

GÜTEGEMEINSCHAFT BLOCKHAUSBAU e. V.

Brienner Straße 54b 80333 München



Merkblatt 5

Literaturübersicht

Wasserdampfdiffusionsverhalten

von schichtverklebten Holzbauteilen

Ausgabe Dezember 2020

(Erstausgabe 2014-05-30)

Verfasser: Josef Egle, Dipl.-Ing.

Inhaltsverzeichnis

1	Geltungsbereich	3
2	Hygroskopisches Verhalten	3
3	Einflussparameter	3
4	Technische Kenngrößen	4
5	Berechnungen und Betrachtungen	4
6	Zusammenfassende Erkenntnisse	6
7	Normen und Literatur	7

1 Geltungsbereich

Das vorliegende Merkblatt enthält eine Literaturübersicht zu schichtverklebten Massivholzprodukten mit Einzellamellen aus Brettern, Bohlen oder Kanthölzern. Unter bauüblichen Bedingungen haben solche Bauteile Dicken zwischen ca. 90 und 300 mm und bestehen aus mindestens 2 und höchstens 7 Lamellen. Holzsortimente aus sehr dünnen Einzellagen wie z.B. Sperrholz- oder Furnierschichtholzplatten oder Plattenwerkstoffe aus zerfasertem Holzmaterial unterliegen anderen technischen Grundlagen und sind nicht Gegenstand des vorliegenden Merkblattes.

2 Hygroskopisches Verhalten

Holz ist ein hygroskopischer Werkstoff. Entsprechend sind Holzfasern in der Lage, Feuchtigkeit aus der umgebenden Luft aufzunehmen und wieder abzugeben. Holz passt somit seinen Feuchtegehalt dem umgebenden Klima an. Die hieraus entstehende feuchteregulierende Wirkung ist ein wesentlicher Faktor für Wohnbehaglichkeit und Wohngesundheit und in zahlreichen Literaturquellen ausführlich beschrieben. Aufgrund der Temperaturdifferenzen und dem sogenannten „Wasserdampfpartialdruckgefälle“ entsteht während der Heizperiode ein molekularer Feuchtestrom durch Außenbauteile hindurch, der von innen nach außen gerichtet ist. Dieser Feuchtestrom ist - unter Voraussetzung geeigneter Konstruktionen - vollkommen unschädlich und kann rechnerisch gut beurteilt werden. Unklarheiten und teils auch unterschiedliche Auffassungen sind anzutreffen bei Holzbauteilen, die aus mehreren Schichten zueinander verklebt sind.

3 Einflussparameter

Es ist zu klären, ob oder in welchem Maße solche Schichtverklebungen das Wasserdampfdiffusionsverhalten von Massivholz beeinflussen bzw. hemmen.

Die Wasserdampfdiffusionsfähigkeit von Massivholzteilen mit Klebstoffugen hängt von mehreren Parametern ab, die wichtigsten hiervon sind:

- Klebstoffart
- Schichtdicke Klebstoff
- Anzahl Klebstoffschichten
- Rohdichte Holz
- Holzfeuchtegehalt
- Holzfaserrichtung.

Für bauliche Anwendungen müssen solche schichtverklebte Holzsortimente im Regelfall tragende und/oder aussteifende Funktion übernehmen. Nach DIN EN 1995-1-1 [13], DIN EN 14080 [12] und DIN EN 301 [10] finden aus der großen Zahl verfügbarer Klebstoffarten hierfür lediglich Phenol-Resorcinharz (PRF), Melaminharz (MF, MUF) und Polyurethan Anwendung. Diese Klebstoffarten werden nachstehend berücksichtigt.

4 Technische Kenngrößen und Messmethoden

Jedes Baumaterial verfügt über einen spezifischen Widerstand gegen die Ausbreitung („Diffusion“) von Wasserdampf in Form von Molekülen. Dieser Kennwert wird demzufolge als Wasserdampfdiffusionswiderstand bezeichnet. Er wird als Zahlenwert in Form der Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ angegeben. μ ist ein dimensionsloser Wert und gibt an, um welchen Faktor der jeweilige Baustoff gegenüber Wasserdampf dichter als eine ruhende Luftschicht gleicher Dicke ist. Für Holzbauteile können entsprechende μ -Werte aus DIN EN ISO 10456 [11] entnommen werden, wobei hier zwischen trockenem und feuchtem Zustand unterschieden wird.

Für blockhaustypische Konstruktionshölzer (spezifisches ca. Gewicht 500 kg/m^3 , somit übliche Nadelholzarten Fichte, Tanne, Kiefer, Lärche, Douglasie) sind in DIN EN ISO 10456 [11] $\mu_{\text{feucht}} = 20$ und $\mu_{\text{trocken}} = 50$ angegeben. Dies bedeutet, dass Holz in trockenem Zustand deutlich diffusionsdichter als in feuchtem Zustand ist und trocken. Im trockenen Zustand besitzt es einen etwa 50 mal größeren Widerstand gegen die Ausbreitung von Wasserdampf als eine ruhende Luftschicht gleicher Dicke.

Für die Beurteilung des Wasserdampfdiffusionsverhaltens in Bauteilen ist weiterhin die Bauteildicke s (m) zu beachten. Dies führt zum Begriff des s_d -Wertes:

Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ (dimensionslos) x Materialdicke s (in Metern) = s_d -Wert (in Metern)

Der s_d -Wert (= „wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke“) ist ein Vergleichswert, der beschreibt, wie dick eine ruhende Luftschicht sein müsste, um den gleichen Diffusionswiderstand wie das betrachtete Bauteil zu haben. Trockenes Holz ($\mu=50$) mit Dicke 20 cm entspricht in seinem Diffusionswiderstand somit einer 10 m dicken Luftschicht:

$$50 [-] \times 0,2 \text{ [m]} = 10 \text{ [m]}$$

Die Wasserdampfdurchlässigkeit von Baustoffen wird nach DIN EN ISO 12572 [9] ermittelt. Das zu prüfende Material wird zwischen unterschiedlichen Klimabereichen in trockener (Dry-Cup) oder feuchter (Wet-Cup) Umgebung untersucht. Entsprechend der zeitabhängigen Masseänderung wird bei diesem Prüfverfahren auf den μ -Wert zurückgerechnet.

5 Berechnungen und Betrachtungen

Alle nachstehenden Betrachtungen beziehen sich auf verklebte Massivholzprodukte im trockenen Zustand. Diese baulichen Gegebenheiten sind unter bauüblichen Bedingungen maßgeblich für die Beurteilung einer Konstruktion in Bezug auf Wasserdampfdiffusion.

a)

Die μ -Werte von synthetischen Klebstoffen (PRF, MUF, MF, PUR), die für tragende Zwecke nach DIN EN 301 [10] einsetzbar sind, liegen deutlich höher als von Holz. In Untersuchung [1] wurden die höchsten μ -Werte für 1K-PUR ermittelt. Zugleich weisen einzelne Literaturquellen stark abweichende Werte zueinander aus. Nach Untersuchung [1] liegt ein Wertebereich ca. 1.400 bis 3.000 vor, für 1K-PUR ist konkret 1.411 angegeben. Der Produkthersteller PURBOND geht für Systeme mit 1K-PUR von einem

Mittelwert ca. 6.500 aus [5], wobei hier ein Verweis auf Untersuchung [4] erfolgt. Für diese signifikanten Abweichungen ist neben Produkteigenschaften auch die sehr dünne Klebstoffschicht maßgeblich. Geringe Veränderungen der Schichtdicke haben deutliche Auswirkungen auf den Diffusionswiderstand.

b)

Bei der Klebstoffdicke wird in zahlreichen Literaturquellen übereinstimmend von $100 \mu\text{m} = 0,1 \text{ mm}$ ausgegangen.

c)

In Untersuchung [1] wurden zu Vergleichszwecken sowohl reine Klebstofffilme als auch verklebtes Holz mit vergleichbarer Klebstoffdicke (beides $100 \mu\text{m}$) untersucht. Der Wasserdampfdiffusionswiderstand von reinen Klebstofffilmen war dabei größer als in Holzteilen. Dies dürfte u.a. mit Porenbildungen bei den Klebstoffschichten zwischen den Holzflächen zusammenhängen.

d)

Je größer die Anzahl von Klebstoffugen in den Holzbauteilen, umso mehr nimmt der Wasserdampf Widerstand im Vergleich zu Vollholz zu. Der Diffusionswiderstand der einzelnen Holz- und Klebstoffschichten kann hierbei addiert werden.

e)

Wegen der geringen Dicke der Klebstoffschichten sind die Auswirkungen auf das gesamte Bauteil in Bezug auf Wasserdampfdiffusion gering. Dies zeigt die nachstehende Vergleichsrechnung:

Annahmen: μ (Holz) = 50, Dicke Holzbauteil 100 mm
 μ (Klebstoff) = 6.500, Dicke Klebstoffuge 0,1 mm

Fall 1: Vollholzteil ohne Verklebung

$$s_d = 50 \times 0,10 \text{ m} = 5 \text{ m}$$

Fall 2: Massivholzteil mit 1 Klebefuge

$$s_d = 50 \times 0,10 \text{ m} + 6.500 \times 0,0001 \text{ m} = 5,65 \text{ m}$$

Fall 3: Massivholzteil mit 2 Klebefugen

$$s_d = 50 \times 0,10 \text{ m} + 6.500 \times 0,0001 \text{ m} \times 2 = 6,30 \text{ m}$$

f)

Vereinfachend kann das Zahlenbeispiel e) in der Weise interpretiert werden, dass eine Klebstoffschicht in Bezug auf die Wasserdampfdiffusion die gleiche Wirkung besitzt, als wenn die Holzlamelle um etwa 13 % dicker wäre.

g)

In der Reihenuntersuchung [6] wurde in einer Winterperiode der tatsächliche Holzfeuchtegehalt von 1-schaligen Blockaußenwänden untersucht mit Messstellen zur Innen- und Außenseite sowie in Holzmitte. Das Feuchteprofil innerhalb der Blockbalkenquerschnitte zeigte keinerlei Unterschiede zwischen verklebten und nicht verklebten Kanthölzern.

h)

In den Untersuchungen [1], [2], [3] sowie zahlreichen weiteren Literaturquellen wird dargestellt, dass der μ -Wert von Holz stark vom Holzfeuchtegehalt abhängt. Für Fichtenholz gelten z.B. in [1], [3] folgende Abstufungen:

Holzfeuchte	μ -Wert
15 %	20-30
10 %	80-100

Bezogen auf einen Holzfeuchtegehalt 10 % ergibt ein Vollholzteil ohne Verklebung, wie im obigen Fall 1 ausgewiesen, bei $\mu=100$ folgenden s_d -Wert:

$$s_d = 100 \times 0,10 \text{ m} = 10 \text{ m}$$

Zum Vergleich ergab die vorige Berechnung Fall 3 mit $\mu = 50$ und 2 Klebstofffugen einen s_d -Wert von 6,30 m. Der Einfluss des Holzfeuchtegehalts auf das Wasserdampfdiffusionsverhalten ist deutlich größer als der Einfluss von Klebstofffugen.

i)

Artähnlich wie das Holz selbst verändert sich auch der Diffusionswiderstand von Klebstofffugen bei Änderung des Holzfeuchtegehalts. Wie bei Holz nimmt der Widerstand ab, wenn die Holzfeuchte zunimmt.

6 Zusammenfassende Erkenntnisse

Das ausgeprägte Sorptionsverhalten von Massivholz fördert aufgrund der ausgleichenden und dämpfenden Wirkung bei Schwankungen der Luftfeuchte die Wohngesundheit und Wohnbehaglichkeit in Innenräumen. Bei Außenbauteilen wirkt sich das Wasserdampfdiffusionsverhalten, welches vom Holzfeuchtegehalt abhängt, günstig auf den Feuchtehaushalt innerhalb der Bauteile aus. Zur Raumseite (i.d.R. niedrige rel. Luftfeuchte) ist der Diffusionswiderstand deutlich größer als zur Außenseite (i.d.R. höhere rel. Luftfeuchte). Die Anforderung „zur Außenseite diffusionsoffener als zur Innenseite“ wird bereits durch diese physikalische Eigenschaft des Holzes ohne weitere Maßnahmen oder Bauteilschichten sichergestellt. Auch wird hiermit eine rasche Wiederaustrocknung bei unplanmäßigen Feuchteanreicherungen wirksam unterstützt. Dieses Feuchteverhalten wird durch Klebstofffugen bei bautypischen Brettschichtholz- oder Balkenschichtholzsortimenten nur unwesentlich verändert. Der Einfluss der Holzfeuchte auf das Diffusionsverhalten ist deutlich größer als bei Klebstofffugen. Vereinfachend kann davon ausgegangen werden, dass sich der Diffusionswiderstand eines Holzteils im Falle einer Klebstofffuge artähnlich erhöht als wenn das Holz um etwa 10 % dicker wäre.

Massivholz, auch in schichtverklebter Ausführung, ermöglicht unter allen konstruktiven Werkstoffen die wirksamste Feuchteregulierung in Bauteilen. Es verfügt über besonders günstige physikalische Eigenschaften, die z.B. in synthetischen „Klimamembranen“ oder „feuchteadaptiven Dampfbremsen“ nachempfunden werden.

7 Normen und Literatur

- [1] Volkmer, T., Schmidt, J.-A., Kranitz, K., Niemz, P.: Untersuchungen zum Einfluss der Klebstoffart auf den Diffusionswiderstand der Holzverklebungen. Bauphysik 34, Heft 2; 2012
- [2] Foglia, A., Sonderegger, W., Niemz, P., Bader, H., Weber, A.: Untersuchungen zu ausgewählten Einflussfaktoren auf den Diffusionswiderstand von Holz- und Verbundwerkstoffen, Forschungsbericht für das Kuratorium des Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung, ETH Zürich, 2006-07
- [3] Vanek, M., Teischinger, A.: Diffusionskoeffizienten und Diffusionswiderstandszahlen von verschiedenen Holzarten. Holzforschung und Holzverwertung 1/1989: 3-6.
- [4] Nusser, B., Teibinger, M.: Wasserdampfdiffusionswiderstandsbestimmung der Klebfuge von CLT-Elementen bei 2 Differenzklimaten, Holzforschung Austria, Gutachterliche Stellungnahme, 2009-07
- [5] Dampfdiffusionswiderstand, Interpretation der Dampfdiffusionswiderstandszahl μ von PURBOND-Klebstoff als Materialwert und im Verbund mit verklebten Holzprodukten, Purbond Facts Sheet, 2010-01
- [6] Egle, J.: Untersuchungen zum baulichen Holzschutz an Gebäuden in Holzblockbauweise, Schlussbericht 2004-10
- [7] Feuchte, STORA ENSO BUILDING AND LIVING BUILDING SOLUTIONS, Merkblatt, 2011-02
- [8] Preininger, R.: Neue Erkenntnisse zur Wasserdampfdurchlässigkeit von verleimten Blockhaus-Bohlen, bvfs forschungsnews, Ausgabe 09/2009
- [] DIN EN ISO 10456:2010-05 Baustoffe und Bauprodukte – Wärme- und feuchtetechnische Eigenschaften – Tabellierte Bemessungswerte und Verfahren zur Bestimmung der wärmeschutztechnischen Nenn- und Bemessungswerte (ISO 10456:2007 + Cor. 1:2009); Deutsche Fassung EN ISO 10456:2007 + AC:2009
- 10] DIN EN 301: 2018-01 Klebstoffe, Phenoplaste und Aminoplaste, für tragende Holzbauteile – Klassifizierung und Leistungsanforderungen; Deutsche Fassung EN 301:2017
- [12] DIN EN 14080:2013-09 Holzbauwerke – Brettschichtholz und Balkenschichtholz – Anforderungen, Deutsche Fassung EN 14080:2013
- [13] DIN EN 1995-1-1:2010-12 Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau; DIN EN 995-1-1/NA:2010, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter