

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

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 155 (2004)

Heft: 1

Artikel: Untersuchungen zum Einfluss der Holzfeuchtigkeit auf das Bruchverhalten von Fichte bei Zugbelastung in Faserrichtung

Autor: Szalai, Jozsef / Andor, Krisztian / Bariska, Mihaly / Howald, Martin T.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1098090>

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: 12.04.2026

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

Untersuchungen zum Einfluss der Holzfeuchtigkeit auf das Bruchverhalten von Fichte bei Zugbelastung in Faserrichtung

JOZSEF SZALAI, PETER NIEMZ, KRISZTIAN ANDOR, MIHALY BARISKA und MARTIN T. HOWALD

Keywords: Tension strength; Norway spruce; moisture content; fracture morphology; brittle fracture and plastic failure; frequency distribution. FDK 812 : 847

Abstract: The influence of wood moisture content on the fracture behaviour of Norway spruce was investigated. The tensile strength rose to around 10% in samples with a lower moisture content. After reaching the maximum below the level of fibre saturation, it falls back, almost linearly. Irrespective of the moisture content, a rigid fracture behaviour was observed.

Abstract: Untersucht wurde der Einfluss der Holzfeuchtigkeit auf das Bruchverhalten von Fichtenholz. Im unteren Feuchtebereich stieg die Zugfestigkeit bis zu etwa 10% zunächst an und fiel nach Erreichen des Maximums unterhalb des Fasersättigungsbereiches etwa linear ab. Unabhängig von der Feuchtigkeit dominierte ein sprödes Bruchverhalten.

1. Einleitung

Es sollte der Einfluss der Holzfeuchtigkeit auf das Bruchverhalten von Fichtenholz untersucht werden. Bekannt ist, dass sich Holz bei Erhöhung der Feuchtigkeit und insbesondere der Temperatur zunehmend plastischer verformen lässt. Dieser Effekt wird unter anderem beim Biegen des Holzes genutzt.

Folgende Begriffe sollen kurz definiert werden:

- Spröder Bruch: Der Bruch erfolgt eher schlagartig ohne vorherige plastische Gestaltsänderung. Das Spannungs-Dehnungs-Diagramm hat bis zum Bruch einen meist linearen Verlauf.
- Zäher Bruch: Der elastischen Gestaltsänderung schliesst sich eine relativ grosse plastische Deformation an, bevor der Bruch eintritt.

WEIBULL (1939) sowie KONTOROVA & FRENKEL (1941) entwickelten eine Theorie über das Festigkeitsverhalten von homogenen, isotropen Werkstoffen, die ein sprödes Bruchverhalten aufweisen. Die Theorie besagt, dass das Material dann bricht, wenn die Spannung in mindestens einem Abschnitt größer als die Bruchfestigkeit ist. Die Theorie wurde für anisotrope Werkstoffe weiterentwickelt (MISTÉTH 1979; SZALAI 1994, 1996). Die Untersuchung baut auf der These auf, dass sich die Häufigkeitsverteilung der Zugfestigkeit eines spröden Materials mit der Weibull-Häufigkeitsverteilung am besten beschreiben lässt.

Für zähe (elastisch-plastische) Werkstoffe hat KORDA (1971, 1972) einen – auch theoretisch unterstützten – Vorschlag entwickelt. Weist das Material plastische Eigenschaften auf, erfolgt der Bruch, wenn die Gesamtdeformation die Bruchdehnung überschreitet. In diesem Fall gilt eine Integralgleichung für die Häufigkeitsfunktion der Festigkeit. Eine partikuläre Lösung für die Bruchfestigkeit ist die Pearson-III-Verteilung (PLATE 1993).

Auf mikroskopischer Ebene (Prüfung im Rasterelektronenmikroskop) führten BODNER *et al.* (1975, 1976) Untersuchungen durch. Sie studierten phänomenologisch die Rissausbildung und das Risswachstum.

2. Versuchsmaterial und Methodik

Für die Versuchsreihe wurden Zugstäbe aus Fichtenholz aus Ungarn mit einer Darrdichte 310 kg/m^3 (Mittelwert) herge-

stellt. Die Proben entstammten aus Brettern (jeweils Riftschnitt), die aus verschiedenen Stämmen entnommen wurden, um eine grosse Streuung der Messwerte zu erreichen. Die Dichte ist vergleichsweise gering, sie liegt im unteren Bereich der von WAGENFÜHR & SCHEIBER (1989) angegebenen Werte ($300 \dots 430 \dots 640 \text{ kg/m}^3$). Das Holz war extrem breitringig. Die Prüfung erfolgte an Prüfkörpern gemäss *Abbildung 1*. Die Prüfkörper wichen von der DIN 52188 ab. Geprüft wurde bei einer Holzfeuchte von 7%, 10,1%, 12,5%, 20,2%, 24,2% und etwa 30%. Die jeweilige Holzfeuchte wurde an den ausgeformten Proben durch Lagerung in einer Klimakammer eingestellt. Die Feuchte von 30% (nahe Fasersättigungspunkt) wurde durch Wasserlagerung und anschliessendes Trocken bei 95% relativer Luftfeuchte (vor Erreichen der Gleichgewichtsfeuchte aus dem Klimaschrank entnommen) eingestellt.

Die folgenden statistischen Kennzahlen wurden bestimmt: Mittelwert, Standardabweichung, Variationskoeffizient, Schiefe und Kurtosis. Die aus den Daten berechnete Häufigkeitsverteilung der Festigkeit wurde mit den vier Verteilungsformen – Normalverteilung, Lognormalverteilung, Pearson-III-Verteilung und Weibull-Verteilung – ausgeglichen. Mittels dem Chi-Quadrat-Test wurde die Anpassung der experimen-

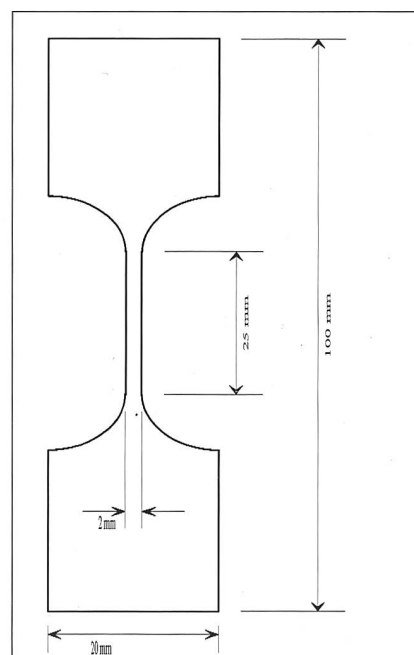


Abbildung 1: Zugprobe.

Figure 1: Tensile test specimen.

Kenngrösse	Holzfeuchte in %					
	6,97	10,08	12,52	20,16	24,52	30,00
Probenanzahl	270	270	300	270	270	173
Mittelwert (N/mm ²)	46,85	51,26	49,61	39,67	37,82	33,53
Standardabweichung (N/mm ²)	11,91	13,91	17,00	9,85	14,17	10,87
Variationskoeffizient (%)	25,42	27,14	34,26	24,83	37,46	32,42

Tabelle 1: Versuchsübersicht und statistische Kennwerte.

Table 1: Experimental design and basic statistics.

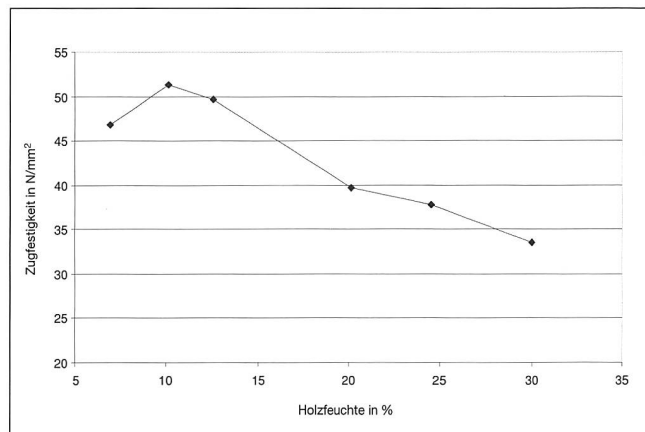


Abbildung 2: Einfluss der Holzfeuchtigkeit auf die Zugfestigkeit in Faserrichtung (Mittelwerte).

Figure 2: The influence of moisture content on the tensile strength of wood in the grain direction (mean values).

tellen Ergebnisse an die genannten Verteilungen geprüft. Folgende Verteilungen wurden getestet:

- Normalverteilung
- Dreiparametrische Lognormalverteilung
- Dreiparametrische Pearson-III-Verteilung
- Dreiparametrische Weibull-Verteilung

Tabelle 2: Berechnete Parameter der Verteilungsfunktionen.

Table 2: Parameters of the frequency distributions as calculated from the measured data.

	Verteilungsparameter u = 6,92%	Verteilungsparameter u = 10,08%	Verteilungsparameter u = 12,52%	Verteilungsparameter u = 20,16%	Verteilungsparameter u = 24,52%	Verteilungsparameter u = 30%
Lognormal	$x_0 = -187,40$	$x_0 = -345,90$	$x_0 = -20,40$	$x_0 = -41,80$	$x_0 = -28,13$	$x_0 = -86,77$
	$\mu_1 = 5,46$	$\mu_1 = 5,98$	$\mu_1 = 4,22$	$\mu_1 = 4,39$	$\mu_1 = 4,17$	$\mu_1 = 4,79$
	$\mu_2 = 0,00$	$\mu_2 = 0,00$	$\mu_2 = 0,06$	$\mu_2 = 0,01$	$\mu_2 = 0,05$	$\mu_2 = 0,01$
	a = 46,85	a = 51,26	a = 49,61	a = 39,67	a = 37,82	a = 33,53
	s = 11,91	s = 13,91	s = 17,00	s = 9,85	s = 14,17	s = 10,87
	v = 0,25	v = 0,27	v = 0,34	v = 0,25	v = 0,37	v = 0,32
	f = 0,15	f = 0,11	f = 0,74	f = 0,36	f = 0,65	f = 0,27
c = 0,04	c = 0,02	c = 1,00	c = 0,24	c = 0,77	c = 0,13	
Pearson III	$x_0 = -109,18$	$x_0 = -213,41$	$x_0 = 3,83$	$x_0 = -14,38$	$x_0 = -5,48$	$x_0 = -46,45$
	$\lambda(p) = 1,10$	$\lambda(p) = 1,37$	$\lambda(p) = 0,16$	$\lambda(p) = 0,56$	$\lambda(p) = 0,22$	$\lambda(p) = 0,68$
	$r(p) = 171,62$	$r(p) = 361,91$	$r(p) = 7,25$	$r(p) = 30,12$	$r(p) = 9,34$	$r(p) = 54,12$
	a = 46,85	a = 51,26	a = 49,61	a = 39,67	a = 37,82	a = 33,53
	s = 11,91	s = 13,91	s = 17,00	s = 9,85	s = 14,17	s = 10,87
	v = 0,25	v = 0,27	v = 0,34	v = 0,25	v = 0,37	v = 0,32
	f = 0,15	f = 0,11	f = 0,74	f = 0,36	f = 0,65	f = 0,27
c = 0,03	c = 0,02	c = 0,83	c = 0,20	c = 0,64	c = 0,11	
Weibull	$x_0 = 13,61$	$x_0 = 10,65$	$x_0 = 19,37$	$x_0 = 16,76$	$x_0 = 11,14$	$x_0 = 6,24$
	$\lambda(w) = 0,03$	$\lambda(w) = 0,02$	$\lambda(w) = 0,03$	$\lambda(w) = 0,04$	$\lambda(w) = 0,03$	$\lambda(w) = 0,03$
	$r(w) = 3,05$	$r(w) = 3,20$	$r(w) = 1,85$	$r(w) = 2,49$	$r(w) = 1,97$	$r(w) = 2,71$
	a = 46,85	a = 51,26	a = 49,61	a = 39,67	a = 37,82	a = 33,53
	s = 11,91	s = 13,91	s = 17,00	s = 9,85	s = 14,17	s = 10,87
	v = 0,25	v = 0,27	v = 0,34	v = 0,25	v = 0,37	v = 0,32
	f = 0,15	f = 0,11	f = 0,74	f = 0,36	f = 0,65	f = 0,27
c = -0,28	c = -0,29	c = 0,47	c = -0,14	c = 0,29	c = -0,22	

x_0 – Positionsparameter,
 $\mu_1, \lambda(p), \lambda(w)$ – Skalierungsparameter,
 $\mu_2, r(p), r(w)$ – Formparameter,

a – Mittelwert,
s – Streuung,
v – Variationskoeffizient,

f – Schiefe,
c – Kurtosis.

Die Bruchversuche selbst wurden mit einer Universalprüfmaschine, Bauart Zwick Z100, vorgenommen. Die Belastungsgeschwindigkeit wurde dabei so eingestellt, dass der Bruch nach etwa 1,5 Minuten eintrat.

3. Versuchsergebnisse

Tabelle 1 zeigt die statistischen Kennzahlen in Abhängigkeit von der Holzfeuchte und Abbildung 2 den Einfluss der Holzfeuchte auf die Zugfestigkeit. Die in der Literatur (Gaber, Graf und Küch, zitiert in KOLLMANN 1951) beschriebene Erscheinung, dass die Zugfestigkeit bei 8 bis 12% Feuchtigkeitsgehalt ein Maximum aufweist, wird auch bei den vorliegenden Ergebnissen beobachtet. Kollmann gibt dafür zwei mögliche Erklärungen:

- im sehr trockenen Zustand sind Eigenspannungen vorhanden, welche die totale Last erhöhen,
- im sehr trockenen Zustand verliert das Holz an plastischer Verformungsfähigkeit, wodurch die Kerbspannungen nicht abgebaut werden können.

SKAAR (1972) nennt als dritte Erklärung, dass bei sehr niedriger Holzfeuchte elektrostatische Bindungen zwischen den Makromolekülen entstehen, die die Materialfestigkeiten erhöhen. Möglich wäre auch eine weitere Erklärung, dass die Zahl und die Länge der Risse in sehr trockenem Holz zunimmt,

Tabelle 3: Parameter der Anpassung der Funktion.

Table 3: Parameters of the fitted distributions.

Holzfeuchte %	Normalverteilung	Lognormalverteilung	Pearson-III-Verteilung	Weibull-Verteilung
7,0	Chi-Quadrat = 6,53 $\alpha = 0,05, m = 7$ $\alpha = 0,48$	Chi-Quadrat = 4,86 $\alpha = 0,05, m = 6$ $\alpha = 0,56$	Chi-Quadrat = 5,25 $\alpha = 0,05, m = 6$ $\alpha = 0,51$	Chi-Quadrat = 3,84 $\alpha = 0,05, m = 6$ $\alpha = 0,70$
10,1	Chi-Quadrat = 7,06 $\alpha = 0,05, m = 7$ $\alpha = 0,42$	Chi-Quadrat = 6,41 $\alpha = 0,05, m = 6$ $\alpha = 0,38$	Chi-Quadrat = 7,06 $\alpha = 0,05, m = 6$ $\alpha = 0,32$	Chi-Quadrat = 4,99 $\alpha = 0,05, m = 6$ $\alpha = 0,54$
12,5	Chi-Quadrat = 560,14 $\alpha = 0,05, m = 7$ $\alpha = 0,00$	Chi-Quadrat = 12,77 $\alpha = 0,05, m = 6$ $\alpha = 0,05$	Chi-Quadrat = 13,86 $\alpha = 0,05, m = 6$ $\alpha = 0,03$	Chi-Quadrat = 14,75 $\alpha = 0,05, m = 6$ $\alpha = 0,02$
20,2	Chi-Quadrat = 11,20 $\alpha = 0,05, m = 7$ $\alpha = 0,13$	Chi-Quadrat = 3,76 $\alpha = 0,05, m = 6$ $\alpha = 0,71$	Chi-Quadrat = 5,39 $\alpha = 0,05, m = 6$ $\alpha = 0,50$	Chi-Quadrat = 5,46 $\alpha = 0,05, m = 6$ $\alpha = 0,49$
24,5	Chi-Quadrat = 45,58 $\alpha = 0,05, m = 7$ $\alpha = 0,00$	Chi-Quadrat = 21,19 $\alpha = 0,05, m = 6$ $\alpha = 0,00$	Chi-Quadrat = 18,88 $\alpha = 0,05, m = 6$ $\alpha = 0,00$	Chi-Quadrat = 14,00 $\alpha = 0,05, m = 6$ $\alpha = 0,02$
30,0	Chi-Quadrat = 9,24 $\alpha = 0,05, m = 7$ $\alpha = 0,24$	Chi-Quadrat = 7,19 $\alpha = 0,05, m = 6$ $\alpha = 0,30$	Chi-Quadrat = 7,23 $\alpha = 0,05, m = 6$ $\alpha = 0,30$	Chi-Quadrat = 4,62 $\alpha = 0,05, m = 6$ $\alpha = 0,59$

α = Signifikanzniveau
m = Freiheitsgrad

wodurch die Zugfestigkeit kleiner wird. Mit hoher Wahrscheinlichkeit spielen alle diese Faktoren eine komplexe Rolle.

Tabelle 2 zeigt die drei Parameter der theoretischen Verteilungen und die aus den Daten berechneten Verteilungen sowie die statistischen Kennzahlen der Stichproben.

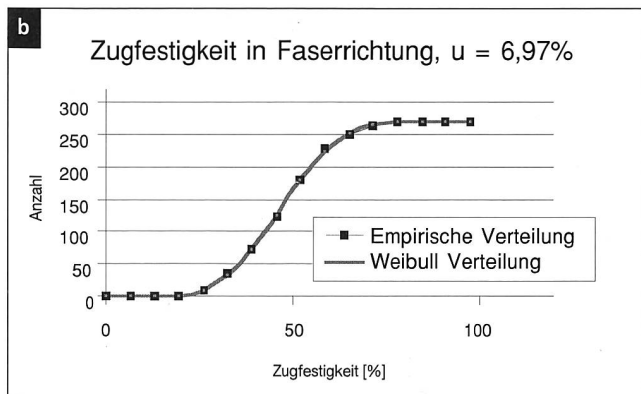
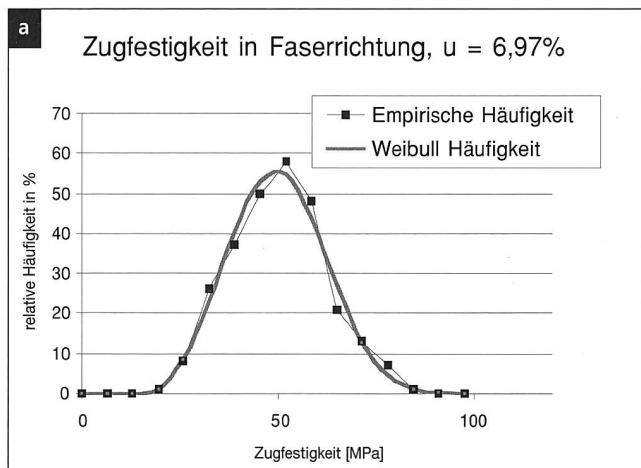


Abbildung 3: Häufigkeitsverteilung der Zugfestigkeit bei 6,97% Holzfeuchte.

- a) relative Häufigkeit
- b) kumulative Häufigkeit

Figure 3: Frequency distribution of the tensile strength of wood at 6,97% moisture content.

- a) relative values
- b) cumulative values

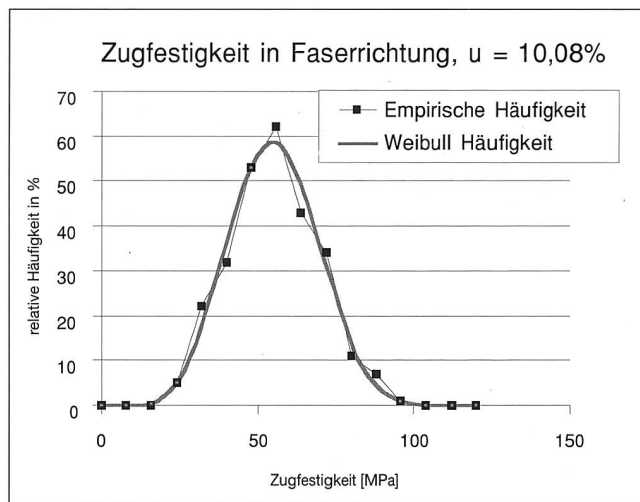


Abbildung 4: Relative Häufigkeit der Zugfestigkeit bei 10,08% Holzfeuchte.

Figure 4: Relative frequency distribution of the tensile strength of wood at 10,08% moisture content.

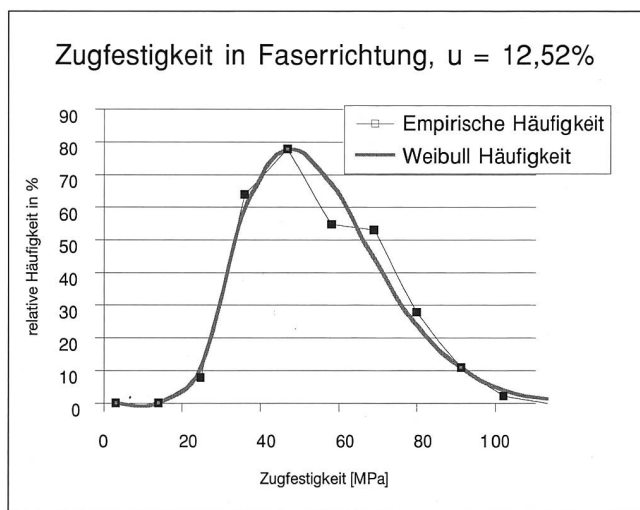


Abbildung 5: Relative Häufigkeit der Zugfestigkeit bei 12,52% Holzfeuchte.

Figure 5: Relative frequency distribution of the tensile strength of wood at 12,52% moisture content.

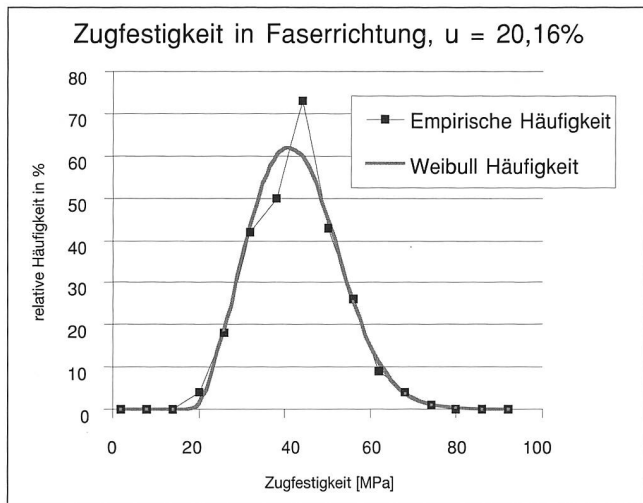


Abbildung 6: Relative Häufigkeit der Zugfestigkeit bei 20,16% Holzfeuchte.
Figure 6: Relative frequency distribution of the tensile strength of wood at 20,16% moisture content.

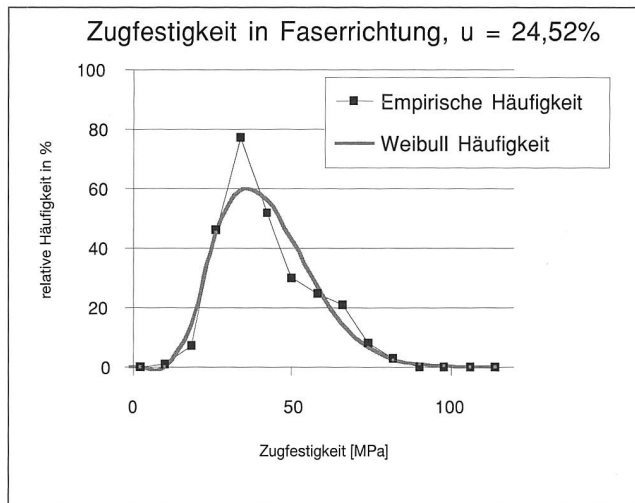


Abbildung 7: Relative Häufigkeit der Zugfestigkeit bei 24,52% Holzfeuchte.
Figure 7: Relative frequency distribution of the tensile strength of wood at 24,52% moisture content.

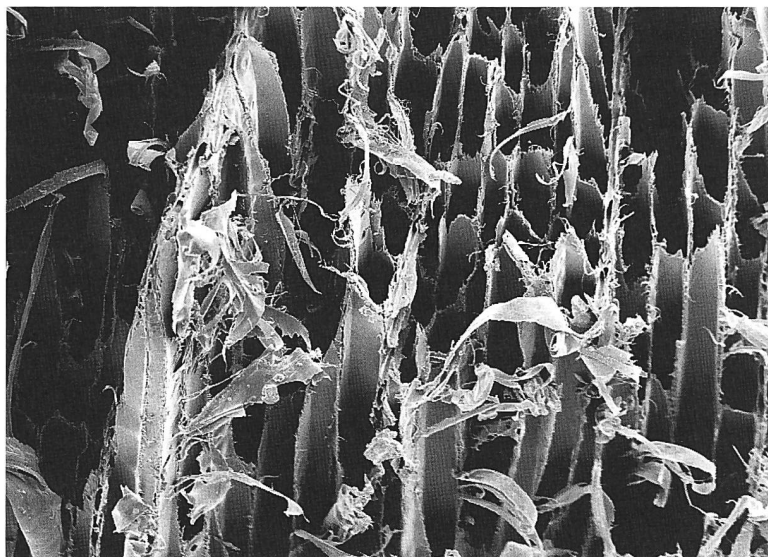


Abbildung 8: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme des Bruchbildes von Fichte, 6,97% Holzfeuchte.
Figure 8: Scanning electron microscope image of the fracture surface of Norway spruce, as tested at 6,97% moisture content.

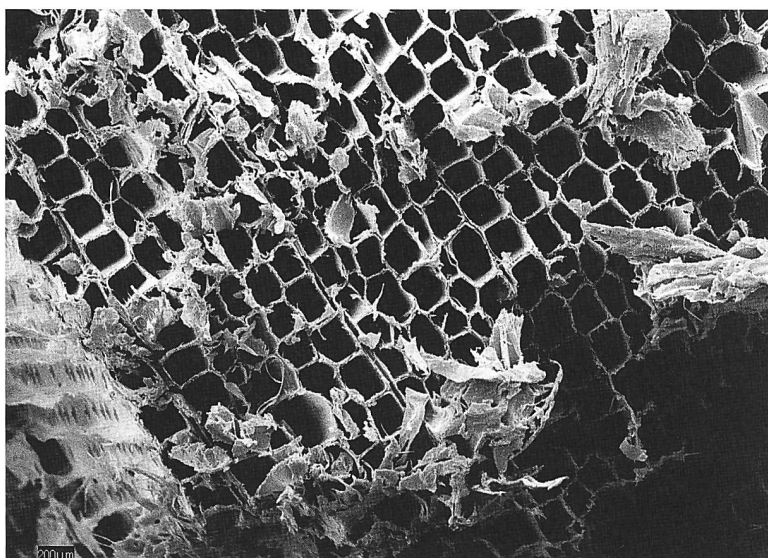


Abbildung 9: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme des Bruchbildes von Fichte, 12,5% Holzfeuchte.
Figure 9: Scanning electron microscope image of the fracture surface of Norway spruce, as tested at 12,5% moisture content.

Für die Messdaten wurde die geeignete Häufigkeitsverteilung errechnet. Anschliessend wurde geprüft, ob die Stichprobe aus einer Grundgesamtheit mit einer charakteristischen Wahrscheinlichkeitsverteilung entnommen sein könnte. Dazu wurde der Chi-Quadrat Test herangezogen. *Tabelle 3* zeigt die Ergebnisse. In jeweils einer Zelle befinden sich drei Zahlen. Die obere Zahl ist der berechnete Chi-Quadrat-Testwert, die mittlere der Chi-Quadrat-Tabellenwert mit Signifikanzniveau $\alpha = 5\%$. Die untere Zahl zeigt das Signifikanzniveau, bei dem der Testwert und der Tabellenwert übereinstimmen. Je grösser dieses Signifikanzniveau ist, desto wahrscheinlicher ist, dass die Elemente der Stichprobe aus der Grundgesamtheit mit der entsprechenden Wahrscheinlichkeitsfunktion stammen. Die Verteilungen mit der besten Anpassung wurden in *Tabelle 3* mit fetter Schrift gekennzeichnet.

Wie aus *Tabelle 3* zu erkennen ist, hat in vier von sechs Fällen die Weibull-Verteilung die beste Anpassung. In den anderen Fällen hat die lognormale Verteilung die beste, die Pearson-III-Verteilung und die Weibull-Verteilung zusammen die zweitbeste Anpassung. Beide Verteilungen haben eine starke Ähnlichkeit. Die in den *Abbildungen 3* bis *7* dargestellten Verteilungsformen bedeuten, dass das Holz unabhängig von seinem Feuchtegehalt bei Zuglast stets spröde bricht. Die Holzfeuchte beeinflusst die Zugfestigkeit, ändert aber nicht die Art des Bruches. Auch die rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen (*Abbildungen 8* und *9*) zeigen diese Bruchmorphologie. Typisch sind für die spröden Brüche die langen Risse in den Zellwänden, welche den submikroskopischen Strukturgrenzen folgen.

Offensichtlich spielt der Feuchtegehalt im Holz beim Bruchverhalten unter Zugbelastung keine so bedeutende Rolle. Das Bruchverhalten des Holzes wird jedoch wesentlich geändert, wenn die Zunahme des Wassergehaltes von einer Erhöhung der Temperatur begleitet wird. Arbeiten von BARISKA (1996) und BARISKA & KUCERA (1985) im mikroskopischen Bereich bestätigen diese Ergebnisse.

Zusammenfassung

Die Zugfestigkeit in Faserrichtung wurde an jeweils etwa 300 Proben aus Fichte bei variabler Holzfeuchte geprüft. Ermittelt wurde der Einfluss der Holzfeuchte auf die Zugfestigkeit und die Häufigkeitsverteilung der Zugfestigkeit. Es sollte geprüft werden, ob sich das Bruchverhalten bei Erhöhung der Holzfeuchte verändert. Die Verteilung der Festigkeit wurde nach der Normalverteilung, der Lognormalverteilung, der Pearson-III-Verteilung und der Weibull-Verteilung getestet. Die Festigkeit steigt im unteren Feuchtebereich bis zu etwa 10% zunächst an und fällt nach Erreichen des Maximums unterhalb des Fasersättigungsbereiches etwa linear ab. Die Verteilung kann durch die Weibull- bzw. die Pearson-III-Verteilung am besten approximiert werden. Dies bedeutet, dass unabhängig von der Feuchtigkeit ein sprödes Bruchverhalten dominiert.

Summary

The influence of moisture content on the fracture behaviour of Norway spruce when tension is applied in the direction of the grain

The tensile strength of some 300 Norway spruce samples was tested parallel to the grain on samples with diverse moisture content. The objective of the investigation was to determine the influence of moisture content on the tensile strength behaviour of the wood and on the type of the frequency distribution of the data. Specifically, we investigated whether the fracture mechanism changed with increasing moisture content. The frequency distribution of the data was compared with four distribution models: the normal, the lognormal, the Pearson III and the Weibull distribution. According to the results, the tensile strength rose to around 10% in samples with a lower moisture content. After reaching the maximum below the level of fibre saturation, it falls back, almost linearly. The data frequency histogram is best approximated by the Weibull and the Pearson III distributions. We conclude that brittle type fracture prevails, irrespective of the level of moisture content.

Résumé

Etude de l'influence de l'humidité du bois sur le comportement de l'épicéa à la rupture lors de phénomènes de traction dans le sens des fibres

La résistance à la traction dans le sens des fibres a été testée sur près de 300 échantillons de bois d'épicéa soumis à des conditions d'humidité variables. Les recherches ont permis de déterminer l'influence de l'humidité du bois sur la résistance à la traction et la distribution des fréquences de la résistance à la traction. Il reste à vérifier si l'augmentation de l'humidité du bois entraîne une modification du comportement à la rupture. La distribution de la résistance a été testée selon les modèles suivants: la distribution normale, la distribution logarithmico-normale, la distribution de type Pearson III et la distribution de type Weibull. La résistance augmente d'abord jusqu'à un taux d'humidité de 10% environ, puis diminue de manière assez linéaire après avoir atteint son niveau maximum en dessous du point de saturation. Les modélisations de Weibull et Pearson III sont les plus appropriées pour évaluer la distribution. On observe ainsi la prédominance d'un comportement à la rupture, indépendamment du taux d'humidité.

Traduction: CLAUDE GASSMANN

Literatur

- BARISKA, M.; KUCERA, L.J. 1985: On the fracture morphology in wood. Part II. Macroscopical deformations upon ultimate axial compression in wood. *Wood Science and Technology* 19: 19–34.
- BARISKA, M. 1996: Fracture mechanics and wood anatomy. New Zealand Forest Research Institute, 429 S.
- BODNER, J.; SCHLAG, G.; GRÜLL, G. 1975: Fracture Initiation in Wood Specimens Stressed in Tension. Part I. *Holzforschung* 51: 479–485.
- BODNER, J.; SCHLAG, G.; GRÜLL, G. 1976: Fracture Initiation in Wood Specimens Stressed in Tension. Part II. *Holzforschung* 51: 571–576.
- KOLLMANN, F. 1951: Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. Band 1, Springer Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg.
- KONTOROVA, T.A.; FRENKEL, J.I. 1941: Statisticeszkaja Teorija Hrubkoj Procsnoszti realnüh Krisztallov. Zeitschrift für technische Physik. *Akademia Nauk SSSR, Leningrad* 11, 3.
- KORDA, J. 1971: Valószínűségelméleti szilárdságtan. Kandidátusi értekezés.
- KORDA, J. 1972: A rugalmas-képlékeny anyagok húzó-, ill. nyomószi-lárdságának minősítése valószínűségelméleti alapon. Mélyépítéstudományi szemle 4.
- MISTÉTH, Á. 1979: A faanyag szilárdsági tulajdonságainak változása mesterséges öregítés hatására. TDK dolgozat Sopron.
- PLATE, E.J. 1993: Statistik und angewandte Wahrscheinlichkeitslehre für Bauingenieure. Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 686 S.
- SKAAR, C. 1972: Water in Wood. Syracuse University press, New York, 218 S.
- SZALAI, J. 1994: A faanyag és faalapú anyagok erőtani méretezése összetett feszültségi állapot esetén. *Építés-, Építészettudomány XXIV/3-4*: 215–223.
- SZALAI, J. 1996: Teherviselésre alkalmas (hazai) fafajok faanyagának szilárdsági tenzorában szereplő komponenseinek számításához szükséges technikai szilárdságok kísérleti meghatározása. OTKA Zárójelentés, Sopron, 1996, 400 S.
- WAGENFÜHR, R.; SCHEIBER, C. 1989: Holzatlas. 3. Auflage, Fachbuchverlag, Leipzig.
- WEIBULL, W. 1939: A Statistical Theory of the Strength of Materials. *Proc. Royal Swedish Institute of Eng., Stockholm*, Nr. 151, 2.

Dank

Die Arbeit wurde durch die ETH Zürich und den ungarischen Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (OKA T 34107) gefördert.

Autoren

Prof. Dr. JOZSEF SZALAI, Dipl.-Ing. KRISZTIAN ANDOR, University of Forestry and Wood Sciences, Department of Technical Mechanics, HU-9400 Sopron. E-Mail: H9898efe@ella.hu.

Prof. Dr. PETER NIEMZ, PD Dr. MIHALY BARISKA, MARTIN T. HOWALD, dipl. Forsting., Eidgenössische Technische Hochschule, Departement Forstwissenschaften, Professur Holzwissenschaften, ETH Zentrum, CH-8092 Zürich. E-Mail: niemz@fowi.ethz.ch.