

Holz Roh Werkst (2004) 62:253–260  
DOI 10.1007/s00107-004-0465-2

ORIGINALARBEITEN · ORIGINALS

R. Popper · P. Niemz · G. Eberle

## Untersuchungen zu Diffusionsvorgängen in mehrschichtigen Massivholzplatten

Online veröffentlicht: 23 März 2004  
© Springer-Verlag 2004

**Zusammenfassung** An mehrschichtigen Massivholzplatten mit unterschiedlichem Aufbau und verschiedener Verleimungsart wurde die Wasserdampfdiffusion in einem Feuchtklima (zwischen 100% und 65% rel. Luftfeuchte bei 20°C) und einem Trockenklima (zwischen 0% und 65% rel. Luftfeuchte bei 20°C) geprüft. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Der Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand im Trockenbereich ist im Vergleich zum Nassbereich deutlich höher. Der Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand wird stärker durch die Anzahl der Leimfugen pro cm Plattendicke als durch die Klebstoffart bestimmt. Zieht man den durchschnittlichen Feuchtegehalt der Platten im Nassbereich von etwa 20% in Betracht, so ist bei einer Fasersättigungsfeuchte von 28% (erreicht an der dem Wasser zugewandten Seite der Probe) und einer Ausgleichsfeuchte von 12% auf der dem Normalklima zugewandten Seite auf eine lineare Feuchteverteilung innerhalb der Versuchsplatten nach dem Erreichen der Gleichgewichtskonstanz zu schließen. Der durchschnittliche Feuchtegehalt der Platten im Trockenbereich betrug etwa 11,3%. Dieser Wassergehalt entspricht der Gleichgewichtsfeuchtigkeit des Fichtenholzes beim Normalklima (rel. Luftfeuchtigkeit von 65% bei 20°C). Dies bedeutet, dass das Partialdruckgefälle nach dem Erreichen des Gleichgewichts ein vollkommenes Durchfeuchten der Platte mit der Normalfeuchte des Fichtenholzes verursacht.

### Diffusion processes in multilayer solid wood panels

**Abstract** Multilayer solid wood spruce panels with different glueing and structure type were tested for water vapor diffusion for a wet climate (relative humidity ranging from 100% to 65% at 20°C) and for a dry climate (relative humidity ranging from 0% and 65% at 20°C). Results showed that the water vapor diffusion resistance for the dry climate is distinctly higher in comparison to

the wet climate. The water vapor diffusion resistance is stronger related to the number of glue layers per panel thickness than to the type of adhesive. The average moisture content of the panels in a *wet climate* was 20%. If one considers a water saturation point of 28% (spruce wood) on the wet side, and 12% moisture content on the dry side (normal climate) of the panel a linear moisture gradient can be expected. Since the average moisture content of the solid wood panels was about 11.3% in a *dry climate*, and thus corresponding approximately to the equilibrium moisture content of spruce wood exposed to normal climate, the partial pressure gradient on equilibrium caused water uptake corresponding to the normal moisture content for spruce wood.

### 1 Einleitung

Feuchtigkeitsbewegungen in Holzbauteilen infolge von Diffusion sind in bauphysikalischer Hinsicht von großer Bedeutung. Unter ungünstigen Bedingungen (z. B. Kondenswasserbildung) kann es zu Durchfeuchtung eines Bauteils kommen, wodurch das Wärmeisolationsvermögen herabgesetzt wird und im Extremfall auch Pilzbefall auftreten kann. Die Behaglichkeit bezüglich Raumklima ist außerdem im hohen Maß von der relativen Luftfeuchtigkeit abhängig.

Die Messungen und Berechnungen des Feuchtigkeitsdurchgangs werden heute noch immer unter der Voraussetzung stationärer Verhältnisse durchgeführt (beiderseits des Bauteils herrscht die gleiche Temperatur). Obwohl die realen Klimaverhältnisse von den stationären stark abweichen können, liefern die stationären Berechnungen brauchbare Angaben über langfristige Feuchtigkeitsverhältnisse in Bauteilen. Sie ermöglichen es auch, einen gewissen Aufschluss über die Sicherheit einer Konstruktion in bauphysikalischer Hinsicht zu gewinnen.

Diffusionskoeffizienten und Diffusionswiderstandszahlen von verschiedenen Holzarten wurden von Vanek und Teischinger (1989) gemessen. Cammerer (1970) sowie Horn (1969) führten Untersuchungen an Holzwerk-

R. Popper · P. Niemz (✉) · G. Eberle  
Professur Holzwissenschaft,  
ETH Zentrum NO F47, 8092 Zürich, Schweiz  
E-Mail: niemz@iswk.baug.ethz.ch

stoffen (Sperrholz, Spanplatten) durch. Den Einfluss der Rohdichte auf den Diffusionswiderstand von Holzspanplatten und MDF-Platten untersuchten Jensen und Emmeler (1996). Mit zunehmender Rohdichte steigt die Diffusionswiderstandszahl ebenso wie bei Reduzierung der Holzfeuchte.

In der vorliegenden Arbeit wird die Wasserdampf-Diffusionsstromdichte und die Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl von mehrschichtigen Massivholzplatten untersucht. Dabei wird der Einfluss des Plattenaufbaus, der Plattendicke und der Klebstoffart geprüft.

## 2 Grundlagen und Begriffe

Nachfolgend werden die Grundlagen zur Bestimmung des Diffusionswiderstandes in kurzer Form zusammengestellt.

### 2.1 Die rel. Luftfeuchtigkeit

Die relative Luftfeuchtigkeit  $\varphi$  ist definiert als Verhältnis des tatsächlich vorhandenen Dampfdruckes  $p_D$  zum Sättigungsdruck  $p_s$  bei gleicher Temperatur.

$$\varphi = \frac{p_D}{p_s} \cdot 100 \text{ in } (\%), \quad (1)$$

wobei

$p_D$  Partialdruck des Wasserdampfes  
 $p_s$  Sättigungsdruck.

### 2.2 Diffusionszahl

Die Diffusionszahl  $D$  (in Fachliteratur auch als Wasserdampf-Diffusionskoeffizient benannt) ist der Diffusionswert des Wasserdampfes in Luft. Nach Schirmer (1938) beträgt sie:

$$D = 0.083 \cdot \frac{p_0}{p} \cdot \left( \frac{T}{273} \right)^{1.81} \text{ in } (\text{m}^2/\text{h}), \quad (2)$$

wobei

$p_0$  Atmosphärendruck beim Normzustand in 1013.25 hPa,  
 $p$  mittlerer Luftdruck im Klimaraum in hPa,  
 $T$  Temperatur im Klimaraum in K.

### 2.3 Dampfleitzahl

Die Dampfleitzahl  $\delta_D$  (auch als Wasserdampf-Diffusionsleitkoeffizient benannt) ist gleich der Wassermenge (kg), die in einer Stunde (h) durch einen Quadratmeter ( $\text{m}^2$ ) eines Stoffes in Richtung des Dampfdruckgefälles hindurchfließt.

Für Luft gilt nach DIN 52 615 (1987):

$$\delta_D = \frac{D}{R_D \cdot T} \quad (3)$$

und durch Einsetzen der Gl. 2 in die Gl. 3 erhält man für  $\delta_D$ :

$$\delta_D = \frac{0.083}{R_D \cdot T} \cdot \frac{p_0}{p} \cdot \left( \frac{T}{273} \right)^{1.81} \quad (4)$$

wobei

$D$  Diffusionszahl in  $\text{m}^2/\text{h}$ ,  
 $R_D$  Gaskonstante des Wasserdampfes in  $\text{Nm}/(\text{kg K})$ ,  
 $T$  Temperatur im Klimaraum in K,  
 $p$  mittlerer Luftdruck im Klimaraum in hPa,  
 $p_0$  Atmosphärendruck beim Normzustand in hPa.

### 2.4 Wasserdampf-Diffusionsstromdichte

Der Wasserdampf-Diffusionsstrom gibt die Wasserdampfmasse an, welche unter der Wirkung eines Dampfdruckgefälles auf die Zeit bezogen in Richtung der Flächennormalen diffundiert.

Der auf die Flächeneinheit bezogener Wasserdampf-Diffusionsstrom wird als Wasserdampf-Diffusionsstromdichte  $WDD$  bezeichnet. Für  $WDD$  gilt nach DIN 52 615 (1987):

$$WDD = \frac{24}{t_2 - t_1} \cdot \frac{m_2 - m_1}{A}, \quad (5)$$

wobei

$m_2 - m_1$  Massendifferenz zwischen 2 Wägungen in g,  
 $t_2 - t_1$  Zeitspanne zwischen 2 Wägungen in Std.,  
 $A$  Prüffläche der Probe in  $\text{m}^2$ .

### 2.5 Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl

Die Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl  $\mu$  (auch als Diffusionswiderstandsfaktor benannt) ist der Quotient aus dem Wasserdampf-Diffusionsleitkoeffizienten der Luft  $\delta_D$  und dem des betreffenden Stoffes und gibt an, wieviel mal größer der Diffusionsdurchlasswiderstand des Stoffes ist als der einer gleich dicken ruhenden Luftschicht gleicher Temperatur. Für die Diffusionswiderstandszahl  $\mu$  gilt nach DIN 52 615 (1987):

$$\mu = \frac{1}{s} \cdot \left( \delta_D \cdot 24000 \cdot \frac{p_1 - p_2}{WDD} - s_L \right), \quad (6)$$

wobei

$\delta_D$  Diffusionskoeffizient von Wasserdampf in Luft in  $\text{kg}/(\text{m.h.Pa})$ ,  
 $p_1, p_2$  Wasserdampfdrucke an der Probe in Pa,  
 $s$  mittlere Dicke der Probe in m,  
 $s_L$  mittlere Dicke der Luftschicht im Prüfgefäß unterhalb der Probe in m.

**Tabelle 1** Versuchsübersicht  
**Table 1** Test summary

Variante	Plattendicke	Aufbau	Klebstoff	Klebstoffauftragsmenge
	[mm]			[g/m <sup>2</sup> ]
1	30	10/10/10	PUR E	180–250
2	30	10/10/10	PUR F	150
3	60	20/20/20	PUR E	180–250
4	60	20/20/20	PUR F	150
5	60	20/20/20	PUR G	150–200
6	60	20/20/20	PRF	150
7	60	20/20/20	Vinylester	250
8	60	12/12/12/12/12	PUR E	180–250
9	60	12/12/12/12/12	PUR F	150
10	27	6/15/6	Melamin (mit Oberflächenbeschichtung)	150

## 2.6 Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke

Die wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke  $s_d$  der Versuchsprobe gibt an, wie dick eine ruhende Luftschicht ist, die den gleichen Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand aufweist wie die Versuchsprobe der Dicke  $s$ . Sie wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$s_d = \mu \cdot s \text{ in m.} \quad (7)$$

## 3 Versuchsmaterial und -durchführung

### 3.1 Versuchsmaterial

Als Versuchsmaterial wurden mehrschichtige, industriell gefertigte Massivholzplatten aus Fichtenholz mit verschiedener Verleimung und Schichtenaufbau geprüft (Tabelle 1).

Variiert wurden:

- die Verleimung ( 3 verschiedene PUR-Leime (Typ E, F, G), Vinylester-Homopolymerleim (PVA-Kaltleim (Weissleim) und Phenol-Resorcin-Formaldehyd Kondensationsleim (PRF))
- der Plattenaufbau (dreischichtig, fünfschichtig, verschiedene Schichtdicken, Oberflächenversiegelung)

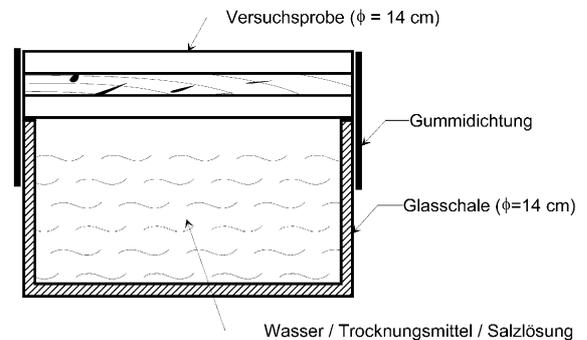
Die Platten der Variante 10 waren mit Melaminharz verklebt und zusätzlich mit Melaminharz oberflächenbeschichtet, es handelte sich um Betonschaltafeln.

### 3.2 Versuchsmethodik

#### 3.2.1 Messprinzip

Die Probe wurde bei gleichbleibender Temperatur einer Wasserdampf-Partialdruckdifferenz ausgesetzt und unter Verwendung der Probenabmessungen und der Luftschichtdicke unterhalb der Probe, der Wasserdampf-Diffusionsstrom, die Wasserdampf-Diffusionsstromdichte, die Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl sowie die wasserdampfüquivalente Luftschichtdicke in Anlehnung an DIN 52 615 bestimmt.

### KLIMARAUM



**Abb. 1** Messanordnung für die Bestimmung der Dampfdurchlässigkeit von Bauholzplatten

**Fig. 1** Test assembly for determining the water vapor permeability in solid wood panels

#### 3.2.2 Prüfeinrichtung und Messanordnung

Abbildung 1 zeigt den Versuchsaufbau. Es wurde eine kreisförmige Probe mit 140 mm Durchmesser verwendet. Diese wurde dampfdicht auf ein Glasgefäß (Außendurchmesser = 14 cm, Höhe = 10 cm) aufgesetzt und in einem klimatisierten Raum (Normalklima 20°C/65% rel. Luftfeuchte) gestellt. Je nach benötigter Wasserdampf-Partialdruckdifferenz wurde das Glasgefäß mit destilliertem Wasser (100% rel. Luftfeuchte) oder mit Trocknungsmittel (Silikagel (0% rel. Luftfeuchtigkeit)) versetzt. Die Abdichtung der Probe erfolgte durch eine speziell angefertigte Gummimanschette aus CR Standard-Gummimischung von 139 mm Innendurchmesser, 56 ± 1 mm Höhe und 1 mm Wanddicke. Sie wurde überlappt geklebt und die Naht am Innendurchmesser plan geschliffen.

Die im Normalklima bis zur Gleichgewichtsfeuchte klimatisierte Probe wurde gewogen und die Abmessungen ermittelt. Das Glasgefäß wurde bis 10 mm unter den Rand mit destilliertem Wasser bzw. Silikagel aufgefüllt, die Versuchsprobe aufgesetzt und je nach Probendicke mit 1 oder 2 Gummimanschetten abgedichtet. Die Proben wurden in gewissen Zeitabständen von den Gefäßen abgenommen und gewogen. Dieser Vorgang wurde bis zur Gewichtskonstanz wiederholt. Die Gewichtskonstanz

**Tabelle 2** Versuchsbedingungen und Konstanten  
**Table 2** Test conditions and constants

Begriffe	Versuchsbedingungen und Konstanten
Absolute Temperatur $T$ in °K	293.15
Gaskonstante des Wasserdampfes $R_D$ in Nm/kg.°K	462
Atmosphärendruck (Normzustand) $p$ in hPa	1013.25
Mittlerer Luftdruck im Klimaraum $p_0$ in hPa	932
Mittlere Dicke der Luftschicht unterhalb der Probe $s_L$ in m	0.01
Sättigungsdruck des Wasserdampfes $p_S$ bei 20°C in Pa	2337.82
Diffusionskoeffizient des Wasserdampfes in der Luft $\delta_D$ in kg/(m.h.Pa)	$7.5760E^{-7}$
Wasserdampfdiffusionskoeffizient $D$ in m <sup>2</sup> /h	0.10

**Tabelle 3** Gemessene und abgeleitete Werte der dreischichtigen, 60 mm dicken Platten (20/20/20 mm) mit PUR-E, PUR-F und PUR-G Leim verklebten Massivholzplatten

**Table 3** Measured and calculated values of three layer 60 mm thick (20/20/20 mm) solid wood panels glued together with PUR-E, PUR-F and PUR-G adhesives

Kenngröße	Nassbereich			Trockenbereich	
	PUR-E	PUR-F	PUR-G	PUR-E	PUR-G
Wasserdampf-Diffusionsstromdichte $WDD$ in g/m <sup>2</sup> .d	24.95	23.94	23.22	-15.61	-21.52
Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand $\mu$	10	10	11	29	18
Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke $s_D$ in m	0.59	0.61	0.63	1.76	1.27
Wassergehalt $u$ in %	20.15±0.33	20.15±0.28	19.80±0.24	11.00±0.10	11.32±0.14
Rohdichte $\rho_N$ in g/cm <sup>3</sup>	0.51±0.02	0.52±0.03	0.44±0.02	0.43±0.01	0.38±0.01
Rel. Luftfeuchtigkeit oberhalb der Probe $\varphi_1$ in %	65	65	65	65	65
Rel. Luftfeuchtigkeit unterhalb der Probe $\varphi_2$ in %	100	100	100	0	0
Wasserdampf-Partialdruck oberhalb der Probe $p_1$ in Pa	1519.58	1519.58	1519.58	1519.58	1519.58
Wasserdampf-Partialdruck unterhalb der Probe $p_2$ in Pa	2337.82	2337.82	2337.82	0	0

galt als erreicht, wenn sich die Masse der Probe gegenüber der vorherigen Wägung im Abstand von 24 h um nicht mehr als 0.1% geändert hat. Die Massen- und Zeiterfassung wurde mit dem Datenerfassungsprogramm (Popper 1991) durchgeführt.

### 3.2.3 Versuchsbedingungen

Folgende Versuchsbedingungen wurden gewählt:

- Normalklima und Wasser (= *Nassbereich*) (rel. Dampfdruck 100%), Dampfdruckdifferenz 818 Pa
- Normalklima und Silikagel (= *Trockenbereich*) (rel. Dampfdruck 0%), Dampfdruckdifferenz 1520 Pa.

Die Temperatur betrug jeweils 20°C.

Die Versuchsbedingungen sowie die für die Berechnung der Diffusionsvorgänge notwendigen Konstanten sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Je Variante wurden 10 Proben geprüft.

## 4 Versuchsergebnisse

In einem ersten Teil wird der Einfluss der Klebstoffart untersucht. Dabei werden Fragen der Kinetik der Feuch-

taufnahme / -abgabe und die entsprechenden Kennwerte mit beschrieben. Im zweiten Teil wird der Einfluss des Plattenaufbaus geprüft. Hierbei wird lediglich die Diffusionswiderstandszahl verwendet, auf die Angabe der anderen Daten wird in der vorliegenden Arbeit verzichtet.

### 4.1 Einfluss der Klebstoffart

Nachfolgend werden exemplarisch die Diffusionsvorgänge 60 mm dicker, dreischichtiger Platten (20/20/20 mm) im Nassbereich (100%/65%) und im Trockenbereich (0%/65%) beschrieben. Die Ergebnisse zeigen die Tabellen 2, 3, 4, 5 und 6 sowie Abb. 2, 3, 4 und 5.

#### 4.1.1 Polyurethanleime (PUR)

Im *Nassbereich* (100%/65%) ist bei den Proben mit den Klebstoffen PUR E und F (Tabelle 3; Abb. 2a, b) in der ersten 200 h ein steilerer Anstieg der Gewichtszunahme erkennen als bei PUR G. Die Gewichtskonstanz wurde beim Klebstoff PUR E und F nach etwa 1300 Stunden, bei der PUR-G erst nach 1500 h erreicht. Die Gewichtszunahme betrug bei Versuchsreihe E 21,58 g, bei F 20,34 g und bei PUR-G 22,49 g. Die Wasserdampfmasse, die pro Tag bei einem Partialdruckgefälle von 818 Pa durch ein

**Tabelle 4** Gemessene und abgeleitete Werte der dreischichtigen, 60 mm dicken Platten (20/20/20 mm) mit Phenol-Resorcin-Formaldehyd Kondensationsleim (PRF)

Kenngrösse	Nassbereich (100%/65%)	Trockenbereich (0%/65%)
Wasserdampf-Diffusionsstromdichte $WDD$ in $g/m^2 \cdot d$	23.15	-25.28
Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand $\mu$	11	19
Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke $s_D$ in m	0.63	1.08
Wassergehalt $u$ in %	20.49±0.33	11.06±0.33
Rohdichte $\rho_N$ in $g/cm^3$	0.43±0.01	0.45±0.03
Wasserdampf-Partialdruck oberhalb der Probe $p_1$ in Pa	1519.58	1519.5865
Wasserdampf-Partialdruck unterhalb der Probe $p_2$ in Pa	2337.82	0

**Table 4** Measured and calculated values of three layer 60 mm thick (20/20/20 mm) solid wood panels glued together with phenol-resorcin-formaldehyde (PRF) resin

**Tabelle 5** Gemessene und abgeleitete Werte der dreischichtigen, 60 mm dicken Platten (20/20/20 mm) mit PVA-Leim verklebten Massivholzplatten

Kenngrösse	Nassbereich (100%/65%)	Trockenbereich (0%/65%)
Wasserdampf-Diffusionsstromdichte $WDD$ in $g/m^2 \cdot d$	23.65	-22.35
Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand $\mu$	11	18
Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke $s_D$ in m	0.62	1.23
Wassergehalt $u$ in %	20.20±0.41	11.32±0.14
Rohdichte $\rho_N$ in $g/cm^3$	0.52±0.01	0.38±0.01
Wasserdampf-Partialdruck oberhalb der Probe $p_1$ in Pa	1519.58	1519.58
Wasserdampf-Partialdruck unterhalb der Probe $p_2$ in Pa	2337.82	2337.82

**Table 5** Measured and calculated values of three layer 60 mm thick (20/20/20 mm) solid wood panels stuck together with PVA adhesive

**Tabelle 6** Zusammenstellung der Diffusionswiderstandszahlen von Massivholzplatten in Abhängigkeit vom Plattenaufbau und dem Prüfklima (Angabe in Klammer  $u$  = mittlere Holzfeuchte der Probe nach Versuchsende)

Variante	Plattendicke [mm]	Aufbau	Klebstoff	Diffusionswiderstandszahl Nassbereich (100%/65%)	Diffusionswiderstandszahl Trockenbereich (0%/65%)
1	30	10/10/10	PUR E	16 ( $u=20,15\%$ )	
2	30	10/10/10	PUR F	17 ( $u=20,15\%$ )	41 ( $u=10,23\%$ )
3	60	20/20/20	PUR E	10 ( $u=20,15\%$ )	29 ( $u=11,00\%$ )
4	60	20/20/20	PUR F	10 ( $u=20,15\%$ )	
5	60	20/20/20	PUR G	11 ( $u=19,80\%$ )	18 ( $u=11,32\%$ )
6	60	20/20/20	PRF	11 ( $u=20,49\%$ )	19 ( $u=11,06\%$ )
7	60	20/20/20	PVA	11 ( $u=20,20\%$ )	18 ( $u=11,30\%$ )
8	60	12/12/12/12/12	PUR E	13 ( $u=19,72\%$ )	23 ( $u=11,37\%$ )
9	60	12/12/12/12/12	PUR F	14 ( $u=19,71\%$ )	
10	27	6/15/6	Melamin (mit Oberflächenbeschichtung)	24 ( $u=20,05\%$ )	44 ( $u=11,98\%$ )

**Table 6** Diffusion resistance of the solid wood panels as a function of the structure and climate condition (Values in brackets  $u$  = average moisture content at the end of the test)

Quadratmeter der Proben diffundierte (Wasserdampf-Diffusionsstromdichte) betrug 25  $g/m^2 \cdot d$  bei Versuchsreihe PUR-E, 24  $g/m^2 \cdot d$  bei PUR-F und 23  $g/m^2 \cdot d$  bei PUR-G.

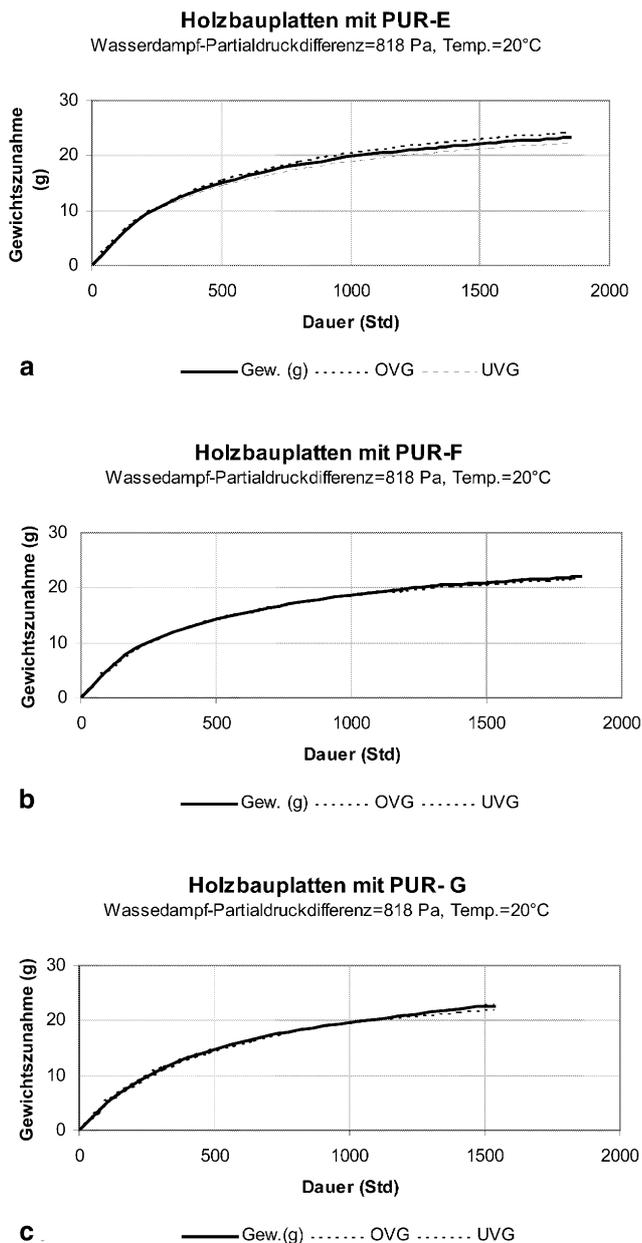
Die Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl beträgt bei den PUR-Klebstoffen E und F 10, bei Typ G 11. Somit müsste die ruhende Luftschicht eine Dicke von 59 cm bei Versuchsreihe E über 61 cm bei F bis 63 cm bei PUR-G aufweisen, damit sie den gleichen Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand wie die Versuchsplatten erreicht.

Im *Trockenbereich* zwischen 0% und 65% rel. Luftfeuchtigkeit diffundiert im Vergleich zum Nassbereich durch das gleiche Material eine viel niedrigere Wasserdampfmenge in bedeutend kürzerer Zeit (Abb. 3). Demnach ist die Wasserdampf-Diffusionsgeschwindigkeit da-

her annähernd die gleiche, und der Wasserdampf-Diffusionswiderstand höher als bei der Prüfung im Nassbereich. Die Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl steigt von 11 auf 18 (Typ G) bzw. von 10 auf 29 (Typ E).

#### 4.1.2 Phenol-Resorcin-Formaldehydleim (PRF)

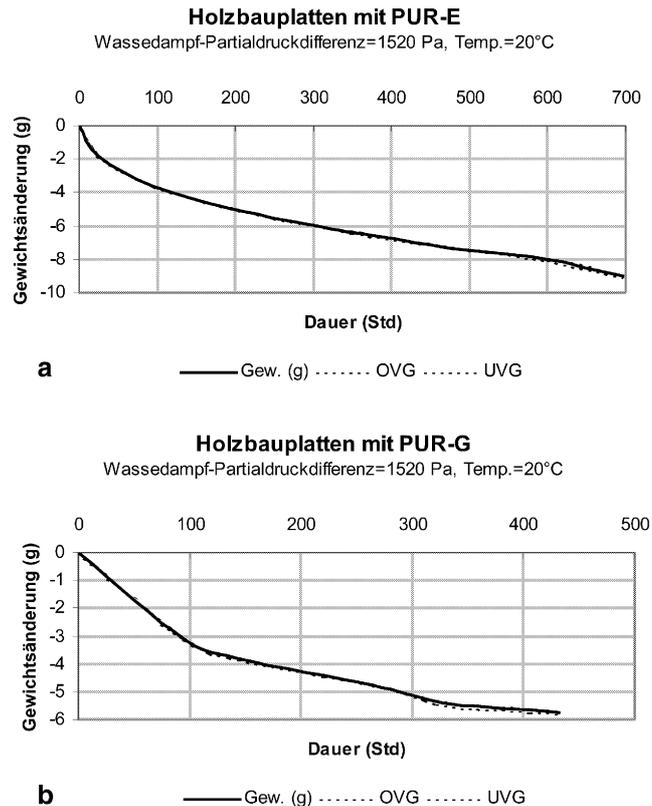
Wie aus Abb. 4a und Tabelle 4 hervorgeht wurde im *Nassbereich* die Gewichtskonstanz nach 1704 h erreicht. Die Gewichtszunahme betrug 23,15 g. Die auf einen Tag bezogene Wasserdampfmasse, die unter der Wirkung des Partialdruckgefälles von 818 Pa durch einen Quadratmeter der Plattenart diffundierte (Wasserdampf-Diffusionsstromdichte) betrug ca. 23  $g/m^2 \cdot d$ .



**Abb. 2a–c** Gewichtszunahme der dreischichtigen 60 mm dicken Massivholzplatte (20/20/20) im Feuchtklima Klima (100% und 65%). OVG = obere Variationsgrenze, UVG = untere Variationsgrenze: **a** mit PUR-E verklebt; **b** mit PUR-F verklebt; **c** mit PUR-G verklebt

**Fig. 2a–c** Weight increase of three layer (60 mm thick) solid wood panel (20/20/20 mm) in the wet climate. OVG = upper variation limit, UVG = lower variation limit: **a** glued with PUR-E adhesive; **b** glued with PUR-F adhesive; **c** stuck together with PUR-G adhesive

Die Wasserdampf-Durchlasswiderstandszahl beträgt 11. Die ruhende Luftschicht müsste eine Dicke von 63 cm aufweisen, damit sie den gleichen Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand wie die jeweiligen Versuchsplatten erreicht. Die Resultate sind vergleichbar mit den mit PUR verklebten dreischichtigen Platten gleicher Dicke.



**Abb. 3a,b** Gewichtsabnahme der dreischichtigen, 60 mm dicken Massivholzplatte (20/20/20) im Trockenklima (0%/65%). OVG = obere Variationsgrenze, UVG = untere Variationsgrenze: **a** mit PUR-E verklebt; **b** mit PUR-G verklebt

**Fig. 3a,b** Weight loss of three layer (60 mm thick) solid wood panels (20/20/20 mm) in the dry climate. OVG = upper variation limit, UVG = lower variation limit: **a** stuck together with PUR-E adhesive; **b** stuck together with PUR-G adhesive

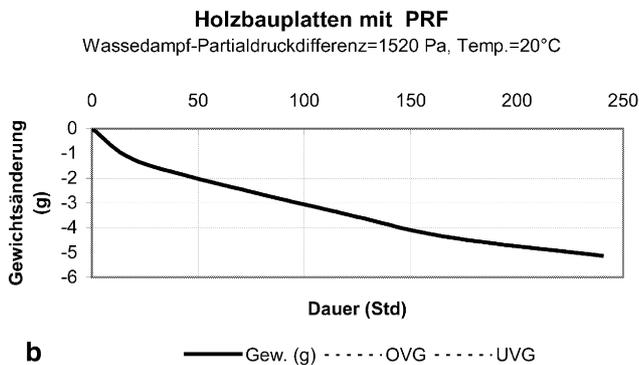
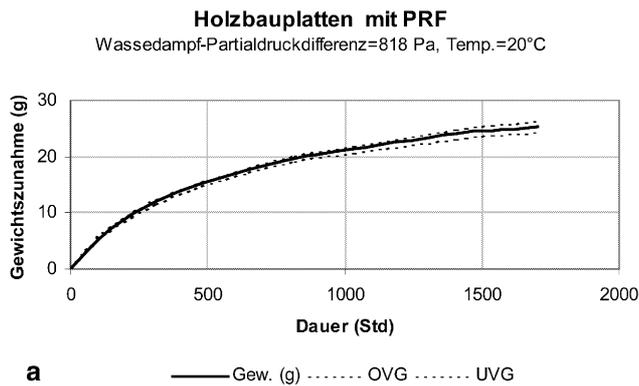
Die im *Trockenbereich* zwischen 0% und 65% rel. Luftfeuchtigkeit (Partialdruckgefälle 1.520 Pa) durch einen Quadratmeter diffundierte Wasserdampfmasse betrug ca. 25 g/m<sup>2</sup>.d. Die Wasserdampf-Durchlasswiderstandszahl beträgt 19. Die ruhende Luftschicht müsste eine Dicke von 1,08 m aufweisen, damit sie den gleichen Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand wie die jeweiligen Versuchsplatten erreicht.

#### 4.1.3 Vinylester-Homopolymerleim (PVA)

Aus Abb. 5a und Tabelle 5 ist zu entnehmen, dass bei den Massivholzplatten 20/20/20 im *Nassbereich* die Gewichtskonstanz nach 1704 h erreicht wurde, wobei die Gewichtszunahme 25,39 g betrug.

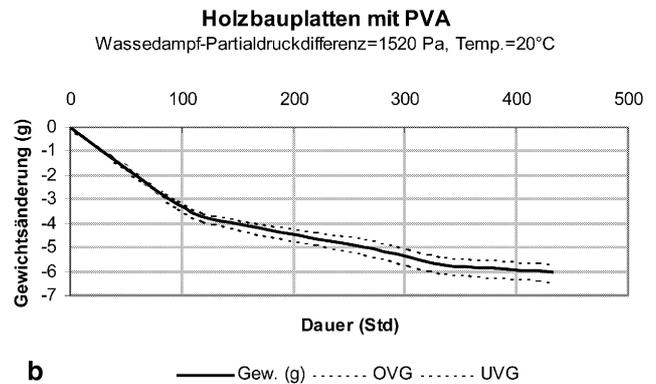
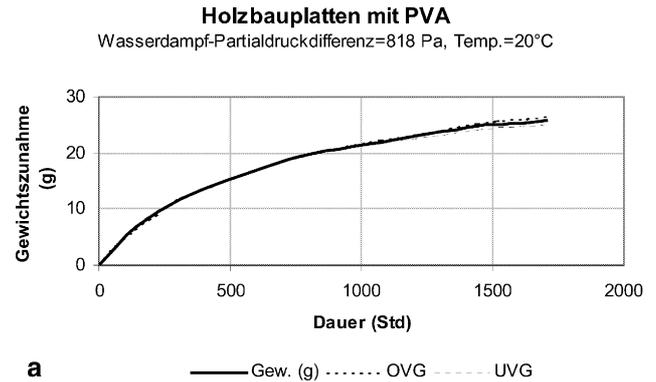
Die auf einen Tag bezogene Wasserdampfmasse, die unter der Wirkung des Partialdruckgefälles von 818 Pa durch ein Quadratmeter der Versuchsplattenart diffundierte (Wasserdampf-Diffusionsstromdichte), betrug ca. 23,65 g/m<sup>2</sup>.d.

Die Wasserdampf-Durchlasswiderstandszahl beträgt 11. Die ruhende Luftschicht müsste eine Dicke von



**Abb. 4a,b** Gewichtsänderung der dreischichtigen 60 mm dicken Massivholzplatte (20/20/20) mit Phenol-Resorcin-Formaldehyd Kondensationsleim (PRF) verklebt. OVG = obere Variationsgrenze, UVG = untere Variationsgrenze: **a** im Feuchtklima (100%/65%); **b** im Trockenklima (0%/65%)

**Fig. 4a,b** Weight variation of the three layer (60 mm thick) solid wood panel (20/20/20 mm) stuck together with phenol-resorcin-formaldehyde resin (PRF). OVG = upper variation limit, UVG = lower variation limit: **a** in a wet climate (relative humidity ranging from 100% to 65% at 20°C); **b** in a dry climate (relative humidity ranging from 0% to 65% at 20°C)



**Abb. 5a,b** Gewichtsänderung der dreischichtigen 60 mm dicken Massivholzplatte (20/20/20) Vinylester-Homopolymerleim (PVA) verklebt. OVG = obere Variationsgrenze, UVG = untere Variationsgrenze: **a** im Feuchtklima (100%/65%); **b** im Trockenklima (0%/65%)

**Fig. 5a,b** Weight variation of the three layer (60 mm thick) solid wood panel (20/20/20 mm) stuck together with vinylester-homopolymer adhesive (PVA). OVG = upper variation limit, UVG = lower variation limit: **a** in a wet climate (relative humidity ranging from 100% to 65% at 20°C); **b** in a dry climate (relative humidity ranging from 0% to 65% at 20°C)

62 cm aufweisen, damit sie den gleichen Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand wie die jeweiligen Versuchsplatten erreicht. Die Resultate sind wiederum vergleichbar mit den mit PUR bzw. PRF verklebten Platten gleicher Dicke.

Die im *Trockenbereich* zwischen 0% und 65% rel. Luftfeuchtigkeit (Partialdruckgefälle 1.520 Pa) durch einen Quadratmeter diffundierte Wasserdampfmenge (Wasserdampf-Diffusionsstromdichte) betrug ca. 22 g/m<sup>2</sup>.d.

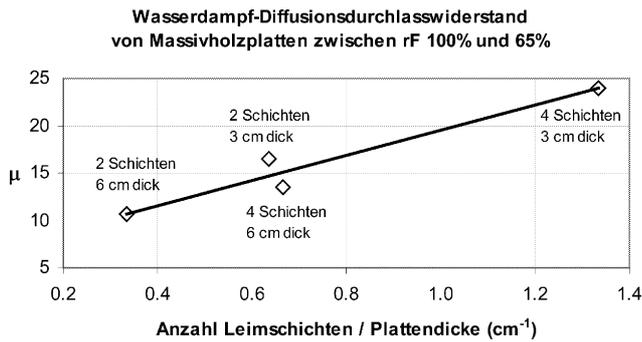
Die Wasserdampf-Durchlasswiderstandszahl beträgt 18. Die ruhende Luftschicht müsste eine Dicke von 1,23 m aufweisen, damit sie den gleichen Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand wie die jeweiligen Versuchsplatten erreicht.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass im Feuchtklima keine Differenzierung der Klebstoffe auftrat (Tabelle 3). Im Trockenklima gab es eine gewisse Differenzierung innerhalb der beiden PUR Klebstoffe. Der Typ E lag deutlich höher als alle anderen Produkte. Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Klebstoff-

arten waren aber auch im Trockenklima insgesamt betrachtet gering. Im Trockenklima wurden deutlich höhere Diffusionswiderstandszahlen erreicht als im Feuchtklima.

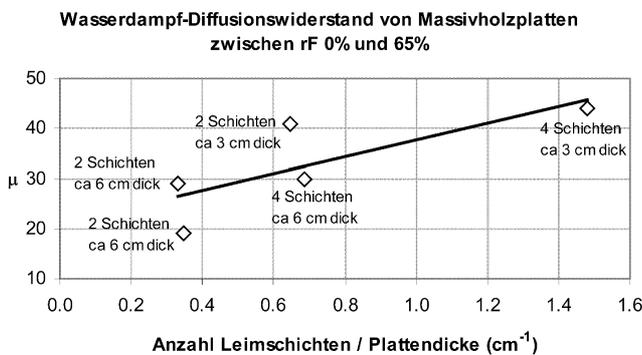
#### 4.2 Einfluss des Plattenaufbaus

Tabelle 6 sowie Abb. 6 und 7 zeigen den Einfluss des Plattenaufbaus im Feucht- und im Trockenklima. Es ist deutlich zu erkennen, dass der Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand von der Anzahl der Leimschichten pro cm Plattendicke bestimmt wird. So ist er bei den Betonschalttafeln durch die aufgebrauchte Melaminharzvergütung und 2 Klebfugen (Dreischichtplatte) vergleichsweise hoch. Dies kann neben dem Einfluss der Klebfuge auch auf das veränderte Verhältnis der Schnittrichtungen (Unterschiede radial/tangential) zurückzuführen sein. Im Trockenklima ist der Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand größer als



**Abb. 6** Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl im Feuchtklima (100%/65%) von Massivholzplatten als Funktion der Anzahl Leimfugen pro Plattendicke

**Fig. 6** Water vapor diffusion resistance of solid wood panel in a wet climate (relative humidity ranging from 100% to 65% at 20°C) as a function of glue layers per panel thickness



**Abb. 7** Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl im Trockenklima (0%/65%) von Massivholzplatten als Funktion der Anzahl Leimfugen pro Plattendicke

**Fig. 7** Water vapor diffusion resistance of solid wood panel in a dry climate (relative humidity ranging from 0% to 65% at 20°C) as a function of glue layers per panel thickness

im Feuchtklima. Dies zeigt den Einfluss der Holzfeuchte auf diesen Kennwert.

## 5 Schlussfolgerungen

Die durchgeführten Untersuchungen erlauben folgende Schlüsse zu ziehen:

Die hier verwendete Methode (Wägung der Netto-Probe) erlaubt gegenüber denjenigen in DIN 52 615 (1987) und ISO 12572 (1999) beschriebenen Methoden (Wägung der Probe mit Gefäß und Trocknungs- resp. Befeuchtungsmittel) eine genauere Bestimmung der Gewichtsänderung, was zu genaueren Resultaten führen müsste.

Der allgemein relativ niedrige Diffusionsdurchlasswiderstand aller Versuchsplatten im Nassbereich ist auf die extrem gewählten Klimabedingungen und die damit verbundene hohe Holzfeuchte zurückzuführen (rel. Luftfeuchtigkeit zwischen 100% und 65%). Der Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand ist in diesem Bereich vom

Feuchtigkeitsgehalt, der Temperatur und dem Partialdruckgefälle abhängig (Cammerer 1970). Die Sorptions- und Kapillarleitungsvorgänge begünstigen den Wasserdampftransport, so dass bei hoher Materialfeuchtigkeit der Diffusionsdurchlasswiderstand herabgesetzt wird.

Der Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand im Trockenbereich zwischen rel. Luftfeuchtigkeit von 0% und 65% ist im Vergleich zum Nassbereich bedeutend höher.

Der Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand der untersuchten Massivholzplatten ist weniger von verwendetem Klebstoff bestimmt, sondern viel mehr vom Verhältnis der Leimschichtenanzahl zu der Probendicke. Je größer die Anzahl Leimschichten und je kleiner die Plattendicke, desto größer ist der Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand.

Zieht man den durchschnittlichen Feuchtegehalt der Platten im Nassbereich von etwa 20% in Betracht, so ist bei einer Fasersättigungfeuchtigkeit von 28% (erreicht an der dem Wasser zugewandten Seite der Probe) und einer Ausgleichsfeuchte von 12% auf der dem Normal-klima zugewandten Seite auf eine lineare Feuchteverteilung innerhalb der Versuchsplatten nach dem Erreichen der Gleichgewichtskonstanz zu schliessen.

Der durchschnittliche Feuchtegehalt der Platten im Trockenbereich zwischen 0% und 65% rel. Luftfeuchtigkeit beträgt etwa 11.3%. Dieser Wassergehalt entspricht der Gleichgewichtsfeuchtigkeit des Fichtenholzes beim Normalklima (rel. Luftfeuchtigkeit von 65% bei 20°C). Dies bedeutet, das Partialdruckgefälle verursacht nach dem Erreichen des Gleichgewichts ein vollkommenes Durchfeuchten der Platte mit der Normalfeuchte des Fichtenholzes.

## Literatur

- Cammerer WF (1970) Wärmeleitfähigkeit und Diffusionswiderstand von Holzwerkstoffen. Holz Roh- Werkstoff 28:420–423
- DIN 52 615. Nov. (1987) Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit von Bau- und Dämmstoffen. S 1–5
- DIN 52 183. Nov. (1977) Prüfung von Holz. Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes. S 1–2
- DIN 52 182. Sep. (1976) Prüfung von Holz. Bestimmung der Rohdichte. S 1–2
- DIN 50 014. Jul. (1985) Klimate und ihre technische Anwendung. Normalklimate. S 1–2
- EN ISO 12572 (1999) Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten. Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit. Europäisches Komitee für Normung, rue de Stassart 36, B 1050 Brüssel, S 1–27
- Horn J (1969) Untersuchungen über Wasserdampfdiffusion durch Holzspanplatten in Abhängigkeit von einigen technologischen und klimatischen Einflussfaktoren. Dissertation, Univ. Hamburg
- Jensen U, Emmler R (1996) Diffusion resistance of MDF and particleboard. Proc International COST 508 Wood Mechanics Conference, Stuttgart, Germany, May 14–16, pp 345–352
- Popper R (1991) Datenerfassungsprogramm WAAGMA. Int. Bericht WAHO/ETHZ
- Schirmer S (1938) Beiheft VDI-Zeitschrift, Verfahrenstechnik 6:170–177
- Vanek M, Teischinger A (1989) Diffusionskoeffizienten und Diffusionswiderstandszahlen von verschiedenen Holzarten. Holzforschung Holzverwertung 41(1):3–6