgten nach DIN 52 254. Die Stichprobengrösse betrug je Versuchsbaum 30 Prüflinge. Als Mass für die Verleimbarkeit der untersuchten Holzproben wurde die Zugscherfestigkeit der Prüflinge angenommen.

Die Zugscherfestigkeit der Prüflinge hat im vorliegenden Versuch eine sehr gute Wiederholbarkeit gezeigt. Somit eignet sie sich – im Gegensatz zur Durchlässigkeit – als Testverfahren für Materialvergleiche. Die mittlere Zugscherfestigkeit der 420 Prüflinge betrug $8,13 \text{ N/mm}^2$ (Minimum je Stichprobe: $6,69 \text{ N/mm}^2$, Maximum je Stichprobe: $11,44 \text{ N/mm}^2$). Die Extremwerte der Einzelproben lagen bei $3,79 \text{ N/mm}^2$ bzw. $14,34 \text{ N/mm}^2$. Die Zugscherfestigkeit wurde in diesem Versuch weitestgehend durch die Raumdichte bestimmt. Zwischen der Raumdichte der Prüflinge und der Zugscherfestigkeit besteht ein linearer direkt proportionaler Zusammenhang mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,904$. Somit konnten 83% der Variabilität der Zugscherfestigkeitswerte aus der Variabilität der zugehörigen Raumdichtewerte erklärt werden. Dies bedeutet gleichzeitig, dass die allermeisten Prüflinge durch einen Holzbruch (und nicht durch einen Bruch in der Leimfuge) zerstört wurden, womit die einwandfreie Verklebung belegt wird. Ein indirekt proportionaler Zusammenhang besteht zwischen der mittleren Jahrringbreite in den Prüflingen und der Zugscherfestigkeit, wohl als Folge der höheren Dichte im engringigen Fichtenholz ($r = 0,542$). Demgegenüber zeigte sich zwischen dem Holz gesunder und kranker Fichten hinsichtlich Zugscherfestigkeit verleimter Prüflinge kein nennenswerter Unterschied (Mittelwerte $7,82 \text{ N/mm}^2$ bzw. $8,55 \text{ N/mm}^2$). Damit wurde nicht nur die gleichwertige Verleimbarkeit, sondern auch die ebenbürtige Zugfestigkeit des Holzes gesunder und kranker Fichten – da der Bruch zumeist als Holzbruch erfolgte – belegt.

5. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

In der vorliegenden Arbeit wird über biologische und technologische Untersuchungen am Holz gesunder und geschädigter Fichten berichtet. Die 49 Versuchsbäume wurden gleichmässig nach folgenden Kriterien ausgewählt: Standort (Neuendorf SO und Ste-Croix VD), Entwicklungsstufe (junges und mittleres Baumholz bzw. altes Baumholz), soziologische Stellung (beherrschte bzw. mitherrschende oder herrschende Fichten) und Gesundheitszustand (gesund mit Nadelverlust bis 10% bzw. krank mit Nadelverlust über 10%). Von den untersuchten Eigenschaften sind bei den geschädigten Fichten die Jahrringbreite, die Splintholzmerkmale und in geringem Ausmass die Raumdichte verändert. In den übrigen untersuchten Holzeigenschaften (Tracheidenlänge, Zellwandanteil, Dauerhaftigkeit, Durchlässigkeit und Verleimbarkeit) zeigten sich zwischen dem Holz gesunder und kranker Fichten keine Unterschiede.

Als wichtigstes Ergebnis dieser Untersuchung ist die Erkenntnis zu werten, wonach das Holz der geschädigten Fichten in holztechnologischer Sicht als weitestgehend vollwertig zu betrachten ist. Der Ausdruck «Schadholz» ist nicht berechtigt, da von einem qualitativen Wertverlust nicht gesprochen werden kann. Einzig bei absterbenden bis toten Fichten kann — als Folge reduzierter Splintholzanteile und Wassergehaltswerte — die Imprägnierbarkeit herabgesetzt und die Tauglichkeit zur Holzschliffgewinnung in Frage gestellt werden. Veränderungen in den anfallenden Rohholz-Sortimenten sind bei sachgemässer Pflege nicht zu erwarten. Es ist aber die zeitlich vorverlegte Gefahr eines Pilzbefalles als Folge von vermindertem Splintholzanteil und niedrigerem Wassergehalt im Splintholz zu beachten. Deshalb sollten die Nutzungen in geschädigten Beständen rechtzeitig, das heisst bereits bei einem mittleren Nadelverlust, erfolgen. Damit wird einer starken Abnahme der Splintholzbreite und des Wassergehaltes im Splintholz entgegengewirkt, was die Gefahr eines Befalles des stehenden Baumes oder des frischgefällten Holzes durch Verblauungs- oder holzerstörende Pilze herabsetzt. Ernte- und verarbeitungstechnische Vorkehrungen, wie zum Beispiel rechtzeitiges Fällen, kurze, die Austrocknung des Rundholzes fördernde Lagerung und rasche Verwertung in den holzverarbeitenden Betrieben, tragen zusätzlich dazu bei, dass das Holz geschädigter und gesunder Fichten als ebenbürtig beurteilt werden kann.

Résumé

Caractéristiques biologiques et technologiques du bois des épicéas atteints

Le présent travail expose les résultats d'examens effectués sur le bois d'épicéas sains et atteints. Les 49 arbres échantillons ont été choisis de façon symétrique d'après les critères suivants: station (Neuendorf SO et Ste-Croix VD), état de développement (futaie jeune, moyenne et vieille), position sociale (dominés, dominants ou codominants) et état sanitaire (sains avec une perte d'aiguilles allant jusqu'à 10% et atteints avec une perte d'aiguilles supérieure). La largeur des cernes, les caractéristiques de l'aubier et dans une moindre mesure la densité sont les propriétés qui diffèrent entre le bois des épicéas sains et celui des épicéas atteints. Les autres propriétés du bois examinées (longueur des trachéides, proportion de paroi cellulaire, durabilité, perméabilité et comportement au collage) sont identiques dans les deux cas.

La conclusion la plus importante de notre étude est que l'on peut considérer, du point de vue technologique, le bois des épicéas atteints comme gardant toute sa valeur. Le terme «bois endommagé» n'est pas justifié, étant donné qu'il n'est jamais question de perte de valeur. Une seule restriction est à faire chez les épicéas dépérissants à sec; en conséquence de la proportion réduite de l'aubier et de la teneur en eau plus basse, il est possible que l'imprégnabilité soit amoindrie et l'obtention de la pâte mécanique mise en question. Si l'on traite le bois de manière adéquate, des modifications dans l'assortiment du bois brut ne sont pas à craindre. Il faut tout de même prendre en considération le danger d'une attaque de champignons prématurée par suite de la diminution de la proportion d'aubier et de sa faible teneur en eau. De ce fait, les exploitations dans les peuplements atteints doivent advenir en temps utiles, c'est-à-dire dès une perte d'aiguilles moyenne. On prévient en cela une diminution trop importante de la largeur de l'aubier et de sa teneur en eau et en conséquence on réduira le danger d'une attaque par des champignons de bleuissement ou par des champignons destructeurs de l'arbre sur pied ou du bois fraîchement abattu. Pour la récolte et le façonnage, certaines mesures (abattage en temps voulu, stockage de courte durée favorisant le séchage du bois rond et façonnage rapide dans les entreprises) contribueront à permettre de considérer la qualité de bois des épicéas sains et atteints comme égale.

Traduction: S. Croptier

Literatur

- (1) *Schweizerisches Landesforstinventar* (1988): Ergebnisse der Erstaufnahme 1982–1986. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Ber. 305.
- (2) *Kučera, L. J., Bosshard, H. H.* (1989): Holzeigenschaften geschädigter Fichten. Birkhäuser, Basel, Boston, Berlin.
- (3) *Buchmüller, K. St.* (1986): Jahrringcharakteristik und Gefässlängen in *Fagus sylvatica* L. Viertelj. Naturforsch. Ges. Zürich, 131, 3: 161–182.