

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

**Herausgeber:** Schweizerischer Forstverein

**Band:** 156 (2005)

**Heft:** 3-4

**Artikel:** Vergleichende Untersuchungen zu ausgewählten mechanischen Eigenschaften von Eibe und Fichte

**Autor:** Märki, Christoph / Niemz, Peter / Mannes, David

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1098033>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 01.05.2026

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

# Vergleichende Untersuchungen zu ausgewählten mechanischen Eigenschaften von Eibe und Fichte (reviewed paper)

CHRISTOPH MÄRKI, PETER NIEMZ und DAVID MANNES

Keywords: *Taxus baccata*; *Picea abies*; mechanical properties; MOE; MOR; fracture toughness; impact bending. FDK 81

**Abstract:** The wood of the yew (*Taxus baccata* L.) has long been known for its toughness and its strength, although only few scientifically proven reference values for the individual mechanical properties of this wood species exist. In this work selected elastomechanic properties of yew wood and were investigated and compared with those of spruce wood (*Picea abies* (L.) Karsten), showing values for yew which were conspicuously higher than those of spruce.

**Abstract:** Das Holz der Eibe (*Taxus baccata* L.) ist seit langem wegen seiner grossen Festigkeit und Zähigkeit bekannt, doch sind Kennwerte zu einzelnen mechanischen Eigenschaften nur in geringem Ausmass vorhanden. Geprüft wurden deshalb ausgewählte elastomechanische Eigenschaften von Eibenholz und mit denjenigen von Fichtenholz (*Picea abies* (L.) Karsten) verglichen. Die resultierenden Werte waren bei der Eibe deutlich höher.

## 1. Einleitung

### 1.2 Zielstellung

Die Eibe (*Taxus baccata* L.) gehört zu den Nadelhölzern Europas mit der höchsten Dichte und Härte. Das Holz ist als zäh und hochelastisch (SELL 1997; HOLZ-LEXIKON 2003; ALDEN 1997) bekannt. Aus diesem Grunde wurde es seit langem zum Anfertigen von Bögen, Speeren und Armbrüsten verwendet. Heute hat das Eibenholz auf Grund seiner geringen Vorkommen keine wirtschaftliche Bedeutung mehr. Deshalb liegen bisher kaum Kennwerte zu den mechanischen Eigenschaften vor. Im Rahmen dieser Arbeit sollten ausgewählte elastomechanische Eigenschaften von Eibenholz untersucht werden. Um die gewonnenen Daten besser einordnen zu können, wurde Fichtenholz (*Picea abies* (L.) Karsten) von einem entsprechenden Standort als Vergleichsmaterial herangezogen.

### 1.2 Erkenntnisstand

Da Fichte eines der gebräuchlichsten Bauhölzer ist, wurden bereits umfangreiche Arbeiten zu dieser Holzart durchgeführt. Diese reichen von den klassisch geprüften mechanisch-physikalischen Eigenschaften wie Dichte, Zug-, Druck- und Biegefestigkeit bis hin zur Bruchzähigkeit (VALENTIN *et al.* 1991; LOGEMANN & SCHELLING 1992) und zur FE-Modellierung der Eigenschaften auf submikroskopischer Ebene (PERSSON 2000).

Für Eibe liegen dagegen relativ wenige Werte und tiefer gehende Arbeiten vor. Untersuchungen zur Wechselwirkung zwischen Struktur und Eigenschaften, zur Bruchzähigkeit und zur Bruchenergie fehlen bislang. In *Tabelle 1* ist eine Übersicht

**Tabelle 1: Ausgewählte Holzeigenschaften von Fichte und Eibe.**

*Table 1: Selected wood characteristics of spruce and yew.*

Strukturmerkmale	Fichte ( <i>Picea abies</i> (L.) Karsten)		Eibe ( <i>Taxus baccata</i> L.)	
		Quelle		Quelle
Allgemein	Jahringgrenze deutlich; Übergang Früh-/Spätholz innerhalb des Jahringes überwiegend allmählich; gelegentlich Spannrückigkeit	3; 8	Jahringgrenze deutlich; Übergang Früh-/Spätholz innerhalb des Jahringes überwiegend allmählich; Jahrringe schmal, oft wellig verlaufend; Tracheiden mit spiralförmigen Verdickungen; häufig Spannrückigkeit	3; 6; 8
Tracheidenanteil [%]	94,5... 95,3... 96,5	8	etwa 86	8
Tracheidenlänge [µm]	1300...2800...4800	8	1550...1950...2250	8
Tracheidenverlauf	überwiegend gerade, auch drehwüchsig oder längsradial gewellt (Haselwuchs)	8	gerade, drehwüchsig, häufig längsradial gewellt (Haselwuchs)	8
Wandigkeit (Wanddicke 2W : Lumen L)	Frühholz: 0,11 Spätholz: 0,61	8	Frühholz: 0,23 Spätholz: 0,82	8
Längsparenchym	fehlend oder spärlich	8	nicht feststellbar	8
Holzstrahlenanteil [%]	4,4... 4,7... 5,5	8	etwa 14	8
Holzstrahlenhöhe [µm]	100...150...190 3–11 (–20) Zellen	8	80...145...230 5–15 (–25) Zellen	8
Holzstrahlenbreite [µm]	8...14 (einschichtig)	8	7... 10... 16 (einschichtig)	8
Harzkanäle	vorhanden	6; 8	nicht vorhanden	6; 8
Rohdichte $\rho_u$ [kg/m <sup>3</sup> ] (bei 12 bis 15% Holzfeuchte)	330...470...680 300...470...680 470 430...470 330...470...640	3; 8 5 1 6 7	640...670...810 630...720	7; 8 6
Darrdichte $\rho_0$ [kg/m <sup>3</sup> ]	300...430...640 400...430 300...430...620	3; 8 6 7	610...640...740 590...670	7; 8 6
<b>Mechanische Eigenschaften</b>				
Biegefestigkeit $\sigma_{bB}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	49...78...136 42...66...116 68 48...77...133 65...77 65	8 5 1 3 6 7	etwa 92 85	8 6

über ausgewählte Merkmale der beiden Holzarten aus verschiedenen Quellen dargestellt.

Eibenholz verfügt über einen etwas höheren E-Modul als die Fichte und eine recht hohe Schlagzähigkeit (KUČERA 1998),

Märki, C.; Niemz, P.; Mannes, D.: Vergleichende Untersuchungen zu ausgewählten mechanischen Eigenschaften von Eibe und Fichte (reviewed paper)

**Tabelle 1: Ausgewählte Holzeigenschaften von Fichte und Eibe (Fortsetzung).**

Table 1: Selected wood characteristics of spruce and yew.

	Fichte ( <i>Picea abies</i> (L.) Karsten)		Eibe ( <i>Taxus baccata</i> L.)	
		Quelle		Quelle
Druckfestigkeit $\sigma_{dB}$    [N/mm <sup>2</sup> ]	33...50...79 30...43...67 40 34...49...77 40...50 42	8 5 1 3 6 7	etwa 58 57	6; 7
Zugfestigkeit $\sigma_{zB}$    [N/mm <sup>2</sup> ]	21...90...245 80 21...88...240 80...90 88	8 1 3 6 7	108	6
Zugfestigkeit $\sigma_{zB}$ $\perp$ [N/mm <sup>2</sup> ]	1,5...2,6...3,9 1,5...2,7...4,0 2,6	3 8 7		
Schlagzähigkeit a [kJ/m <sup>2</sup> ]	10...45...108 10...46...110 40...50 49	3 8 6 7	147	6
E-Modul aus Biegever- such $E_b$    [N/mm <sup>2</sup> ]	7300...11000...21400 7160...10790...21000 10000 10000...12000 10790 16300	8 3 1 6 7 2	etwa 12000 15700	8 6
E-Modul $E_b$ $\perp$ (tan- gential) [N/mm <sup>2</sup> ]	450 400 170...540...690*	1 2 3		
E-Modul $E_b$ $\perp$ (radial) [N/mm <sup>2</sup> ]	800 700 170...540...690*	1 2 3		
Brinell-Härte HB    [N/mm <sup>2</sup> ]	etwa 32 31	8 3; 6; 7	59...(98) 65...71 68 70	3 8 6 7
Brinell-Härte HB $\perp$ [N/mm <sup>2</sup> ]	etwa 12 12...16	3; 7; 8 6	29...(59) etwa 31 30	3 86; 7
Bruchzähigkeit $K_{IC}$ TL [MPa $\sqrt{m}$ ]	0,25...0,42 0,3	4 5		
Bruchzähigkeit $K_{IC}$ RL [MPa $\sqrt{m}$ ]	0,27...0,47 0,3	4 5		

Quellen: 1) DIN 68 364 2) KEYLWERTH 1951 3) KOLLMANN 1951 4) LOGEMANN & SCHELLING 1992  
5) NIEMZ 1993 6) SELL 1997 7) VORREITER 1949 8) WAGENFÜHR 2000.

\* keine Unterscheidung zwischen radialer und tangentialer Richtung.

sowie über eine für Nadelhölzer hohe Härte. Die Biegefestigkeit liegt im Bereich der Werte der Fichte. Für die Bruchzähigkeit  $K_{IC}$  der Eibe sind noch keine Werte bekannt. Neben der höheren Rohdichte der Eibe, die sich auch in der höheren Wandigkeit, also einer im Vergleich zum Zelllumen höheren Zellwanddicke widerspiegelt, fallen gegenüber der Fichte die um einiges kürzeren Tracheiden und der rund dreimal höhere Holzstrahlenanteil auf. Harzkanäle fehlen bei der Eibe. Hingegen sind hier im Gegensatz zur Fichte in den Tracheiden spiralförmige Verdickungen vorhanden.

## 2. Versuchsmaterial und Methoden

Als Versuchsmaterial diente im Rahmen von Instandhaltungsarbeiten von Fahrwegen geschlagenes Eibenholz (*Taxus baccata* L.) vom Albisgüetli am Üetliberg in Zürich und Fichtenholz (*Picea abies* (L.) Karsten) vom Albis bei Zürich. Das Holz stammte von etwa 100- bis 130-jährigen Bäumen. Das Eibenholz mit recht unterschiedlicher Qualität stand nur in gerin-

gen Längen (maximal 2 m) und mit Durchmessern bis zu 40 cm zur Verfügung. Es wurden 20 solcher Stammabschnitte verwendet. Das Holz der eingeschnittenen Stämme wurde technisch auf 12% Holzfeuchte getrocknet. Die Proben wurden aus dem Kernholzbereich hergestellt. Durch die zum Teil geringen Dimensionen des Ausgangsmaterials und des bei Eibe typischen unregelmässigen Jahrring- bzw. Faserverlaufes trat ein hoher Verschnitt auf. Insbesondere bei der Bereitstellung der Proben für den Biegefestigkeits- und den Schlagzähigkeitsversuch erwies sich die Herstellung von geradfasrigen Stäben mit der geforderten Länge von 400 mm als besonders schwierig. Daher wurde bei den Proben für den Schlagzähigkeitsversuch der Querschnitt reduziert.

Die Proben wurden vor der Prüfung nach DIN 50 014 bei Normal-klima (20 °C, 65% relativer Luftfeuchte) bis zur Gewichtskonstanz gelagert. Zusätzlich wurden je Probe die Rohdichte nach DIN 52182 und die Holzfeuchte nach DIN 52183 bestimmt.

### 2.1 Statischer Biegeversuch

Für den Dreipunkt-Biegeversuch wurden nach DIN 52186 Biegestäbe mit den Abmessungen 20 mm (radial) x 20 mm (tangential) x 400 mm (längs) hergestellt. Es wurden Biegefestigkeit, Biege-E-Modul und Bruchenergie bestimmt. Infolge der Probleme mit der Bereitstellung von geradfasrigem und exakt in radial-tangential Ebene ausgerichtetem Eibenholz musste der Versuchsumfang auf 34 Eibenproben begrenzt

werden. Vergleichsweise wurden 36 Fichtenproben geprüft. Zusätzlich wurde im Biegeversuch unter Verwendung der maximalen Bruchlast  $F_{max}$  und der Fläche unter dem Kraft-Weg-Diagramm die Arbeit bezogen auf das Probenvolumen bestimmt. Diese «Work to ultimate load»  $w_u$  ist ein Mass der kombinierten Festigkeit und Zähigkeit von Holz unter Biegebeanspruchung (BODIG & JAYNE 1982). Sie berechnet sich wie folgt:

$$w_u = \frac{W_{F_{max}}}{V} \quad \text{(Gleichung 1)}$$

$w_u$  Arbeit bis zur Maximalkraft in kJ/m<sup>3</sup>  
 $W_{F_{max}}$  Arbeit bis  $F_{max}$  in kJ  
 $V$  Volumen der Probe zwischen den Auflagern in m<sup>3</sup>:  $V = l_s \cdot b \cdot h$

Die Arbeit bis  $F_{max}$  ( $W_{F_{max}}$ ) entspricht der Fläche unter der Kraft-Weg-Kurve bis zum Erreichen der Maximalkraft  $F_{max}$  (vgl. *Abbildung 1*).

## 2.2 Schlagbiegeversuch

Aus Gründen der Materialverfügbarkeit wurde bei der Prüfung im Schlagbiegeversuch nach DIN 52 189 das Format auf 10 mm (b) x 20 mm (h) x 400 mm (l) reduziert. Für die Untersuchungen wurde ein 50 J-Pendelschlagwerk verwendet. Geprüft wurden 50 Proben aus Eibenholz und 60 aus Fichtenholz.

## 2.3 Bruchzähigkeitsversuch $K_{IC}$

Zur Ermittlung der Bruchzähigkeit wurden Kompaktzugproben (CT-Proben) nach der amerikanischen Norm ASTM E 399-90 hergestellt. Je Holzart wurden zwei Serien mit unterschiedlicher Orientierung der Jahrringe gemäss *Abbildung 2* angefertigt (TL-Proben und RL-Proben). Dabei kennzeichnet der erste Buchstabe die Richtung der Normalen zur Rissebene, der zweite die Initial-Rissrichtung bzw. die Richtung der Rissausbreitung. Die Abmessungen der Proben sind aus *Abbildung 3* ersichtlich. In die Prüfkörper wurde mit der Kreissäge von der Stirnseite her ein 37 mm tiefer Einschnitt angebracht und mit dem Teppichmesser um 0,5 mm auf 37,5 mm erweitert. Daraus ergab sich die Anfangsrisslänge  $a$  von 25 mm. Es wurden 39 RL- und 43 TL-Proben aus Eibe, sowie 40 RL- und 49 TL-Proben aus Fichte geprüft.

Für die CT-Probe wird die Bruchzähigkeit wie folgt berechnet:

$$K_{IC} = \frac{F_Q}{B \cdot W^{3/2}} \cdot f(a/W) \quad (\text{Gleichung 2})$$

$$f(a/W) = (2 + a/W) \cdot \frac{0,886 + 4,64(a/W) - 13,32(a/W)^2 + 14,72(a/W)^3 - 5,6(a/W)^4}{(1 - a/W)^{3/2}} \quad (\text{Gleichung 3})$$

$K_{IC}$	Bruchzähigkeit in $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$
$F_Q$	massgebende Kraft $F$ in N
$a$	Anfangsrisslänge in mm
$B$	Probendicke in mm
$W$	effektive Probenbreite der CT-Probe in mm
$f(a/W)$	Geometriefunktion, für $a/W = 0,50$ gilt: $f(a/W) = 9,66$

## 2.4 E-Modul-Ermittlung mittels Eigenfrequenz

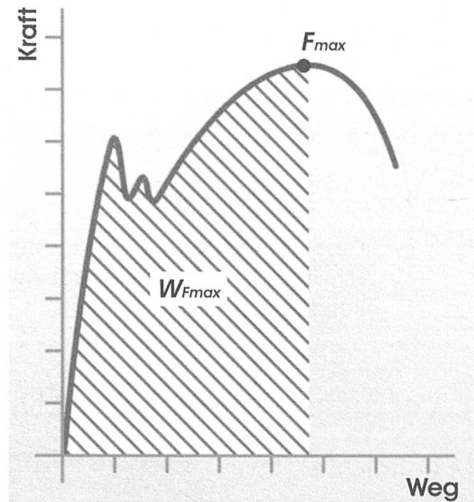
Die Eigenfrequenzmessungen erfolgten mit dem Gerät Grindo-Sonic Mk 5 «Industrial» nach der von GÖRLACHER (1984) beschriebenen Methode bei Biegebeanspruchung. Die Proben wurden in den beiden Schwingungsknoten für Schwingungen erster Ordnung (jeweils im Abstand von  $1/5$  der Probenlänge von den Probenenden) auf Schaumgummiunterlagen gelagert. Nach dem Anregen durch manuelles Anschlagen stellt sich die Eigenfrequenz des Materials ein. Daraus lässt sich bei definierter Probengeometrie der E-Modul berechnen. Die Eigenfrequenz wurde erzeugt, indem eine, auf zwei schaumgummigedämpften Auflagern liegende Probe in der Mitte mit einem kleinen Hämmerchen angeschlagen wurde.

$$E_{b,G} = \frac{4\pi^2 \cdot l^4 \cdot f_0^2 \cdot \rho_u}{m_n^4 \cdot i^2} \cdot (1 + i^2 \cdot K_1) \cdot 10^{-9} \quad (\text{Gleichung 4})$$

$E_{b,G}$	E-Modul in $\text{N/mm}^2$ ermittelt mittels Eigenfrequenz
$l$	Stablänge in mm
$f_0$	Eigenfrequenz in Hz
$\rho_u$	Rohdichte in $\text{g/cm}^3$
$i$	Trägheitsradius in mm $i^2 = h^2 / 12$
$h$	Probendicke in mm
$K_1$	Konstante (abhängig von der Ordnung der Schwingung)
$m_n^4$	Konstante (abhängig von der Ordnung der Schwingung)

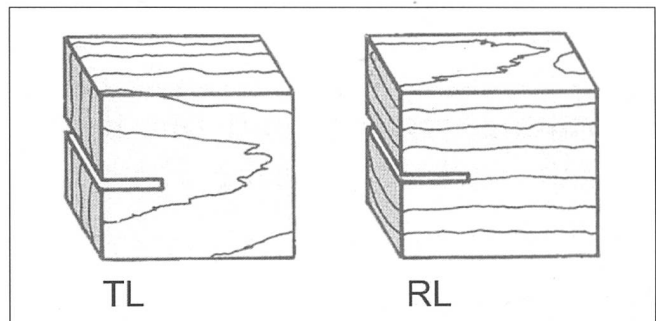
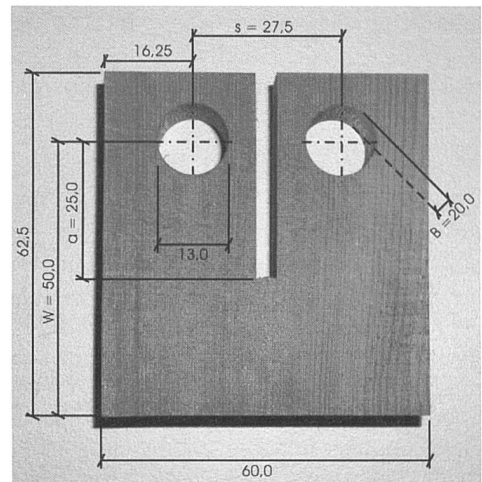
**Abbildung 1:** Prinzip der Bestimmung der Brucharbeit im statischen Biegeversuch ( $W_{Fmax}$ ).

*Figure 1:* Principle of the determination of breakage in static bending test ( $W_{Fmax}$ ).



**Abbildung 3:** CT-Probe: Abmessungen.

*Figure 3:* CT test: measurements.



**Abbildung 2:** Risstypen bei Bestimmung der Bruchzähigkeit in Rissart I.

Erster Index: Kraftrichtung, zweiter Index: Rissausbreitung; R = radial, T = tangential, L = längs (NIEMZ 1993).

*Figure 2:* Types of cracks occurring by the determination of toughness in mode I.

First index: direction of tension; second index: diffusion of cracks; R = radial, T = tangential, L = longitudinal (NIEMZ 1993).

Für die Biegeschwingung 1. Ordnung gilt:  $K_1 = 49,48$  und  $m_n^4 = 500,6$

## 2.5 E-Modul-Ermittlung mittels Schallgeschwindigkeit

Die Schallgeschwindigkeit wurde an den Biegestäben in Faserrichtung mit dem Gerät BP5 der Firma Steinkamp ermittelt. Die Frequenz betrug 50 kHz. Als Sender und Empfänger dienten konische Sensoren. Es wurde eine konstante Anpresskraft von  $70 \pm 4$  N erzeugt. Aus der Laufzeit und dem Abstand zwi-

schen Sender und Empfänger kann die Schallgeschwindigkeit berechnet werden. Der E-Modul lässt sich aus der Schallgeschwindigkeit und der Rohdichte berechnen (NIEMZ 1993; NIEMZ 2003). Für einen Stab, dessen Breite und Dicke gegenüber der Wellenlänge des Schallsignals klein sind, gilt:

$$c = \sqrt{\frac{E_s}{\rho_u}} \quad \text{daraus folgt: } E_s = c^2 \cdot \rho_u \quad (\text{Gleichung 5})$$

$E_s$       Elastizitätsmodul aus Schallmessung in N/mm<sup>2</sup>  
 $c$         Schallgeschwindigkeit im Probenkörper in m/s  
 $\rho_u$       Rohdichte in g/cm<sup>3</sup>

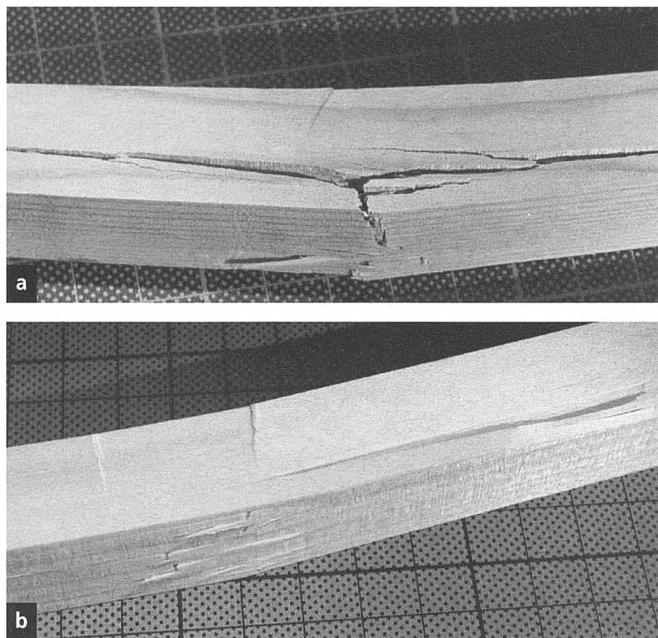
### 3. Versuchsergebnisse und Diskussion

#### 3.1 Rohdichte

Die Rohdichte der untersuchten Proben lag für Eibe bei 0,71 bis 0,75 g/cm<sup>3</sup>, für Fichte bei 0,42 bis 0,48 g/cm<sup>3</sup>. Die Werte liegen in dem aus der Literatur bekannten Bereich. Die Rohdichte ist bei Eibe um etwa 60% höher als bei Fichte.

#### 3.2 Statischer Biegeversuch

*Tabelle 2* sowie die *Abbildung 4* zeigen die Versuchsergebnisse bei statischer Biegebelastung. Die Biegefestigkeit der Eibe liegt deutlich über derjenigen der Fichte und auch deutlich höher als die in der Literatur beschriebenen Werte (siehe *Tabelle 1*). Der E-Modul für Eibe liegt mit 10 241 N/mm<sup>2</sup> dagegen etwas tiefer als jener der Fichte mit 11 582 N/mm<sup>2</sup>. Während der Wert für die Fichte mit den Literaturwerten gut übereinstimmt, gibt SELL (1997) für Eibe mit 15 700 N/mm<sup>2</sup> einen deutlich höheren und WAGENFÜHR (2000) mit 12 000 N/mm<sup>2</sup> einen leicht höheren Wert an. Die Arbeit bis zur Maximalkraft  $w_u$  ist bei der Eibe mit 202,1 kJ/m<sup>3</sup> um das 2,7-fache grösser als bei der Fichte mit 75,2 kJ/m<sup>3</sup>. Die Eibe weist eine



**Abbildung 4:** Bruchbilder von Eibe und Fichte im statischen Biegeversuch.

- a) Eibe: gut sichtbar sind die Scherisse in Richtung der Probenlängsachse.  
 b) Fichte.

*Figure 4:* Breakages of yew and spruce in the static bending test.

- a) Yew: the scissor cracks along the longitudinal axis of the sample are clearly visible.  
 b) Spruce.

**Tabelle 2:** Ergebnisse der Dreipunkt-Biegeprüfung.

*Table 2:* Results of a 3-point bending test.

Holzart	Holzfeuchte $u$ [%]	Rohdichte $\rho_N$ [g/cm <sup>3</sup> ]	E-Modul $E_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Arbeit bis zur Maximalkraft $w_u$ [kJ/m <sup>3</sup> ]	Biegefestigkeit $\sigma_{bb}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Eibe (n = 34)	$\bar{x}$ 12,8	0,71	10 241	202,1	123,8
	$s$	0,05	1 544	98,5	14,9
Fichte (n = 36)	$\bar{x}$ 12,8	0,42	11 582	75,2	83,1
	$s$	0,02	1 326	19,0	8,3

deutlich grössere Streuung der Messwerte auf als die Fichte. Die grosse Variabilität bei der Eibe dürfte auf den Faserverlauf zurückzuführen sein. Häufig traten geringe Abweichungen, meist lokale, von der Geradfasrigkeit auf, was sich auch im Bruchbild auswirkte. Diese Abweichungen beeinflussen erheblich das Ergebnis. Fichte war dagegen deutlich geradfasriger und homogener. Die Biegefestigkeit  $\sigma_{bb}$  ist bei der Eibe mit 123,8 N/mm<sup>2</sup> etwa 1,5 Mal grösser als bei Fichte mit 83,1 N/mm<sup>2</sup>. Die Bruchbilder der Biegeproben aus Eibe sind mehrheitlich glatt, d.h. ohne längere, herausstehende Fasern. Häufig sind kleinere Teile abgesplittert.

#### 3.3 Schlagzähigkeitsversuch

Die Resultate der Untersuchungen an den Schlagbiegeproben sind aus der *Tabelle 3* sowie den *Abbildungen 5* und *6* ersichtlich. Die Schlagzähigkeit der Eibe liegt wesentlich über derjenigen der Fichte. Die Werte liegen etwas unter den in der Literatur angegebenen Werten, was auf die reduzierten Probenabmessungen zurückzuführen sein dürfte (KOLLMANN 1951). Die Bruchbilder der beiden Holzarten unterscheiden sich deutlich voneinander. Die Bruchflächen der Fichtenproben sind alle mehr oder weniger fasrig. Dabei ist die Druckzone gut von der Zugzone unterscheidbar (*Abbildung 5*). Die Bruchbilder der Eibenproben zeigen eine grosse Variabilität. Der grösste Teil ist eher glatt gebrochen. Sehr zahlreich waren Scherisse entlang der Probenlängsachse (*Abbildung 6*), wie sie KOLLMANN (1951) beschreibt.

#### 3.4 Dynamischer E-Modul

Die Ergebnisse aus den Messungen der Schallgeschwindigkeit und der Eigenfrequenz sind in *Tabelle 4* zusammengestellt. Die aus der Schallgeschwindigkeit und der Masse errechneten E-Module sind deutlich höher als die im Dreipunkt-Biegeversuch bestimmten. Die Werte sind für Eibe um 33% und für Fichte um 29% höher. Die aus der Eigenfrequenz ermittelten Werte stimmen dagegen recht gut mit denjenigen aus dem Dreipunkt-Biegeversuch überein. HAINES & LEBAN (1997) haben für Fichte entsprechende Tendenzen festgestellt. Die dynamisch ermittelten E-Module korrelieren straff mit den im statischen Kurzzeitversuch bestimmten Werten (*Abbildung 7*).

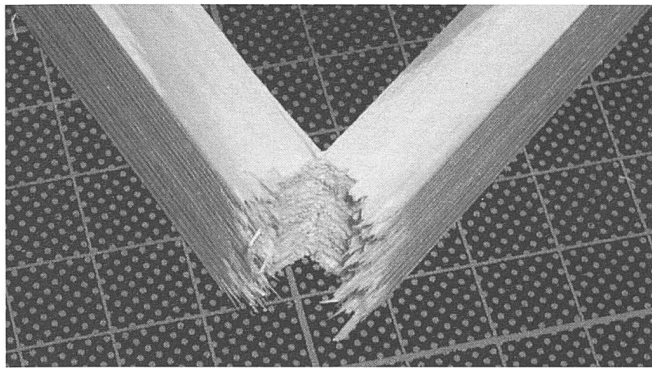
#### 3.5 Bruchzähigkeitsversuch (Rissart I)

*Tabelle 5* zeigt die ermittelten Kennwerte. Der Mittelwert der Bruchzähigkeit  $K_{IC}$  ist für Eibe doppelt so hoch wie für Fichte. Bei radialer Krafteinwirkung (RL-Proben) sind die Bruchzähigkeitswerte höher als bei tangentialer Einwirkung (TL-Proben). Dies lässt sich durch den verstärkenden Einfluss der Holzstrahlen erklären, auf die auch SCHEFFLER (2000) und LOGEMANN (1991) hinweisen.

**Tabelle 3:** Ergebnisse des Schlagbiegeversuchs.

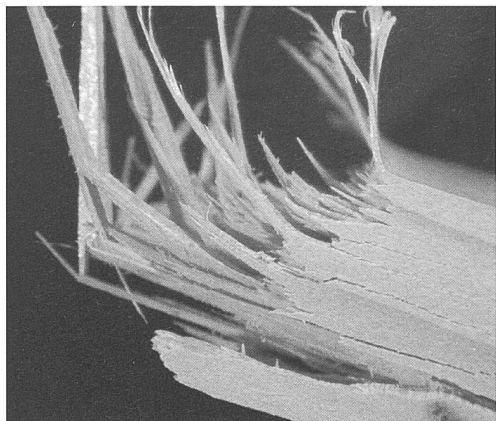
Table 3: Results of impact bending test.

Holzart		Holzfeuchte u [%]	Rohdichte ρ [g/cm <sup>3</sup> ]	Schlagzähigkeit a [kJ/m <sup>2</sup> ]
Eibe (n = 50)	$\bar{x}$	12,8	0,72	57,7
	s		0,07	26,9
Fichte (n = 60)	$\bar{x}$	12,1	0,48	36,1
	s		0,03	7,6



**Abbildung 5:** Typisches Bruchbild im Schlagbiegeversuch bei Fichte.

Figure 5: Typical breakage in spruce in impact bending.



**Abbildung 6:** Typisches Bruchbild im Schlagbiegeversuch von Eibe.

Figure 6: Typical breakage in yew in impact bending.

Bei den RL-Proben aus Fichte erfolgte das Versagen stets im Frühholz, also in den Zonen der niedrigsten Rohdichte. Die Bruchfläche folgt recht gut dem Faserverlauf. Die entstandene Oberfläche ist glatt (Abbildung 8a). Bei der Eibe schneidet die Bruchfläche infolge der schmaleren Jahrringe dagegen meistens ein bis drei Jahrringgrenzen (Abbildung 8b). Der Bruchverlauf der TL-Fichtenproben folgte meistens den Holzstrahlebenen und erzeugte so eine glatte Bruchfläche. Bei der Eibe ist der Bruchverlauf etwas unregelmässiger (Abbildung 9).

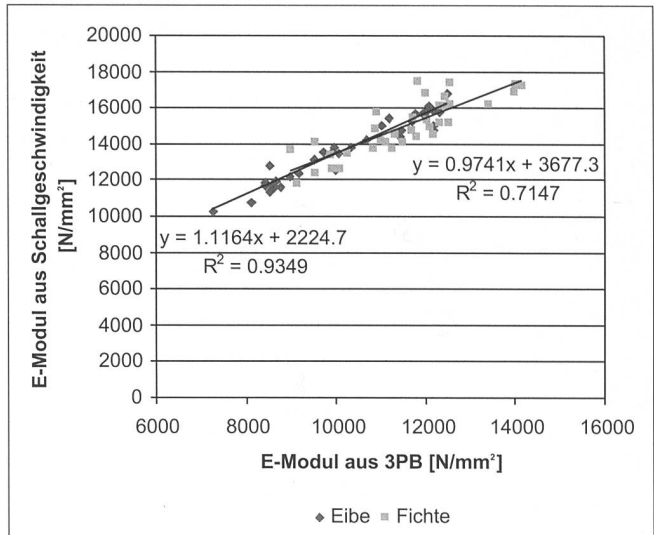
#### 4. Schlussfolgerungen

Die ermittelten mechanischen Eigenschaften der Eibe liegen in den aus bisherigen Publikationen bekannten Bereich. Die

Holzart		Schallgeschwindigkeit c [m/s]	E-Modul aus Schallgeschwindigkeit E <sub>s</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	E-Modul aus Eigenfrequenz E <sub>b,G</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	E-Modul aus 3-Punkt-Biegung E <sub>b</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]
Eibe (n = 34)	$\bar{x}$	4 381	13 657	10 483	10 241
	s	364	1 783	1 590	1 544
Fichte (n = 36)	$\bar{x}$	5 933	14 958	11 735	11 582
	s	188	1 527	1 304	1 326

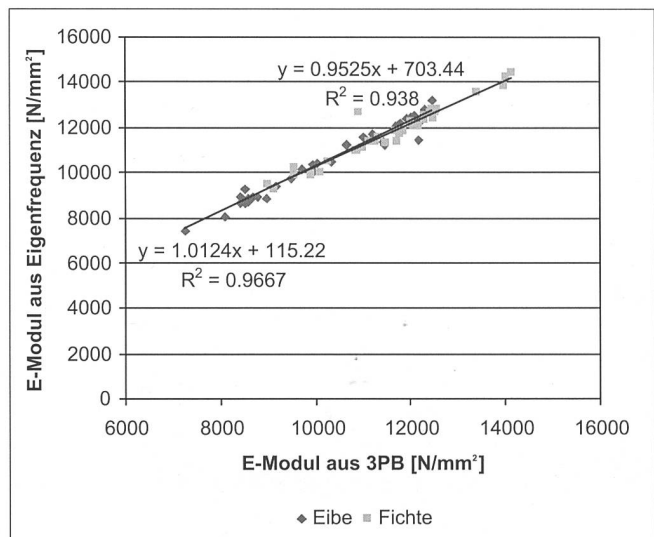
**Tabelle 4:** E-Modul bestimmt aus Schallgeschwindigkeit, Eigenfrequenz und mit Dreipunkt-Biegung nach DIN.

Table 4: MOE determined by ultrasound, eigenfrequency and with 3-point bending according to DIN.



**Abbildung 7a:** Korrelation zwischen dem E-Modul aus der Biegeprüfung (3PB) und dem E-Modul gemessen aus der Schallgeschwindigkeit.

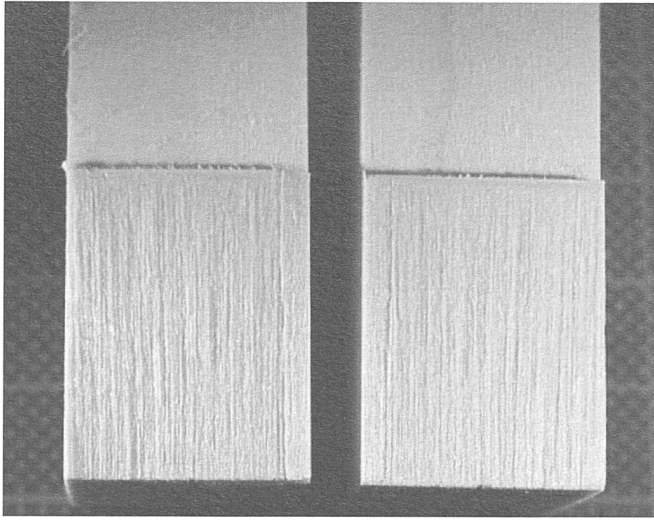
Figure 7a: Correlation of the MOE from the bending test (3PB) and the MOE measured with ultrasound.



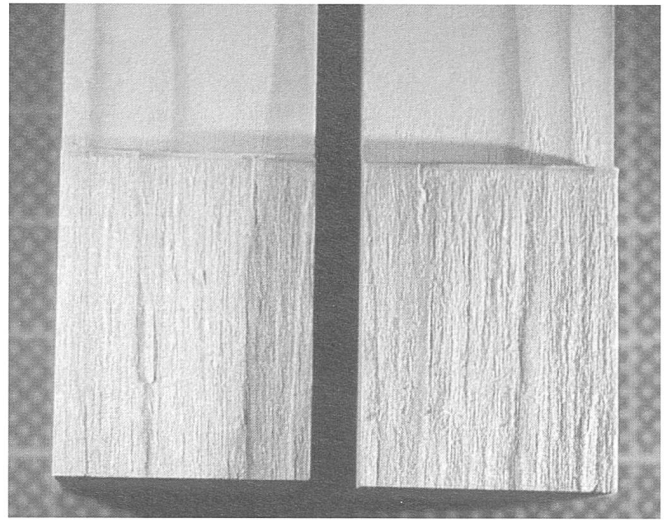
**Abbildung 7b:** Korrelation zwischen dem E-Modul aus der Biegeprüfung (3PB) und dem E-Modul aus der Eigenfrequenz.

Figure 7b: Correlation of the MOE from the bending test (3PB) and the MOE with own frequency.

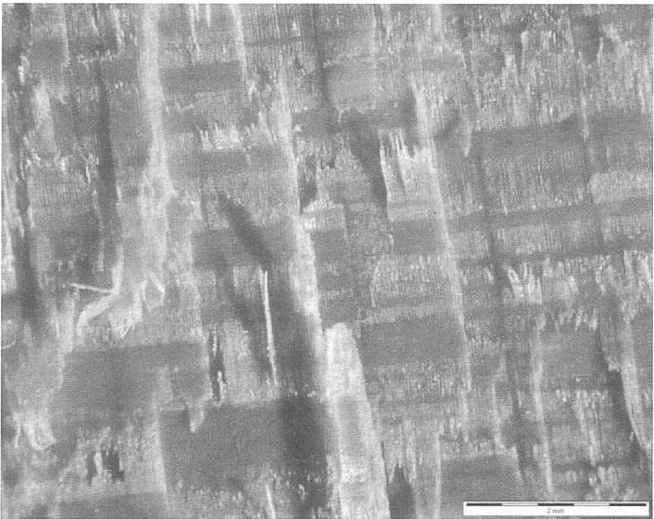
Brucharbeit im statischen Biegeversuch, die Bruchzähigkeit  $K_{IC}$  und auch die mittels Pendelschlagwerk bestimmte Schlagzähigkeit sind bei Eibe deutlich höher als bei Fichte. Gerade durch das extrem zähe und hochelastische Verhalten des Eibenholzes würde sich eine Übertragung des strukturellen Aufbaus auf andere Baustoffe wie faserverstärkte Kunststoffe oder auch Baustoffe auf Zementbasis anbieten. Durch weitergehende Arbeiten sollten die strukturellen Ursachen dieser im Vergleich zur Rohdichte höheren Zähigkeit des Eibenholzes untersucht werden.



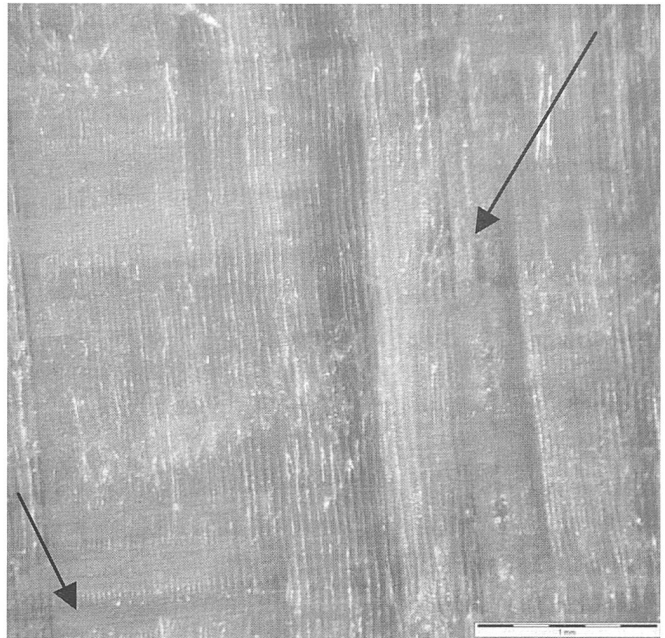
**Abbildung 8a:** Bruchfläche einer RL-Probe aus Fichte. Die Oberfläche erscheint glatter als bei der Eibe.  
*Figure 8a:* Breakage surface of an RL spruce sample. The surface is smoother than the yew.



**Abbildung 8b:** Bruchfläche einer RL-Probe aus Eibe. Die Oberfläche erscheint eher unruhig. Gut sichtbar sind die Jahringrenzen (dunkle Stellen).  
*Figure 8b:* Breakage surface of an RL yew sample. The surface appears to be rather uneven. The ring boundaries are clearly visible (dark spots).



**Abbildung 9a:** Vergrösserte Bruchfläche einer TL-Probe aus Eibe. Gut sichtbar sind die verschiedenen Holzstrahlebenen. Dazwischen wurden teilweise ganze Faserbündel herausgerissen. Messbalken: 2 mm.  
*Figure 9a:* Magnified breakage surface of a TL yew sample. The different wood ray levels are visible. Bundles of fibres have been torn out in parts. Beam measurement: 2 mm.



**Abbildung 9b:** Vergrösserte Bruchfläche einer TL-Probe aus Fichte. Die relativ glatte Oberfläche verläuft entlang der Holzstrahlebenen. Es sind zwei Harzkanäle sichtbar, welche der Länge nach aufgerissen wurden (Pfeile). Messbalken: 1 mm.  
*Figure 9b:* Magnified breakage surface of a TL spruce sample. The relatively smooth surface lies along the wood ray levels. Two resin canals are visible that have been torn open longitudinally (arrows). Beam measurement: 1 mm.

**Tabelle 5:** Bruchzähigkeit für die verschiedenen Belastungsrichtungen.  
*Table 5:* Fracture toughness for different stress directions.

Holzart	Holzfeuchte u [%]	Rohdichte $\rho_N$ [g/cm <sup>3</sup> ]	Bruchzähigkeit $K_{Ic}$ [MPa√m]
Eibe RL (n = 39)	13,2	0,75	0,56
s	0,5	0,05	0,14
Fichte RL (n = 40)	12,1	0,42	0,37
s	0,3	0,02	0,05
Eibe TL (n = 43)	12,9	0,71	0,46
s	0,3	0,07	0,12
Fichte TL (n = 49)	12,2	0,42	0,23
s	0,3	0,03	0,02

## Zusammenfassung

Das Holz der Eibe (*Taxus baccata* L.) mit seiner hohen Dichte ist seit langem wegen seiner grossen Festigkeit und Zähigkeit bekannt. Kennwerte zu einzelnen mechanischen Eigenschaften sind nur in geringem Ausmass vorhanden. Ziel der Arbeit war es daher, ausgewählte elastomechanische Eigenschaften von Eibenholz und vergleichsweise dazu von Fichtenholz (*Picea abies* (L.) Karsten) zu untersuchen. Geprüft wurden E-Modul,

Biegefestigkeit, dynamische E-Module berechnet aus Schallgeschwindigkeit und Eigenfrequenz, Bruchzähigkeit  $K_{IC}$  und Schlagzähigkeit. Der Mittelwert der Biegefestigkeit ist bei Eibe anderthalbmal so gross wie bei Fichte. Die im Biegeversuch ermittelte Arbeit bis zur Maximalkraft ist für die Eibe verglichen mit der Fichte mehr als doppelt so hoch. Auch die Schlagzähigkeit ist bei Eibe deutlich grösser, die Bruchzähigkeit zweimal so gross wie bei Fichte, Die Werte des mittels Schallgeschwindigkeit und Eigenfrequenz ermittelten E-Moduls liegen im bekannten Rahmen.

## Résumé

### Examen comparatif de propriétés mécaniques choisies des bois d'if et d'épicéa

Le bois de l'if (*Taxus baccata* L.) avec sa haute densité est connu depuis longtemps déjà à cause de sa grande résistance mécanique et de sa ténacité. Les données au sujet des différentes propriétés mécaniques sont peu nombreuses. Le but de ce travail était d'examiner certaines propriétés élastomécaniques choisies du bois d'if et de les comparer à celles du bois d'épicéa (*Picea abies* (L.) Karsten). Nous avons examiné le module d'élasticité, la résistance à la flexion, les modules d'élasticité dynamiques calculés d'après la vitesse du son et la fréquence propre, la ténacité à la cassure  $K_{IC}$  et au choc. La valeur moyenne de la résistance à la flexion du bois d'if est une fois et demi plus élevée que celle du bois d'épicéa. Le travail déterminé lors de l'essai sur la flexion poussé à sa force maximale est de plus du double pour l'if que pour l'épicéa. La ténacité au choc est également sensiblement plus élevée chez l'if que chez l'épicéa et la ténacité à la cassure est deux fois plus élevée chez l'if. Les valeurs du module d'élasticité déterminé par la vitesse du son et la fréquence propre sont dans l'ordre de grandeur connu.

Traduction: STÉPHANE CROPTIER

## Summary

### Comparative studies on selected mechanical properties of yew and spruce

The wood of the yew (*Taxus baccata* L.) with its high density has long been known for its toughness and its strength. However, there are only a few reference values for the individual mechanical properties. The aim of this work therefore was to determine selected elastomechanical properties of yew wood and compare them to the properties of spruce wood (*Picea abies* (L.) Karsten). The properties examined were: modulus of elasticity, bending strength, dynamic moduli of elasticity calculated from sound velocity and resonance frequency, fracture toughness  $K_{IC}$  and impact bending strength. The mean bending strength of yew wood is one and a half times higher than that of spruce wood. The work to ultimate load of yew wood which was determined by the bending test was more than twice as high in comparison to the work to ultimate load of spruce wood. The impact bending strength of yew wood is also significantly higher and the fracture toughness is twice as high compared to the corresponding values for spruce wood. The values for the modulus of elasticity, which was determined by sound velocity and resonance frequency, are within known scope.

Translation: FRANZISKA HARDMEIER

## Literatur

- ALDEN, H.A. 1997: Softwoods in North America. Forest Products Laboratory 102, Madison.
- BODIG, J.; JAYNE, B. 1982: Mechanics of Wood and Wood Composites. Van Nostrand Reinhold Company, New York, 712 S.
- GÖRLACHER, R. 1984: Ein neues Verfahren zur Bestimmung des Elastizitätsmoduls von Holz. Holz als Roh- und Werkstoff 42: 219–222.
- HAINES, D.; LEBAN, J.-M. 1997: Evaluation of the MOE of Norway Spruce by the Resonance Flexure Method. Forest Products Journal 47: 91–93.
- HOLZ-LEXIKON 2003: völlig neu bearbeitet von U. Lohmann unter Mitwirkung von M. Blosen *et al.*, 4. Auflage, DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen, 2 Bände.
- KEYLWERTH, R. 1951: Die anisotrope Elastizität des Holzes und der Lagenhölzer. VDI-Forschungsheft 430, Deutscher Ingenieur-Verlag, Düsseldorf, 40 S.
- KOLLMANN, F. 1951: Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. Band 1, 2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, 1050 S.
- KUČERA, L. 1998: Das Holz der Eibe. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 149, 5: 328–339.
- LOGEMANN, M. 1991: Abschätzung der Tragfähigkeit von Holzbauteilen mit Ausklinkungen und Durchbrüchen. Dissertation, Universität Hannover, Fortschritt-Berichte VDI; Reihe 4, Bauingenieurwesen, Nr. 102, VDI-Verlag, Düsseldorf, 245 S.
- LOGEMANN, M.; SCHELLING, W. 1992: Die Bruchzähigkeit der Fichte und ihre wesentlichen Einflussparameter. Untersuchungen in Mode-I. Holz als Roh- und Werkstoff 50: 47–52.
- NIEMZ, P. 1993: Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe. DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen, 243 S.
- NIEMZ, P. 2003: Schallausbreitung in Holz und Holzwerkstoffen. Holz-Zentralblatt 102: 1470–1471.
- PERSSON, K. 2000: Micromechanical Modeling of Wood. PHD Thesis, Lunds University.
- SCHEFFLER, M. 2000: Bruchmechanische Untersuchungen zur Trocknungsrissebildung an Laubholz. Dissertation, TU Dresden, 121 S.
- SELL, J. 1997: Eigenschaften und Kenngrößen von Holzarten. 4. Auflage, Baufachverlag, Lignum, Zürich, 87 S.
- VALENTIN, G.H.; BOSTRÖM, L.; GUSTAFSSON, P.J. 1991: Application of fracture mechanics to timber structures state of art report. Espoo VTT Report No. 1262.
- VORREITER, L. 1949: Holztechnologisches Handbuch. Band 1, Georg Fromme, Wien, 548 S.
- WAGENFUHR, R. 2000: Holzatlas. 5. Auflage, Fachbuchverlag, Leipzig, 707 S.

## Autoren

- CHRISTOPH MÄRKI, Dipl. Forsting, ETH, ETH Zürich, Institut für Baustoffe (IfB), Holzphysik, Schafmattstrasse 6, 8093 Zürich.  
Prof. Dr.-Ing. habil. PETER NIEMZ, ETH Zürich, Institut für Baustoffe (IfB), Holzphysik, Schafmattstrasse 6, 8093 Zürich.  
E-Mail: niemz@ifb.baug.ethz.ch.
- DAVID MANNES, Dipl. Forstwirt, ETH Zürich, Institut für Baustoffe, Holzphysik, Schafmattstrasse 6, 8093 Zürich.