

ORIGINALARBEITEN · ORIGINALS

Walter Sonderegger · Peter Niemz

Der Einfluss der Temperatur auf die Biegefestigkeit und den Elastizitätsmodul bei verschiedenen Holzwerkstoffen

Published online: 10 February 2006

© Springer-Verlag 2006

Zusammenfassung Der Einfluss der Temperatur auf die Biegefestigkeit und den Elastizitätsmodul von acht verschiedenen Holzwerkstoffen (2 MDF, 1 OSB, 2 Spanplatten, 2 Sperrholzplatten (Buche und Fichte), 1 Massivholzplatte) im Bereich zwischen -20°C und $+60^{\circ}\text{C}$ wurde untersucht. Dabei wurde zwischen 20°C und 60°C eine Reduktion der Biegefestigkeit von 12%–39% und eine Reduktion des Elastizitätsmoduls von 14%–46% gemessen. Das Verhalten der Arbeit bis zur Maximalkraft variierte in diesem Bereich stark. So wurde zwischen 20°C und 60°C je nach Holzwerkstoff eine Zunahme bis zu 48%, aber auch eine Abnahme bis zu 31% gemessen. Zwischen 20°C und -20°C nahm die Biegefestigkeit zwischen 5% und 22% und der Biege-E-Modul zwischen 3% und 27% zu. Nur bei der Massivholzplatte in Längsrichtung nahm der Biege-E-Modul um 6% ab. Bei der Arbeit bis zur Maximalkraft streuten die Werte zwischen einer Abnahme um 19% und einer Zunahme um 10%.

The influence of the temperature on the bending strength and the modulus of elasticity of diverse wooden materials

Abstract The influence of temperature on the bending strength (MOR) and the modulus of elasticity (MOE) of eight different wooden materials (2 MDF, 1 OSB, 2 particle boards, beech and spruce plywood, solid wood panel) was tested at temperatures between -20°C and $+60^{\circ}\text{C}$. Thereby a reduction of MOR of 12%–39% and of MOE of 14%–46% was measured in the range of 20°C and 60°C . The work to maximal load varied within a large range. Depending on the wooden material there was an increase of up to 48% or a reduction of up to 31% between 20°C and 60°C . Between 20°C and -20°C the MOR increased 5%–22% and the MOE 3%–27%. Only the MOE of the solid wood panel in fibre direction decreased by 6%. The work to maximal load ranged between a reduction by 19% and an increase by 10%.

W. Sonderegger · P. Niemz (✉)

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH), Institut für Baustoffe: Holzphysik, ETH Hönggerberg, HIF E 25.2, 8093 Zürich, Schweiz

E-mail: niemz@ifb.baug.ethz.ch

1 Einführung

Die Temperatur hat einen wesentlichen Einfluss auf die Elastizität und die Festigkeit von Holz und Holzwerkstoffen. Neben der Feuchte ist sie einer der bedeutenden Einflussfaktoren auf die mechanischen Eigenschaften. Bei der Verwendung im Außenbereich sind Holz und Holzwerkstoffe einem weiten Temperaturbereich ausgesetzt, was zu starken Elastizitäts- und Festigkeitsschwankungen führen kann. Die Elastizitäts- und Festigkeitswerte werden jedoch meistens bei Normklima ($20^{\circ}\text{C}/65\%$ relativer Luftfeuchte) angegeben. Größere Temperaturabweichungen können deshalb zu erheblichen Elastizitäts- und Festigkeitsabweichungen von diesen Normwerten führen.

In dieser Arbeit wird der Einfluss der Temperatur auf die Biegefestigkeit und den Biege-E-Modul verschiedener Holzwerkstoffe im Bereich von -20°C bis $+60^{\circ}\text{C}$ untersucht. In diesem Temperaturbereich finden noch keine dauerhaften thermischen Veränderungen der Eigenschaften statt. Erst oberhalb von 66°C ergeben sich bei längerer Einwirkungsdauer permanente Veränderungen der Holzeigenschaften (Green et al. 1999). Bei kurzzeitiger Einwirkung beginnt die thermische Zersetzung von Holz sogar erst oberhalb von 105°C (Niemz 1993).

Die Veränderung der Eigenschaften durch die Temperatur ist stark abhängig von der Feuchte des Holzes oder des Holzwerkstoffes. Generell verringern sich die Festigkeiten und E-Moduln mit steigender Temperatur. Diese Reduktionen verstärken sich mit zunehmender Holzfeuchte. DeXin und Östman (1983) untersuchten den Einfluss der Temperatur und der Holzfeuchte auf die Zugfestigkeit von UF- und PF-verleimten Spanplatten. Sie ermittelten, dass bei 7% Holzfeuchte (entspricht einem Klima bei $23^{\circ}\text{C}/50\%$ relativer Luftfeuchte) die Zugfestigkeit zwischen -15°C und $+45^{\circ}\text{C}$ bei beiden Plattentypen um ca. 11% abnimmt, jedoch bei einem Klima von 20°C und 95% relativer Luftfeuchte bei der UF-verleimten Spanplatte (17% Holzfeuchte) um ca. 30% und bei der PF-verleimten Spanplatte (33% Holzfeuchte) um ca. 40% abnimmt.

Gerhards (1982) gibt eine gute Übersicht zum temperatur- und feuchteabhängigen Verhalten der Festigkeiten und E-Moduln

bei fehlerfreien, kleinen Holzproben, indem er die Resultate verschiedener Autoren zusammenfasst. Green et al. (1999) geben einen Überblick über die Temperaturabhängigkeit des Biege-E-Moduls bei Versuchen mit Bauholz. Die Autoren untersuchten dabei vor allem den Einfluss der Temperatur bei der maschinellen Sortierung von Bauholz. Mishiro und Asano (1984a), (1984b) untersuchten den Einfluss der Feuchte auf die Temperaturabhängigkeit bei Fichte zwischen -140°C und $+60^{\circ}\text{C}$. Dabei konnten vor allem im tiefen Temperaturbereich interessante Beobachtungen gemacht werden. So nimmt unterhalb des Gefrierpunktes der Biege-E-Modul und die Biegefestigkeit von Fichtenholz mit zunehmender Feuchte (oberhalb 110% Holzfeuchte) deutlich zu, was auf die Bildung von Eis durch das freie Wasser in den Proben und eine dadurch bedingte Dehnung der Zellen in tangentialer Richtung um bis zu 6% (bei 210% Holzfeuchte) zurückzuführen ist.

Bei Holzwerkstoffen spielt neben dem Verhalten des Holzes bzw. der Holzpartikel auch die Temperaturabhängigkeit des Klebstoffes eine zentrale Rolle. So nimmt gemäß Suzuki und Saito (1987) bei mit Harnstoffharz oder mit melaminverstärktem Harnstoffharz verklebten Spanplatten die Biegefestigkeit oberhalb von 60°C stark ab, während bei mit Phenolharz verleimten Platten die Festigkeit mit steigender Temperatur (geprüft wurde bis 160°C) nur wenig abnimmt. Nach Properzi et al. (2002) verringerte sich bei mit Polyurethan verklebten Buchenproben der Biege-E-Modul zwischen 40°C und 100°C um ca. 30%, wäh-

rend bei den mit Phenol-Resorcin-Formaldehydharz verklebten Proben der E-Modul bis 150°C weitgehend konstant blieb.

2 Material und Methoden

Bei acht verschiedenen, industriell gefertigten Holzwerkstoffen wurden die Biegefestigkeit, der Biege-E-Modul und die Arbeit bis zum Erreichen der Maximalkraft in Abhängigkeit von der Temperatur zwischen -20°C und $+60^{\circ}\text{C}$ untersucht. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die untersuchten Holzwerkstoffe und die Anzahl der geprüften Proben.

Die Proben wurden entsprechend der DIN EN 310 (1993) mit einer Breite von 50 mm und einer Länge von $20 \times$ Plattendicke + 50 mm hergestellt und danach bei 20°C und 65% relativer Luftfeuchte bis zum Erreichen der Ausgleichsfeuchte gelagert. Vor der Prüfung wurden die Proben (außer denjenigen, die bei 20°C geprüft wurden) in Kunststoffolie eingepackt, um die Holzfeuchte konstant zu halten, und für 1,5 Stunden bei der entsprechenden Prüftemperatur in einem Klimaschrank temperiert. Geprüft wurde anschließend mit der Material-Prüfmaschine Z100/TL3S der Firma Zwick GmbH & Co., Ulm. Der Prüfraum der Prüfmaschine wurde zu diesem Zweck über eine mit dem Prüfraum verbundene Klimakammer klimatisiert. Abbildung 1 zeigt den klimatisierten Prüfraum. Die Temperierung gelang jedoch nur bei positiven Temperaturen, da bei -20°C und 0°C

Tabelle 1 Übersicht über die geprüften Holzwerkstoffe und die Anzahl der Proben. Rohdichte: Maximal-, Minimal- und Mittelwert und Variationskoeffizient in % (in Klammern)

Table 1 Overview of the tested wooden materials and the number of specimens. Density: minimum, mean and maximum and coefficient of variation in % (in parentheses)

Holzwerkstoff	Dichte (im Normalklima) (kg/m^3)	Anzahl Proben				
		-20°C	0°C	20°C	40°C	60°C
1. *MDF, 16 mm, beidseitig geschliffen; Harnstoffharz verleimt	734 ... 749 ... 765 (1,1)	20	20	20	20	20
2. *MDF, 18 mm, beidseitig geschliffen; Harnstoffharz verleimt	747 ... 759 ... 774 (0,7)	20	20	20	20	20
3. *Spanplatte V20, 16 mm, beidseitig geschliffen; Harnstoffharz verleimt	631 ... 661 ... 686 (1,5)	20	20	20	20	20
4. *Spanplatte V20, 18 mm, beidseitig geschliffen; Harnstoffharz verleimt	625 ... 645 ... 677 (1,8)	20	20	20	20	20
5. *OSB 3, 18 mm; Mittelschicht PUR, Deckschichten Melamin verleimt	610 ... 645 ... 677 (2,2)	10	–	10	–	10
6. **Sperrholz Buche längs, 19 mm, 9-lagig (1,5/2,5/2/2,5/2/2,5/2/2,5/1,5)	711 ... 729 ... 754 (1,7)	10	–	10	–	10
7. **Sperrholz Buche quer, 19 mm, 9-lagig (1,5/2,5/2/2,5/2/2,5/2/2,5/1,5)	697 ... 724 ... 748 (1,9)	10	–	10	–	10
8. **Sperrholz Fichte längs, 15 mm, 7-lagig (1/2,6/2,6/2,6/2,6/2,6/1)	452 ... 525 ... 569 (5,2)	20	20	20	20	20
9. **Sperrholz Fichte quer, 15 mm, 7-lagig (1/2,6/2,6/2,6/2,6/2,6/1)	475 ... 526 ... 569 (3,4)	20	–	20	–	20
10. **Massivholzplatte (MHP) Fichte längs, 16 mm, 3-lagig (3,75/8,5/3,75)	455 ... 500 ... 534 (3,1)	20	20	20	–	20
11. **Massivholzplatte (MHP) Fichte quer, 16 mm, 3-lagig (3,75/8,5/3,75)	425 ... 491 ... 544 (4,3)	20	–	20	–	20

* Firma: Kronospan AG, Menznau (CH)

** Importierte Platten

* Manufacturer: Kronospan AG, Menznau (CH)

** Imported boards

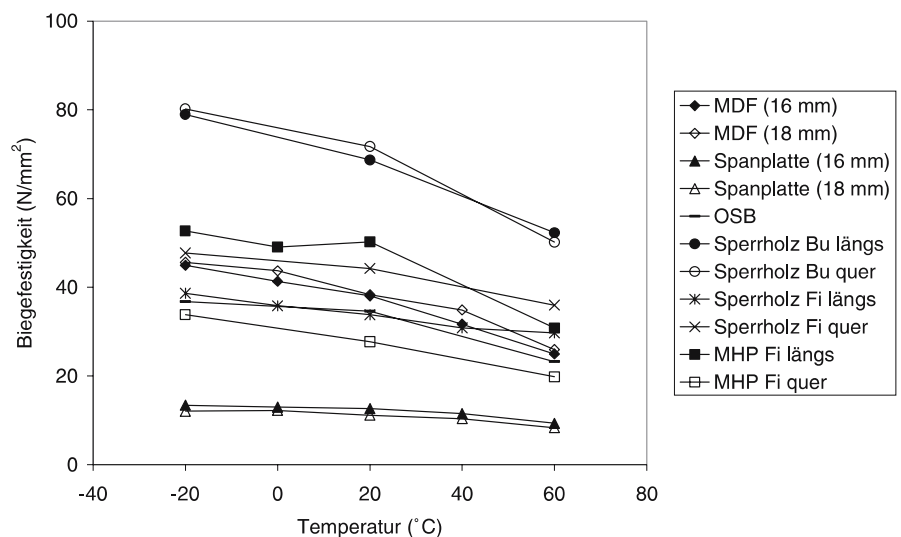


Abb. 1 Prüfstand mit Klimakammer
Fig. 1 Test setup with climate box

starke Kondensationserscheinungen an den Spannwerkzeugen der Prüfmaschine auftraten. Die Proben, die bei -20 °C und 0 °C geprüft werden sollten, wurden deshalb in der Klimakammer temperiert und sofort nach der Temperierung bei Zimmertemperatur geprüft, um die Erwärmung möglichst gering zu halten.

Die Prüfung erfolgte gemäß DIN EN 310 (1993) als Dreipunktbiegung mit einem Abstand zwischen den Auflagern von $20 \times$ Plattendicke. Es wurden die Biegefestigkeit, der Biege-Elastizitätsmodul und die Arbeit bis zur Maximalspannung gemessen (Flächeninhalt unter dem Kraft-Verformungs-Diagramm).

Abb. 2 Biegefestigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur
Fig. 2 Bending strength depending on temperature



3 Ergebnisse

Die Tabellen 2 und 3 geben einen Überblick über die Resultate der Messungen.

Dabei ist auffallend, dass sich beim Buchensperrholz bei der Prüfung längs und quer zum Faserverlauf der Decklagen etwa gleich hohe Messwerte ergaben und beim Fichtensperrholz quer sogar höhere Messwerte als längs resultierten, was auf den Schichtaufbau zurückzuführen ist.

Bei der Biegefestigkeit konnte bei allen Holzwerkstoffen (HWS) eine zum Teil starke Abnahme der Festigkeit mit zunehmender Temperatur festgestellt werden (Abb. 2). Dabei erfolgte mit Ausnahme von Sperrholz (Fichte längs (HWS 8)) eine z.T. wesentlich stärkere Abnahme der Festigkeit zwischen 20 °C und 60 °C als zwischen -20 °C und 20 °C . Der höchste Festigkeitsverlust zwischen 20 °C und 60 °C wurde mit 39% bei MHP Fichte längs (HWS 10) gemessen, jedoch zeigten auch die Span- und Faserplatten (HWS 1–5) hohe Festigkeitsabnahmen von 26%–34%. Der geringste Festigkeitsverlust wurde beim Fichtensperrholz (HWS 8 + 9) mit 12%–19% beobachtet. Dieses wies auch über den ganzen Bereich von -20 °C bis 60 °C die geringste Abnahme auf.

Beim Biege-E-Modul sind bezüglich der Temperatur ähnliche Tendenzen festzustellen wie bei der Biegefestigkeit (Abb. 3). Während jedoch bei den Span- und Faserplatten (HWS 1–5) über den ganzen Bereich von -20 °C bis 60 °C eine noch stärkere Abnahme als bei der Festigkeit erfolgte, war die Reduktion bei den Furnier- und Massivholzplatten (HWS 6–11) im Verhältnis zur Festigkeit leicht geringer.

Bei der Arbeit bis zur Maximalkraft zeigt sich ein heterogenes Bild (Abb. 4). Sie verhält sich bei MDF (HWS 1 + 2), den Spanplatten (HWS 3 + 4) und Fichtensperrholz quer (HWS 9) gerade umgekehrt wie bei der Biegefestigkeit und dem Biege-E-Modul. Die Arbeit nimmt mit zunehmender Temperatur auf Grund der Zunahme der elastischen (Abnahme des E-Moduls)

Tabelle 2 Biegefestigkeit (σ_{bB}), Biege-E-Modul (E_b) und Arbeit bis zur Maximalspannung (W_b), jeweils mit den dazugehörigen Standardabweichungen, in Abhängigkeit von der Temperatur. HF = Feuchte des Holzwerkstoffes

Table 2 Bending strength (σ_{bB}), bending MOE (E_b) and work to maximal load (W_b) with standard deviation depending on temperature. HF = humidity of the wooden material

	Dichte (kg/m ³)		Temperatur -20 °C		Temperatur 0 °C		Temperatur 20 °C		Temperatur 40 °C		Temperatur 60 °C	
				HF %		HF %		HF %		HF %		HF %
1. MDF, 16 mm	749 ± 8,5	σ_{bB} [N/mm ²]	44,9 ± 4,4	7,6	41,4 ± 3,6	7,6	38,0 ± 3,3	7,7	31,7 ± 1,8	8,2	25,0 ± 1,1	7,9
		E_b [N/mm ²]	4890 ± 300		4270 ± 230		4310 ± 240		3510 ± 150		2570 ± 90	
		W_b [J]	7000 ± 1150		7360 ± 1160		7110 ± 1040		7680 ± 1130		8290 ± 1210	
2. MDF, 18 mm	759 ± 5,2	σ_{bB} [N/mm ²]	45,8 ± 2,7	8,3	43,8 ± 1,9	8,0	38,3 ± 2,4	8,7	34,9 ± 1,8	8,2	26,0 ± 1,3	8,2
		E_b [N/mm ²]	4940 ± 220		4510 ± 130		4090 ± 180		3660 ± 120		2410 ± 110	
		W_b [J]	9160 ± 870		9960 ± 1040		10400 ± 1500		13130 ± 1910		15430 ± 2670	
3. Spanplatte, 16 mm	661 ± 9,6	σ_{bB} [N/mm ²]	13,4 ± 1,6	9,9	13,0 ± 1,2	9,2	12,6 ± 0,9	9,6	11,5 ± 1,0	9,3	9,3 ± 0,7	9,4
		E_b [N/mm ²]	2970 ± 240		2330 ± 180		2530 ± 110		2310 ± 190		1600 ± 100	
		W_b [J]	1040 ± 190		1120 ± 180		1150 ± 170		1180 ± 200		1220 ± 200	
4. Spanplatte, 18 mm	645 ± 11,7	σ_{bB} [N/mm ²]	12,1 ± 1,2	9,5	12,7 ± 1,6	8,7	11,2 ± 1,2	9,8	10,4 ± 1,0	9,0	8,3 ± 0,8	9,1
		E_b [N/mm ²]	2580 ± 160		2290 ± 210		2030 ± 210		1790 ± 220		1170 ± 120	
		W_b [J]	1220 ± 240		1360 ± 280		1380 ± 190		1440 ± 220		1520 ± 270	
5. OSB 3, 18 mm	645 ± 14,2	σ_{bB} [N/mm ²]	36,8 ± 5,8	9,7			34,6 ± 3,6	9,2			23,2 ± 2,7	9,9
		E_b [N/mm ²]	6710 ± 410				6050 ± 280				4150 ± 350	
		W_b [J]	4270 ± 1390				4490 ± 1170				3780 ± 1250	
6. Sperrholz Bu längs, 19 mm	729 ± 12,4	σ_{bB} [N/mm ²]	79,0 ± 6,8	9,6			68,7 ± 4,4	9,9			52,3 ± 3,8	10,3
		E_b [N/mm ²]	8300 ± 610				7870 ± 250				6650 ± 390	
		W_b [J]	24540 ± 5830				23670 ± 3920				26190 ± 6140	
7. Sperrholz Bu quer, 19 mm	724 ± 14,0	σ_{bB} [N/mm ²]	80,2 ± 7,7	9,8			71,7 ± 7,9	9,9			50,1 ± 4,5	10,2
		E_b [N/mm ²]	8220 ± 350				7120 ± 580				5730 ± 770	
		W_b [J]	23100 ± 5520				28420 ± 7540				24440 ± 7560	
8. Sperrholz Fi längs, 15 mm	525 ± 27,3	σ_{bB} [N/mm ²]	38,6 ± 6,1	11,1	35,9 ± 5,2	11,1	33,8 ± 5,2	10,6	30,8 ± 4,1	11,7	29,6 ± 3,6	9,9
		E_b [N/mm ²]	5800 ± 410		5080 ± 290		5240 ± 330		5020 ± 460		4500 ± 340	
		W_b [J]	4560 ± 1630		4720 ± 1450		4360 ± 1500		5140 ± 2370		5650 ± 1920	
9. Sperrholz Fi quer, 15 mm	526 ± 17,6	σ_{bB} [N/mm ²]	48,0 ± 11,8	11,0			44,2 ± 7,9	10,9			36,0 ± 5,0	11,3
		E_b [N/mm ²]	6000 ± 770				5820 ± 520				4880 ± 580	
		W_b [J]	7940 ± 4820				9110 ± 4060				9610 ± 3810	
10. MHP Fi längs, 16 mm	500 ± 15,4	σ_{bB} [N/mm ²]	52,7 ± 7,8	12,5	49,1 ± 10,3	12,7	50,2 ± 6,2	11,8			30,8 ± 3,0	13,0
		E_b [N/mm ²]	7900 ± 600		7570 ± 930		8410 ± 470				4540 ± 680	
		W_b [J]	8590 ± 3330		8590 ± 3400		9470 ± 2950				6520 ± 1360	
11. MHP Fi quer, 16 mm	491 ± 21,3	σ_{bB} [N/mm ²]	33,8 ± 8,6	12,1			27,7 ± 6,5	12,7			19,8 ± 3,1	12,5
		E_b [N/mm ²]	2560 ± 440				2350 ± 460				1960 ± 380	
		W_b [J]	9490 ± 3550				8620 ± 3250				6830 ± 1890	

Tabelle 3 Prozentuale Veränderung der Werte gegenüber den Werten bei 20 °C. F_{max} = Maximalkraft

Table 3 Percentage change of the values in comparison with the values at 20 °C. F_{max} = Maximal load

Holzwerkstoff	Biegefestigkeit ($\Delta\%$)		Biege-E-Modul ($\Delta\%$)		Arbeit bis F_{max} ($\Delta\%$)	
	-20 °C	60 °C	-20 °C	60 °C	-20 °C	60 °C
1. MDF, 16 mm	18	-34	14	-40	-2	17
2. MDF, 18 mm	19	-32	21	-41	-12	48
3. Spanplatte, 16 mm	6	-26	17	-37	-9	6
4. Spanplatte, 18 mm	8	-26	27	-43	-12	10
5. OSB 3, 18 mm	6	-33	11	-31	-5	-16
6. Sperrholz Bu längs, 19 mm	15	-24	6	-16	4	11
7. Sperrholz Bu quer, 19 mm	12	-30	16	-20	-19	-14
8. Sperrholz Fi längs, 15 mm	14	-12	11	-14	5	30
9. Sperrholz Fi quer, 15 mm	8	-19	3	-16	-13	5
10. MHP Fi längs, 16 mm	5	-39	-6	-46	-9	-31
11. MHP Fi quer, 16 mm	22	-28	9	-16	10	-21

und plastischen Verformung trotz der Abnahme der Biegefestigkeit zu, da die Bruchdehnung steigt. Bei OSB (HWS 5) sowie Buchensperrholz quer (HWS 7) und Massivholzplatten (Fichte) längs (HWS 10) liegt die größte Arbeit bis zur Maximalkraft

bei 20 °C. Bei Buchensperrholz längs (HWS 6) und Fichtensperrholz längs (HWS 8) liegt dagegen die niedrigste Arbeit bis zur Maximalkraft bei 20 °C und bei der Massivholzplatte quer (HWS 11) nimmt die Arbeit mit zunehmender Temperatur ab.

Abb. 3 Biege-E-Modul in Abhängigkeit von der Temperatur

Fig. 3 Modulus of elasticity depending on temperature

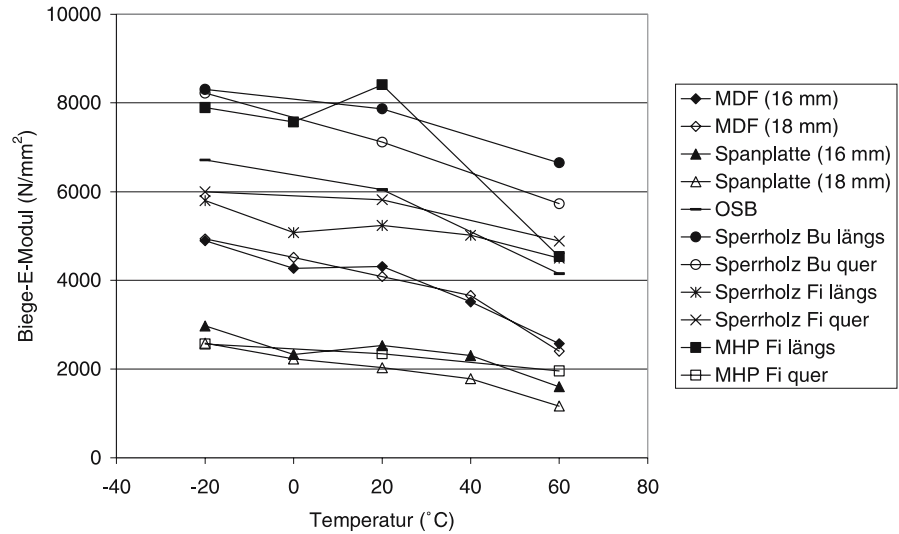
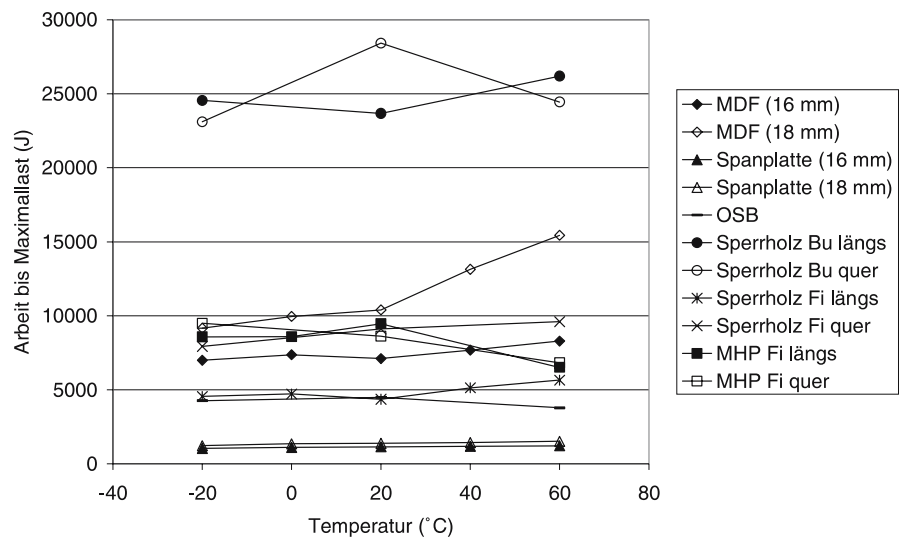


Abb. 4 Arbeit bis zur Maximallast in Abhängigkeit von der Temperatur

Fig. 4 Work to maximal load depending on temperature



4 Diskussion

Im Vergleich mit Untersuchungen von Niemz und Strauss (2002), welche an MDF, OSB und Spanplatten im Bereich zwischen -40 °C und 60 °C durchgeführt wurden, konnte bis 40 °C ein ähnlicher Verlauf der Biegefestigkeit und des Biege-E-Moduls festgestellt werden. Zwischen 40 °C und 60 °C ist jedoch die Abnahme auf Grund der unterschiedlichen Versuchsanordnung (ca. 3% Feuchteverlust während der Klimatisierung bei 60 °C) bei den Untersuchungen von Niemz und Strauss geringer. Ebenfalls eine geringere Abnahme der Biegefestigkeit von MDF, OSB und Spanplatten zwischen 20 °C und 60 °C haben Bekhta et al. (2003) gemessen. Sie haben die Biegefestigkeit zwischen 20 °C und 140 °C untersucht und dabei insgesamt eine Reduktion von 40% für die Spanplatte, von 37% für MDF und von 30% für OSB festgestellt. Zwischen 20 °C und 60 °C erfolgte eine Reduktion von 18% für Spanplatte, von 21% für

MDF und 14% für OSB. Die geringere Abnahme gegenüber den eigenen Messungen ist bei MDF und der Spanplatte (beide Platten Harnstoffharz verleimt) wiederum auf den Feuchteverlust der Proben während der Klimatisierung zurückzuführen. Bei OSB hat zusätzlich die unterschiedliche Klebstoffart (Isocyanat) einen starken Einfluss.

Das nicht lineare Verhalten der Arbeit bis zur Maximalkraft wurde schon von verschiedenen Autoren sowohl bei Vollholz als auch bei Holzwerkstoffen beobachtet. So hat bereits Kollmann (1951) ein Maximum der Biegearbeit bei Kiefernholz bei 0 °C beschrieben. Bei Suzuki und Saito (1987) erfolgt die größte Arbeit bis zur Maximalkraft bei Phenolharz und Melamin-Harnstoffharz verleimten Spanplatten bei 40 °C und bei Harnstoffharz verleimten Spanplatten bei 60 °C . Ähnliches haben DeXin und Östman (1983) bei Zugproben beobachtet. So erfolgt bei Harnstoffharz und Phenolharz verleimten Spanplatten zwischen -15 °C und $+45\text{ °C}$ eine Zunahme der Zugarbeit mit steigender Temperatur.

Die beiden MDF-Platten von 16 mm und 18 mm Plattendicke verhalten sich bezüglich Biegefestigkeit und Biege-E-Modul ziemlich ähnlich, wobei die 18 mm dicke Platte auf Grund der höheren Dichte etwas höhere Werte gegenüber der 16 mm dicken Platte aufweist (Abb. 5). Deshalb ist das sehr unterschiedliche Verhalten bezüglich der Arbeit bis zur Maximallast erstaunlich (Abb. 4). Während die Arbeit bei 60 °C gegenüber der Arbeit bei -20 °C bei der 16 mm dicken Platte nur um knapp 20% zunimmt, beträgt die Zunahme bei der 18 mm dicken Platte etwa 70%. Die hohe Zunahme der 18 mm dicken Platte ist auf das mit zunehmender Temperatur sehr stark ansteigende plastische Verhalten im Bereich der Maximallast zurückzuführen. Hier macht sich offensichtlich der Plattenaufbau stark bemerkbar.

Interessant ist ein Vergleich der untersuchten Eigenschaften der Holzwerkstoffe mit denjenigen von Vollholz. Dabei vermindern sich sowohl die Biegefestigkeit als auch der Biege-E-Modul oberhalb von 20 °C bei den Holzwerkstoffen wesentlich stärker als bei Vollholz in Faserrichtung. Das Verhalten unterhalb von 20 °C ist nicht mehr gleich eindeutig. Im Folgenden soll nun detailliert auf das Verhalten der Holzwerkstoffe im Vergleich zum Vollholz eingegangen werden.

Nach Gerhards (1982) beträgt die Abnahme des Biege-E-Moduls zwischen 20 °C und 60 °C bei Vollholz in Faserrichtung bei 12% Holzfeuchte 3%–20% (Zusammenfassung von Werten verschiedener Holzarten bei verschiedenen Autoren). Nach Angaben anderer Autoren liegen die Werte eher unterhalb der Mitte dieses weiten Abnahmebereichs (Mishiro und Asano

(1984a): 10% für Fichte; Green et al. (1999): 8% als Mittelwert verschiedener Nadelhölzer). Bei den untersuchten Holzwerkstoffen ist die Abnahme teilweise weit stärker als bei Vollholz in Faserrichtung und beträgt zwischen 16% und 46% (Tabelle 3). Dies lässt sich u. a. dadurch begründen, dass bei den Holzwerkstoffen eine teilweise Ausrichtung des Holzes (bzw. der Holzpartikel) quer zur Faserrichtung besteht. Bei Vollholz ist nach Gerhards (1982) die temperaturbedingte Abnahme des Biege-E-Moduls quer zur Faserrichtung ebenfalls deutlich höher als in Faserrichtung und beträgt zwischen 20 °C und 60 °C 30%–55%.

Die Abnahme der Biegefestigkeit zwischen 20 °C und 60 °C beträgt nach Gerhards (1982) bei Vollholz in Faserrichtung bei 12% Holzfeuchte 20%–27%. Die Abnahme der Biegefestigkeit der untersuchten Holzwerkstoffe zwischen 20 °C und 60 °C befindet sich demnach im oberen Bereich derjenigen von Vollholz oder darüber. Eine Ausnahme bildet einzig das Fichtensperrholz. Eventuell spielt für die hohe Abnahme der Festigkeit neben der Wahl des Klebstoffes ebenfalls die Orientierung der Partikel eine Rolle. Es konnten jedoch für die temperaturbedingte Abnahme der Festigkeit von Vollholz quer zur Faser keine Literaturdaten gefunden werden. Hierzu sind weiterführende Arbeiten erforderlich.

Zwischen 20 °C und -20 °C verhält sich die Biegefestigkeit der Holzwerkstoffe gerade umgekehrt gegenüber den Werten von Vollholz. Die Abnahme der Biegefestigkeit der Holzwerkstoffe zwischen -20 °C und 20 °C ist mit 5%–22% teilweise

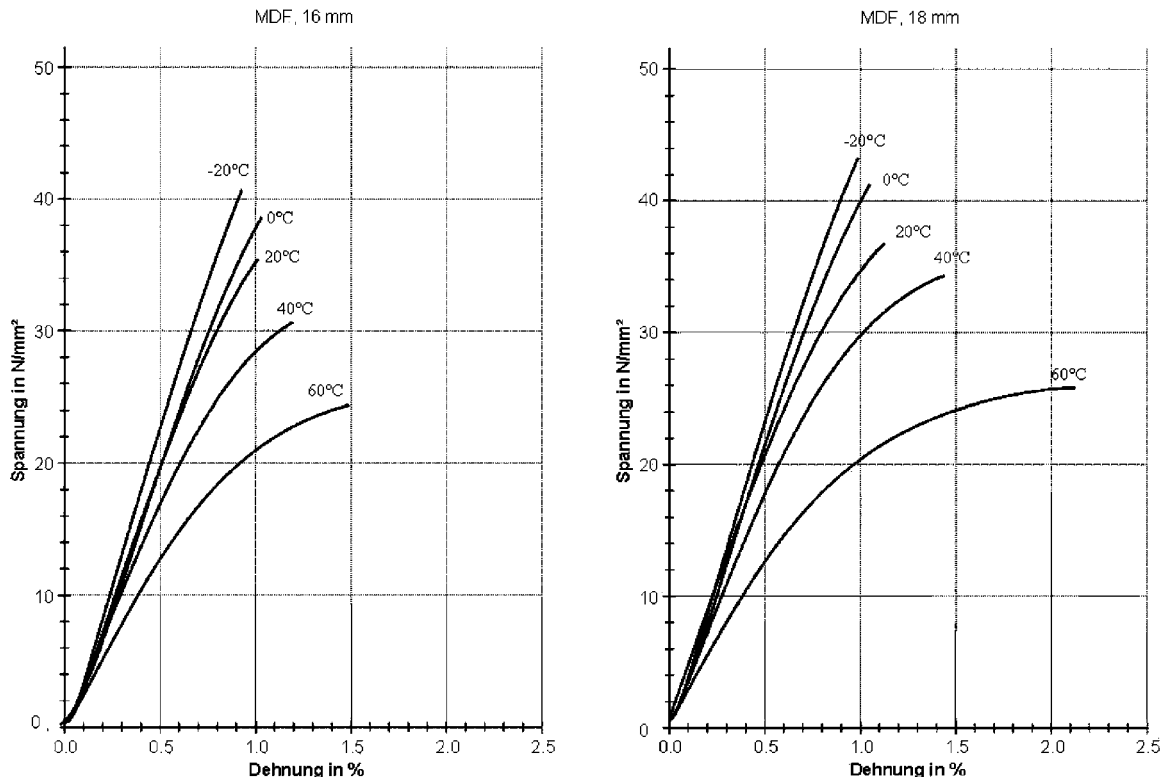


Abb. 5 Spannungs-Dehnungsdiagramme der Biegeproben der beiden MDF-Platten. Dargestellt sind die Mittelwertskurven bei entsprechender Prüftemperatur
Fig. 5 Stress-strain curves (mean) of the bending specimens of the two MDF-boards depending on the temperature

wesentlich geringer als bei Vollholz in Faserrichtung (Gerhards (1982): 17%–26%; Mishiro und Asano (1984a): 25%). Die Abnahme des Biege-E-Moduls liegt dagegen bei den MDF- und Spanplatten wie oberhalb 20 °C im Bereich der Werte von Vollholz quer zur Faser (Gerhards (1982): 20%), bei OSB sowie den Sperrholz und Massivholzplatten eher im Bereich der Werte von Vollholz parallel zur Faser (Gerhards (1982): 4%–12%, Mishiro und Asano (1984a): 5%; Green et al. (1999): 8%).

Literatur

- Bekhta P, Lecka J, Morze Z (2003) Short-term effect of the temperature on the bending strength of wood-based panels. *Holz Roh- Werkst* 61(7): 423–424
- DIN EN 310 (1993) Holzwerkstoffe: Bestimmung des Biege-Elastizitätsmoduls und der Biegefestigkeit. Beuth Verlag, Berlin
- DeXin Y, Östman BA-L (1983) Tensile strength properties of particle boards at different temperatures and moisture contents. *Holz Roh Werkst* 41(7):281–286
- Gerhards CC (1982) Effect of moisture content and temperature on the mechanical properties of wood: An analysis of immediate effects. *Wood Fiber Sci* 14(1):4–36
- Green DW, Evans JM, Logan JD, Nelson WJ (1999) Adjusting modulus of elasticity of lumber for changes in temperature. *Forest Prod J* 49(10):82–94
- Kollmann F (1951) *Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe*, 1. Band, 2. Auflage. Springer-Verlag, Berlin Göttingen Heidelberg, p 1050
- Mishiro A, Asano I (1984) Mechanical properties of wood at low temperatures. Effect of moisture content and temperature on the bending properties of wood I. Moisture content below the fiber saturation point. *Mokuzai Gakkaishi* 30(3):207–213
- Mishiro A, Asano I (1984b) Mechanical properties of wood at low temperatures. Effect of moisture content and temperature on the bending properties of wood II. Moisture content beyond the fiber-saturation point. *Mokuzai Gakkaishi* 30(4):277–286
- Niemz P (1993) *Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe*. DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen, p 243
- Niemz P, Strauss H (2002) Orientierende Untersuchungen zum Einfluss von Temperatur und relativer Luftfeuchte auf die Eigenschaften von Holzwerkstoffen. *Holz* 3:39–41
- Properzi M, Simon C, Pizzi A, George B, Uzielli L, Elbez G (2002) Comparative performance of fast-setting single and separative application exterior wood adhesives for structural glulam. *Holzforsch Holzverw* 1:18–20
- Suzuki S, Saito F (1987) Effects of environmental factors on the properties of particleboard I. Effect of temperature on bending properties. *Mokuzai Gakkaishi* 33(4):298–303