

Vergleichende Festigkeitsuntersuchungen an Holz mit dem Dynstat-Verfahren

Wolfgang Rug, Guido Eichbaum, Gunter Linke

Die Anwendung des Dynstat-Verfahrens bei der Prüfung von Holz bietet die Möglichkeit, Festigkeitsuntersuchungen mit relativ geringem Materialaufwand durchzuführen. Für die Anwendung dieser Prüfmethode ist es jedoch notwendig, die Beziehung zwischen Dynstat- und Drei-Punkt-Biegeversuch zu kennen. Zu diesem Zweck wurden an der Hochschule für nachhaltige Entwicklung (FH) Eberswalde in den letzten Jahren vergleichende Untersuchungen durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Forschungsarbeit sind im Folgenden zusammengefasst dargestellt.

Schlüsselwörter: Festigkeitsuntersuchungen, Dynstat-Verfahren, verbautes Holz, Tiefenprofil

Einführung

In der aktuellen Fassung der *DIN 53435* (1983) ist die Anwendung des Dynstat-Verfahrens, anders als im Normenwesen der ehemaligen DDR, nicht zur Prüfung von Prüfkörpern aus Holz, sondern für die Prüfung von Kunststoffen festgelegt. Die praktische Erfahrung zeigt jedoch, dass dieses Verfahren für die zerstörungsarme Prüfung von verbautem Holz und die Erstellung von Tiefenprofilen bestens geeignet ist (Rug und Lißner, 2011).

Göhre (1952) wendete in den 1950er Jahren das Dynstat-Verfahren bei der Ermittlung der Festigkeit von Robinienholz an. Weitergehend untersuchte er den Zusammenhang zwischen der Biegefestigkeit von Dynstat-Prüfkörpern und kleinen, fehlerfreien Biegestäben. Sachsse (1973, 1989) nutzte in den 1970er und 1980er Jahren das Dynstat-Verfahren für seine Arbeit am Institut für Forstbenutzung der Universität Göttingen. Sie befassen sich mit der Erforschung der Festigkeitseigenschaften von selten genutzten Hölzern, wie zum Beispiel Buchenholz aus der Krone, Birke und verschiedenen Klonen der japanischen Lärche. Ausschlaggebend für die Anwendung des Dynstat-Verfahrens war der geringe Materialaufwand und die Möglichkeit, Prüfkörper gezielt aus bestimmten Zuwachszonen entnehmen zu können (Sachsse et al., 1978).

Eichbaum und Linke (2011) sowie Eichbaum et al. (2011) führten seit 2009 an der Hochschule für nachhaltige Entwicklung (FH) Eberswalde Untersuchungen zur Beziehung von Dynstat- und Drei-Punkt-Biegeprüfung an den Holzarten Kiefer, Fichte, Lärche, sibirische Lärche und Eiche durch. Ziel ihrer Forschung war die Beschreibung dieser Beziehung zur Umrechnung von Rohdichte und Biegefestigkeit.

Vergleichende Untersuchung der Biegefestigkeit

Gegenstand und Ziel

Mit dem Dynstat-Verfahren kann die Biegefestigkeit an sehr kleinen Prüfkörpern ermittelt werden. Vorteilhaft sind dabei



Abb. 1: Dynstat-Gerät Dys-e 9303

Fig. 1: Dynstat apparatus Dys-e 9303

der sehr geringe Materialaufwand und die Fehlerfreiheit der Prüfkörper. Voraussetzung ist, dass die im Dynstat-Verfahren ermittelte Festigkeit mit der Festigkeit von kleinen, fehlerfreien Prüfkörpern nach *DIN 52186* (1978) vergleichbar ist. Ziel der Untersuchung war der Vergleich der Biegeversuche



Abb. 2: Vorrichtung für den Biegeversuch nach DIN 52186 (1978) mit Prüfkörper nach dem Bruch

Fig. 2: Device for the bending test according to DIN 52186 (1978) with specimen after breakage

nach DIN 53435 (1983) (Dynstat-Verfahren) und DIN 52186 (1978) (Drei-Punkt-Biegeprüfung) über die Durchführung einer Korrelations- und Regressionsanalyse sowie die Ermittlung von Umrechnungsfaktoren.

Objekte der Untersuchung waren Prüfkörper aus den Holzarten Fichte (*Picea abies*), Kiefer (*Pinus sylvestris*) und Eiche (*Quercus petraea*, *Q. robur*). Begleitend wurde die Rohdichte nach DIN 52182 (1976) und die Holzfeuchtigkeit nach DIN EN 13183-1 (2002) ermittelt.

Versuchsaufbau

Dynstat-Biegeversuch

Der Dynstat-Biegeversuch ohne Kerb (DIN 53435:1983 – DB – G) dient der Ermittlung der statischen Biegefestigkeit mit Hilfe eines Dynstat-Gerätes nach DIN 51230 (1977) (siehe Abb. 1). Dabei handelt es sich um eine Vier-Punkt-Biegeprüfung an sehr kleinen Prüfkörpern mit Abmessungen von 10 mm x 4 mm x 15 mm ($b \times d \times l$) (siehe Abb. 4), wobei die Prüfkörper der Prüfreihe Fichte und Eiche mindestens zwei liegende Jahrringe und die Prüfkörper aus Kiefernholz mindestens vier stehende Jahrringe enthielten.

Der Biegeversuch wird an einem Prüfgerät vorgenommen, welches die Prüfkörper kontinuierlich bis zum Bruch beansprucht. Die Rotation der Trägerplatte und das Eigengewicht des Pendels erzeugen dabei das Biegemoment.

Drei-Punkt-Biegeversuch

Die Biegeprüfung nach DIN 52186 (1978) dient der Ermittlung der Biegefestigkeit von Holz in einem Drei-Punkt-Biegeversuch an kleinen, fehlerfreien Biegestäben mit Abmessungen von 20 mm x 20 mm x 360 mm ($b \times d \times l$; siehe Abb. 5). In einer Universalprüfmaschine wird der Prüfkörper mittig mit einer kontinuierlichen Prüflast durch das Verfahren der Auflageeinrichtung bis zum Bruch belastet (siehe Abb. 2). Ein Kraftsensor nimmt dabei die maximale Prüflast auf, woraus durch eine angeschlossene elektronische Datenverarbeitungseinheit die maximale Biegefestigkeit ermittelt wird.

Versuchsdurchführung

Dynstat-Biegeversuch

Die Durchführung der Biegeversuche erfolgte an einem Prüfgerät Typ Dys-e 9303 (Bj. 1993) der Firma Feinmechanik Kögel, Leipzig. In Vorbereitung auf die Versuche fand die Klimatisierung der Prüfkörper in einem Normklima von 20/65-1 nach DIN 50014 (1985) statt. Die eingelegten Prüfkörper wurden mit einer Verformungsrate von $150^\circ \pm 50^\circ$ je Minute bis zum Bruch (siehe Abb. 3 und 4) verformt.

Das maximale Biegemoment wird durch einen mitlaufenden Zeiger an der Skala der Trägerplatte angezeigt, woraus sich unter Berücksichtigung des Widerstandsmoments gegen Biegung die maximale Biegefestigkeit nach folgender Gl. 1 berechnet (nach DIN 53435 (1983) Abschnitt 8.1):

$$\sigma_{b,\max} = \frac{M_{b,\max}}{W_b} \quad (1)$$

mit

$$W_b = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad (2)$$

Hierbei bedeuten:

$\sigma_{b,\max}$ – max. Biegespannung [N/mm²],

$M_{b,\max}$ – max. Biegemoment [Nmm],

W_b – Widerstandsmoment gegen Biegung [mm³],

b ; h – Breite bzw. Höhe des Prüfkörpers [mm].

Die Rohdichte wurde durch Aufnahme der Abmaße mittels digitalen Messschiebers DMS IP 67 und Auswägung der Prüfkörper mit einer Analysenwaage (Typ Sartorius CP225D) bestimmt. Aufgrund der äußerst geringen Abmessungen der Prüfkörper musste die Ermittlung der Rohdichte unmittelbar vor der Biegeprüfung durchgeführt werden, da das Herstellen von Prüfkörpern zu Ermittlung der Rohdichte aus den Biegeprüfkörpern im Nachhinein nicht möglich war.

Die Holzfeuchtigkeit wurde im Darrverfahren nach DIN EN 13183-1 (2002) ermittelt. Da es – wie oben angeführt – nicht möglich war, aus den Dynstat-Prüfkörpern weitere Prüfkörper herzustellen, erfolgte die Ermittlung der Holzfeuchtigkeit an Vergleichsprüfkörpern. Die Prüfkörper wurden in einem Normklima von 20/65-1 nach DIN 50014 (1985) klimatisiert und anschließend bei 103 °C und 0 % relativer Luftfeuchtigkeit getrocknet. Aus der Differenz der Massen vor und nach dem Trocknen konnte die Holzfeuchtigkeit ermittelt werden.

Drei-Punkt-Biegeversuch

Die Drei-Punkt-Biegeversuche fanden nach der Klimatisierung in einem Normklima von 20/65-1 nach DIN 50014 (1985) an einer Universalprüfmaschine (Typ 1484) der Firma Zwick/Roell (Bj. 1993) statt. Die Biegestäbe wurden so in die Auflager-einrichtung eingebracht, dass die Prüflast tangential zu den Zuwachszonen wirkte. Ein Druckstempel beanspruchte die Biegestäbe mit einer kontinuierlichen Prüflast bis zum Bruch. Ein Kraftsensor nahm die maximale Prüflast auf.

Nach den Biegeversuchen wurde aus den Biegestäben kleine

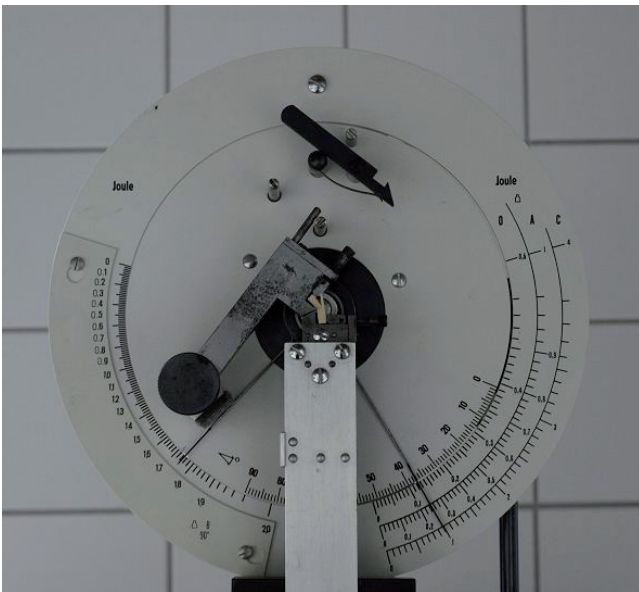


Abb. 3: Dynstat-Prüfkörper, bis zum Bruch belastet
 Fig. 3: Dynstat-specimen, charged to breakage

quaderförmige Prüfkörper mit den Abmessungen von 20 mm x 20 mm x 20 mm (l x b x h) zur Ermittlung der Holzfeuchtigkeit und der Rohdichte hergestellt (siehe Abb. 5).

Zur Ermittlung der Rohdichte fand eine erneute Klimatisierung in einem Normklima von 20/65-1 nach DIN 50014 (1985) statt. Nach dem Erreichen der Massenkonstanz erfolgte die Ermittlung der Rohdichte durch Aufnahme der Abmessungen mit Hilfe eines digitalen Messschiebers DMS IP 67 und der Masse mittels einer digitalen Analysenwaage (Typ Sartorius CP225D). Die Prüfkörper zur Ermittlung der Holzfeuchtigkeit wurden nach dem Zuschnitt ausgewogen und in einem Trockenschrank bei 103 °C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 0 % getrocknet und anschließend erneut ausgewogen. Aus der Differenz der Massen konnte die Holzfeuchtigkeit zum Zeitpunkt der Biegeversuche ermittelt werden.

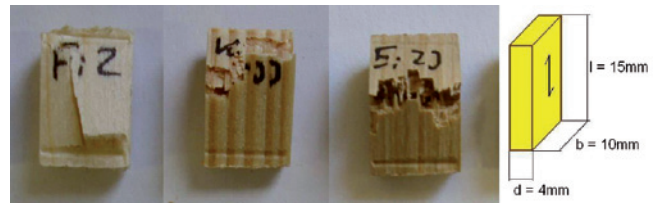


Abb. 4: Typische Bruchbilder der Dynstat-Biegeprüfkörper und Skizze der Prüfkörperabmaße

Fig. 4: Typical breaking apparition of the Dynstat-specimen and sketch of the specimens dimensions

Auswertung

Die Mittelwerte der Rohdichte und der Biegefestigkeit aller untersuchten Probenreihen sind in Tab. 1 aufgeführt. Zum Vergleich werden in der Tabelle die mittleren Materialkennwerte nach DIN 68364 (2003) angegeben.

Daraus ist zu entnehmen, dass die Mittelwerte der Rohdichte, mit Ausnahme der Prüfreihe Kiefer, unter den Normwerten liegen. Die Rohdichte der Dynstat-Prüfkörper der Prüfreihe Fichte und Eiche liegen außerhalb des Variationsbereichs der Kennwerte nach DIN 68364 (2003).

Die mittleren Biegefestigkeiten der untersuchten Proben sind – abgesehen von der mittleren Biegefestigkeit der Drei-Punkt-

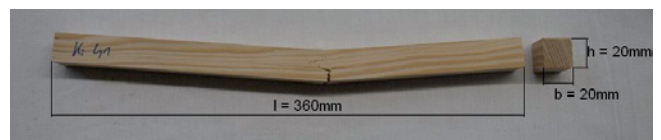


Abb. 5: Bruchbild eines Drei-Punkt-Biegestabes und Prüfkörper zur Ermittlung der Rohdichte und der Biegefestigkeit

Fig. 5: Typical breaking apparition of the three-point-bending specimen and specimen for the determination of density and wood moisture

Tab. 1: Mittelwerte und Variationskoeffizienten der Rohdichte, der Biegefestigkeit und der Holzfeuchtigkeit aller Proben

Tab. 1: Mean values and variation coefficient of density, bending strength and wood moisture of all specimen

Prüfreihe		Rohdichte				Biegefestigkeit				Holzfeuchte je 50 Prüfkörper u_{mean} %
		je 50 Prüfkörper		nach DIN 68364 (2003)		je 50 Prüfkörper		nach DIN 68364 (2003)		
		$\rho_{u,mean}$ [g/cm ³]	v_x %	$\rho_{u,mean}$ [g/cm ³]	v_x %	$f_{m,mean}$ [N/mm ²]	v_x %	$f_{m,mean}$ [N/mm ²]	v_x %	
Fichte	Dynstat-Biegeversuch	0,40	5,1	0,46	9,7	37,75	10,4	80	14,2	13,4
	Drei-Punkt-Biegeversuch	0,44	11,5	0,46	9,7	70,18	15,1	80	14,2	11,7
Kiefer	Dynstat-Biegeversuch	0,58	2,8	0,52	12,8	68,93	9,4	85	19,0	13,6
	Drei-Punkt-Biegeversuch	0,55	10,8	0,52	12,8	86,04	19,8	85	19,0	11,9
Eiche	Dynstat-Biegeversuch	0,62	3,2	0,71	9,0	69,43	7,9	95	17,3	11,5
	Drei-Punkt-Biegeversuch	0,66	9,5	0,71	9,0	89,47	17,6	95	17,3	11,8

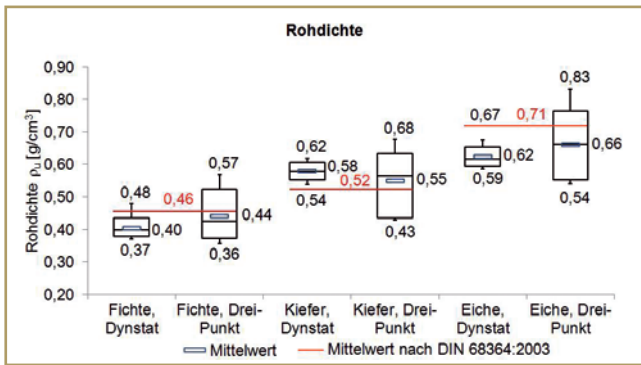


Abb. 6: Vergleich der mittleren Rohdichte

Fig. 6: Comparison of the mean density

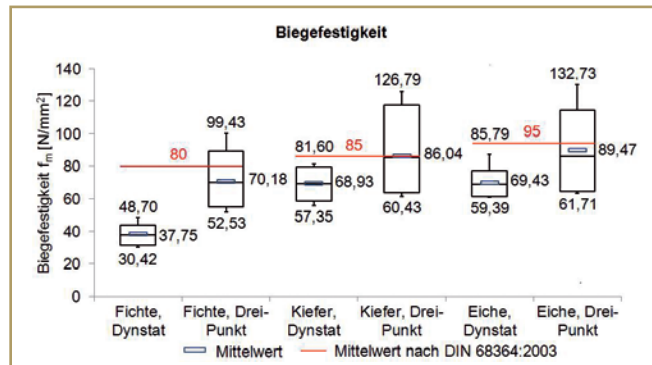


Abb. 7: Vergleich der mittleren Biegefestigkeit

Fig. 7: Comparison of the mean bending strength

Biegeprüfkörper der Prüfreihe Kiefer – ebenfalls geringer als die Kennwerte nach *DIN 68364* (2003), liegen aber noch in deren Variationsbereich. Die Ausnahme bilden dabei die Mittelwerte der Dynstat-Biegefestigkeit der Prüfreihe Fichte und Eiche. Weiterhin ist zu bemerken, dass die mittleren Biegefestigkeiten, die im Dynstat-Verfahren ermittelt wurden, in allen drei Prüfreihe unter den Mittelwerten der Biegefestigkeit aus den Drei-Punkt-Biegeversuchen liegen. Eine mögliche Erklärung hierfür ist, dass sich aufgrund der geringen Abmessungen der Dynstat-Biegeprüfkörper die Biegelinie nicht vollständig ausprägen kann. Des Weiteren konnten ebenfalls, bedingt durch den geringen Prüfkörperquerschnitt, nur wenige Zuwachszonen erfasst werden.

Abb. 6 und 7 zeigen graphisch den Vergleich zwischen den mittleren Werten der Rohdichte bzw. der Biegefestigkeit und den mittleren Materialkennwerten nach *DIN 68364* (2003).

Die mittleren Werte der Holzfeuchtigkeit liegen im Bereich von 11,5 % bis 13,6 %. Diese Werte entsprechen weitestgehend dem durchschnittlichen Holzfeuchtegehalt von 12 % ± 1,5 % nach *DIN 68364* (2003). Eine Anpassung der ermittelten Kennwerte auf eine Holzfeuchtigkeit von 12 % entfällt somit.

Statistische Auswertung

Aus Gründen der besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse beider Biegeprüfverfahren mit den Kennwerten nach *DIN 68364* (2003), ist es notwendig, dass die Untersuchungsergebnisse normalverteilt vorliegen. Deshalb wurde der Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest (KSA-Test) zur Untersuchung der tatsächlichen Verteilung durchgeführt.

Der KSA-Test wird unter der Annahme durchgeführt, dass die Versuchsergebnisse normalverteilt sind. Die Überprüfung dieser Hypothese erfolgt über den Vergleich

der relativen Summenhäufigkeit und der kumulierten Normalverteilung. Die Versuchsergebnisse liegen normalverteilt vor, wenn die größte absolute Differenz zwischen der Summenhäufigkeit und der Normalverteilung eine kritische Differenz nicht überschreitet (*John*, 1979). Die kritische Differenz wird auf der Grundlage der Prüfkörperanzahl und des Signifikanzniveaus ermittelt, welches die Wahrscheinlichkeit für ein falsches Testergebnis angibt.

Die Ergebnisse des KSA-Tests zeigen, dass Ergebnisse aus allen Probenreihen normalverteilt vorliegen (siehe Tab. 2). Der Vergleich mit den Materialkennwerten nach *DIN 68364* (2003) sowie die weitere statistische Auswertung ist problemlos möglich.

In Abb. 8 und 9 ist die Verteilung der Untersuchungsergebnisse am Beispiel der Rohdichte der Dynstat-Biegeprüfkörper in der Prüfreihe Kiefer und der Dynstat-Biegefestigkeit aus der Prüfreihe Fichte graphisch dargestellt.

Zum Vergleich der Biegeversuche nach *DIN 52185* (1976) und *DIN 53435* (1983) erfolgte die Durchführung einer Korrelations- und Regressionsanalyse. Untersucht wurden folgende

Tab. 2: Ergebnisse der KSA-Tests der Rohdichte und der Biegefestigkeit (mit $\alpha = 5\%$)
 Tab. 2: Results of the KSA-tests of density and bending strength (with $\alpha = 5\%$)

Prüfreihe		Dynstat-Biegeprüfung		Drei-Punkt-Biegeprüfung	
		Rohdichte ρ_u [g/cm³]	Biegefestigkeit f_m [N/mm²]	Rohdichte ρ_u [g/cm³]	Biegefestigkeit f_m [N/mm²]
Fichte	$d_{oi,max}$	0,123	0,074	0,126	0,087
	$d_{ui,max}$	0,103	0,065	0,106	0,067
	d_α	0,192	0,192	0,192	0,192
Kiefer	$d_{oi,max}$	0,088	0,078	0,115	0,082
	$d_{ui,max}$	0,068	0,066	0,135	0,067
	d_α	0,192	0,192	0,192	0,192
Eiche	$d_{oi,max}$	0,114	0,085	0,078	0,116
	$d_{ui,max}$	0,094	0,065	0,084	0,116
	d_α	0,192	0,192	0,192	0,192

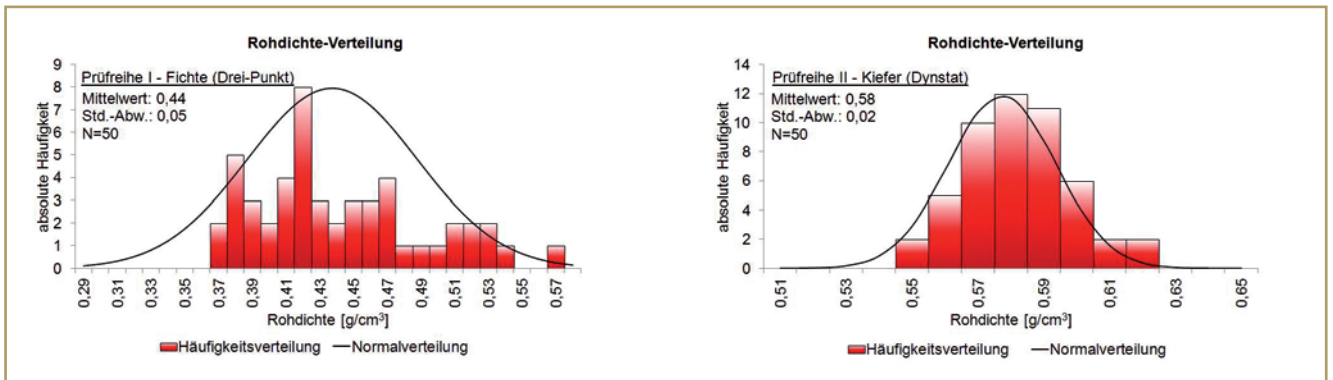


Abb. 8: Häufigkeitsverteilung der Rohdichte

Fig. 8: Frequency distribution of the density

Beziehungen:

1. Biegefestigkeit und Rohdichte aus der Dynstat-Biegeprüfung,
2. Biegefestigkeit und Rohdichte aus der Drei-Punkt-Biegeprüfung,
3. Rohdichte aus Dynstat-Biegeprüfung und Drei-Punkt-Biegeprüfung,
4. Biegefestigkeit aus Dynstat-Biegeprüfung und Drei-Punkt-Biegeprüfung.

Die Ausprägung dieser Beziehung wird durch den Korrelationskoeffizienten r ausgedrückt. Bei einem Wert von $r = 1$ ist die Beziehung zwischen den untersuchten Werten stark ausgeprägt, wobei hauptsächlich hohe bzw. niedrige Werte miteinander verknüpft sind. Beträgt der Korrelationskoeffizient -1 , so besteht ebenfalls eine enge Beziehung zwischen den Werten, jedoch sind überwiegend hohe mit niedrigen Werten verknüpft. Ein Wert von $r = 0$ weist auf eine sehr schwach ausgeprägte Beziehung zwischen den Werten hin (Ehrenberg, 1990).

Zur quantitativen Interpretation der Korrelationsanalyse erfolgte die Durchführung einer linearen Regression. Dabei wird die Gleichung einer Geraden mit der Formel $y = a + bx$ ermittelt, welche am besten an die Versuchsergebnisse angepasst ist. Der Regressionskoeffizient b ist gleichbedeutend mit dem Anstieg der Geraden. Ähnlich dem Korrelationskoeffizient kann der Regressionskoeffizient Werte von größer oder kleiner Null annehmen. Wenn b viel

größer oder viel kleiner als Null ist, besteht ein großer linearer Zusammenhang. Beträgt der Koeffizient Null, so besteht kein linearer Zusammenhang zwischen den untersuchten Wertereihen.

Die Reststreuung rsd dient als Maß für die Anpassung der Regressionsgeraden an die Werte (Ehrenberg, 1990). Die Korrelations- und Regressionsanalyse hat gezeigt dass die Beziehungen zwischen der Rohdichte und der Biegefestigkeit (Gl. 1 und 2) mit Korrelationskoeffizienten r von 0,515 bis 0,797 relativ stark ausgeprägt sind (siehe Tab. 3). Die Beziehungen zwischen der Dynstat- und der Drei-Punkt-Biegeprüfung (Beziehung 3 und 4 in Tab. 3) ist hingegen mit Werten von r gleich 0,003 bis $-0,086$ äußerst schwach ausgeprägt.

Abb. 10 und 11 zeigen eine graphische Darstellung der Korrelations- und Regressionsanalyse am Beispiel der Dynstat-Biegeversuche der Prüfreihe Kiefer und der Drei-Punkt-Biegeversuche der Prüfreihe Fichte.

Umrechnungsfaktoren

Da die Beziehung zwischen Rohdichte und Biegefestigkeit bei allen untersuchten Proben ähnlich stark ausgeprägt ist, wurden aus den ermittelten Werten Faktoren zur Umrechnung der Kennwerte von Dynstat- und Drei-Punkt-Biegeprüfkörpern ermittelt. Diese Faktoren sind der Quotient der Mittelwerte der Rohdichte bzw. der Biegefestigkeit aus den beiden untersuchten Biegeversuchen.

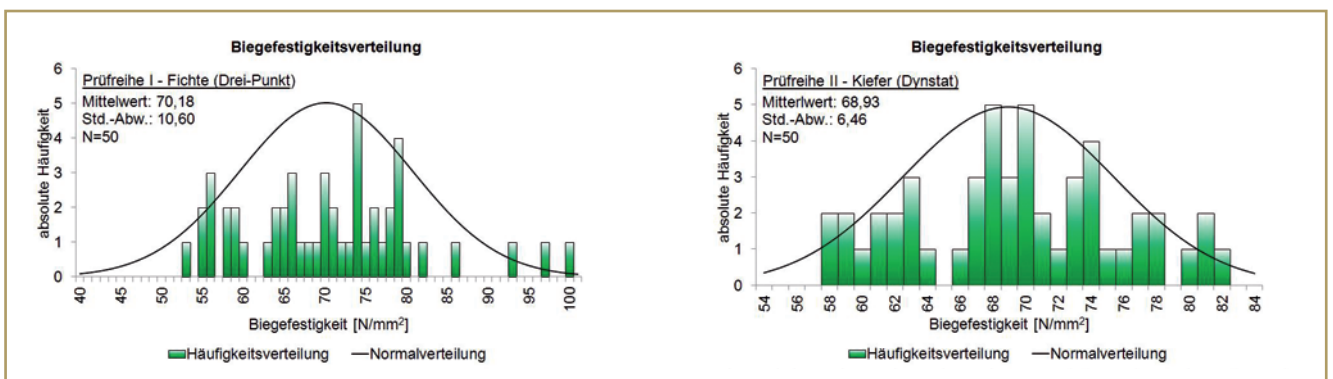


Abb. 9: Häufigkeitsverteilung der Biegefestigkeit

Fig. 9: Frequency distribution of the bending strength

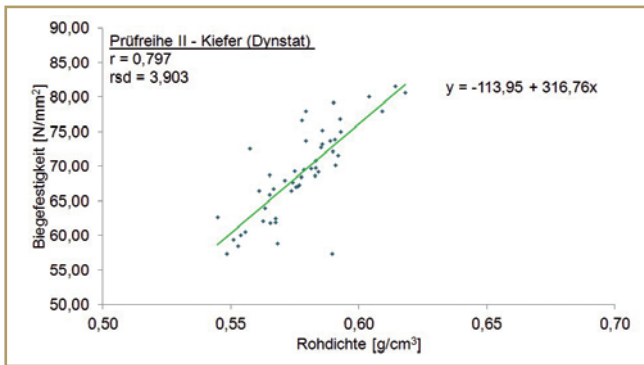


Abb. 10: Biegefestigkeit in Abhängigkeit von der Rohdichte von Kiefer im Dynstat-Verfahren

Fig. 10: Bending strength in connection to the density of pine with the Dynstat-procedure

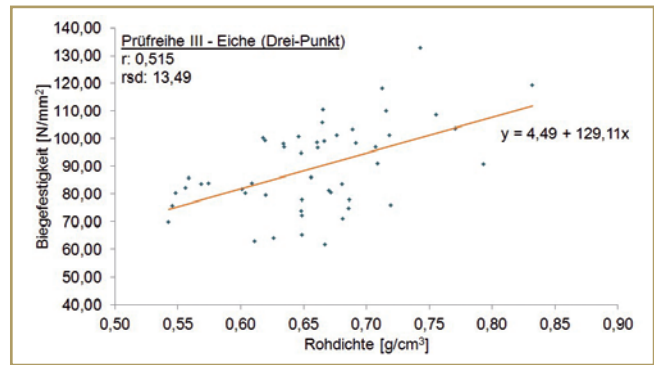


Abb. 11: Biegefestigkeit in Abhängigkeit von der Rohdichte von Eiche im Drei-Punkt-Biegeversuch

Fig. 11: Bending strength in connection to the density of oak with the three point bending procedure

Nach der Auswertung der Prüfergebnisse können folgende Faktoren zur Umrechnung der Rohdichte bzw. der Biegefestigkeit der Dynstat-Biegeprüfkörper zu den Kennwerten der Drei-Punkt-Biegestäbe vorgeschlagen werden – eine vollständige Auflistung ist in Tab. 4 aufgeführt:

- Prüfreihe Fichte: $\rho_{u,3-Punkt} = 1,09 \cdot \rho_{n,Dynstat}$ und $f_{u,3-Punkt} = 1,85 \cdot f_{m,Dynstat}$
- Prüfreihe Kiefer: $\rho_{u,3-Punkt} = 0,94 \cdot \rho_{n,Dynstat}$ und $f_{u,3-Punkt} = 1,25 \cdot f_{m,Dynstat}$
- Prüfreihe Eiche: $\rho_{u,3-Punkt} = 1,06 \cdot \rho_{n,Dynstat}$ und $f_{u,3-Punkt} = 1,28 \cdot f_{m,Dynstat}$

Bei den Holzarten Fichte und Eiche liegt die Rohdichte der Dynstat-Prüfkörper um 8 % bzw. 6 % unter der Rohdichte der

Drei-Punkt-Biegestäbe. Die Rohdichte der Dynstat-Prüfkörper der Kiefer liegt hingegen um 6 % über der Rohdichte der Drei-Punkt-Biegeprüfkörper.

Bei allen Prüfreiheiten kann festgestellt werden, dass die Festigkeit der Dynstat-Biegeprüfkörper deutlich unterhalb der Biegefestigkeit nach DIN 52186 (1978) liegt. Bei Fichte entspricht die Biegefestigkeit der Dynstat-Prüfkörper 54 % der Drei-Punkt-Biegefestigkeit. Bei Kiefer und Eiche beträgt das Verhältnis 80 % bzw. 78 %.

Zusammenfassung

Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen, dass das Dynstat-Verfahren eine praktische Methode zur Prüfung von Holz darstellt. Vorteilhaft ist dabei nicht nur der geringe Materialaufwand und die beinahe Fehlerfreiheit der Prüfkörper, sondern auch die Möglichkeit der Herstellung von Prüfkörpern aus Bohrkernen und die Erstellung eines tiefengestaffelten Festigkeitsprofils. Dadurch kann das Dynstat-Verfahren auch als zerstörungsarme Prüfmethode zur Untersuchung von verbautem Holz verwendet werden.

Voraussetzung für die Anwendung des Dynstat-Verfahren ist jedoch die Umrechnung der gewonnenen Untersuchungsergebnisse zu Kennwerten von kleinen, fehlerfreien Prüfkörpern. Vorschläge für die entsprechenden Umrechnungsfaktoren

Tab. 3: Ergebnisse der Korrelations- und Regressionsanalyse von Rohdichte und Biegefestigkeit aller Proben
 Tab. 3: Results of the analysis of correlation and regression of density and bending strength of all specimen

Prüfreihe	Verknüpfung	Korrelationskoeffizient	Regressionsgerade	Reststreuung
		r	y = a + bx	rsd
Fichte	1) $f_{m,Dynstat}$ & $\rho_{u,Dynstat}$	0,678	-14,05 + 128,99x	2,89
	2) $f_{m,3-Punkt}$ & $\rho_{u,3-Punkt}$	0,653	9,84 + 137,95x	8,03
	3) $\rho_{u,Dynstat}$ & $\rho_{u,3-Punkt}$	-0,025	0,46 - 0,06x	0,05
	4) $f_{m,Dynstat}$ & $f_{m,3-Punkt}$	-0,014	71,64 - 0,04x	10,60
Kiefer	1) $f_{m,Dynstat}$ & $\rho_{u,Dynstat}$	0,797	-113,95 + 316,76x	3,90
	2) $f_{m,3-Punkt}$ & $\rho_{u,3-Punkt}$	0,684	-21,98 + 197,69x	12,44
	3) $\rho_{u,Dynstat}$ & $\rho_{u,3-Punkt}$	-0,048	0,65 - 0,17x	0,06
	4) $f_{m,Dynstat}$ & $f_{m,3-Punkt}$	0,003	85,45 + 0,01x	17,06
Eiche	1) $f_{m,Dynstat}$ & $\rho_{u,Dynstat}$	0,687	-47,76 + 188,94x	4,00
	2) $f_{m,3-Punkt}$ & $\rho_{u,3-Punkt}$	0,515	4,49 + 129,11x	13,49
	3) $\rho_{u,Dynstat}$ & $\rho_{u,3-Punkt}$	-0,086	0,83 - 0,27x	0,06
	4) $f_{m,Dynstat}$ & $f_{m,3-Punkt}$	-0,004	90,21 - 0,01x	15,75

Tab. 4: Faktoren zur Umrechnung der Rohdichte und der Biegefestigkeit von Dynstat-Prüfkörpern und kleinen, fehlerfreien Prüfkörpern
 Tab. 4: Conversion coefficients for density and bending strength of dynstat specimen and small, defect-free specimen

Umrechnung		Fichte	Kiefer	Eiche
		k_{Fi}	k_{Ki}	k_{Ei}
Rohdichte	$\rho_{u,Dynstat} / \rho_{u,3-Punkt}$	0,92	1,06	0,94
	$\rho_{u,3-Punkt} / \rho_{u,Dynstat}$	1,09	0,94	1,06
Biegefestigkeit	$f_{m,Dynstat} / f_{m,3-Punkt}$	0,54	0,80	0,78
	$f_{m,3-Punkt} / f_{m,Dynstat}$	1,85	1,25	1,28

ren wurden in diesem Artikel vorgelegt. Die Weiterführung dieser Untersuchung mit dem Ziel, weitere Umrechnungsfaktoren für bisher nicht betrachtete Holzarten zu ermitteln und die Ergebnisse dieser Untersuchung zu untermauern, erscheint in jedem Fall sinnvoll. Des Weiteren sollte der Einfluss der Wuchsmerkmale auf die Dynstat-Biegefestigkeit näher untersucht werden.

Literatur

DIN 50014 (1985) Klimate und ihre technische Anwendung – Normalklimate

DIN 52182 (1976) Prüfung von Holz – Bestimmung der Rohdichte

DIN 52185 (1976) Prüfung von Holz – Bestimmung der Druckfestigkeit parallel zur Faser

DIN 52186 (1978) Prüfung von Holz – Biegeversuch

DIN 51230 (1977) Werkstoffprüfmaschinen – Dynstat-Gerät zur Bestimmung von Biegefestigkeit und Schlagzähigkeit an kleinen Proben

DIN 53435 (1983) Prüfung von Kunststoffen – Biegeversuch und Schlagbiegeversuch an Dynstat-Probekörpern

DIN 68364 (2003) Kennwerte von Holzarten – Rohdichte, Elastizitätsmodul und Festigkeiten

DIN EN 13183-1 (2002) Feuchtegehalt eines Stückes Schnittholz – Teil 1: Bestimmung durch Darrverfahren

Ehrenberg ASC (1990) Statistik oder der Umgang mit Daten – Eine praktische Einführung mit Übungen. VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim

Eichbaum G, Linke G, Strauch C (2011) Ermittlung von Korrelationskoeffizienten aus Biegeversuchen nach DIN 52186 und DIN 53435. Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde (FH), Fachbereich Holztechnik, Fachgebiet Holzbau

Eichbaum G, Linke G (2011) Weiterführung der Untersuchung zur Ermittlung von Korrelationskoeffizienten aus Biegeversuchen nach DIN 52186 und DIN 53435. Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde (FH), Fachbereich Holztechnik, Fachgebiet Holzbau

Göhre K (1952) Die Robinie und ihr Holz. Deutscher Bauernverlag, Berlin

John B (1979) Statistische Verfahren für Technische Messreihen – Arbeitsbuch für den Ingenieur. Carl Hanser Verlag, München Wien

Rug W, Lißner A (2011) Untersuchungen zur Festigkeit und Tragfähigkeit von Holz unter dem Einfluss durch aggressive Medien. Bautechnik (3): 177-188

Sachsse H (1973) Eigenschaftsunterschiede von Buchen-Industrie-

holz aus Schaft- und Kronenbereich. Holz als Roh- und Werkstoff 31: 299-306

Sachsse H, Wulf A, Müller-Schönau R (1978) Vergleichende Untersuchung einiger Holzeigenschaften verschiedener Klone der Japanischen Lärche (Larix leptolepis Gord.). Holz als Roh- und Werkstoff 36: 61-67

Sachsse H (1989) Holzqualität von Birken – Strukturelle und physikalisch-mechanische Eigenschaften von Birkenholz. Holz als Roh- und Werkstoff 47: 27-30

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Rug, Jahrgang 1952, studierte Bauingenieurwesen an der Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar. Von 1974 bis 1990 baute er das Fachgebiet Holzbau an der Bauakademie der DDR auf und ist seit 1991 auch freiberuflich als beratender Ingenieur tätig. Seit 2000 ist Rug Fachgebietsleiter Holzbau am Fachbereich Holztechnik an der Hochschule für nachhaltige Entwicklung (FH) Eberswalde, Alfred-Möller-Str. 1, 16225 Eberswalde. Er ist öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Holz- und Holzleimbau.

Dipl.-Ing. (FH) Guido Eichbaum, Jahrgang 1972, studierte Holztechnik an der Fachhochschule Eberswalde und ist seit 2008 Projektingenieur im Ingenieurbüro Prof. Dr.-Ing. Rug & Partner, Wittenberge. Die Schwerpunkte seiner Arbeit sind die Erforschung vom Holzeigenschaften und Verbindungen im Holzbau, Entwicklung von Holzbau-Bemessungssoftware sowie Begutachtung von Dachkonstruktionen. Eichbaum betreut in Zusammenarbeit mit der Hochschule für nachhaltige Entwicklung (FH) Eberswalde studentische Projekte und Abschlussarbeiten und war Projektverantwortlicher für das der Veröffentlichung zugrundeliegende Projekt.

Dipl.-Ing. (FH) Gunter Linke, Jahrgang 1987, studierte Holztechnik an der Fachhochschule Eberswalde und ist seit 2011 als Projektingenieur an der Hochschule für nachhaltige Entwicklung (FH) Eberswalde u. a. mit Untersuchungen an Holz in chemisch-aggressiver Umgebung beschäftigt.

ABSTRACT

Comparative studies on the strength of timber with the Dynstat-procedure

The application of the Dynstat-procedure for testing timber gives the opportunity, to perform tests on timber with relatively mean cost of material. For the application of this procedure it is essential, to know the relation between the Dynstat-procedure and the three point bending procedure. In the last years comparative studies were conducted at the Hochschule für nachhaltige Entwicklung (FH) Eberswalde for this purpose. In the following the results of these researches are presented summarized.

Keywords: *Strength test, Dynstat-procedure, obstructed wood, depth profile*