

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

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 155 (2004)

Heft: 11

Artikel: Einfluss des Plattenaufbaus und des Pressdrucks auf die Eigenschaften dreischichtiger Massivholzplatten

Autor: Steiger, Benjamin / Niemz, Peter / Hurst, Andreas

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1098146>

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: 11.04.2026

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

Einfluss des Plattenaufbaus und des Pressdrucks auf die Eigenschaften dreischichtiger Massivholzplatten¹

BENJAMIN STEIGER, PETER NIEMZ UND ANDREAS HURST

Keywords: Solid wood panels; pressing pressure; panel lay-up; mechanical and physical properties. FDK 82 : 83

1. Einleitung

Massivholzplatten werden in zunehmendem Masse im Bauwesen eingesetzt. Bisher liegen relativ wenig Angaben zur Eigenschaftsbildung vor. Die Daten basieren meist auf Herstellerangaben. Im Rahmen dieser Arbeit wurde geprüft, inwieweit sich

- der Schichtaufbau (Verhältnis der Dicke der Mittellage zur Decklage)
- die Qualität der Decklagen (Verwendung von mittels Ultraschall vorsortierten Decklagen der Klasse C 40)
- das Schlitzeln der Mittellagen (eingesetzt zur Erhöhung der Formbeständigkeit)
- die Lage der Jahrringe in den Decklagen (radial, tangential)
- der Pressdruck beim Verpressen der Platten

auf die physikalischen und mechanischen Eigenschaften der Massivholzplatten auswirken.

Der Pressdruck wurde dabei im Bereich von ein bis sechs Bar variiert. Der Pressdruck von einem Bar entspricht etwa dem bei Vakuumpressen vorliegenden Pressdruck. Diese gewinnen infolge der im Vergleich zu Rahmenpressen deutlich niedrigeren Investitionskosten wachsende Bedeutung. Geprüft wurden die Biegefestigkeit, der Biege-E-Modul, die Längenquellung bei Feuchteänderung, der Plattenverzug im Differenzklima und der Diffusionswiderstand.

2. Versuchsmaterial und -methodik

2.1 Herstellung der Platten

Als Rohmaterial dienten industriell gefertigte (verklebte) Lagen aus Fichtenholz variabler Dicke und Qualität (vgl. *Tabelle 1*). Die Breite der Lamellen betrug 67 mm, die Dicke der fertigen Platten 30 mm, bei geschlitzter Mittellage 25 mm. Die Lagen wurden mittels Kreissäge in ein Format von 80 mm x 1200 mm zugeschnitten (*Abbildung 1*). Diese Lagen wurden anschliessend bis zur Massenkonstanz im Klimaraum bei 20 °C und 65% relativer Luftfeuchtigkeit klimatisiert.

Als Klebstoff wurde ein 1-K-Polyurethanklebstoff (PUR Bond HB110) der Firma Collano verwendet. Der Auftrag des Klebstoffes erfolgte mit Handspachtel. Durch Wiegen vor und nach dem Klebstoffauftrag wurde die Auftragsmenge kontrolliert. Der Klebstoffauftrag betrug 240 g/m² (Klebstoffauftrag nur auf einer Plattenseite). Das Verpressen erfolgte mit einer Einetagenpresse. Die Pressdauer betrug drei Stunden. Der Pressdruck erreichte je nach Variante ein, zwei, vier oder sechs Bar. Die Sortierung der Decklagen nach dem E-Modul erfolgte mittels Ultraschall (Gerät: Sylvatest Duo). Es wurde Holz der Klasse C 40 verwendet.

Zur Untersuchung des Einflusses des Schlitzens der Mittellage wurden industriell (mittels Kreissägetechnik) eingeschnit-

		Geprüfte Eigenschaften (jeweils Decklage längs und quer)						
		Mechanische Eigenschaften				Physikalische Eigenschaften		
		Biegefestigkeit	E-Modul	Dehnung	Proportionalitätsgrenze	Diffusionswiderstand	Längenquellung	Plattenverzug
Plattenaufbau	Lagenverhältnis	6 / 18 / 6						
		8 / 14 / 8						
		10 / 10 / 10						
Lageneigenschaften	Mittellage	geschlitzt						
		ungeschlitzt						
	Qualität	ultraschallsortiert						
		nicht sortiert						
	Jahrringstellung	liegend						
		stehend						
zufällig								
Produktionstechnologie	Pressdruck	1 bar						
		2 bar						
		4 bar						
		6 bar						

Tabelle 1: Versuchsübersicht Massivholzplatten.

¹ Die Arbeit wurde durch Mittel des Schweizerischen Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung unterstützt.

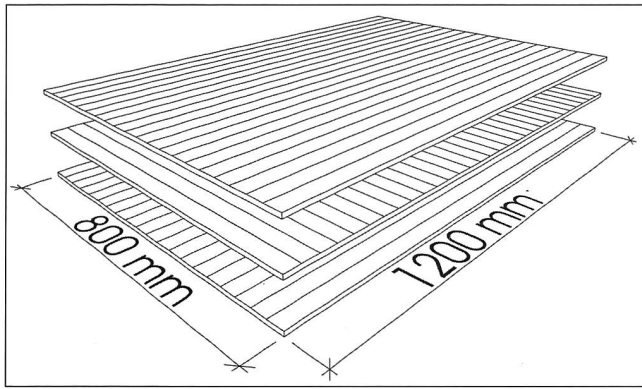


Abbildung 1: Aufbauschema der Platten.

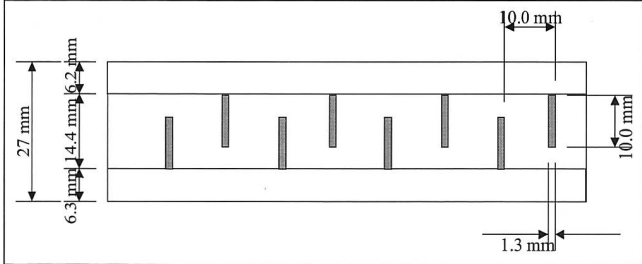
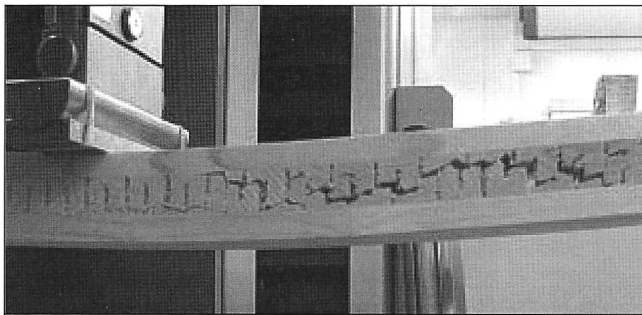


Abbildung 2: Geschlitzte Mittellage (oben) und Abmessungen der Schlitzung (unten).

tene Mittellagen mit 15 mm Dicke eingesetzt (Schlitztiefe 10 mm, Abstand der Schlitzung untereinander 10 mm, wechselseitig von oben und unten eingesägt, siehe *Abbildung 2*).

2.2 Probenzuschnitt und Prüfung

Aus den Platten wurden die in *Tabelle 2* aufgeführten Proben zugeschnitten.

Folgende Prüfungen wurden durchgeführt:

- Biegefestigkeit und E-Modul

Die Prüfung der Biegefestigkeit und des E-Moduls erfolgte nach EN 310 – Probenbreite 50 mm, Stützweite 600 mm (20 x Probenbreite). *Abbildung 3* zeigt schematisch die Prüfung.

- Diffusionswiderstandszahl nach DIN 52615

Die Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl μ (auch als Diffusionswiderstandsfaktor benannt) ist der Quotient aus dem Wasserdampf-Diffusionsleitkoeffizienten der Luft δ_D und dem des betreffenden Stoffes. Er gibt an, wieviel mal grösser der Diffusions-Durchlasswiderstand des Stoffes ist als der einer gleich dicken, ruhenden Luftschicht gleicher Temperatur.

Die Prüfung erfolgte nach DIN 52615. Es wurden kreisförmige Proben (*Abbildung 4*) mit einem Durchmesser von 14 cm verwendet. Die Abdichtung erfolgte durch eine Gummimanschette. Die Prüfung wurde nach der von POPPER *et al.* (2002b) beschriebenen Methode durchgeführt. Die Prüfung erfolgte gemäss *Abbildung 4* im Differenzklima (Normalklima 20 °C / 65% rel. Luftfeuchte und 20 °C / 0% rel. Luftfeuchte (Silikagel)). Je Variante wurden fünf Proben geprüft.

Tabelle 2: Probenabmessungen je Plattenart (// Decklage längs, \perp Decklage quer).

Anzahl	Probenart	Länge [mm]	Breite [mm]
60	Biegeproben //	650	50
60	Biegeproben \perp	650	50
4	Diffusionswiderstand	150	150
3	Plattenverzug	300	300
5	Diff. Quellung //	200	20
5	Diff. Quellung \perp	200	20

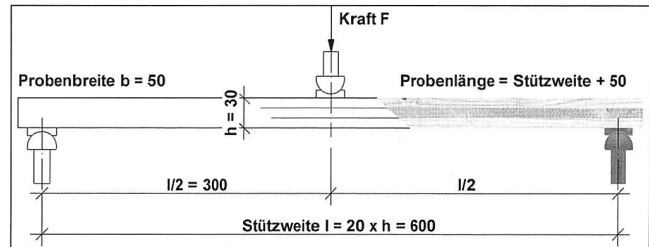


Abbildung 3: Biegeprüfung.

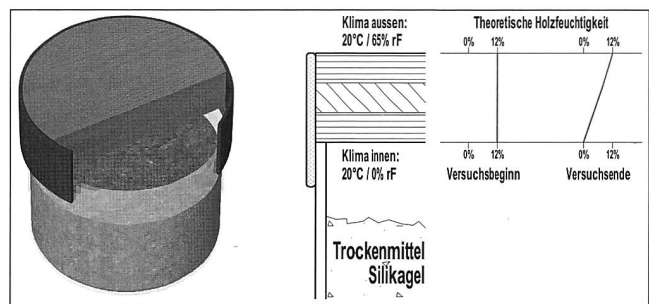


Abbildung 4: Versuchsanordnung zur Bestimmung des Diffusionswiderstandes.

Die im Normalklima gelagerten Proben wurden zunächst gewogen. Das Glasgefäß wurde bis zehn mm unter den Rand mit Trockenmittel (Silikagel) aufgefüllt, die Versuchsprobe aufgesetzt und mit einer Gummimanschette abgedichtet. Die Proben wurden in gewissen Zeitabständen von den Gefässen abgenommen und gewogen. Dieser Vorgang wurde bis zur Massekonstanz wiederholt. Die Massekonstanz galt als erreicht, wenn sich die Masse der Probe gegenüber der vorherigen Wägung im Abstand von 24 Stunden um nicht mehr als 0,1% geändert hatte. Nach DIN 52615 wurde dann die Diffusionswiderstandszahl berechnet.

- Längenquellung

Die Längenquellung der Proben wurde in Anlehnung an EN 318 bestimmt. Es wurden Proben im Format 20 mm (Breite) x 200 mm (Länge) verwendet. Die Proben wurden zunächst bei 20 °C / 65% rel. Luftfeuchte gelagert. Danach wurden sie bei 20 °C und 35%, 50%, 65%, 80% und 95% rel. Luftfeuchte bis zum Erreichen der jeweiligen Massekonstanz (0,1% Massenänderung innerhalb 24 Stunden) klimatisiert und sofort gemessen.

Die Längenänderung wurde nach Gleichung 1 bestimmt und auf die Abmessungen bei 65% rel. Luftfeuchte bezogen.

$$dl_f = \frac{l_f - l_{65}}{l_{65}} \cdot 1000 [\%]; \quad \text{Gleichung 1}$$

dl_f relative Längenänderung bei relativer Luftfeuchte f [%]

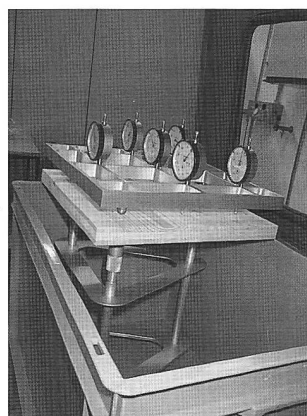
l_{65} Länge bei 65% relativer Luftfeuchte [mm]

l_f Länge bei relativer Luftfeuchte f [mm]

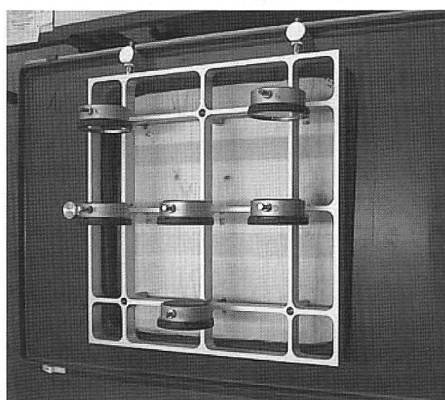
Tabelle 3: Einfluss des Pressdrucks auf E-Modul und Biegefestigkeit.

Plattendicke: 30 mm (10/10/10).

Plattenart			Festigkeit	E-Modul	Dehnung	Proportionalitätsgrenze	Dichte
Mittelwert	Richtung der Decklage	Ø	N/mm ²	N/mm ²	%	N/mm ²	kg/m ³
Anzahl Proben		#	-	-	-	-	-
Standardabweichung		s	N/mm ²	N/mm ²	%	N/mm ²	kg/m ³
Variationskoeffizient		v	%	%	%	%	%
Aufbau: 10/10/10 Pressdruck: 1 bar Sortierung: keine Mittellage: normal	DL längs	Ø	58.4	9115	0.93	41.81	0.453
		#	55	55	55	55	55
		s	9.3	1429	0.22	5.79	0.020
		v	15.87	15.68	23.80	13.85	4.41
	DL quer	Ø	11.9	734	2.33	6.40	0.453
		#	58	58	58	58	58
		s	1.8	96	0.52	0.56	0.017
		v	14.68	13.08	22.20	8.74	3.74
Aufbau: 10/10/10 Pressdruck: 2 bar Sortierung: keine Mittellage: normal	DL längs	Ø	55.9	8835	0.95	39.43	0.437
		#	55	55	55	55	55
		s	9.2	1290	0.23	7.02	0.026
		v	16.43	14.60	24.58	17.81	5.97
	DL quer	Ø	11.5	736	2.23	6.34	0.442
		#	59	59	59	59	59
		s	1.9	131	0.48	0.61	0.019
		v	16.19	17.76	21.38	9.62	4.23
Aufbau: 10/10/10 Pressdruck: 4 bar Sortierung: keine Mittellage: normal	DL längs	Ø	57.2	8755	1.01	40.61	0.443
		#	55	55	55	55	55
		s	9.0	1205	0.30	5.06	0.021
		v	15.65	13.76	29.54	12.46	4.80
	DL quer	Ø	11.2	657	2.49	6.24	0.441
		#	59	59	59	59	59
		s	2.1	113	0.67	0.72	0.016
		v	18.54	17.22	27.06	11.49	3.65
Aufbau: 10/10/10 Pressdruck: 6 bar Sortierung: keine Mittellage: normal	DL längs	Ø	59.3	9363	1.03	43.36	0.452
		#	59	59	59	59	59
		s	6.9	1430	0.29	5.68	0.019
		v	11.58	15.27	28.25	13.10	4.28
	DL quer	Ø	11.7	703	2.42	6.81	0.449
		#	58	58	58	58	58
		s	1.6	93	0.52	0.55	0.016
		v	13.38	13.19	21.39	8.10	3.59



a)



b)

Abbildung 5: Vorrichtung zur Bestimmung der Formbeständigkeit.

- a) Probenauflagerung und Messrahmen.
- b) Abdichtung mittels Kunststoffdeckel und Gummidichtung.

• Formbeständigkeit im Differenzklima
Die Formbeständigkeit im Differenzklima (20 °C / 65% rel. Luftfeuchte und 20 °C / 100% rel. Luftfeuchte) wurde nach der von POPPER *et al.* (2002a) beschriebenen Methode bestimmt. *Abbildung 5* zeigt die Versuchseinrichtung. Die Proben wurden auf drei Punkten aufgelagert, das Gefäß mittels eines Kunststoffdeckels und einer weichen Gummidichtung luftdicht abgeschlossen. Es wurde die Deformation pro m Probenlänge in und senkrecht zur Faserrichtung ermittelt. Messungen wurden bei Prüfbeginn, nach 1, 2, 4, 7, 10, 14, 21 und 31 Tagen durchgeführt. Die Genauigkeit der Messungen beträgt 0,01 mm.

3. Versuchsergebnisse

3.1. Mechanische Eigenschaften

3.1.1 Einfluss des Pressdrucks

Bei dem verwendeten PUR Klebstoff bringt eine Erhöhung des Pressdruckes von ein auf sechs Bar keine gesicherte Erhöhung des E-Moduls und der Biegefestigkeit (*Tabelle 3* und *Abbildung 6*). Der geringfügige Abfall der Biegefestigkeit von einem auf zwei Bar kann als zufällig betrachtet werden.

Diese Tendenz gilt für die Orientierung der Decklagen parallel und senkrecht zur Probenlängsachse. Die ermittelte Tendenz bestätigt Erfahrungen beim Verkleben von Fichte mittels PUR Klebstoff und Vakuumpressen. Bei diesen Pressen

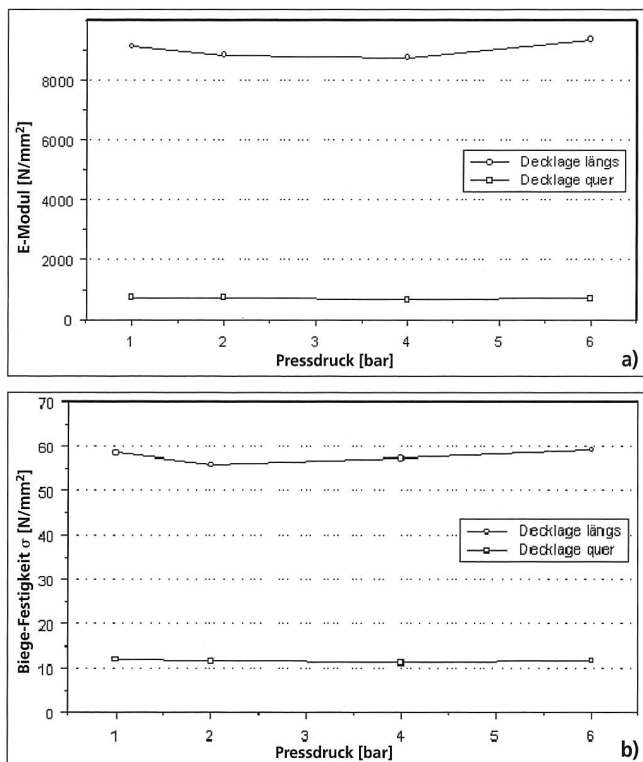


Abbildung 6: Einfluss des Pressdruckes auf den E-Modul (a) und die Biegefestigkeit (b).

Plattendicke: 30 mm, Schichtaufbau in mm: 10/10/10.

liegt der Pressdruck etwa auch nur bei einem Bar. Abbildung 7 zeigt die Ausbildung einer Leimfuge. Es ist deutlich ein gewisses Eindringen des Klebstoffes in das Holz aber auch die Konzentration des Klebstoffes in der Fuge erkennbar.

3.1.2 Einfluss des Schichtenaufbaus

Mit steigendem Anteil der Mittellage an der gesamten Plattendicke sinken der E-Modul und die Biegefestigkeit bei Orientierung der Decklagen parallel zur Probenlängsachse deutlich ab (Tabelle 4 und Abbildung 8). Sind die Decklagen senkrecht zur Faser orientiert, tritt der gegenläufige Effekt ein, da dann die Mittellage diejenige Schicht ist, die im wesentlichen die Spannungen überträgt. Der beschriebene Effekt liegt in den wesentlich höheren E-Modulen bzw. Festigkeiten parallel zur Faserrichtung begründet.

So beträgt der E-Modul für Fichte in Faserrichtung etwa 10 000 N/m², radial 800 N/mm², tangential 450 N/mm² (DIN 68364). Der Einfluss der Schichteigenschaften lässt sich nach den Gesetzen der Laminattheorie gut vorausberechnen (DONZÉ 2002).

DONZÉ (2002) gibt beispielsweise für den Biege-E-Modul folgende Formel an:

$$E = E_{DL} \left[1 - \frac{L_V^3}{(L_V + 2)^3} \right] + \frac{E_{ML} \cdot L_V^3}{(L_V + 2)^3} \quad \text{Gleichung 2}$$

E E-Modul der Platte

E_{DL} E-Modul der Deckschicht

E_{ML} E-Modul der Mittelschicht

L_V Dickenverhältnis von Mittellage zu Decklage

Die experimentell und die rechnerisch bestimmten Werte stimmen gut überein.

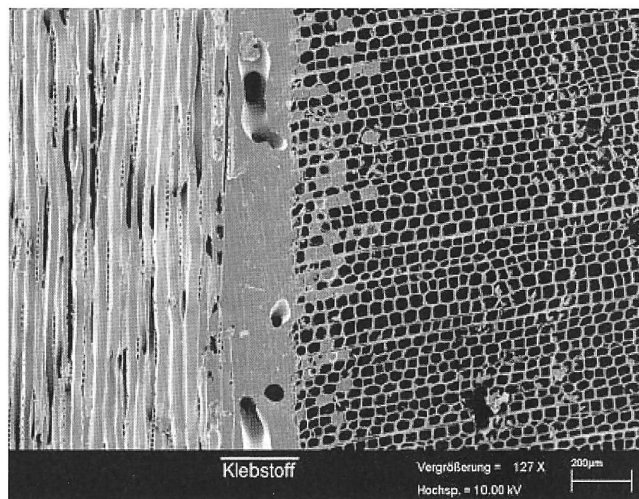


Abbildung 7: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme einer Klebfuge.

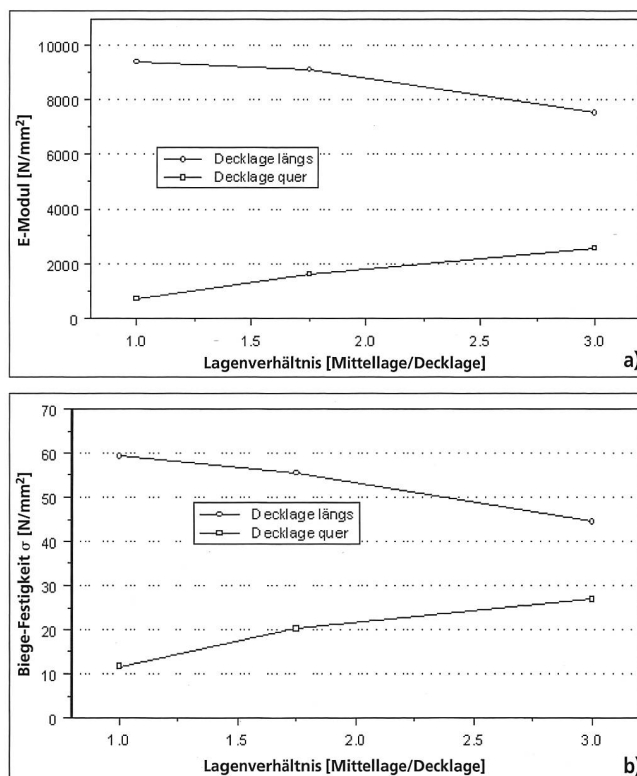


Abbildung 8: E-Modul (a) und Biegefestigkeit (b) als Funktion des Verhältnisses der Dicke der Mittel- zur Decklage.

Plattendicke 30 mm, Lagenverhältnis und Plattenaufbau: 1: 10/10/10; 1,75: 8/14/8; 3: 6/18/6, Pressdruck: 6 bar.

3.1.3 Einfluss der Qualität der Decklagen

Analog der Schichtdicke wirkt sich auch die Qualität der Decklagen auf E-Modul und Biegefestigkeit aus. Platten mit ultraschallsortiertem Holz in den Decklagen (E-Modul > 14 000 N/mm²) ergeben einen höheren E-Modul und eine höhere Biegefestigkeit (Tabelle 5 und Abbildung 9) als Platten aus unsortiertem Holz in den Decklagen. Auch dies stimmt mit rechnerischen Ansätzen gut überein (DONZÉ 2002). In der Qualitätssortierung liegt also eine gute Möglichkeit, die Materialeigenschaften der bereitstehenden Holzsortimente besser auszunutzen (Einsatz höherwertiger Qualitäten in den Decklagen, minderwertiger in den Mittellagen). Hier würde sich auch eine gute Verwendungsmöglichkeit für Starkholz (äußere Stammbereiche haben wegen der geringeren Jahringbreite höhere Biegefestigkeit) ergeben (AUKHOFFER & GLOS 2000). Es können also analoge Prinzipien der Qualitätssortierung wie beim Brettschichtholz genutzt werden.

Tabelle 4: Einfluss des Lagenverhältnisses auf den E-Modul und die Biegefestigkeit.

Plattendicke: 30 mm, Pressdruck: 6 bar.

Plattenart		Biegefestigkeit	E-Modul	Dehnung	Proportionalitätsgrenze	Dichte	
Mittelwert	Richtung der Decklage	Ø	N/mm ²	N/mm ²	%	N/mm ²	kg/m ³
Anzahl Proben		#	-	-	-	-	-
Standardabweichung		s	N/mm ²	N/mm ²	%	N/mm ²	kg/m ³
Variationskoeffizient		v	%	%	%	%	%
Aufbau: 10/10/10 Pressdruck: 6 bar Sortierung: keine Mittellage: normal	DL längs	Ø	59.3	9363	1.03	43.36	0.452
		#	59	59	59	59	59
		s	6.9	1430	0.29	5.68	0.019
		v	11.58	15.27	28.25	13.10	4.28
	DL quer	Ø	11.7	703	2.42	6.81	0.449
		#	58	58	58	58	58
		s	1.6	93	0.52	0.55	0.016
		v	13.38	13.19	21.39	8.10	3.59
Aufbau: 8/14/8 Pressdruck: 6 bar Sortierung: keine Mittellage: normal	DL längs	Ø	55.4	9078	0.94	41.58	0.448
		#	58	58	58	58	58
		s	7.5	1309	0.24	5.13	0.021
		v	13.45	14.42	25.19	12.35	4.69
	DL quer	Ø	20.1	1597	1.75	11.34	0.450
		#	58	58	58	58	58
		s	2.7	183	0.34	1.28	0.017
		v	13.27	11.48	19.53	11.26	3.69
Aufbau: 6/18/6 Pressdruck: 6 bar Sortierung: keine Mittellage: normal	DL längs	Ø	44.5	7508	1.05	32.83	0.440
		#	59	59	59	59	59
		s	6.2	896	0.30	4.27	0.017
		v	14.04	11.93	28.20	13.00	3.75
	DL quer	Ø	26.9	2553	1.44	16.78	0.439
		#	58	58	58	58	58
		s	4.4	325	0.28	2.88	0.023
		v	16.46	12.72	19.31	17.15	5.21

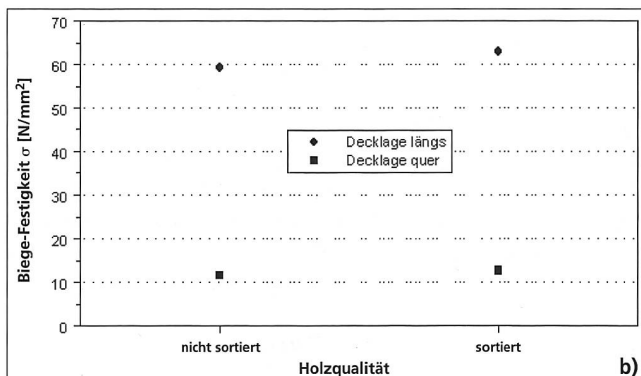
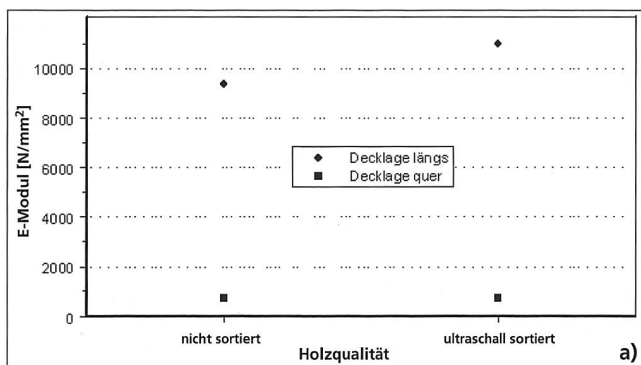


Abbildung 9: E-Modul (a) und Biegefestigkeit (b) für ultraschall-sortierte und nicht sortierte Decklagen.

Plattendicke: 30 mm, Plattenaufbau: 10/10/10, Pressdruck: 6 bar.

3.1.4 Verwendung geschlitzter Mittellagen

Insbesondere bei grösseren Plattendicken aber auch bei Betonschaltafeln wird häufig die Mittellage geschlitzt (eingesägt), um die Formbeständigkeit zu erhöhen, d.h. innere Spannungen durch Feuchteänderungen abzubauen.

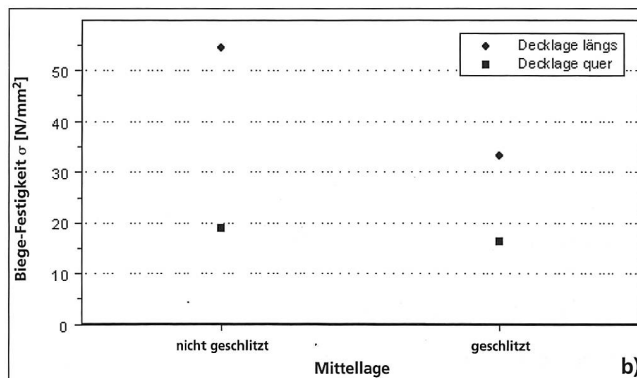
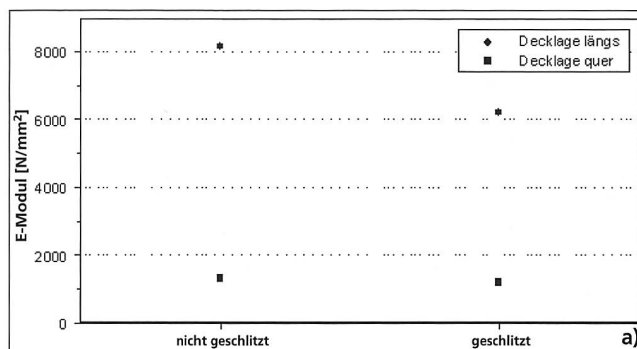


Abbildung 10: E-Modul (a) und Biegefestigkeit (b) für geschlitzte und nicht geschlitzte Mittellagen.

Plattendicke: 35 mm, Plattenaufbau: 10/15/10, Pressdruck: 6 bar.

Bei Orientierung der Decklagen parallel zur Probenlängsachse kommt es zu einer nennenswerten Reduzierung der Biegefestigkeit (Tabelle 5 und Abbildung 10), da in der Mittellage bei der geprüften Dreipunkt-Belastung Schubspannungen auftreten (Schubbelastung in RT-Ebene). Da die Festigkeit bei Belastung in der RT-Ebene ohnehin gering ist, wird durch das

Tabelle 5: Einfluss der Sortierung der Lagen mittels Ultraschall und des Schlitzes der Mittellage.

Plattenart		Biegefestigkeit	E-Modul	Dehnung	Proportionalitätsgrenze	Dichte	
Mittelwert	Richtung der Decklage	Ø	N/mm ²	N/mm ²	%	N/mm ²	kg/m ³
Anzahl Proben		#	-	-	-	-	-
Standardabweichung		s	N/mm ²	N/mm ²	%	N/mm ²	kg/m ³
Variationskoeffizient		v	%	%	%	%	%
Aufbau: 10/10/10 Pressdruck: 6 bar Sortierung: keine Mittellage: normal	DL längs	Ø	59.3	9363	1.03	43.36	0.452
		#	59	59	59	59	59
		s	6.9	1430	0.29	5.68	0.019
		v	11.58	15.27	28.25	13.10	4.28
	DL quer	Ø	11.7	703	2.42	6.81	0.449
		#	58	58	58	58	58
		s	1.6	93	0.52	0.55	0.016
		v	13.38	13.19	21.39	8.10	3.59
Aufbau: 10/10/10 Pressdruck: 6 bar Sortierung: ultraschall Mittellage: normal	DL längs	Ø	62.9	11007	0.98	47.24	0.463
		#	60	60	60	60	60
		s	8.2	1506	0.20	6.07	0.021
		v	12.98	13.68	20.04	12.84	4.53
	DL quer	Ø	12.6	703	2.67	6.18	0.465
		#	60	60	60	60	60
		s	1.6	108	0.36	0.60	0.014
		v	12.31	15.34	13.68	9.74	3.05
Aufbau: 10/15/10 Pressdruck: 6 bar Sortierung: keine Mittellage: normal	DL längs	Ø	54.6	8161	1.07	34.47	0.460
		#	59	59	59	59	59
		s	5.9	801	0.23	3.42	0.019
		v	10.79	9.81	21.55	9.92	4.09
	DL quer	Ø	18.9	1297	2.18	10.03	0.473
		#	60	60	60	60	60
		s	3.6	190	0.45	1.98	0.026
		v	19.02	14.66	20.67	19.77	5.51
Aufbau: 10/15/10 Pressdruck: 6 bar Sortierung: keine Mittellage: geschlitzt	DL längs	Ø	33.2	6211	0.67	23.53	0.428
		#	58	58	58	58	58
		s	3.6	690	0.09	2.12	0.018
		v	10.80	11.11	13.26	9.02	4.17
	DL quer	Ø	16.4	1185	1.81	10.05	0.441
		#	59	59	59	59	59
		s	2.8	206	0.33	1.21	0.021
		v	17.13	17.37	18.07	12.00	4.67

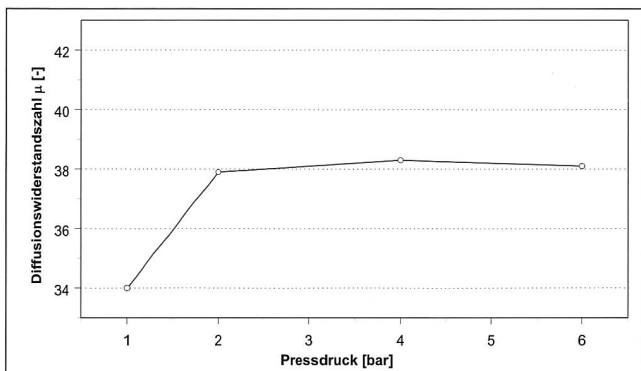


Abbildung 11: Einfluss des Pressdruckes auf die Diffusionswiderstandszahl im Differenzklima 20 °C/65% rel. Luftfeuchte/20 °C/% rel. Luftfeuchte.

Plattendicke: 30 mm (10/10/10).

Schlitzten der tragende Querschnitt noch reduziert. Es kommt zum Schubversagen, das zeigt *Abbildung 2* deutlich.

Sind die Decklagen senkrecht zur Probenlängsachse orientiert (Mittellage in Richtung der Längsachse, als LT/RT Richtung) wirkt sich das Schlitzten erwartungsgemäss deutlich weniger aus.

3.2 Physikalische Eigenschaften

3.2.1 Diffusionswiderstand

Bei Erhöhung des Pressdruckes steigt der Diffusionswiderstand von einem zu zwei Bar etwas an und bleibt danach kon-

stant. Dies könnte damit zusammenhängen, dass sich der Diffusionswiderstand der Klebfuge erhöht (*Tabelle 6* und *Abbildung 11*). Der Plattenaufbau (Verhältnis der Dicke der Mittel- zur Decklage) hat keinen gesicherten Einfluss (Korrelationskoeffizient 0,065, siehe *Tabelle 7*). Hier dürfte es zu einer gewissen Überlagerung des Einflusses der Schichten (Dichte und Schnittichtung) kommen. Bekannt ist ein Einfluss der Lagenanzahl (POPPER *et al.* 2002b). Mit zunehmender Anzahl der Lagen steigt der Diffusionswiderstand. Durch ein Schlitzten der Mittellage wird der Diffusionswiderstand reduziert (*Tabelle 8*), da die Schlitzte den Feuchtetransport erleichtern. Der für das ultraschallsortierte Holz festgestellte, geringfügig höhere Diffusionswiderstand im Vergleich zum nichtsortierten Holz dürfte auf die höhere Rohdichte des sortierten Holzes (0,464 g/cm³ sortiert, 0,45 g/cm³ nicht sortiert) zurückzuführen sein.

3.2.2 Längenquellung

Bei Erhöhung des Anteils der Mittellage steigt tendenziell betrachtet die Längenquellung an (*Abbildung 12*). Dies ist auf die höhere Quellung der senkrecht zur Faserrichtung quellenden bzw. schwindenden Mittellagen zurückzuführen. Es treten stärkere Quell- bzw. Schwindkräfte auf, die letztlich die höhere Gesamtverformung bewirken.

Ein Schlitzten der Mittellage führt zu einer verminderten Quellung parallel zur Decklage, da durch das Schlitzten die Quell- bzw. Schwindkräfte der Mittelage abgebaut werden

Tabelle 6: Einfluss des Pressdruckes auf die Diffusionswiderstandszahl im Differenzklima 20 °C/65% rel. Luftfeuchte.

Diff.-widerstandszahl	μ	Pressdruck [bar]			
		1	2	4	6
\emptyset	[-]	33.97	37.89	38.25	38.15
#	[-]	4	4	4	4
s	[-]	2.84	1.57	1.39	1.30
v	[%]	8.37	4.15	3.63	3.40

Tabelle 7: Einfluss des Lagenverhältnisses auf die Diffusionswiderstandszahl im Differenzklima 20 °C/65% rel. Luftfeuchte.

Plattendicke 30 mm; Pressdruck: 6 bar.

Diff.-widerstandszahl	μ	Lagenverhältnis		
		10/10/10	8/14/8	6/18/6
\emptyset	[-]	38.15	38.84	40.25
#	[-]	4	4	4
S	[-]	1.30	5.68	5.15
V	[%]	3.40	14.62	12.79

Tabelle 8: Einfluss des Schlitzes der Mittellage und der Verwendung von ultraschallsortiertem Holz in der Decklage auf die Diffusionswiderstandszahl im Differenzklima 20 °C/65% rel. Luftfeuchte.

Plattendicke 35 mm (10/15/10) bei geschlitzt/ungeschlitzt; 30 mm (10/10/10) bei ultraschallsortiertem Holz; Pressdruck: 6 bar.

Diff.-widerstandszahl	μ	Mittellage		Holzqualität	
		ungeschlitzt	geschlitzt	nicht sortiert	Ultraschall sortiert
\emptyset	[-]	38.15	36.90	38.15	43.71
#	[-]	4	4	4	4
s	[-]	1.30	3.05	1.30	2.89
v	[%]	3.40	8.26	3.40	6.62

(Abbildung 13). Ein gesicherter Einfluss des Pressdruckes konnte nicht nachgewiesen werden (Abbildung 14).

Die differentielle Quellung liegt bei etwa 0,02%/ % Holzfeuchteänderung parallel zur Faserrichtung der Decklagen und bei 0,03 bis 0,04%/ % senkrecht zur Faserrichtung der Decklagen.

3.2.3 Formbeständigkeit im Differenzklima (Plattenverzug)

Die Verformung der Platten ist senkrecht zur Faserrichtung höher als parallel zur Faserrichtung. Dies ist auf die Unterschiede in der differentiellen Quellung des Holzes in und senkrecht zur Faserrichtung zurückzuführen. Bei radial orientierten Lamellen in den Decklagen (stehende Jahrringe) ist die Verformung geringer als bei tangential orientierten Decklagen (liegende Jahrringe). Dies ist auf die Unterschiede im Quell- und Schwindverhalten radial und tangential zurückzuführen. *Abbildung 15 bis 17* zeigen die Messergebnisse.

4. Schlussfolgerungen

Der Pressdruck hat bei dem verwendeten PUR Klebstoff keinen Einfluss auf die Biegefestigkeit und den E-Modul. Auch bei einem Pressdruck von einem Bar wurden gute Ergebnisse erzielt. Dies dürfte auf das Aufschäumen der Klebfuge bei PUR zurückzuführen sein. Der Einsatz von Vakuumpressen ist daher möglich. Durch Erhöhung des Anteils der Decklagen können E-Modul und Biegefestigkeit bei Belastung der Decklagen parallel zur Probenlängsachse deutlich erhöht werden. Bei Belastung senkrecht zur Probenlängsachse sinken die Eigenschaften dagegen mit zunehmendem Anteil der Decklagen. Gemessene und berechnete Kennwerte stimmen gut überein. Durch Variation der Holzqualität in Deck- und Mittellage (z.B. durch Sortieren) kann die Plattenqualität gezielt beeinflusst werden. Ein Schlitz der Mittellage führt bei Biegebelastung und parallel zur Probenlängsachse liegenden Decklagen zu einem deutlichen Abfall der Festigkeit (Versagen durch Rollschub). Bei senkrecht zur Probenlängsachse lie-

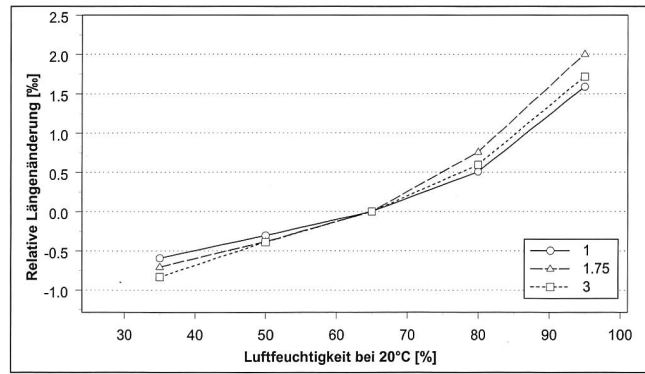


Abbildung 12: Einfluss des Lagenverhältnisses von Mittel- zu Decklage auf die rel. Längenänderung (%) (Decklage: parallel zur Probenlängsachse).

Plattendicke: 30 mm.

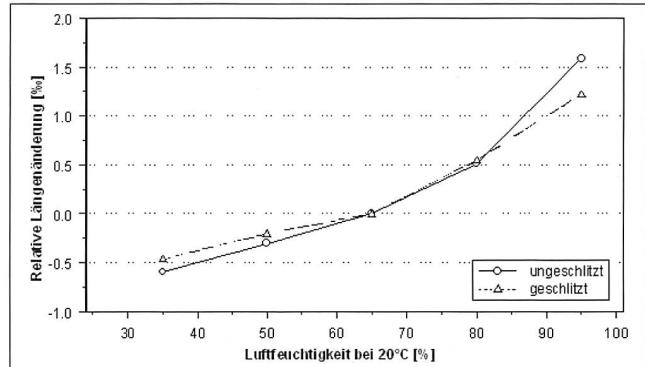


Abbildung 13: Einfluss des Schlitzes der Mittellage auf die rel. Längenänderung (%) (Decklage: parallel zur Probenlängsachse).

Plattendicke: 35 mm (10/15/10).

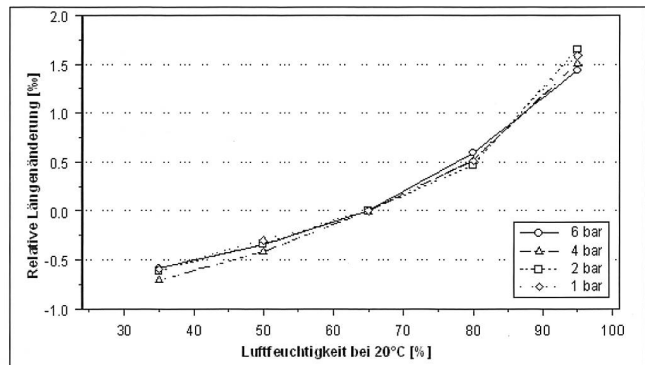


Abbildung 14: Einfluss des Pressdruckes auf die rel. Längenänderung (%) (Decklage: parallel zur Probenlängsachse).

Plattendicke: 30 mm (10/10/10).

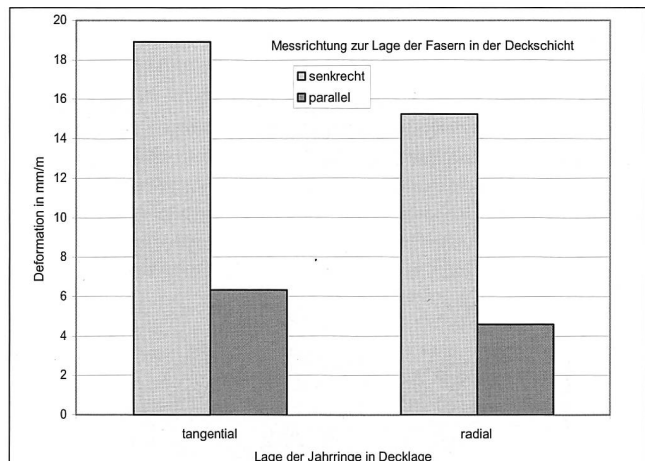


Abbildung 15: Einfluss der Schnittrichtung in den Decklagen nach 31-tägiger Lagerung im Differenzklima 20 °C/65%/20 °C/100% rel. Luftfeuchte.

Mittelwert n = 3 Platten, Plattendicke: 30 mm (6/18/6), Pressdruck: 6 bar.

Tabelle 9: Längenänderung bei Klimawechsel.

Luftfeuchtigkeit			35%	50%	65%	80%	95%
Aufbau: 6/18/6 Pressdruck: 6 bar Sortierung: keine Mittellage: normal	DL längs	Ø [‰]	-0.832	-0.389	0.000	0.596	1.717
		#	5	5	5	5	5
		s [‰]	0.14	0.12	0.00	0.05	0.27
	DL quer	v [%]	17.39	30.76	---	8.72	15.70
		Ø [‰]	-1.088	-0.549	0.000	0.792	3.101
		#	5	5	5	5	5
DL längs	s [‰]	0.12	0.21	0.00	0.14	0.42	
	v [%]	10.72	38.50	---	18.10	13.45	
	Aufbau: 8/14/8 Pressdruck: 6 bar Sortierung: keine Mittellage: normal	DL längs	Ø [‰]	-0.705	-0.383	0.000	0.759
#			5	5	5	5	5
s [‰]			0.22	0.08	0.00	0.31	0.58
DL quer		v [%]	30.77	21.09	---	40.42	29.10
		Ø [‰]	-0.978	-0.512	0.000	0.972	3.560
		#	5	5	5	5	5
DL längs	s [‰]	0.12	0.05	0.00	0.27	0.74	
	v [%]	11.99	10.62	---	27.54	20.83	
	Aufbau: 10/15/10 Pressdruck: 6 bar Sortierung: keine Mittellage: geschlitz	DL längs	Ø [‰]	-0.464	-0.205	0.000	0.546
#			5	5	5	5	5
s [‰]			0.19	0.12	0.00	0.22	0.66
DL quer		v [%]	40.85	56.78	---	39.60	53.81
		Ø [‰]	-1.376	-0.678	0.000	1.552	4.929
		#	5	5	5	5	5
DL längs	s [‰]	0.36	0.17	0.00	0.42	1.46	
	v [%]	26.14	25.29	---	27.18	29.68	
	Aufbau: 10/10/10 Pressdruck: 1 bar Sortierung: keine Mittellage: normal	DL längs	Ø [‰]	-0.589	-0.343	0.000	0.595
#			5	5	5	5	5
s [‰]			0.11	0.03	0.00	0.32	0.32
DL quer		v [%]	17.93	10.04	---	53.90	22.58
		Ø [‰]	-1.144	-0.652	0.000	1.327	4.524
		#	5	5	5	5	5
DL längs	s [‰]	0.49	0.27	0.00	0.24	0.97	
	v [%]	42.39	42.11	---	17.77	21.41	
	Aufbau: 10/10/10 Pressdruck: 2 bar Sortierung: keine Mittellage: normal	DL längs	Ø [‰]	-0.707	-0.416	0.000	0.516
#			4	4	4	4	4
s [‰]			0.21	0.14	0.00	0.22	0.64
DL quer		v [%]	30.05	33.79	---	43.44	42.18
		Ø [‰]	-1.532	-0.917	0.000	1.623	5.485
		#	6	6	6	6	6
DL längs	s [‰]	0.56	0.28	0.00	0.53	2.00	
	v [%]	36.70	30.69	---	32.60	36.41	
	Aufbau: 10/10/10 Pressdruck: 4 bar Sortierung: keine Mittellage: normal	DL längs	Ø [‰]	-0.612	-0.336	0.000	0.466
#			5	5	5	5	5
s [‰]			0.10	0.06	0.00	0.11	0.42
DL quer		v [%]	15.97	16.56	---	23.55	25.20
		Ø [‰]	-1.241	-0.802	0.000	1.384	5.003
		#	5	5	5	5	5
DL längs	s [‰]	0.54	0.16	0.00	0.15	0.63	
	v [%]	43.26	20.14	---	10.65	12.58	
	Aufbau: 10/10/10 Pressdruck: 6 bar Sortierung: keine Mittellage: normal	DL längs	Ø [‰]	-0.592	-0.306	0.000	0.509
#			5	5	5	5	5
s [‰]			0.09	0.04	0.00	0.12	0.35
DL quer		v [%]	15.10	13.66	---	23.64	21.95
		Ø [‰]	-1.218	-0.632	0.000	1.211	3.950
		#	5	5	5	5	5
DL längs	s [‰]	0.16	0.09	0.00	0.14	0.57	
	v [%]	13.16	14.39	---	11.60	14.55	

Abbildung 16: Deformation der Platte 1 nach 31-tägiger Lagerung im Differenzklima 20 °C/65%/20 °C/100% rel. Luftfeuchte bei radialer Orientierung der Decklagen.

Mittelwert n = 3 Platten, Plattendicke: 30 mm (6/18/6), Pressdruck: 6 bar.

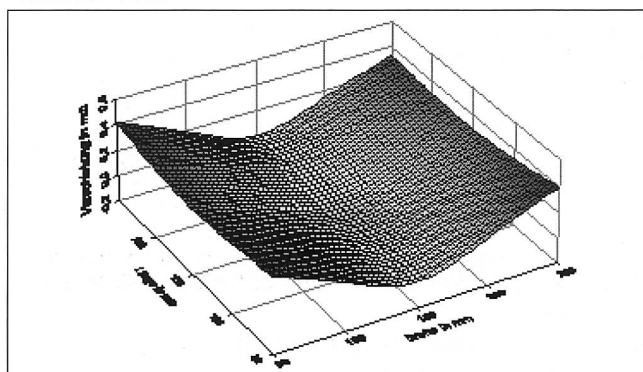
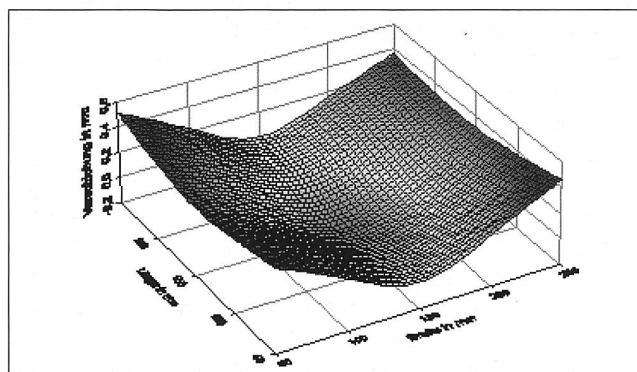


Abbildung 17: Deformation der Platte 1 nach 31-tägiger Lagerung im Differenzklima 20 °C/65%/20 °C/100% rel. Luftfeuchte bei tangentialer Orientierung der Decklagen.

Mittelwert n = 3 Platten, Plattendicke: 30 mm (6/18/6), Pressdruck: 6 bar.



genden Decklagen (Belastung der Mittellage parallel zur Faser) ist der Einfluss des Schlitzens dagegen gering, da eine deutlich geringere Querschnittsschwächung vorliegt. Die Formbeständigkeit im Differenzklima kann durch Verwendung von Riftschnitt in den Decklagen deutlich verbessert werden. Der Diffusionswiderstand wird nur zwischen einem und zwei Bar durch den Pressdruck bestimmt, danach bleibt er konstant.

Die differentielle Quellung liegt bei etwa 0,02%/ % Holzfeuchteänderung parallel zur Faserrichtung der Decklagen und bei 0,03–0,04%/ % senkrecht zur Faserrichtung der Decklagen.

Zusammenfassung

An dreischichtigen, labortechnisch hergestellten, mit Polyurethan (PUR) verklebten Massivholzplatten wurden der Pressdruck und der Plattenaufbau variiert. Geprüft wurden E-Modul, Biegefestigkeit, Diffusionswiderstandszahl, Längenänderung bei Klimawechsel sowie die Formbeständigkeit im Differenzklima. Es wurden folgende Versuchsergebnisse erzielt: Der Pressdruck hat bei dem verwendeten PUR Klebstoff keinen Einfluss auf die Biegefestigkeit und den E-Modul. Mit zunehmendem Anteil der Mittellage an der Plattendicke sinkt bei Belastung parallel zur Faserrichtung der Decklage die Biegefestigkeit, sie steigt, wenn die Decklagen senkrecht zur Faserrichtung liegen. Durch Variation der Holzqualität in Deck- und Mittellage (z.B. durch Sortieren) kann die Plattenqualität gezielt beeinflusst werden. Das Schlitzen der Mittellage führt bei Biegebelastung und parallel zur Probenlängsachse liegenden Decklagen zu einem deutlichen Abfall der Festigkeit (Versagen durch Rollschub). Bei senkrecht zur Probenlängsachse liegenden Decklagen (Belastung der Mittellage parallel zur Faser) ist der Einfluss des Schlitzens dagegen gering, da eine deutlich geringere Querschnittsschwächung vorliegt. Die Formbeständigkeit im Differenzklima kann durch Verwendung von Riftschnitt in den Decklagen deutlich verbessert werden. Der Diffusionswiderstand erhöht sich nur zwischen einem und zwei Bar Pressdruck und bleibt danach konstant. Die differentielle Längenquellung wird durch den Plattenaufbau beeinflusst.

Summary

Influence of layering arrangement and compression level on the characteristics of three-layered solid wood panels

The level of compression and the arrangement of layers were varied on layered solid wood panels, produced in the laboratory using technical methods and glued with polyurethane (PUR). Measurements were subsequently carried out on the E-module, bending strength, diffusion resistance level, changes in length caused by changes ambient climate, as well as the warping in a fluctuating climate. Following results were recorded. The level of compression with the PUR glue used in the experiment had no influence on the tensile strength or the E-module. When the proportion of middle layer wood is increased in the panel, the tensile strength of the covering layer falls when stressed parallel to the direction of the fibre. It rises when the covering layer lies at a right angle to the direction of the fibre. The quality of the panel can be influenced by varying the quality of the wood used in the covering and middle layers, e.g. by sorting. Slitting the middle layer leads to a clear reduction of shearing strength (rolling shear) when the panel is stressed, and the covering layer is parallel to the longitudinal axis of the sample. On the other hand, with the longitudinal axis lies at right angles to the covering layer (stressing of the middle layer parallel to the fibre), the influence of slitting is slight because the weakening of the cross-section is consid-

erably less. Warping in a fluctuating climate can be clearly improved with rift cut in the covering layer. Diffusion resistance only continues to increase between pressures of 1 to 2 bars, and subsequently remains constant. Differential longitudinal swelling is influenced by the arrangement in construction.

Translation: ANGELA RAST-MARGERISON

Résumé

Influence de la structure du produit et de la force de pressage sur les propriétés des panneaux massifs trois plis

Des essais de fabrication en laboratoire ont permis de faire varier la force de pressage et la structure de panneaux trois plis en bois massif, collés avec du polyuréthane (PUR). Les valeurs ci-après ont été étudiées: le module E, la résistance à la flexion, le coefficient de résistance à la diffusion, ainsi que le changement de longueur et la stabilité dimensionnelle en fonction du climat. Les résultats obtenus ont été les suivants: avec la colle utilisée (PUR), la force de pressage n'a pas d'influence sur la résistance à la flexion et sur le module E. L'augmentation de la proportion de la couche intérieure dans le panneau engendre une diminution de la résistance à la flexion lorsque la charge est exercée parallèlement à la direction des fibres des plis extérieurs; la résistance augmente par contre lorsque les plis extérieurs sont perpendiculaires à la direction des fibres. La variation de la qualité du bois dans les couches extérieures et intérieures (p. ex. par tri) permet d'influencer considérablement la qualité des panneaux. L'incision de la couche intérieure entraîne une nette diminution de la résistance (défaillance de roulement) en situation de flexion et lorsque les plis extérieurs sont orientés parallèlement à l'axe longitudinal de l'échantillon. Quand les plis extérieurs sont perpendiculaires à l'axe longitudinal (charge de la couche intérieure exercée parallèlement aux fibres), l'influence de l'incision est par contre minime, car la section est alors bien moins affaiblie. La stabilité dimensionnelle en fonction du climat peut être sensiblement améliorée par l'utilisation de débit sur quartier dans les plis extérieurs. La résistance à la diffusion s'accroît si la force de pressage exercée est de 1 à 2 bar et reste ensuite inchangée. Le gonflement axial différentiel est influencé par la structure du panneau.

Traduction: CLAUDE GASSMANN

Literatur

- AUKHOFER, T.; GLOS, P. 2000: Die technologischen Vorteile von Fichten-Starkholz. Holz-Zent.bl. 99: 1258, 1260.
 DONZÉ, M. 2002: Modélisation des propriétés mécaniques d'un panneau en bois massif trois couches sollicité en flexion, Diplomarbeit, Schweizerische Hochschule für die Holzwirtschaft, Biel. Unveröffentlicht.
 POPPER, R.; NIEMZ, P.; EBERLE, G. 2002a: Formbeständigkeit von Holzwerkstoffen bei Differenzklimalagerung. Holzfor. Holzverwert. 54, 3: S. 62–65.
 POPPER, R.; NIEMZ, P.; EBERLE, G. 2002b: Diffusionsvorgänge in Holzbauplatten unter stationären Bedingungen. Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit im Trocken- und Nassbereichverfahren, Int. Bericht ETHZ/HW-HP-LZFP Nr. 8, ETH Zürich.

Autoren

Prof. Dr.-Ing. habil. PETER NIEMZ, ETH Zürich, Institut für Baustoffe, Holzphysik, ETH Hönggerberg, HIF B21.1, CH 8093 Zürich. E-Mail: niemz@ibwk.baug.ethz.ch.
 BENJAMIN STEIGER, dipl.-Ing. (FH) und Dr. ANDREAS HURST, Hochschule für Architektur, Bau und Holz, Solothurnstrasse 102, 2500 Biel.