

Diffusionsvorgänge in Holzbauplatten unter stationären Bedingungen

Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit im
Trocken- und Nassverfahren

Report

Author(s):

Popper, Rudolf; Niemz, Peter; Eberle, G.

Publication date:

2002

Permanent link:

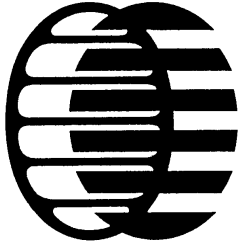
<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004180713>

Rights / license:

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

Originally published in:

Int. Bericht ETHZ/HW-HP-LZfP 8



Professur Holzwissenschaften
Eidgenössische Technische Hochschule
ETH Zentrum
CH-8092 Zürich

Int. Bericht ETHZ/HW-HP-LZfP Nr. 8

**Diffusionsvorgänge in Holzbauplatten unter stationären
Bedingungen**

**Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit im Trocken-
und Nassbereichverfahren**

R. POPPER, P. NIEMZ, G. EBERLE

Zürich, 04. Februar 2002

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 | Einleitung | 3 |
| 2 | Begriffe | 4 |
| 2.1 | Die rel. Luftfeuchtigkeit | 4 |
| 2.2 | Diffusionszahl..... | 4 |
| 2.3 | Dampfleitzahl..... | 4 |
| 2.4 | Wasserdampf-Diffusionsstromdichte | 5 |
| 2.5 | Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl..... | 5 |
| 2.6 | Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke | 6 |
| 2.7 | Rohdichte..... | 6 |
| 2.8 | Feuchtigkeitsgehalt | 7 |
| 3 | Material | 7 |
| 4 | Methode | 9 |
| 4.1 | Messprinzip | 9 |
| 4.2 | Prüfeinrichtung und Messanordnung..... | 9 |
| 4.3 | Versuchsbedingungen..... | 10 |
| 5 | Resultate und Diskussion | 11 |
| 5.1 | Holzbauplatten 10-10-10 mit PUR verklebt..... | 12 |
| 5.2 | Holzbauplatten 20-20-20 mit PUR verklebt..... | 15 |
| 5.3 | Holzbauplatten 12-12-12-12-12 mit PUR verklebt | 19 |
| 5.4 | Holzbauplatten 20-20-20 mit PRF verklebt..... | 22 |
| 5.5 | Holzbauplatten 20-20-20 mit VE verklebt..... | 25 |
| 5.6 | Holzbauplatten mit Melaminharz verklebt und beschichtet | 27 |
| 6 | Schlussfolgerungen | 31 |
| 7 | Literatur | 33 |

1 Einleitung

Feuchtigkeitsbewegungen in Holzbauteilen infolge Diffusion sind in bauphysikalischer Hinsicht (materialtechnische Gründe, Raumklima) von grosser Bedeutung. Unter ungünstigen Bedingungen (Kondenswasserbildung) kann es zur Durchfeuchtung eines Bauteils kommen, wodurch das Wärmeisolationsvermögen herabsetzt wird und im Extremfall sogar die Sicherheit einer Konstruktion beeinträchtigt werden kann. Die Behaglichkeit bezüglich Raumklima ist ausserdem im hohen Mass von der Feuchtigkeit der Raumluft abhängig.

Die Messungen und Berechnungen des Feuchtigkeitsdurchgangs werden heute noch immer unter der Voraussetzung stationärer Verhältnisse durchgeführt (beidseits des Bauteils herrscht die gleiche Temperatur). Obwohl die wirklichen Klimaverhältnisse von den stationären stark abweichen können, liefern die stationären Berechnungen brauchbare Angaben über langfristige Feuchtigkeitsverhältnisse in Bauteilen. Sie ermöglichen 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) beschrieben. Mit Wasserdampfdiffusionsuntersuchungen an Spanplatten befasst sich vor allem die Arbeit von HORN (1969). CAMMERER (1970) beschrieb den Wasserdampf-Diffusionswiderstand von Span- und Sperrholzplatten. Den Einfluss von Rohdichte auf den Diffusionswiderstand von Holzspanplatten und MDF-Platten findet man bei JENSEN und EMLER (1996).

Die vorliegende Arbeit liefert Resultate einer stationären Messung der Wasserdampf-Diffusionsstromdichte und der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl von drei- bis fünfschichtigen Massivholzplatten unterschiedlicher Dicken sowie unterschiedlicher verwendeter Klebstoffe.

2 Begriffe

2.1 Die rel. Luftfeuchtigkeit

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

Gleichung 2-1

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

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:

Gleichung 2-2

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

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 d_D (auch als Wasserdampf-Diffusionsleitkoeffizient benannt) ist gleich der Wassermenge (kg), die in einer Stunde (h) durch einen Quadratmeter (m^2) eines Stoffes in Richtung des Dampfdruckgefälles hindurchfließt.

Für Luft gilt nach DIN 52 615 (1987):

Gleichung 2-3

$$d_D = \frac{D}{R_D \cdot T}$$

und durch Einsetzen der Gleichung 2-2 in die Gleichung 2-3 erhält man für d_D :

Gleichung 2-4

$$d_D = \frac{0.083}{R_D \cdot T} \cdot \frac{p_0}{p} \cdot \left(\frac{T}{273} \right)^{1.81},$$

- wobei D Diffusionszahl in m^2/h ,
 R_D Gaskonstante des Wasserdampfes in $Nm/(kg \text{ } ^\circ K)$,
 T Temperatur im Klimaraum in $^\circ K$,
 p mittlere 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 Dampfteildruckgefälles 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):

Gleichung 2-5

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

- 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 m^2 .

2.5 Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl

Die Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl μ (auch als Diffusionswiderstandsfaktor benannt) ist der Quotient aus dem Wasserdampf-Diffusionsleitkoeffizienten der Luft d_D und dem des betreffenden Stoffes und gibt an, wie vielmal grösser der Diffusionsdurchlasswiderstand des Stoffes ist als der einer gleich dicken ruhenden Luftschicht gleicher

Temperatur. Für die Diffusionswiderstandszahl m gilt nach DIN 52 615 (1987):

Gleichung 2-6

$$m = \frac{1}{s} \cdot \left(d_D \cdot 24000 \cdot \frac{p_1 - p_2}{WDD} - s_L \right),$$

wobei d_D Diffusionskoeff. von Wasserdampf in Luft in $kg/(m \cdot h \cdot Pa)$,

p_1, p_2 Wasserdampfteildrücke 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 .

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:

Gleichung 2-7

$$s_d = m \cdot s \text{ in } m.$$

2.7 Rohdichte

Die Rohdichte von Lignocellulosen r ist der Quotient aus der Masse m und dem Volumen V der Probe einschliesslich des Porenvolumens. Da die Rohdichte der Lignocellulosen vom Feuchtigkeitsgehalt abhängt, ist der Feuchtigkeitsgehalt zum Zeitpunkt der Rohdichtebestimmung anzugeben (DIN 52 182, 1976).

Die Rohdichte nach Lagerung im Normalklima (DIN 50 014, 20/65-1) wird als Normal-Rohdichte bestimmt:

Gleichung 2-8

$$r_N = \frac{m_N}{V_N} \text{ in } g/cm^3,$$

wobei m_N Masse der normalklimatisierten Probe in g ,

V_N Volumen der normalklimatisierten Probe in cm^3 .

2.8 Feuchtigkeitsgehalt

Der prozentuale Feuchtigkeitsgehalt der Probe u ist das Verhältnis zwischen der Masse des in der Probe enthaltenen Wassers und der Masse der wasserfreien (darrtrockenen) Probe. Für den Feuchtigkeitsgehalt gilt nach DIN 52 183 (1977):

Gleichung 2-9

$$u = \frac{m_u - m_0}{m_0} \cdot 100 \text{ in } \%,$$

wobei m_u Masse der feuchten Probe in g ,

m_0 Masse der wasserfreien (darrtrockenen) Probe in g .

3 Material

Die Untersuchungen der Wasserdampfdurchlässigkeit wurden an:

- zwei Versuchsreihen Ebnöther und Forbo (weiter als E und F) von je 10 Scheiben (Durchmesser: 140 mm) aus 30 mm dicken dreischichtigen Massivholzplatten aus Fichtenholz durchgeführt. Das Lamellenverhältnis betrug 10-10-10 mm, wobei die mittlere Lamelle, ähnlich zu den Sperrhölzern, gegenüber den beiden äusseren Lamellen um 90° gedreht wurde. Die Versuchsreihen unterschieden sich voneinander lediglich durch Verwendung von verschiedenen Polyurethanleimen. Die Proben der Versuchsreihe E wurden mit 1K-Polyurethan-Klebstoff Purbond WL 720 (Collano Ebnöther AG, CH-6203 Sempach-Station), diejenigen der Versuchsreihe F mit 1K-PUR-Klebstoff 60 107 Balcotan 107 TR (Forbo-CTU AG, CH-5012, Schönenwerd) verklebt. Nach Hersteller-Angaben betrug die Auftragsmenge bei Purbond-Klebstoff 180 g/m² – 250 g/m², bei Balcotan-Klebstoff ca. 150 g/m².

- zwei Versuchsreihen (E und F) von je 10 Scheiben und eine Versuchsreihe PUR-9520 (weiter als C) von 4 Scheiben (Durchmesser: 140 mm) aus 60 mm dicken dreischichtigen Massivholzplatten aus Fichtenholz durchgeführt. Das Lamellenverhältnis aller Platten betrug 20-20-20 mm, wobei die mittlere Lamelle, ähnlich zu den Sperrhölzern, gegenüber den beiden äusseren Lamellen um 90° gedreht wurde. Die Versuchsreihen unterschieden sich voneinander lediglich durch Verwendung von verschiedenen Polyurethanleimen. Die Proben der Versuchsreihe E wurden mit 1K-Polyurethan-Klebstoff Purbond WL 720 (Collano Ebnöther AG, CH-6203 Sempach-Station), diejenigen der Versuchsreihe F mit 1K-PUR-Klebstoff 60 107 Balcotan 107 TR (Forbo-CTU AG, CH-5012, Schönenwerd) und diejenigen der Versuchsreihe C mit Mirapur 9520 (Polyurethan-Präpolymerleim) verklebt. Nach Hersteller-Angaben betrug die Auftragsmenge bei Purbond-Klebstoff 180 g/m^2 – 250 g/m^2 , bei Balcotan-Klebstoff ca. 150 g/m^2 und bei Mirapur-Klebstoff ca. $150\text{-}200 \text{ g/m}^2$.
- zwei Versuchsreihen (E und F) von je 10 Scheiben (Durchmesser 140 mm) aus 60 mm dicken fünfschichtigen Massivholzplatten aus Fichtenholz durchgeführt. Das Lamellenverhältnis betrug 12-12-12-12-12 mm. Die Platten haben kreuzweise übereinander geschichteten Lamellen, deren Faserrichtung im rechten Winkel zueinander stehen. Die Proben der Versuchsreihe E wurden mit 1K-Polyurethan-Klebstoff Purbond WL 720 (Collano Ebnöther AG, CH-6203 Sempach-Station), diejenigen der Versuchsreihe F mit 1K-PUR-Klebstoff 60 107 Balcotan 107 TR (Forbo-CTU AG, CH-5012, Schönenwerd) verklebt. Nach Hersteller-Angaben betrug die Auftragsmenge bei beiden Klebstoffen ca. 150 g/m^2 .
- zwei Versuchsreihen PRF-187F und VE-6270 (A und B) von je 4 Scheiben (Durchmesser 140 mm) aus 60 mm dicken dreischichtigen Massivholzplatten aus Fichtenholz durchgeführt. Das Lamellenverhältnis betrug 20-20-20 mm. Die Proben der Versuchsreihe A wurden mit Placol 187F1-Klebstoff (Phenol Resorcin-Formaldehyd-Kondensationsleim), diejenigen der Versuchsreihe B mit Miracol 8F1 (6270)-Klebstoff (Vinylester-Homopolymerleim) verklebt. Nach Hersteller-Angaben betrug die Auftragsmenge bei Placol- und Miracol-Klebstoff 250 g/m^2 .
- einer Versuchsreihe M27 von 10 Scheiben (Durchmesser 140 mm) aus 27 mm dicken dreischichtigen, mit Melaminharz beidseitig beschichteten (Deckschicht) Massivholzplatten aus Fichtenholz durchgeführt. Das Lamellenverhältnis betrug 6-15-6 mm. Die Proben wurden mit Melaminharz-Klebstoff verklebt (Mittellage). Nach Hersteller (Firma Tschopp) betrug die Auftragsmenge 150 g/m^2 .

4 Methode

4.1 Messprinzip

Die beiden Seiten der Versuchsscheibe wurden bei gleichbleibender Temperatur einer Wasserdampf-Partialdruckdifferenz ausgesetzt und bei Kenntnis der Probenabmessungen und der Luftschichtdicke unterhalb der Probe, der Wasserdampf-Diffusionsstrom, die Wasserdampf-Diffusionsstromdichte, die Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl sowie die wasserdampfäquivalente Luftschichtdicke anlehnend an die DIN 52 615 bestimmt.

4.2 Prüfeinrichtung und Messanordnung

Die scheibenförmige Versuchsprobe wurde dampfdicht auf ein Glasgefäß (Assendurchmesser=14 cm, Höhe= 10 cm) aufgesetzt und im Raum mit definiertem Klima (Klimaraum, Klimaschrank, Klimabehälter) platziert (siehe Abbildung 4-1). Je nach benötigter Wasserdampf-Partialdruckdifferenz wurde das Glasgefäß mit Wasser, gesättigter Salzlösung oder mit Trocknungsmittel versetzt.

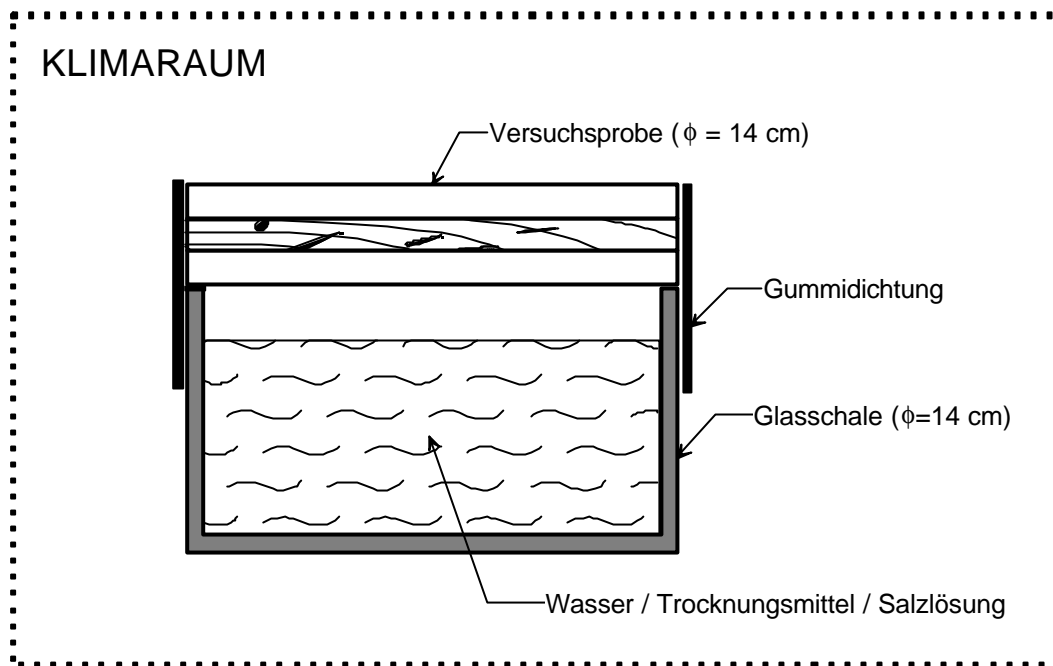


Abbildung 4-1 Messanordnung für die Dampfdurchlässigkeitsbestimmung von Bauholzplatten

4.3 Versuchsbedingungen

Für die Versuchsplatten wurde Normalklima nach DIN 50 014 (rel. Luftfeuchtigkeit=65%, Temperatur=20°C) und Wasser (rel. Dampfdruck=100%, Temperatur=20°C) verwendet. Die Abdichtung der Probe erfolgte durch eine speziell angefertigte Gummimanschette (Angst & Pfister AG, Schweiz) aus CR Standard-Gummimischung von 139 -10 mm Innendurchmesser, $56 \pm 1 \text{ mm}$ Höhe und 1mm Wanddicke. Sie wurde überlappt geklebt und die Naht am Innendurchmesser plan geschliffen.

Die normalklimatisierte Probe wurde gewogen und die genauen Abmessungen ermittelt. Das Glasgefäß wurde bis 10 mm unter den Rand mit destilliertem Wasser aufgefüllt, die Versuchsprobe aufgesetzt und mit 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 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 hat. Die Wägung erfolgte mittels einer Digitalwaage (Mettler M 4600, Schweiz) die an einen Computer über eine serielle Schnittstelle (RS 232c) angeschlossen wurde. Die Massen- und Zeiterfassung wurde mit dem Datenerfassungsprogramm (POPPER, 1991) durchgeführt.

Die Versuchsbedingungen sowie die für die Berechnung der Diffusionsvorgänge notwendige Konstanten sind in Tabelle 4-1 zusammengefasst.

Tabelle 4-1 Versuchsbedingungen und Konstanten

| Begriffe | Versuchsbedingungen und Konstanten |
|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Absolute Temperatur T in $^{\circ}K$ | 293.15 |
| Gaskonstante des Wasserdampfes R_D in $Nm/kg.^{\circ}K$ | 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 $20^{\circ}C$ in Pa | 2337.82 |
| Diffusionskoeffizient des Wasserdampfes in der Luft d_D in $kg/(m.h.Pa)$ | 7.5760E-7 |
| Wasserdampfdiffusionskoeffizient D in m^2/h | 0.10 |

5 Resultate und Diskussion

Noch bevor die Prüflinge den Diffusionsmessungen unterzogen worden sind, wurden diese normalklimatisiert und der Feuchtigkeitsgehalt sowie die Rohdichte bestimmt. Die Normal-Rohdichten sowie die Wassergehalte der Versuchsproben nach dem jeweils abgeschlossenen Diffusionsversuch sind in Tabellen 5-1 bis 5-12 zusammengefasst.

Es wurden absichtlich sehr strenge Prüfbedingungen gewählt, um die Diffusionsvorgänge in den Versuchsplatten unter extremen Klimabedingungen zu untersuchen. Die relative Luftfeuchtheitsdifferenz von 100% und 65% (Nassverfahren) sowie von 0% und 65% (Trockenverfahren) bei $20^{\circ}C$ auf beiden Seiten der Platte ist in der Praxis selten anzutreffen.

Die Resultate der Diffusionsmessungen sind in diesem Bericht nach verwendetem Klebstoff, der Probendicke und der Lamellenzahl gegliedert.

Der Verlauf der Gewichtsänderung der Versuchsplatten infolge Wasserdampf-Partialdruckdifferenz von 818 Pa bei stationären Bedingungen (Temperatur 20°C) sind in Abbildungen 5-1, 5-2, 5-4, 5-5, 5-6, 5-9, 5-10, 5-12, 5-14 und 5-16, diejenige infolge Wasserdampf-Partialdruckdifferenz von 1520 Pa in Abbildungen 5-3, 5-7, 5-8, 5-11, 5-13, 5-15 und 5-17 graphisch dargestellt. Die ausgezogene Kurve entspricht einem Mittelwert der jeweiligen Anzahl Proben, wobei die beiden gestrichelten Linien die obere- (OVG) und die untere Variationsgrenze (UVG) der entsprechenden Versuchsreihe bezeichnen.

Die Messwerte wie der Probendurchmesser d , die mittlere Probendicke s , die Prüffläche A , die Massendifferenz Δm und die Zeitspanne Δt zwischen zwei Wägungen, der Wassergehalt u , die Normal-Rohdichte r_N sowie die abgeleiteten Werte wie die Wasserdampf-Diffusionsstromdichte WDD , der Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand m und die Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_D sind für die jeweiligen Versuchsgruppen in Tabellen 5-1 bis 5-12 zusammengefasst.

5.1 Holzbauplatten 10-10-10 mit PUR verklebt

Tabelle 5-1 Gemessene und abgeleitete Werte der dreischichtigen 10-10-10 mm dicken mit Ebnöther- und Forbo-PUR Leim verklebten Versuchsplatten aus Fichtenholz zwischen 100% und 65% rel. Luftfeuchtigkeit

| Begriffe | Versuchsreihe E (Ebnöther-PUR) | Versuchsreihe F (Forbo-PUR) |
|----------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Durchmesser der Probe d in m | 0.14 | 0.14 |
| Mittlere Probendicke s in m | 0.0280± 0.0006 | 0.0280± 0.0006 |
| Massendifferenz zwischen 2 Wägungen m_2-m_1 in g | 12.61± 0.36 | 12.04± 0.37 |
| Zeitspanne zwischen zwei Wägungen t_2-t_1 in h | 672 | 672 |
| Prüffläche der Probe A in m^2 | 0.01548± 0.0002 | 0.0154± 0.0002 |
| Wasserdampf-Diffusionsstromdichte WDD in $g/m^2 \cdot d$ | 29.26± 0.83 | 27.93± 0.86 |
| Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand m | 16±1 | 17±1 |
| Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_D in m | 0.50±0.02 | 0.52±0.03 |
| Wassergehalt u in % | 20.15±0.33 | 20.15±0.28 |
| Rohdichte r_N in g/cm^3 | 0.51± 0.02 | 0.52± 0.03 |
| rel. Luftfeuchtigkeit oberhalb der Probe f_1 in % | 65 | 65 |
| rel. Luftfeuchtigkeit unterhalb der Probe f_2 in % | 100 | 100 |
| 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 |

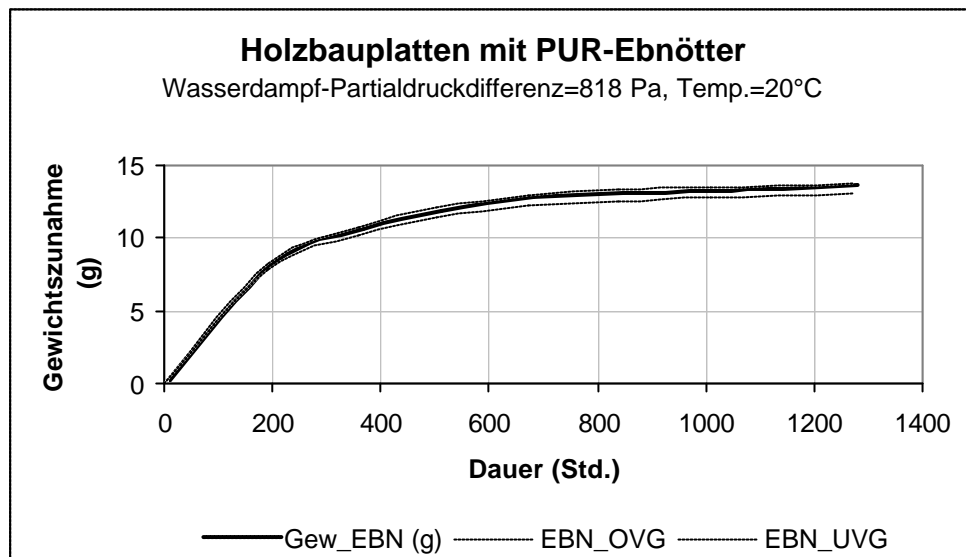


Abbildung 5-1 Gewichtszunahme der dreischichtigen 10-10-10 mm dicken Holzbauplatten mit Ebnötter-PUR verklebt ($r_F=100\%$ und 65%)

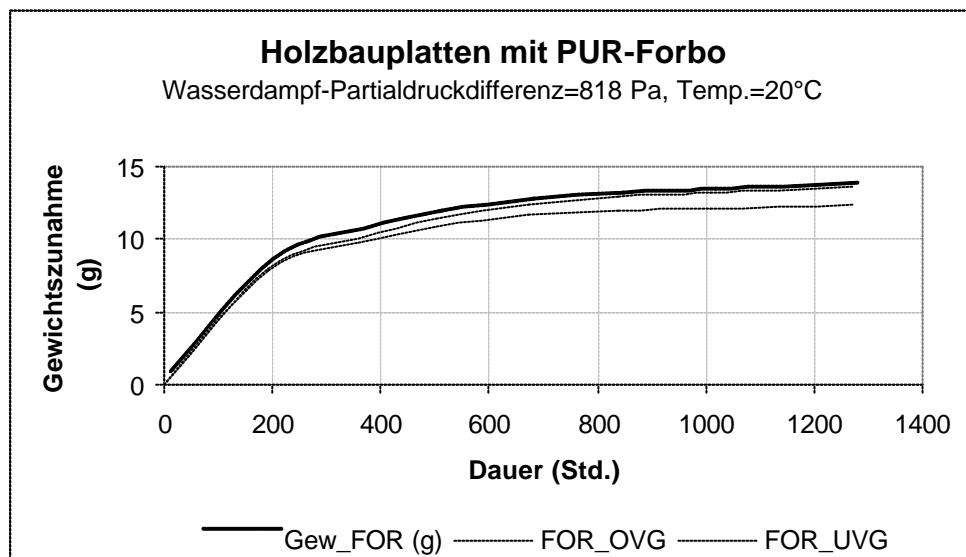


Abbildung 5-2 Gewichtszunahme der dreischichtigen 10-10-10 mm dicken Holzbauplatten mit Forbo-PUR verklebt ($r_F=100\%$ und 65%)

Wie aus Bildern 5-1 und 5-2 ersichtlich ist, weisen beide Versuchsreihen (E und F) einen steilen Gewichtsanstieg in den ersten 200 Stunden auf, gefolgt von einer moderaten Wasseraufnahme bis zu ca. 600 Stunden. Dies entspricht einer Wasseraufnahme von ca. $60\text{g H}_2\text{O/m}^2\cdot\text{Tag}$ in den ersten 200 Stunden, gegenüber ca. $15\text{g H}_2\text{O/m}^2\cdot\text{Tag}$ im moderaten Anstieg zwischen 200 und 600 Stunden.

Die Gewichtskonstanz wurde bei beiden Plattenarten erst nach 672 Stunden erreicht. Die Gewichtszunahme betrug bei Versuchsreihe E 12.61 g und bei Versuchsreihe F 12.04 g .

Die Messbedingungen und die Resultate der Wasserdampfdurchlässigkeit von den Versuchsplatten E und F sind in Tabelle 5-1 zusammen-

gefasst. Die Resultate zeigen, dass zwischen den Versuchsreihen E und F kein statistisch relevanter Unterschied besteht.

Die auf einen Tag bezogene Wasserdampfmasse, die unter der Wirkung des Partialdruckgefälles durch ein Quadratmeter der Versuchsplatte durchdiffundierte, betrug ca. $28 \text{ g/m}^2 \cdot d$ bis ca. $29 \text{ g/m}^2 \cdot d$.

Der Wasserdampf-Durchlasswiderstand der Versuchsplatten ist 16 bis 17 mal grösser als der einer gleich dicken Luftschicht gleicher Temperatur (siehe m -Wert in Tabelle 5-1). Anders ausgedrückt, müsste die ruhende Luftschicht eine Dicke von ca. 0.5 m aufweisen, damit sie den gleichen Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand wie die Versuchsplatten erreicht (siehe s_D -Wert in Tabelle 5-1).

Die folgende Tabelle 5-2 sowie Bild 5-3 zeigt die Diffusionseigenschaften von dreischichtigen 30mm dicken Forbo-PUR-Platten im Trockenbereich zwischen rel. Luftfeuchtigkeit 0% und 65%.

Die Partialdruckdifferenz von 1520 Pa gegenüber der Differenz von 818 Pa bei der gleichen Plattenart im Nassbereich wirkt sich auf die Zeitspanne zwischen Anfangs- und Gleichgewichtsfeuchtigkeit aus, indem diese bei gleichbleibender Diffusionsgeschwindigkeit praktisch halbiert wird.

Tabelle 5-2 Gemessene und abgeleitete Werte der dreischichtigen 10-10-10 mm dicken mit Forbo-PUR Leim verklebten Versuchsplatten aus Fichtenholz zwischen 0% und 65% rel. Luftfeuchtigkeit

| Begriffe | Versuchsreihe F (Forbo-PUR) |
|----------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Durchmesser der Probe d in m | 0.14 |
| Mittlere Probendicke s in m | 0.03 |
| Massendifferenz zwischen 2 Wägungen $m_2 - m_1$ in g | -4.85 |
| Zeitspanne zwischen zwei Wägungen $t_2 - t_1$ in h | 351 |
| Prüffläche der Probe A in m^2 | 0.0154 ± 0.0002 |
| Wasserdampf-Diffusionsstromdichte WDD in $g/m^2 \cdot d$ | -21.46 |
| Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand m | 41 |
| Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_D in m | 1.28 |
| Wassergehalt u in % | 10.23 ± 0.18 |
| Rohdichte r_N in g/cm^3 | 0.45 ± 0.01 |
| rel. Luftfeuchtigkeit oberhalb der Probe f_1 in % | 65 |
| rel. Luftfeuchtigkeit unterhalb der Probe f_2 in % | 0 |
| Wasserdampf-Partialdruck oberhalb der Probe p_1 in Pa | 1519.58 |
| Wasserdampf-Partialdruck unterhalb der Probe p_2 in Pa | 0 |

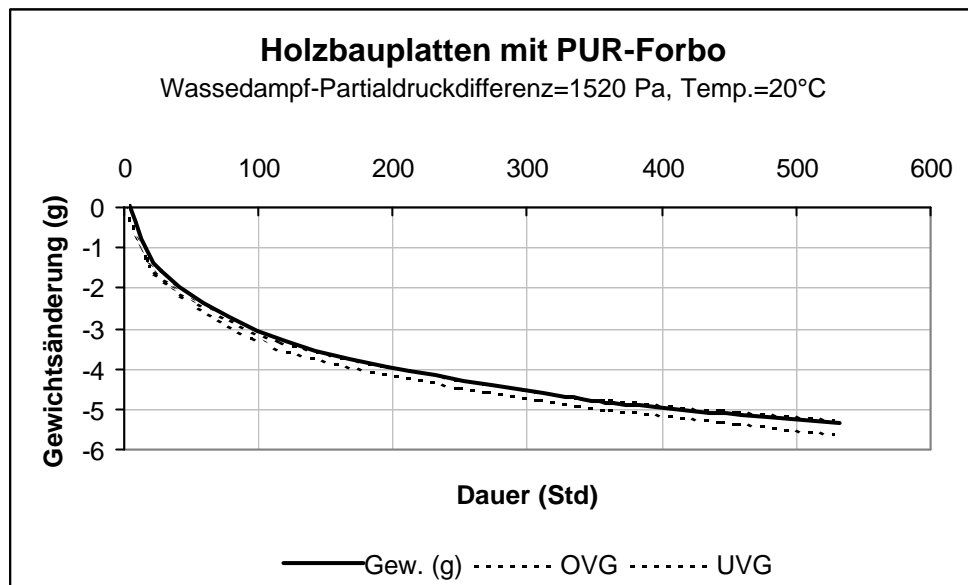


Abbildung 5-3 Gewichtsabnahme der dreischichtigen 10-10-10 mm dicken Holzbauplatten mit Forbo-PUR verklebt ($rF=0\%$ und 65%)

5.2 Holzbauplatten 20-20-20 mit PUR verklebt

Tabelle 5-3 Gemessene und abgeleitete Werte der dreischichtigen 20-20-20 mm dicken mit PUR-Ebnöther-, PUR-Forbo- und PUR-9520 Leim verklebten Versuchsplatten aus Fichtenholz zwischen 100% und 65% rel. Luftfeuchtigkeit

| Begriffe | PUR-Ebnöther | PUR-Forbo | PUR-9520 |
|----------------------------------------------------------------|--------------|------------|------------|
| Durchmesser der Probe d in m | 0.14 | 0.14 | 0.14 |
| Mittlere Probendicke s in m | 0.06 | 0.06 | 0.06 |
| Massendifferenz zwischen 2 Wägungen m_2-m_1 in g | 21.58 | 20.34 | 22.49 |
| Zeitspanne zwischen zwei Wägungen t_2-t_1 in h | 1344 | 1320 | 1504 |
| Prüffläche der Probe A in m^2 | 0.0154 | 0.0154 | 0.0155 |
| Wasserdampf-Diffusionsstromdichte WDD in $g/m^2 \cdot d$ | 24.95 | 23.94 | 23.22 |
| Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand m | 10 | 10 | 11 |
| Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_D in m | 0.59 | 0.61 | 0.63 |
| Wassergehalt u in % | 20.15±0.33 | 20.15±0.28 | 19.80±0.24 |
| Rohdichte r_N in g/cm^3 | 0.51± 0.02 | 0.52± 0.03 | 0.44± 0.02 |
| rel. Luftfeuchtigkeit oberhalb der Probe f_1 in % | 65 | 65 | 65 |
| rel. Luftfeuchtigkeit unterhalb der Probe f_2 in % | 100 | 100 | 100 |
| Wasserdampf-Partialdruck oberhalb der Probe p_1 in Pa | 1519.58 | 1519.58 | 1519.58 |
| Wasserdampf-Partialdruck unterhalb der Probe p_2 in Pa | 2337.82 | 2337.82 | 2337.82 |

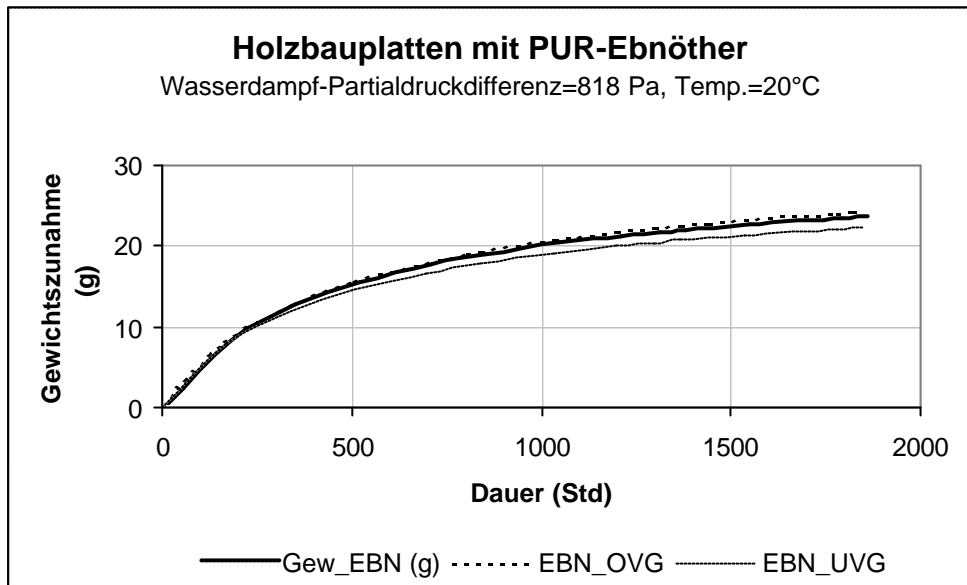


Abbildung 5-4 Gewichtszunahme der dreischichtigen 20-20-20 mm dicken Holzbauplatten mit Ebnöther-PUR-Leim verklebt (rF=100% und 65%)

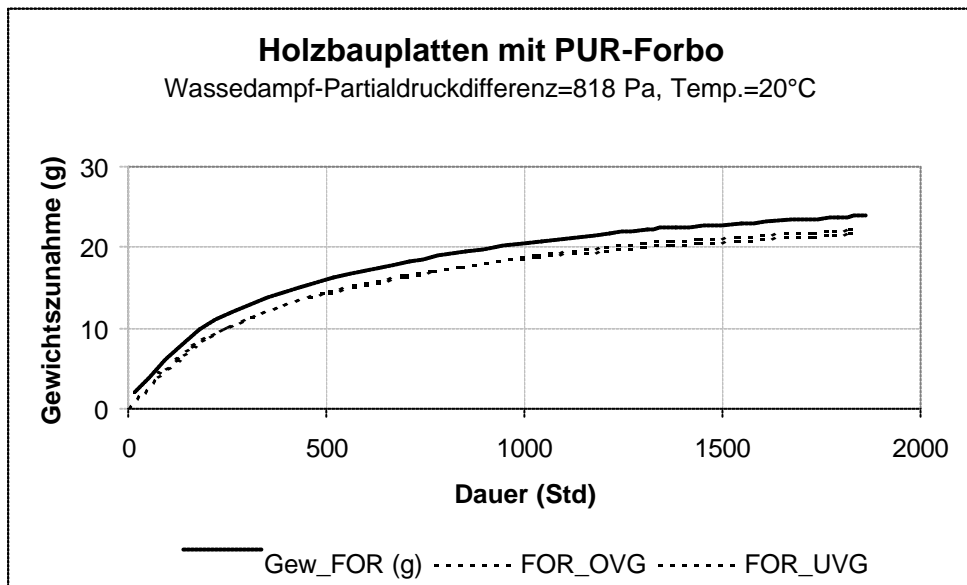


Abbildung 5-5 Gewichtszunahme der dreischichtigen 20-20-20 mm dicken Holzbauplatten mit Forbo-PUR-Leim verklebt (rF=100% und 65%)

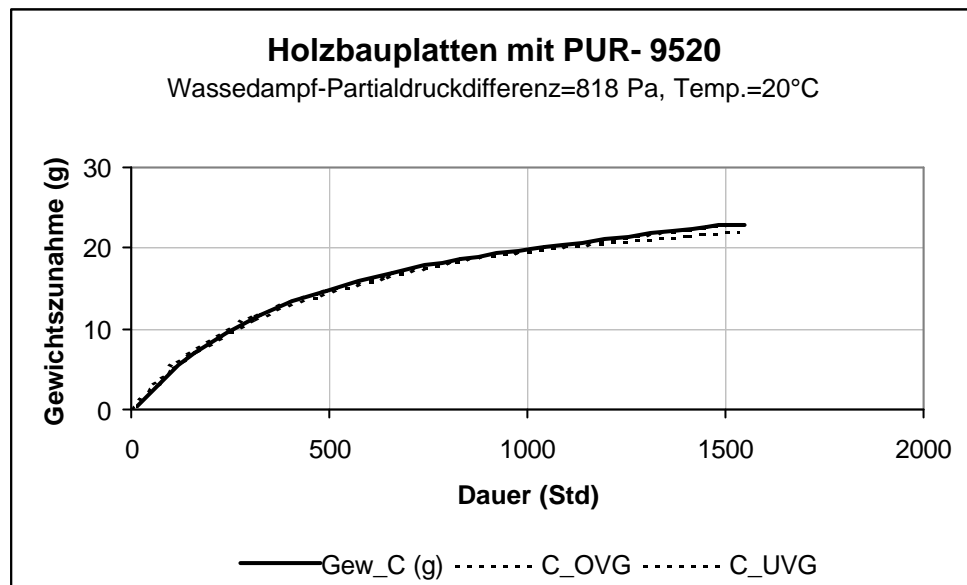


Abbildung 5-6 Gewichtszunahme der dreischichtigen 20-20-20 mm dicken mit PUR-Präpolymerleim (9520) verklebten Holzbauplatten aus Fichtenholz ($r_F=100\%$ und 65%)

Die Bilder 5-4 bis 5-6 sowie die Tabelle 5-3 dokumentieren die Diffusionsvorgänge von dreischichtigen 60mm dicken mit PUR-Leim verklebten Massivholzplatten im Nassbereich zwischen 100% und 65% rel. Luftfeuchtigkeit.

Die Versuchsreihen E und F (Bild 5-4 und 5-5) lassen im Gegenteil zu PUR-9520 (Bild 5-6) einen steilen Anstieg der Gewichtszunahme in der ersten ca. 200 Stunden erkennen. Die Gewichtskonstanz wurde bei der Versuchsreihe E und F nach etwa 1300 Stunden, bei der PUR-9520 hingegen erst nach 1500 Stunden erreicht. Die Gewichtszunahme betrug bei Versuchsreihe E 21.58g, bei F 20.34g und bei PUR-9520 22.49g.

Die auf einen Tag bezogene Wasserdampfmasse, die unter der Wirkung des Partialdruckgefälles von 818 Pa durch ein Quadratmeter der Versuchsplatte durchdiffundierte nahm von $25 \text{ g/m}^2 \cdot d$ bei E, über $24 \text{ g/m}^2 \cdot d$ bei F bis $23 \text{ g/m}^2 \cdot d$ bei PUR-9520 ab.

Der Wasserdampf-Durchlasswiderstand der Versuchsplatten E und F ist 10 mal, derjenige der PUR-9520 11 mal grösser als der einer gleich dicken Luftschicht gleicher Temperatur. Somit müsste die ruhende Luftschicht eine Dicke von 59 cm bei Versuchsreihe E über 61cm bei F bis 63cm bei PUR-9520 aufweisen, damit sie den gleichen Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand wie die Versuchsplatten erreicht.

Die folgende Tabelle 5-4 fasst die Diffusionswerte gleichen Plattenarten für den Trockenbereich zwischen 0% und 65% rel. Luftfeuchtigkeit zusammen. Bilder 5-7 und 5-8 zeigen den zeitlichen Verlauf der Gewichtsänderung bei den oben erwähnten Trockenbereichsbedingungen. Im Vergleich zu den Nassbedingungen diffundiert bei den Trockenbedingungen durch das gleiche Material eine viel niedrigere Wasserdampfmenge in bedeutend kürzerer Zeit. Demnach ist die Wasserdampf-Dif-

Diffusionsgeschwindigkeit beinahe die gleiche und der Wasserdampf-Diffusionswiderstand höher als bei dem Nassbereichverfahren.

Tabelle 5-4 Gemessene und abgeleitete Werte der dreischichtigen 20-20-20 mm dicken mit PUR-Ebnöther- und PUR-9520-Leim verklebten Versuchsplatten aus Fichtenholz zwischen 0% und 65% rel. Luftfeuchtigkeit

| Begriffe | PUR-Ebnöther | PUR-9520 |
|----------------------------------------------------------------|--------------|--------------|
| Durchmesser der Probe d in m | 0.14 | 0.14 |
| Mittlere Probendicke s in m | 0.06 | 0.07 |
| Massendifferenz zwischen 2 Wägungen $m_2 - m_1$ in g | -9.64 | -5.69 |
| Zeitspanne zwischen zwei Wägungen $t_2 - t_1$ in h | 960 | 411 |
| Prüffläche der Probe A in m^2 | 0.0154 | 0.0154 |
| Wasserdampf-Diffusionsstromdichte WDD in $g/m^2 \cdot d$ | -15.61 | -21.52 |
| Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand m | 29 | 18 |
| Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_D in m | 1.76 | 1.27 |
| Wassergehalt u in % | 11.00 ± 0.10 | 11.32 ± 0.14 |
| Rohdichte r_N in g/cm^3 | 0.43 ± 0.01 | 0.38 ± 0.01 |
| rel. Luftfeuchtigkeit oberhalb der Probe f_1 in % | 65 | 65 |
| rel. Luftfeuchtigkeit unterhalb der Probe f_2 in % | 0 | 0 |
| Wasserdampf-Partialdruck oberhalb der Probe p_1 in Pa | 1519.58 | 1519.58 |
| Wasserdampf-Partialdruck unterhalb der Probe p_2 in Pa | 0 | 0 |

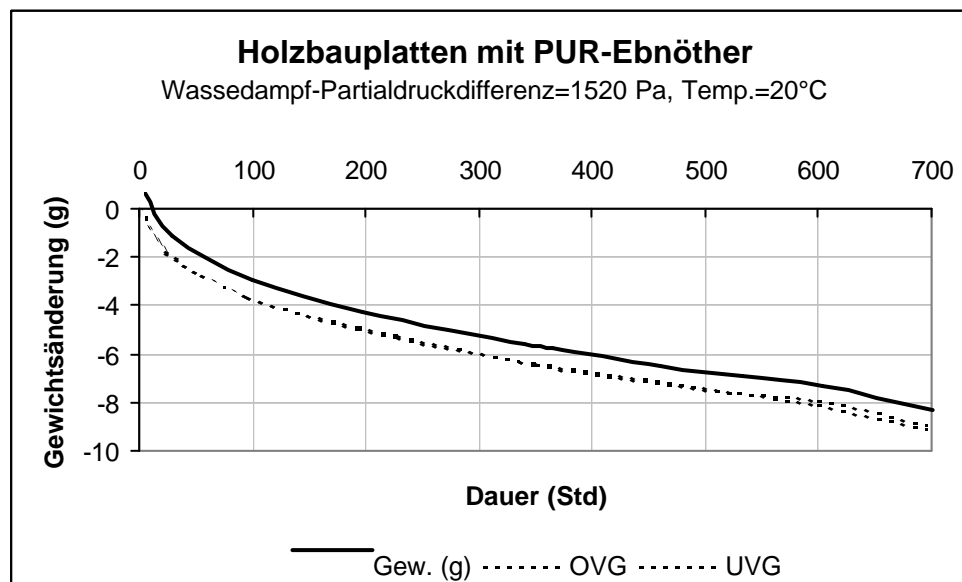


Abbildung 5-7 Gewichtsabnahme der dreischichtigen 20-20-20 mm dicken Holzbauplatten mit Ebnöther-PUR-Leim verklebt ($rF=0\%$ und 65%)

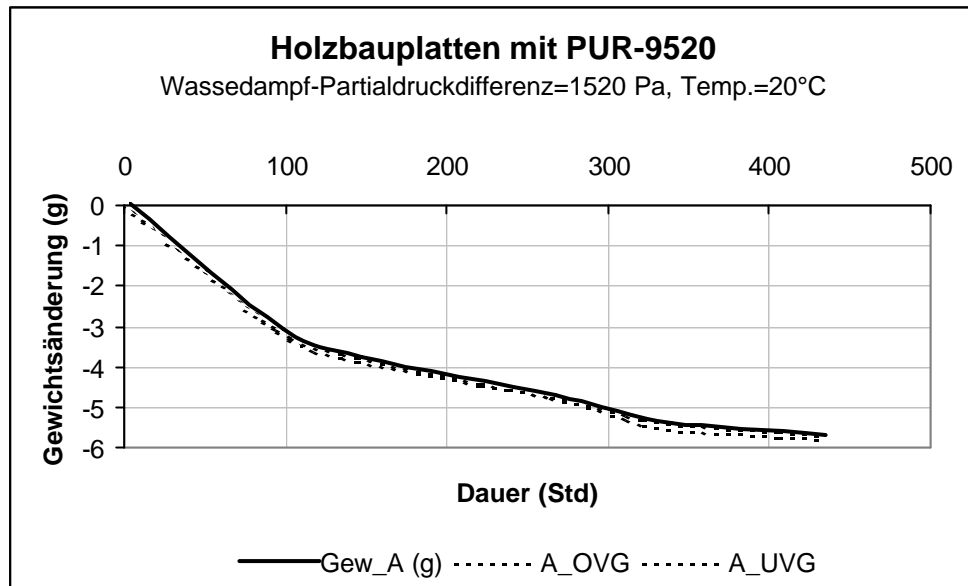


Abbildung 5-8 Gewichtsänderung der dreischichtigen 20-20-20 mm dicken mit PUR-Präpolymerleim (9520) verklebten Holzbauplatten aus Fichtenholz ($r_F=0\%$ und 65%)

5.3 Holzbauplatten 12-12-12-12-12 mit PUR verklebt

Tabelle 5-5 Gemessene und abgeleitete Werte der fünfschichtigen 12-12-12-12-12 mm dicken mit Ebnöther- und Forbo-PUR-Leim verklebten Versuchsplatten aus Fichtenholz zwischen 100% und 65% rel. Luftfeuchtigkeit

| Begriffe | Versuchsreihe E (PUR-Ebnöther) | Versuchsreihe F (PUR-Forbo) |
|----------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Durchmesser der Probe d in m | 0.14 | 0.14 |
| Mittlere Probendicke s in m | 0.06 | 0.06 |
| Massendifferenz zwischen 2 Wägungen m_2-m_1 in g | 20.11 | 18.67 |
| Zeitspanne zwischen zwei Wägungen t_2-t_1 in h | 1608 | 1560 |
| Prüffläche der Probe A in m^2 | 0.0154 | 0.0154 |
| Wasserdampf-Diffusionsstromdichte WDD in $g/m^2 \cdot d$ | 19.40 | 18.60 |
| Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand m | 13 | 14 |
| Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_D in m | 0.76 | 0.79 |
| Wassergehalt u in % | 19.72±0.66 | 19.71±0.55 |
| Rohdichte r_N in g/cm^3 | 0.42± 0.01 | 0.41± 0.01 |
| rel. Luftfeuchtigkeit oberhalb der Probe f_1 in % | 65 | 65 |
| rel. Luftfeuchtigkeit unterhalb der Probe f_2 in % | 100 | 100 |
| 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 |

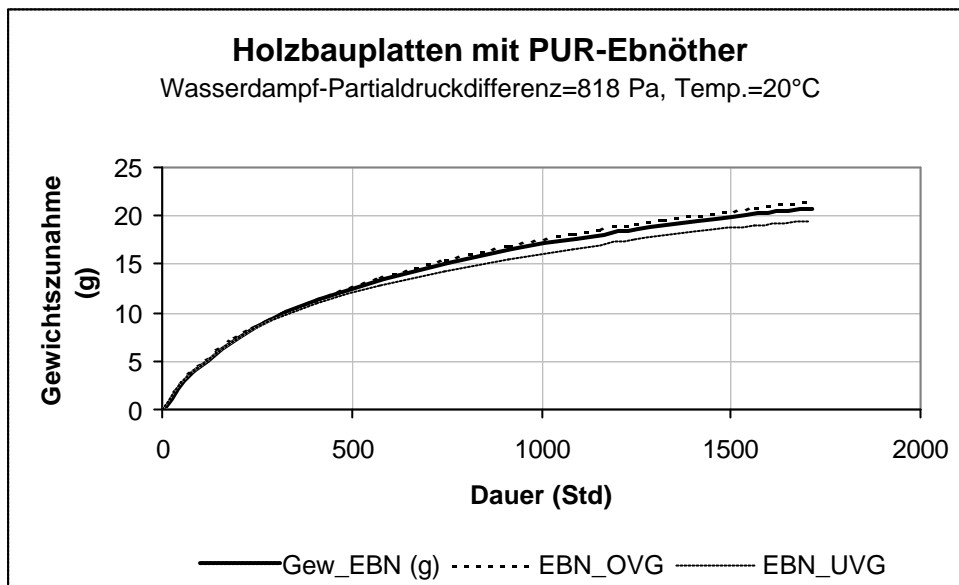


Abbildung 5-9 Gewichtszunahme der fünfschichtigen 12-12-12-12-12 mm dicken Holzbauplatten mit Ebnöther-PUR-Leim verklebt (rF=100% und 65%)

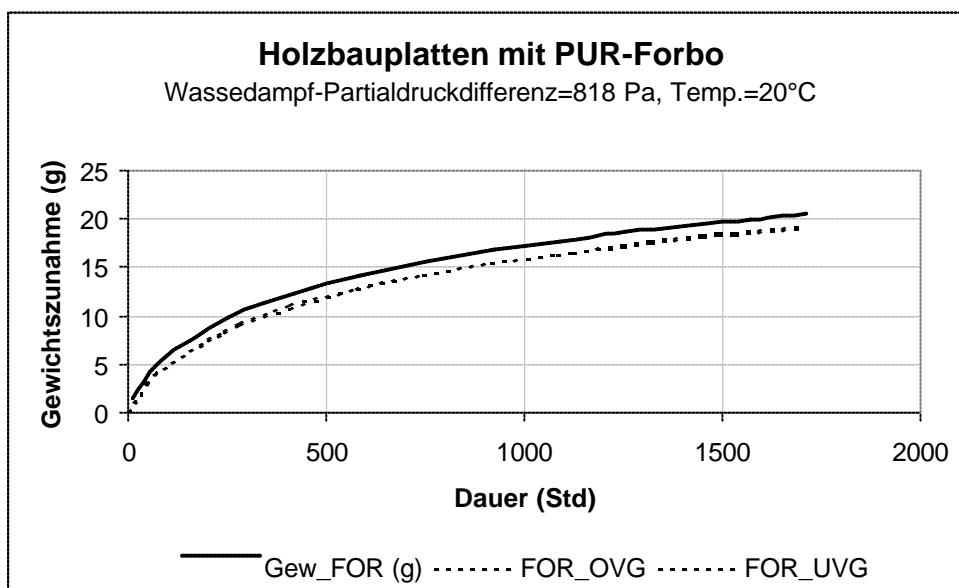


Abbildung 5-10 Gewichtszunahme der fünfschichtigen 12-12-12-12-12 mm dicken Holzbauplatten mit Forbo-PUR-Leim verklebt (rF=100% und 65%)

Tabelle 5-5 fasst die Diffusionswerte von fünfschichtigen, 60 mm dicken, mit Ebnöther- und Forbo-Leim verklebten Massivholzplatten im Nassbereich (100% und 65% rF) und Tabelle 5-6 im Trockenbereich (0% und 65% rF) zusammen. Bilder 5-9 und 5-10 zeigen den zeitlichen Verlauf der Gewichtsänderung unter Nass- und Bild 5-11 unter Trockenbedingungen.

Wie aus Bildern 5-9 und 5-10 hervorgeht wurde die Gewichtskonstanz bei der Plattenart E nach 1608 Stunden und bei der Plattenart F bereits

nach 1560 Stunden erreicht. Die Gewichtszunahme betrug bei Versuchsreihe E 20.11 g und bei Versuchsreihe F 18.67 g.

Die auf einen Tag bezogene Wasserdampfmasse, die unter der Wirkung des Partialdruckgefälles von 818 Pa durch ein Quadratmeter bei der Versuchsplattenarten durchdiffundierte betrug ca. 19 g/m².d.

Der Wasserdampf-Durchlasswiderstand der Versuchsreihe E ist 13 mal, derjenige der Versuchsreihe F 14 mal grösser als der einer gleich dicken Luftschicht gleicher Temperatur. Die ruhende Luftschicht müsste eine Dicke von 76 cm bei Versuchsreihe E und 79 cm bei Versuchsreihe F aufweisen, damit sie den gleichen Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand wie die jeweiligen Versuchsplatten erreicht.

Die folgende Tabelle 5-6 fasst die Diffusionswerte der gleichen Plattenart im Trockenbereich zwischen 0% und 65% rel. Luftfeuchtigkeit zusammen. Die Gleichgewichtskonstanz wird hier bereits nach 467 Stunden erreicht.

Die auf einen Tag bezogene Wasserdampfmasse, die unter der Wirkung des Partialdruckgefälles von 1520 Pa durch ein Quadratmeter bei der Versuchsplattenarten durchdiffundierte betrug ca. 20 g/m².d.

Der Wasserdampf-Durchlasswiderstand der Holzbauplatten 23 mal, grösser als der einer gleich dicken Luftschicht gleicher Temperatur. Die ruhende Luftschicht müsste eine Dicke von 1.33 m aufweisen, damit sie den gleichen Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand wie die jeweiligen Versuchsplatten erreicht.

Tabelle 5-6 Gemessene und abgeleitete Werte der fünfschichtigen 12-12-12-12-12 mm dicken mit Ebnöther-PUR-Leim verklebten Versuchsplatten aus Fichtenholz zwischen 0% und 65% rel. Luftfeuchtigkeit

| Begriffe | PUR-Leim |
|-----------------------------------------------------------------|------------|
| Durchmesser der Probe d in m | 0.14 |
| Mittlere Probendicke s in m | 0.06 |
| Mittlere Dicke der Luftschicht unterhalb der Probe s_L in m | 0.01 |
| Massendifferenz zwischen 2 Wägungen m_2-m_1 in g | -6.18 |
| Zeitspanne zwischen zwei Wägungen t_2-t_1 in h | 467 |
| Prüffläche der Probe A in m^2 | 0.0154 |
| Wasserdampf-Diffusionsstromdichte WDD in $g/m^2.d$ | -20.59 |
| Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand m | 23 |
| Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_D in m | 1.33 |
| Wassergehalt u in % | 11.37±0.16 |
| Rohdichte r_N in g/cm^3 | 0.43±0.01 |
| rel. Luftfeuchtigkeit oberhalb der Probe f_1 in % | 65 |
| rel. Luftfeuchtigkeit unterhalb der Probe f_2 in % | 0 |
| Wasserdampf-Partialdruck oberhalb der Probe p_1 in Pa | 1519.58 |
| Wasserdampf-Partialdruck unterhalb der Probe p_2 in Pa | 0 |

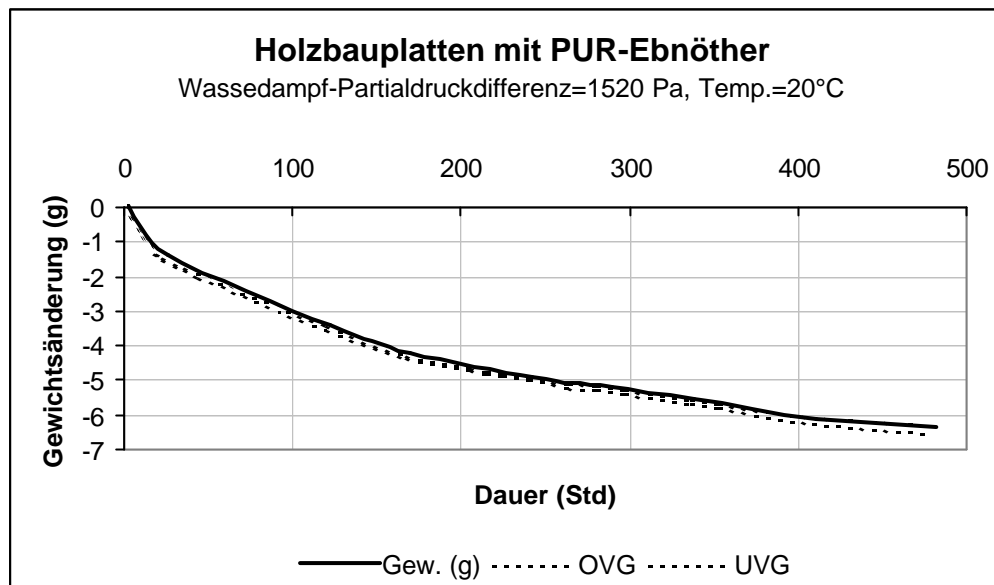


Abbildung 5-11 Gewichtsänderung der fünfschichtigen 12-12-12-12-12 mm dicken Holzbauplatten mit Ebnöther-PUR-Leim verklebt ($r_F = 0\%$ und 65%)

5.4 Holzbauplatten 20-20-20 mit PRF verklebt

Tabelle 5-7 Gemessene und abgeleitete Werte der dreischichtigen 20-20-20 mm dicken mit Phenol-Resorcin-Formaldehyd Kondensationsleim (187F) verklebten Versuchsplatten aus Fichtenholz zwischen 100% und 65% rel. Luftfeuchtigkeit

| Begriffe | PRF-Leim 187F |
|----------------------------------------------------------------|---------------|
| Durchmesser der Probe d in m | 0.14 |
| Mittlere Probendicke s in m | 0.06 |
| Massendifferenz zwischen 2 Wägungen $m_2 - m_1$ in g | 25.39 |
| Zeitspanne zwischen zwei Wägungen $t_2 - t_1$ in h | 1704 |
| Prüffläche der Probe A in m^2 | 0.0154 |
| Wasserdampf-Diffusionsstromdichte WDD in $g/m^2 \cdot d$ | 23.15 |
| Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand m | 11 |
| Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_D in m | 0.63 |
| Wassergehalt u in % | 20.49 ± 0.33 |
| Rohdichte r_N in g/cm^3 | 0.43 ± 0.01 |
| rel. Luftfeuchtigkeit oberhalb der Probe f_1 in % | 65 |
| rel. Luftfeuchtigkeit unterhalb der Probe f_2 in % | 100 |
| Wasserdampf-Partialdruck oberhalb der Probe p_1 in Pa | 1519.58 |
| Wasserdampf-Partialdruck unterhalb der Probe p_2 in Pa | 2337.82 |

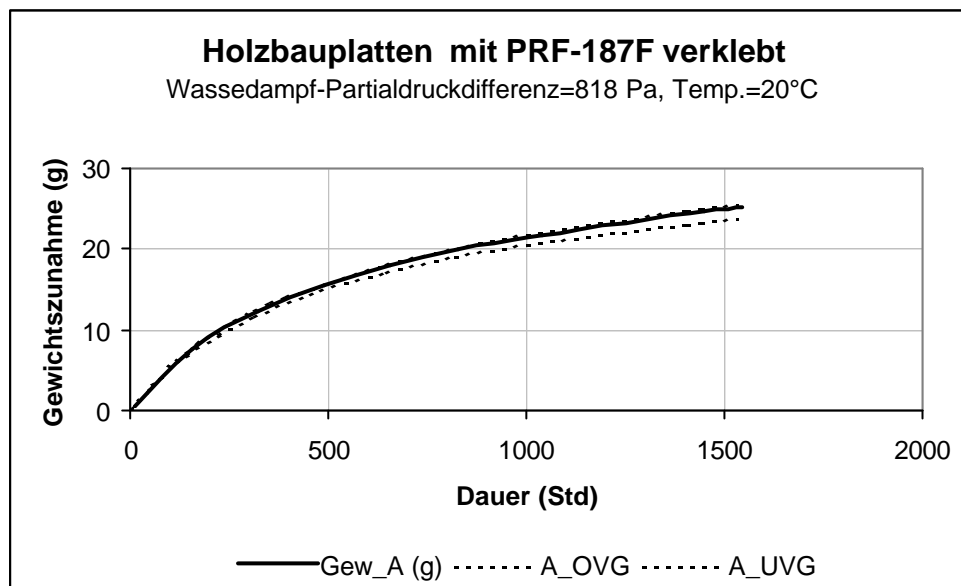


Abbildung 5-12 Gewichtszunahme der dreischichtigen 20-20-20 mm dicken mit Phenol-Resorcin-Formaldehyd Kondensationsleim (187F) verklebten Holzbauplatten aus Fichtenholz ($rF=100\%$ und 65%)

Wie aus Bild 5-12 und Tabelle 5-7 hervorgeht wurde die Gewichtskonstanz nach 1704 Stunden erreicht. Die Gewichtszunahme betrug 25.39 g.

Die auf einen Tag bezogene Wasserdampfmasse, die unter der Wirkung des Partialdruckgefälles von 818 Pa durch ein Quadratmeter der Versuchsplattenart durchdiffundierte betrug ca. $23 \text{ g/m}^2 \cdot \text{d}$.

Der Wasserdampf-Durchlasswiderstand ist 11 mal grösser als der einer gleich dicken Luftschicht gleicher Temperatur. 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 anderen dreischichtigen Versuchsplatten gleicher Dicke.

Die folgende Tabelle 5-8 sowie Bild 5-13 dokumentieren die Diffusions-eigenschaften der gleichen Plattenart für den Trockenbereich zwischen 0% und 65% rel. Luftfeuchtigkeit.

Die auf einen Tag bezogene Wasserdampfmasse, die unter der Wirkung des Partialdruckgefälles von 1520 Pa durch ein Quadratmeter bei der Versuchsplattenarten durchdiffundierte betrug ca. $25 \text{ g/m}^2 \cdot \text{d}$.

Der Wasserdampf-Durchlasswiderstand ist 19 mal grösser als der einer gleich dicken Luftschicht gleicher Temperatur. Die ruhende Luftschicht müsste eine Dicke von 1.08 m aufweisen, damit sie den gleichen Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand wie die jeweiligen Versuchsplatten erreicht.

Tabelle 5-8 Gemessene und abgeleitete Werte der dreischichtigen 20-20-20 mm dicken mit Phenol-Resorcin-Formaldehyd Kondensationsleim (187F) verklebten Versuchsplatten aus Fichtenholz zwischen 0% und 65% rel. Luftfeuchtigkeit

| Begriffe | PRF-Leim 187F |
|-----------------------------------------------------------------|------------------|
| Durchmesser der Probe d in m | 0.14 |
| Mittlere Probendicke s in m | 0.06 |
| Mittlere Dicke der Luftschicht unterhalb der Probe s_L in m | 0.01 |
| Massendifferenz zwischen 2 Wägungen $m_2 - m_1$ in g | -6.54 |
| Zeitspanne zwischen zwei Wägungen $t_2 - t_1$ in h | 402 |
| Prüffläche der Probe A in m^2 | 0.0154 |
| Wasserdampf-Diffusionsstromdichte WDD in $g/m^2 \cdot d$ | -25.28 |
| Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand m | 19 |
| Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_D in m | 1.08 |
| Wassergehalt u in % | 11.06 ± 0.33 |
| Rohdichte r_N in g/cm^3 | 0.45 ± 0.03 |
| rel. Luftfeuchtigkeit oberhalb der Probe f_1 in % | 65 |
| rel. Luftfeuchtigkeit unterhalb der Probe f_2 in % | 0 |
| Wasserdampf-Partialdruck oberhalb der Probe p_1 in Pa | 1519.58 |
| Wasserdampf-Partialdruck unterhalb der Probe p_2 in Pa | 0 |

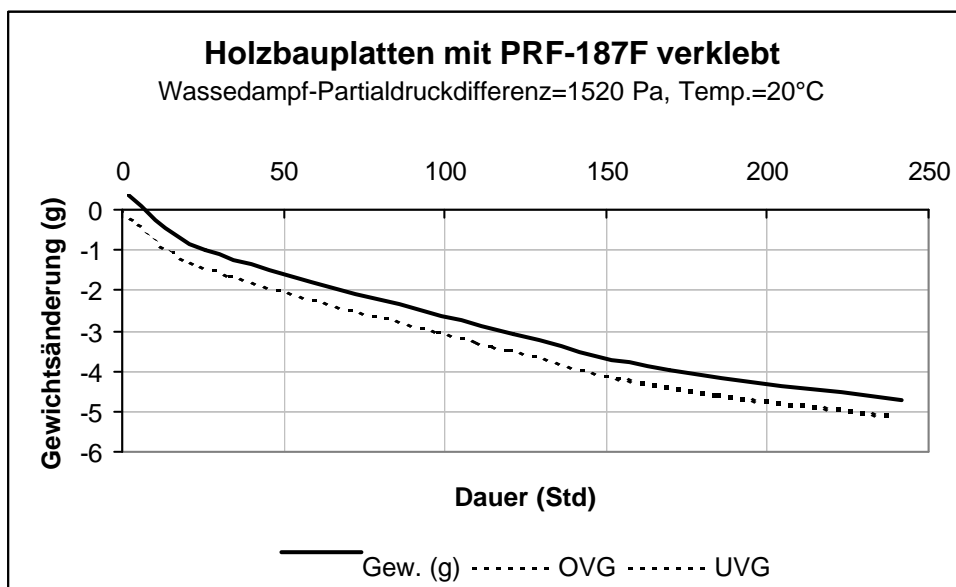


Abbildung 5-13 Gewichtsänderung der dreischichtigen 20-20-20 mm dicken mit Phenol-Resorcin-Formaldehyd Kondensationsleim (187F) verklebten Holzbauplatten aus Fichtenholz ($rF=0\%$ und 65%)

5.5 Holzbauplatten 20-20-20 mit VE verklebt

Tabelle 5-9 Gemessene und abgeleitete Werte der dreischichtigen 20-20-20 mm dicken mit Vinylester-Homopolymerleim (6270) verklebten Versuchsplatten aus Fichtenholz zwischen 100% und 65% rel. Luftfeuchtigkeit

| Begriffe | VE-Leim 6270 |
|----------------------------------------------------------------|--------------|
| Durchmesser der Probe d in m | 0.14 |
| Mittlere Probendicke s in m | 0.06 |
| Massendifferenz zwischen 2 Wägungen $m_2 - m_1$ in g | 25.89 |
| Zeitspanne zwischen zwei Wägungen $t_2 - t_1$ in h | 1704 |
| Prüffläche der Probe A in m^2 | 0.0154 |
| Wasserdampf-Diffusionsstromdichte WDD in $g/m^2 \cdot d$ | 23.65 |
| Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand m | 11 |
| Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_D in m | 0.62 |
| Wassergehalt u in % | 20.20±0.41 |
| Rohdichte r_N in g/cm^3 | 0.52±0.01 |
| rel. Luftfeuchtigkeit oberhalb der Probe f_1 in % | 65 |
| rel. Luftfeuchtigkeit unterhalb der Probe f_2 in % | 100 |
| Wasserdampf-Partialdruck oberhalb der Probe p_1 in Pa | 1519.58 |
| Wasserdampf-Partialdruck unterhalb der Probe p_2 in Pa | 2337.82 |

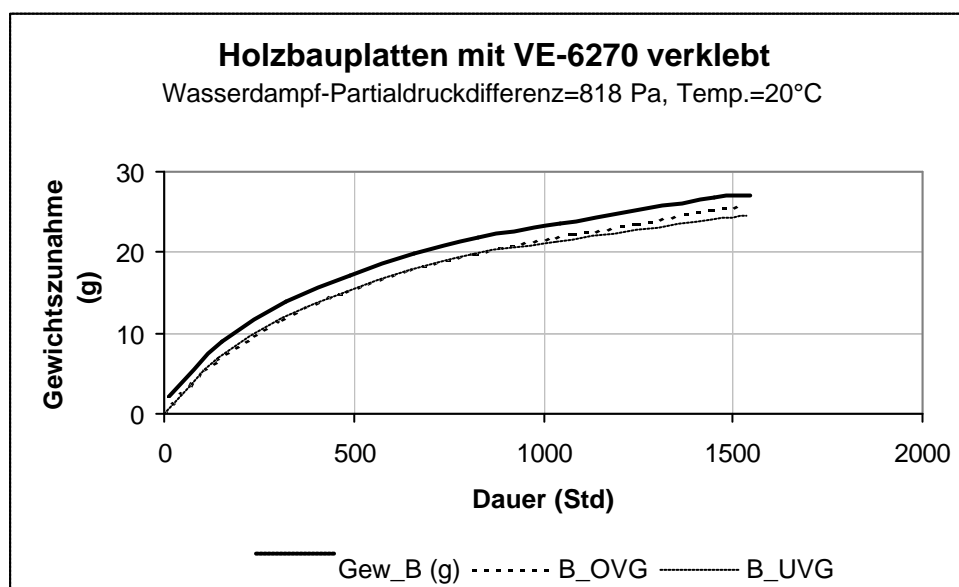


Abbildung 5-14 Gewichtszunahme der dreischichtigen 20-20-20 mm dicken mit Vinylester-Homopolymerleim (6270) verklebten Holzbauplatten aus Fichtenholz (rF=100% und 65%)

Aus Bild 5-14 und Tabelle 5-9 ist zu entnehmen, dass die Gewichtskonstanz im Nassbereich-Verfahren (rel. Luftfeuchtigkeit zwischen

100% und 65%) nach 1704 Stunden 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 durchdiffundierte betrug ca. 26 g/m².d.

Der Wasserdampf-Durchlasswiderstand ist 11 mal grösser als der einer gleich dicken Luftschicht gleicher Temperatur. Die ruhende Luftschicht müsste eine Dicke von 62 cm aufweisen, damit sie den gleichen Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand wie die jeweiligen Versuchsplatten erreicht.

Die Resultate sind vergleichbar mit anderen dreischichtigen Versuchsplatten gleicher Dicke.

Die folgende Tabelle 5-10 sowie Bild 5-15 dokumentieren die Diffusionseigenschaften der gleichen Plattenart für den Trockenbereich zwischen 0% und 65% rel. Luftfeuchtigkeit.

Die auf einen Tag bezogene Wasserdampfmasse, die unter der Wirkung des Partialdruckgefälles von 1520 Pa durch ein Quadratmeter beider Versuchsplattenarten durchdiffundierte betrug ca. 22 g/m².d.

Der Wasserdampf-Durchlasswiderstand ist 18 mal grösser als der einer gleich dicken Luftschicht gleicher Temperatur. Die ruhende Luftschicht müsste eine Dicke von 1.23 m aufweisen, damit sie den gleichen Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand wie die jeweiligen Versuchsplatten erreicht.

Tabelle 5-10 Gemessene und abgeleitete Werte der dreischichtigen 20-20-20 mm dicken mit Vinylester-Homopolymerleim (6270) verklebten Versuchsplatten aus Fichtenholz zwischen 0% und 65% rel. Luftfeuchtigkeit

| Begriffe | VE-Leim 6270 |
|----------------------------------------------------------------|--------------|
| Durchmesser der Probe d in m | 0.14 |
| Mittlere Probendicke s in m | 0.07 |
| Massendifferenz zwischen 2 Wägungen m_2-m_1 in g | -6.01 |
| Zeitspanne zwischen zwei Wägungen t_2-t_1 in h | 418 |
| Prüffläche der Probe A in m^2 | 0.0154 |
| Wasserdampf-Diffusionsstromdichte WDD in $g/m^2.d$ | -22.35 |
| Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand m | 18 |
| Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_D in m | 1.23 |
| Wassergehalt u in % | 11.32±0.14 |
| Rohdichte r_N in g/cm^3 | 0.38± 0.01 |
| rel. Luftfeuchtigkeit oberhalb der Probe f_1 in % | 65 |
| rel. Luftfeuchtigkeit unterhalb der Probe f_2 in % | 0 |
| Wasserdampf-Partialdruck oberhalb der Probe p_1 in Pa | 1519.58 |
| Wasserdampf-Partialdruck unterhalb der Probe p_2 in Pa | 2337.82 |

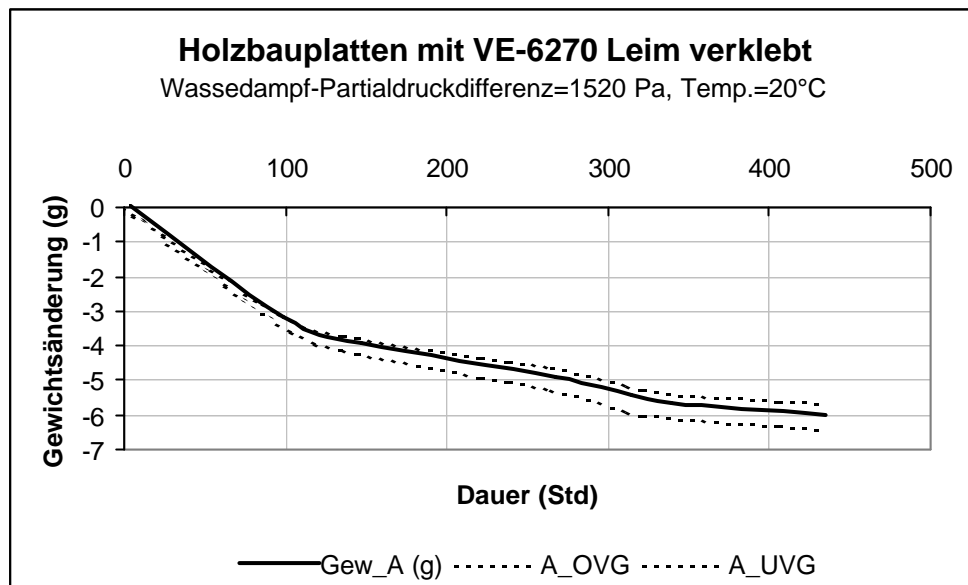


Abbildung 5-15 Gewichtszunahme der dreischichtigen 20-20-20 mm dicken mit Vinyl ester-Homopolymerleim (6270) verklebten Holzbauplatten aus Fichtenholz ($r_F=0\%$ und 65%)

5.6 Holzbauplatten mit Melaminharz verklebt und beschichtet

Tabelle 5-11 Gemessene und abgeleitete Werte der dreischichtigen 6-15-6 mm dicken mit Melaminharz verklebten und beschichteten Versuchsplatten aus Fichtenholz zwischen 100% und 65% rel. Luftfeuchtigkeit

| Begriffe | ME-Leim |
|-----------------------------------------------------------------|------------|
| Durchmesser der Probe d in m | 0.14 |
| Mittlere Probendicke s in m | 0.03 |
| Mittlere Dicke der Luftschicht unterhalb der Probe s_L in m | 0.01 |
| Massendifferenz zwischen 2 Wägungen m_2-m_1 in g | 9.33 |
| Zeitspanne zwischen zwei Wägungen t_2-t_1 in h | 648 |
| Prüffläche der Probe A in m^2 | 0.0153 |
| Wasserdampf-Diffusionsstromdichte WDD in $g/m^2 \cdot d$ | 22.64 |
| Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand m | 24 |
| Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_D in m | 0.65 |
| Wassergehalt u in % | 20.05±0.01 |
| Rohdichte r_N in g/cm^3 | 0.47± 0.03 |
| rel. Luftfeuchtigkeit oberhalb der Probe f_1 in % | 65 |
| rel. Luftfeuchtigkeit unterhalb der Probe f_2 in % | 100 |
| Wasserdampf-Partialdruck oberhalb der Probe p_1 in Pa | 1519.58 |
| Wasserdampf-Partialdruck unterhalb der Probe p_2 in Pa | 2337.82 |

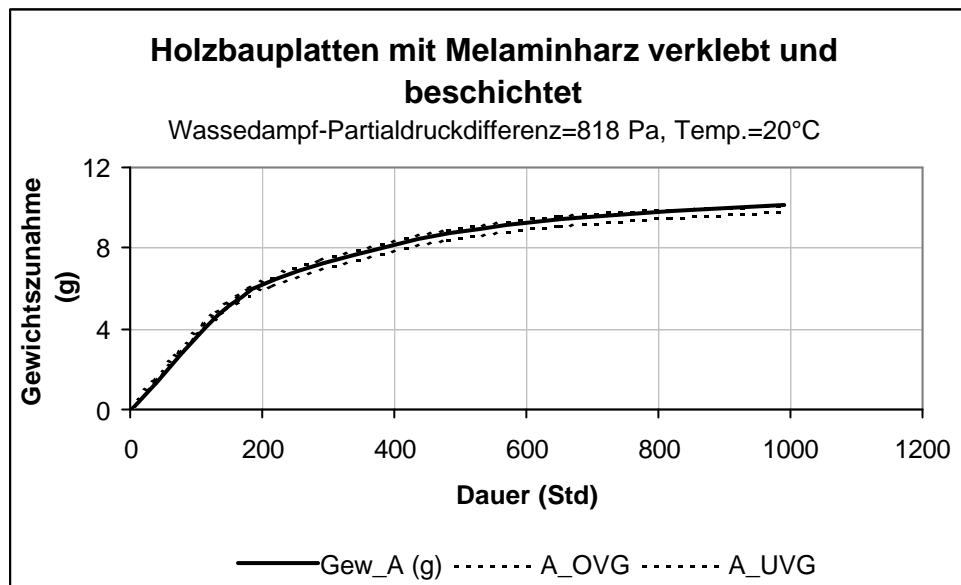


Abbildung 5-16 Gewichtszunahme der dreischichtigen 6-15-6 mm dicken mit Melaminharz verklebten und beschichteten Holzbauplatten aus Fichtenholz ($rF=100\%$ und 65%)

Wie aus Bild 5-16 und Tabelle 5-11 hervorgeht wurde die Gewichtskonstanz nach 648 Stunden erreicht. Die Gewichtszunahme betrug 9.33 g.

Die auf einen Tag bezogene Wasserdampfmasse, die unter der Wirkung des Partialdruckgefälles von 818 Pa durch ein Quadratmeter der Versuchsplattenart durchdiffundierte betrug ca. $23 \text{ g/m}^2 \cdot \text{d}$.

Der Wasserdampf-Durchlasswiderstand ist 24 mal grösser als der einer gleich dicken Luftschicht gleicher Temperatur. Die ruhende Luftschicht müsste eine Dicke von 65 cm aufweisen, damit sie den gleichen Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand wie die jeweiligen Versuchsplatten erreicht.

Die dreischichtigen Holzbauplatten wurden beidseitig mit Harnstoff-Formaldehydharz beschichtet, so dass diese über vier Dampfsperren verfügen. Dies ist auch der Grund dafür, dass der Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand relativ hoch ausgefallen ist.

Die folgende Tabelle 5-12 sowie Bild 5-17 dokumentieren die Diffusions Eigenschaften der gleichen Plattenart für den Trockenbereich zwischen 0% und 65% rel. Luftfeuchtigkeit.

Die auf einen Tag bezogene Wasserdampfmasse, die unter der Wirkung des Partialdruckgefälles von 1520 Pa durch ein Quadratmeter beider Versuchsplattenarten durchdiffundierte betrug ca. $23 \text{ g/m}^2 \cdot \text{d}$.

Der Wasserdampf-Durchlasswiderstand ist 44 mal grösser als der einer gleich dicken Luftschicht gleicher Temperatur. Die ruhende Luftschicht müsste eine Dicke von 1.19 m aufweisen, damit sie den gleichen Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand wie die jeweiligen Versuchsplatten erreicht.

Tabelle 5-12 Gemessene und abgeleitete Werte der dreischichtigen 6-15-6 mm dicken mit Melaminharz verklebten und beschichteten Versuchsplatten aus Fichtenholz zwischen 0% und 65% rel. Luftfeuchtigkeit

| Begriffe | ME-Leim |
|-----------------------------------------------------------------|------------------|
| Durchmesser der Probe d in m | 0.14 |
| Mittlere Probendicke s in m | 0.03 |
| Mittlere Dicke der Luftschicht unterhalb der Probe s_L in m | 0.01 |
| Massendifferenz zwischen 2 Wägungen $m_2 - m_1$ in g | -3.83 |
| Zeitspanne zwischen zwei Wägungen $t_2 - t_1$ in h | 259 |
| Prüffläche der Probe A in m^2 | 0.0154 |
| Wasserdampf-Diffusionsstromdichte WDD in $g/m^2 \cdot d$ | -23.02 |
| Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand m | 44 |
| Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_D in m | 1.19 |
| Wassergehalt u in % | 11.98 ± 0.47 |
| Rohdichte r_N in g/cm^3 | 0.45 ± 0.02 |
| rel. Luftfeuchtigkeit oberhalb der Probe f_1 in % | 65 |
| rel. Luftfeuchtigkeit unterhalb der Probe f_2 in % | 0 |
| Wasserdampf-Partialdruck oberhalb der Probe p_1 in Pa | 1519.58 |
| Wasserdampf-Partialdruck unterhalb der Probe p_2 in Pa | 0 |

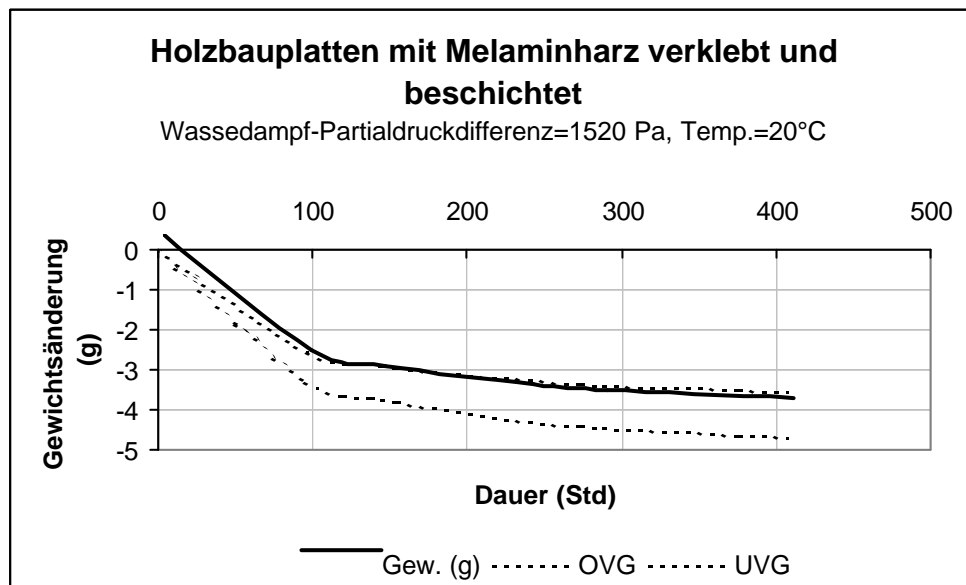


Abbildung 5-17 Gewichtsabnahme der dreischichtigen 6-15-6 mm dicken mit Melaminharz verklebten und beschichteten Holzbauplatten aus Fichtenholz ($rF=0\%$ und 65%)

Alle Resultate deuten darauf hin, dass nicht die Leimart, sondern das Verhältnis der Anzahl von Leimschichten pro Plattendicke für die Höhe des Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstandes verantwortlich ist. Das folgende Bild 5-11 dokumentiert diese Aussage. Die Punkte in der

Grafik sind Mittelwerte von insgesamt 82 Versuchsplatten. Die Grafik zeigt, dass je grösser die Anzahl Leimschichten und je kleiner die Plattendicke ist, desto grösser wird der Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand.

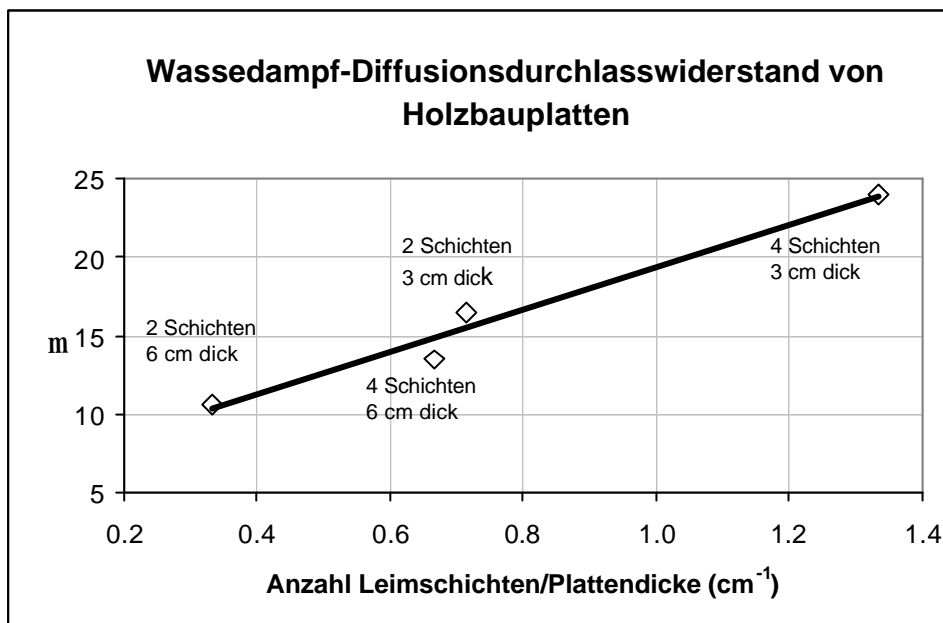


Abbildung 5-18 Abhängigkeit des Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstandes von der Anzahl der Leimschichten pro Plattendicke (rF= 100% und 65%, bei 20°C)

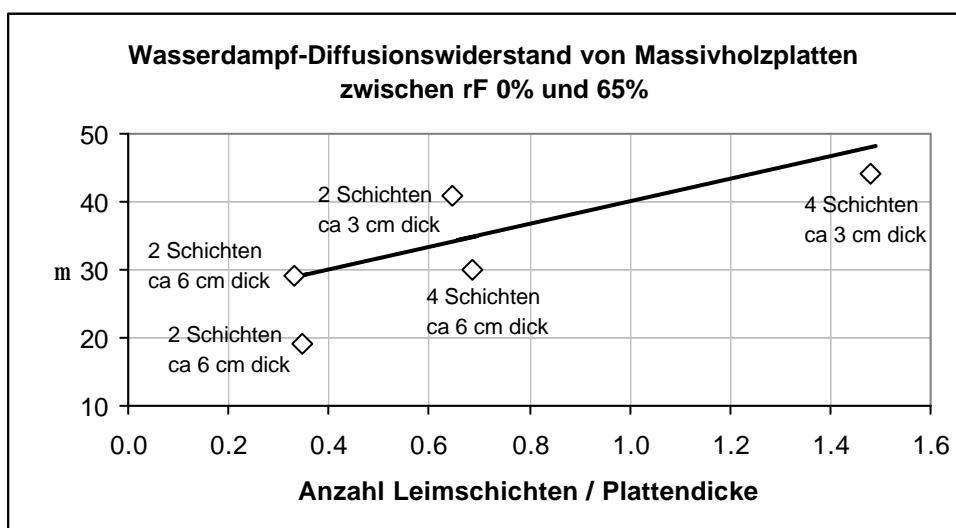


Abbildung 5-19 Abhängigkeit des Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstandes von der Anzahl der Leimschichten pro Plattendicke (rF= 0% und 65%, bei 20°C)

6 Schlussfolgerungen

Die hier durchgeführten Untersuchungen an Holzbauplatten erlauben folgende Schlüsse zu ziehen:

- Die hier verwendete Methode (Wägung der Netto-Probe) erlaubt gegenüber derjenigen in DIN 52 615 (1987) und ISO 12572 (1999) beschriebenen Methoden (Wägung der Probe samt Gefäss mit Trocknungs- resp. Befeuchtungsmittel) eine viel genauere Bestimmung der Gewichtsänderung, was zu genaueren Resultaten führen müsste.
- Der allgemein relativ niedrige Diffusionsdurchlasswiderstand aller Versuchsplatten ist auf die extrem gewählten, normunkonformen Klimabedingungen zurückzuführen (Nassbereich-Verfahren: 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 zu demjenigen im Nassbereich bedeutend höher.
- Der Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand der untersuchten Holzbauplatten ist weniger vom verwendeten 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 (siehe Bild 5-18 und 5-19).
- Zieht man den durchschnittlichen Wassergehalt der Versuchsplatten im Nassbereich von etwa 20% in Betracht (siehe Tabellen 5-1, 5-3, 5-5, 5-7, 5-9, und 5-11), so kann man aufgrund von Sorptionseigenschaften des Fichtenholzes (Fasersättigungsfeuchtigkeit von 28% und Normalfeuchtigkeit von 12%) auf eine lineare Feuchteverteilung innerhalb der Versuchsplatten nach dem Erreichen der Gleichgewichtskonstanz schliessen.
- Der durchschnittliche Wassergehalt der Holzbauplatten im Trockenbereich zwischen 0% und 65% rel. Luftfeuchtigkeit beträgt etwa 11.3% (siehe Tabellen 5-2, 5-4, 5-6, 5-8, 5-10 und 5-12). 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.

7 Literatur

1. CAMMERER, W. F. 1970: Wärmeleitfähigkeit und Diffusionswiderstand von Holzwerkstoffen. Holz Roh- Werkstoff 28: 420-423.
2. DIN 52 615. Nov. 1987: Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit von Bau- und Dämmstoffen. Seite 1 -5.
3. DIN 52 183. Nov. 1977: Prüfung von Holz. Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes. Seite 1-2.
4. DIN 52 182. Sep. 1976: Prüfung von Holz. Bestimmung der Rohdichte. Seite 1-2.
5. DIN 50 014. Jul. 1985: Klimate und ihre technische Anwendung. Normalklimate. Seiten 1 -2.
6. 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. Seiten 1-27.
7. HORN, J. 1969: Untersuchungen über Wasserdampfdiffusion durch Holzspanplatten in Abhängigkeit von einigen technologischen und klimatischen Einflussfaktoren. Diss. Univ. Hamburg.
8. JENSEN, U.; EMMLER, R. 1996: Diffusion resistance of MDF and particleboard. Proc. International COST 508 Wood Mechanics Conference, Stuttgart, Germany, May 14-16: Page 345-352.
9. NIEMZ, P.; POPPER, R.; EBERLE, G. 2002: Untersuchungen zu mechanisch-physikalischen Eigenschaften mehrschichtiger Massivholzplatten für das Bauwesen. Holz (1): 33-36.
10. POPPER, R. 1991: Datenerfassungsprogramm WAAGMA. Int. Berichtt WAHO/ETHZ.
11. SCHIRMER. 1938. Beiheft VDI-Zeitschrift, Verfahrenstechnik, (6): 170-177.
12. VANEK, M.; TEISCHINGER, A. 1989: Diffusionskoeffizienten und Diffusionswiderstanzahlen von verschiedenen Holzarten. Holzforschung und Holzverwertung 41(1): 3-6.