

Feuchteschutz und Holzschutz von Außenwänden in Holztafel-/Holzrahmenbauart mit Mauerwerk-Vorsatzschale

Prof. Dr.-Ing. Helmut Marquardt

FH Nordostniedersachsen, Buxtehude (marquardt@fhnon.de)

Zusammenfassung

In Norddeutschland werden häufig Außenwände in Holztafel-/Holzrahmenbauart mit Mauerwerk-Vorsatzschalen als Wetterschutz ausgeführt. Bauherren wünschen aber

- einerseits keinen chemischen (sondern baulichen) Holzschutz und
- andererseits diffusionsoffene ("atmende") Konstruktionen,

d.h. möglichst vollständigen Verzicht auf Folien oder Dichtungsbahnen sowohl innen- als auch außenseitig auf der Rohwand.

Sowohl für den Schlagregenschutz als auch für den Tauwasserschutz (ohne rechnerischen Nachweis) verweist DIN 4108-3 : 2001-07 auf die in DIN 68 800-2 : 1996-05, 8.2, aufgeführten Wandkonstruktionen – was im Falle der Mauerwerk-Vorsatzschalen für den baulichen Holzschutz eine vollflächige wasserableitende Schicht mit $s_d \geq 1,0$ m auf der äußeren Beplankung (heute i.d.R. aus OSB oder MDF der Holzwerkstoffklasse 100) einer nicht zusätzlich gedämmten Rohwand bedeutet.

Zur Überprüfung, ob auf diese vollflächige wasserableitende Schicht verzichtet werden kann, wurden über mehr als ein Jahr Messungen der relativen Feuchte in einer Luftschicht hinter einer Mauerwerks-Vorsatzschale *ohne* vollflächige wasserableitende Schicht auf der Rohwand und zum Vergleich auch im Belüftungsspalt einer hinterlüfteten Profilbrettschalung (jeweils auf der Wetterseite) vorgenommen. Diese Messungen ergaben, dass in der Luftschicht hinter Mauerwerk-Vorsatzschalen 90 % relative Luftfeuchte nur kurzzeitig überschritten werden, so dass nach Auswertung der Sorptionsisothermen heute üblicher OSB- oder MDF-Platten auf Dauer nicht mehr als 15 M-% Holzwerkstofffeuchte zu erwarten sind. Damit scheint ein Verzicht auf die vollflächige wasserableitende Schicht auf der Rohwand möglich.

1 Problemstellung

In Norddeutschland werden häufig Außenwände in Holztafel-/Holzrahmenbauart mit Mauerwerk-Vorsatzschalen als Wetterschutz ausgeführt (Bild 1). Bauherren wünschen

- einerseits den vollständigen Verzicht auf chemischen Holzschutz sowie
- andererseits diffusionsoffene ("atmende") Konstruktionen,

d.h. möglichst vollständigen Verzicht auf jegliche Folien oder Dichtungsbahnen sowohl innenseitig als auch außenseitig auf der Rohwand. Im folgenden werden deshalb

- zum einen anhand der bauphysikalischen Anforderungen an den klimabedingten Feuchteschutz (Tauwasser- und Schlagregenschutz) sowie
- zum anderen anhand der biologischen Anforderungen an den baulichen Holzschutz Lösungsansätze für diese Bauherrenwünsche aufgezeigt.

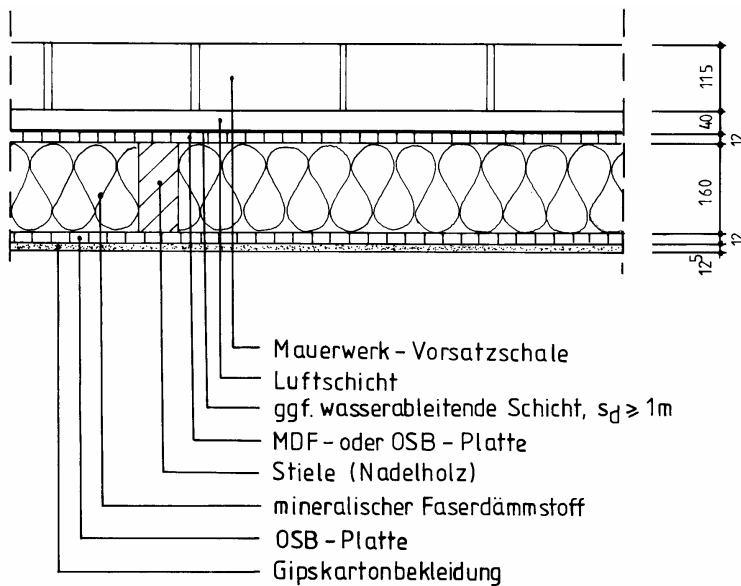


Bild 1: Beispielhafter Aufbau einer Außenwand in Holztafel-/Holzrahmenbauart mit Mauerwerk-Vorsatzschale (Horizontalschnitt, Außenseite oben)

Tabelle 1: Vergleich der Anforderungen an den Tauwasserschutz von Außenwänden in Holztafel-/Holzrahmenbauart mit Mauerwerk-Vorsatzschale zwischen DIN 4108-03 : 1981-08 [1] und DIN 4108-3 : 2001-07 [2] ohne rechnerischen Nachweis

	DIN 4108-03 : 1981-08	DIN 4108-3 : 2001-07
Bauteile, für die <i>kein</i> rechnerischer Tauwasser-Nachweis erforderlich ist (bei ausreichendem Wärmeschutz und luftdichter Ausführung)	DIN 4108-3 : 1981-08, 3.2.3.1.9: "Wände in Holzbauart mit innen-seitiger Dampfsperrschicht ($s_d \geq 10$ m), äußerer Beplankung aus Holz oder Holzwerkstoffen ($s_d \leq 10$ m) und hinterlüftetem ⁵⁾ Wetterschutz" ⁵⁾ z.B. Hinterlüftung nach DIN 18 515, für Wände in Holzbauart zusätzlich nach DIN 68 800 Teil 2"	DIN 4108-3 : 2001-07, 4.3.2.3: "Wände in Holzbauart nach DIN 68 800-2 : 1996-05, 8.2, mit vorgehängten Außenwandbekleidungen, zugelassenen Wärmedämmverbundsystemen oder Mauerwerk-Vorsatzschalen, jeweils mit raumseitiger diffusionshemmender Schicht mit $s_{d,i} \geq 2$ m" *)
Ergebnis:	Mauerwerk-Vorsatzschalen mit Lüftungsöffnungen gemäß DIN 1053-1 [3, 4, 5] sind nach DIN 68 800-2 [6, 7] <i>nicht</i> ausreichend belüftet, d.h. ein rechnerischer Tauwasser-Nachweis ist in jedem Fall erforderlich	12 mm heutige OSB-Platten (z.B. KRONOPLY OSB 3 mit $\mu = 350$ [8]) ergeben $s_d = 4,20$ m ≥ 2 m, d.h. eine <i>zusätzliche</i> diffusionshemmende Schicht auf der Innenseite kann ohne weiteren Nachweis entfallen

*) DIN 4108-3 : 2001-07 [2], 4.3.2.3, lässt in Verbindung mit DIN 68 800-2 [7], 8.2 und Tabelle 3, auf der *Außenseite* der Rohwand mit der einzigen Anforderung $s_d \geq 1$ m auch *sehr dichte* wasserableitende Schichten (d.h. z.B. PE-Folie) zu - ob das im Sinne des Tauwasserschutzes und einer möglichst hohen Austrocknungskapazität ist?

2 Klimabedingter Feuchteschutz

2.1 Tauwasserschutz

Die Anforderungen an den Tauwasserschutz sollen anhand der entsprechenden Norm überprüft werden: DIN 4108-3 bietet zwei Nachweismöglichkeiten, und zwar für bewährte Konstruktionen ohne rechnerischen Nachweis und im allgemeinen Fall mit rechnerischem Nachweis nach dem Glaser-Verfahren. Wie Tabelle 1 zeigt, war für Holztafel-/Holzrahmenbauten mit Mauerwerk-Vorsatzschalen bis 2001 in jedem Fall ein rechnerischer Nachweis des Tauwasserschutzes erforderlich.

Gemäß DIN 4108-3 : 1981-08 [1], Tabelle 1, Fußnote ⁶⁾, dürfen "für den Nachweis des Wärmeschutzes und der Tauwasserbildung an der raumseitigen Oberfläche (...) die Luftschicht und die Vorsatzschale nicht in Ansatz gebracht werden" - daraus ist zu schließen, dass sie für den Nachweis eventueller Tauwasserbildung im Bauteilinnern analog zu DIN 4108-2 [9], 5.2.2, anzusetzen sind. Führt man einen entsprechenden rechnerischen Nachweis mit einer wasserableitenden Schicht aus nackter Bitumenbahn R 333 N mit $s_d \leq \max \mu \cdot s = 20\,000 \cdot 0,001\text{ m} = 20\text{ m}$ nach DIN V 4108-4 : 1998-10 [10] (von Schulze in [11] geprüfte Ausführung), so wird innenseitig eine *zusätzliche* diffusionshemmende Schicht in Form einer Folie o.ä. erforderlich (Tabelle 2).

Tabelle 2: Rechnerischer Nachweis des Tauwasserschutzes gemäß DIN 4108-03 : 1981-08 [1] für eine übliche Außenwand in Holztafel-/Holzrahmenbauart mit Mauerwerk-Vorsatzschale und Bitumenbahn R 333 N als wasserableitende Schicht

Rechnerischer Nachweis nach DIN 4108-03 : 1981-08 mit dem Standardklima	
Berechnung mit wasserableitender Schicht aus nackter Bitumenbahn R 333 N mit $s_d \leq \max \mu \cdot s = 20\,000 \cdot 0,001\text{ m} = 20\text{ m}$	Ein Wandaufbau bestehend aus (von innen nach außen) <ul style="list-style-type: none"> • 12,5 mm Gipskartonplatte ($s_d = 0,10\text{ m}$) • 12 mm KRONOPLY OSB 3 [8] ($s_d = 4,20\text{ m}$) • 160 mm mineralischer Faserdämmstoff (WLGr. 040) • 12 mm KRONOTEC MDF [12] ($s_d = 0,16\text{ m}$) • 1 mm nackte Bitumenbahn R 333 N ($s_d = 20\text{ m}$, s. links) • 40 mm ruhende Luft • 115 mm Vollziegel ($\rho = 2000\text{ kg/m}^3$, $s_d = 1,15\text{ m}$) erfüllt den Nachweis <i>nicht</i> ($W_T = 174\text{ g/m}^2 > 162\text{ g/m}^2 = W_V$)

Wird die Konstruktion durch Verwendung einer nach DIN 68 800-2 : 1996-05 [7], 8.2 mit Tabelle 3, *gerade* zulässigen wasserableitenden Schicht mit $s_d \equiv 1\text{ m}$ verbessert, so kann auf eine *zusätzliche* diffusionshemmende Schicht an der Innenseite selbst bei diffusionstechnisch ungünstigen Wandaufbauten verzichtet werden (Tabelle 3), wobei allerdings kaum noch Austrocknungskapazität für unvorhergesehene Feuchte in der Konstruktion verbleibt.

U.a. aufgrund dieser Betrachtungen - d.h. *vor* Einführung der neuen DIN 4108-3 : 2001-07 [2] - wurden Untersuchungen mit dem Ziel begonnen, auf die wasserableitende Schicht gänzlich zu verzichten (s.u. Abschnitt 3).

Tabelle 3: Rechnerischer Nachweis des Tauwasserschutzes gemäß DIN 4108-03 : 1981-08 [1] für eine Außenwand in Holztafel-/Holzrahmenbauart mit Mauerwerk-Vorsatzschale und spezieller Folie mit $s_d \approx 1$ m als wasserableitender Schicht

Rechnerischer Nachweis nach DIN 4108-03 : 1981-08 mit dem Standardklima	
Berechnung mit wasserableitender Schicht (spezielle Folie), $s_d \approx 1$ m	<p>Ein Wandaufbau bestehend aus (von innen nach außen)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 12,5 mm Gipskartonplatte ($s_d = 0,10$ m) • 12 mm KRONOPLY OSB 3 [8] ($s_d = 4,20$ m) • 160 mm mineralischer Faserdämmstoff (WLGr. 040) • 12 mm KRONOPLY OSB 3 [8] ($s_d = 4,20$ m) • spezielle Folie mit $s_d \approx 1$ m • 40 mm ruhende Luft • 115 mm Vollklinker ($\rho = 2000$ kg/m³, $s_d = 11,5$ m) <p>erfüllt gerade den Nachweis ($W_T = 171$ g/m² \leq 188 g/m² = W_V)</p>

2.2 Schlagregenschutz

Zur Erfüllung des Schlagregenschutzes wird

- sowohl in der alten DIN 4108-03 : 1981-08 [1], Tabelle 1, Zeile 6,
 - als auch in der neuen DIN 4108-3 : 2001-07 [2], Tabelle 3, Zeile 7,
- auf DIN 68 800-2 in der jeweiligen Fassung verwiesen, d.h. es wird im vorliegenden Fall eine Mauerwerk-Vorsatzschale mit Luftschicht ≥ 4 cm Dicke und Lüftungs-/Entwässerungsöffnungen sowie eine Abdichtung des Wandfußpunktes entsprechend DIN 1053-1 [3, 4, 5] gefordert und auch üblicherweise ausgeführt.

3 Baulicher Holzschutz

3.1 Untersuchungsbedarf

Der in Abschnitt 2.1 formulierte Ansatz, auf eine wasserableitende Schicht auf der Rohwand wie auch auf chemischen Holzschutz gänzlich zu verzichten, widerspricht DIN 68 800-2 : 1996-05 [7]. Als Ergänzung zu den Erläuterungen zu DIN 68 800-2, -3, -4 [13] führt Schulze [14] jedoch aus:

"Die Zuordnung anderer als in DIN 68 800-2 angegebener Konstruktionen zur Gefährdungsklasse 0 ist möglich, wenn in Abstimmung mit dem Deutschen Institut für Bautechnik ein entsprechender Verwendbarkeitsnachweis geführt wird."

Um die genannte Konstruktion in Gefährdungsklasse 0 (d.h. Verzicht auf chemischen Holzschutz) einordnen zu können, ist somit ein Verwendbarkeitsnachweis durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung erforderlich, welche von der KRONO Gruppe Schweiz auch beantragt wurde. Grundlage des Zulassungsantrages ist die Überlegung,

- dass selbstverständlich die biologischen Voraussetzungen des baulichen Holzschutzes erfüllt sein müssen (d.h. die Holzbauteile müssen *dauerhaft* insekten-unddurchlässig abgedeckt und ihre Holzfeuchte auf $u \leq 20$ M-% begrenzt werden),
- dass aber nicht alle Konstruktionsregeln aus DIN 68 800-2 [7] eingehalten sein müssen, sofern die biologischen Voraussetzungen anderweitig erfüllt werden.

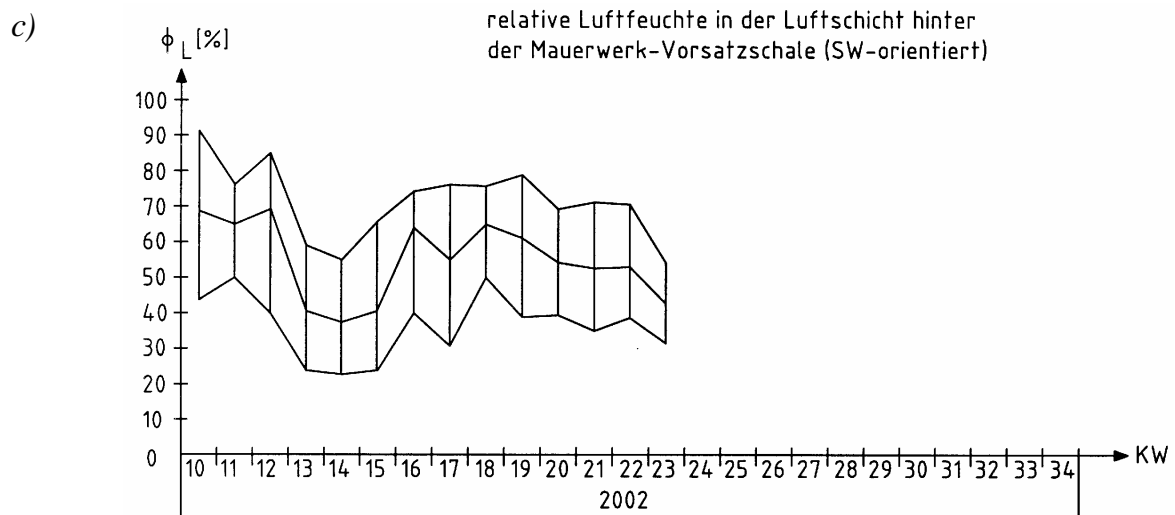
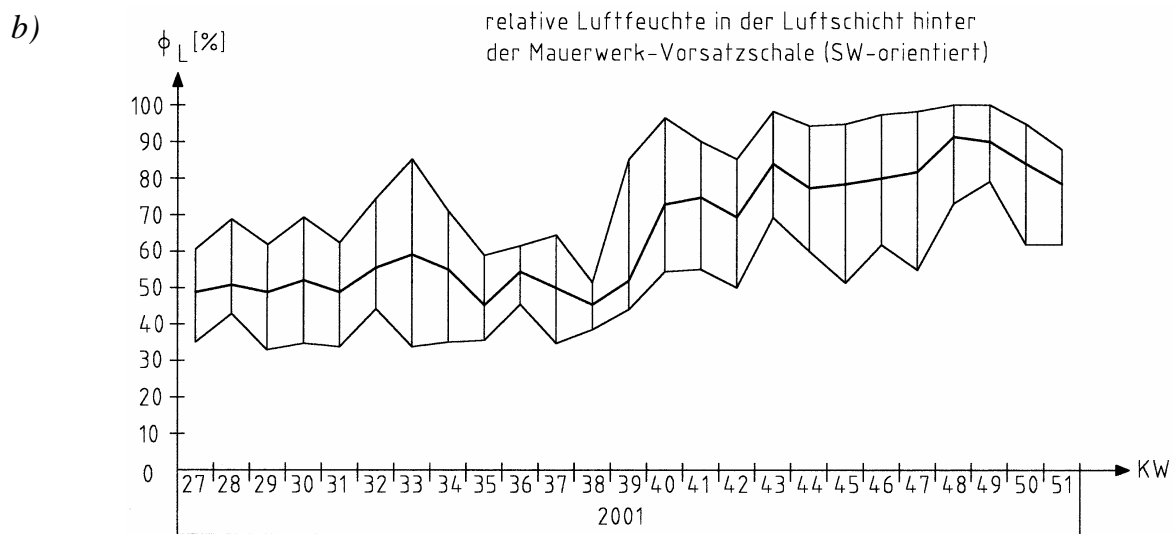
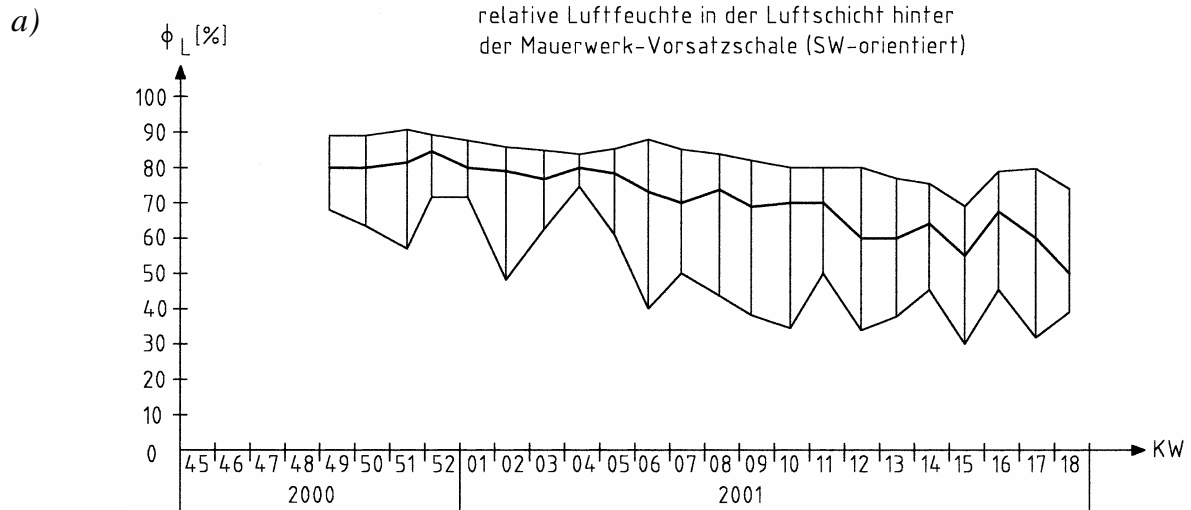


Bild 2: Gemessene relative Luftfeuchten (v.o.n.u. Maximal-, Mittel- und Minimalwerte der jeweiligen Woche) in der Luftschicht hinter einer Mauerwerk-Vorsatzschale ohne vollflächige wasserableitende Schicht auf der Rohwand

a) Dezember 2000 bis Mai 2001 [20]

b) Juni bis Dezember 2001 [21]

c) März bis Juni 2002

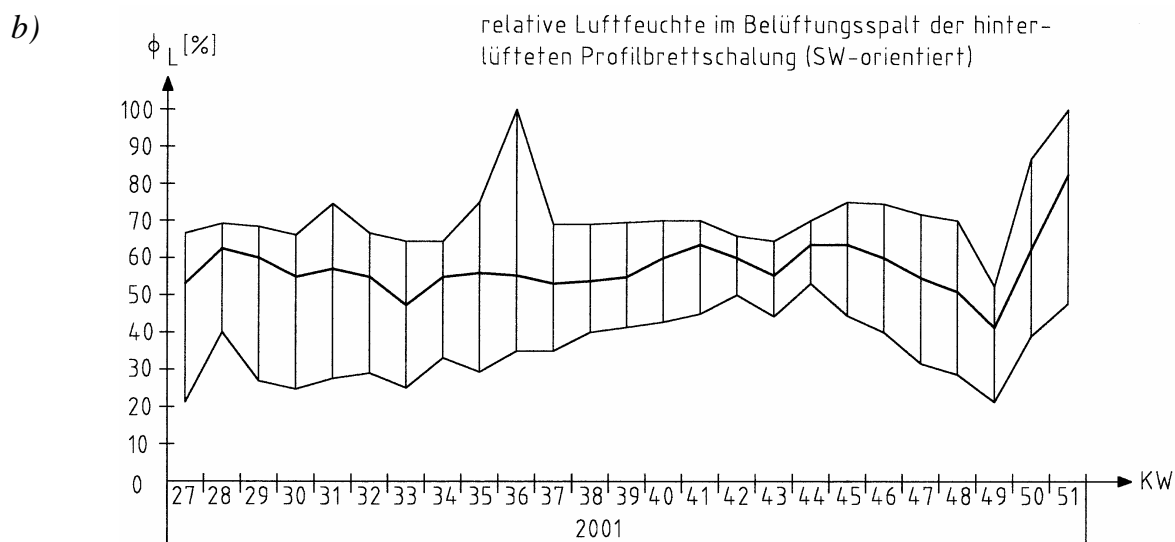
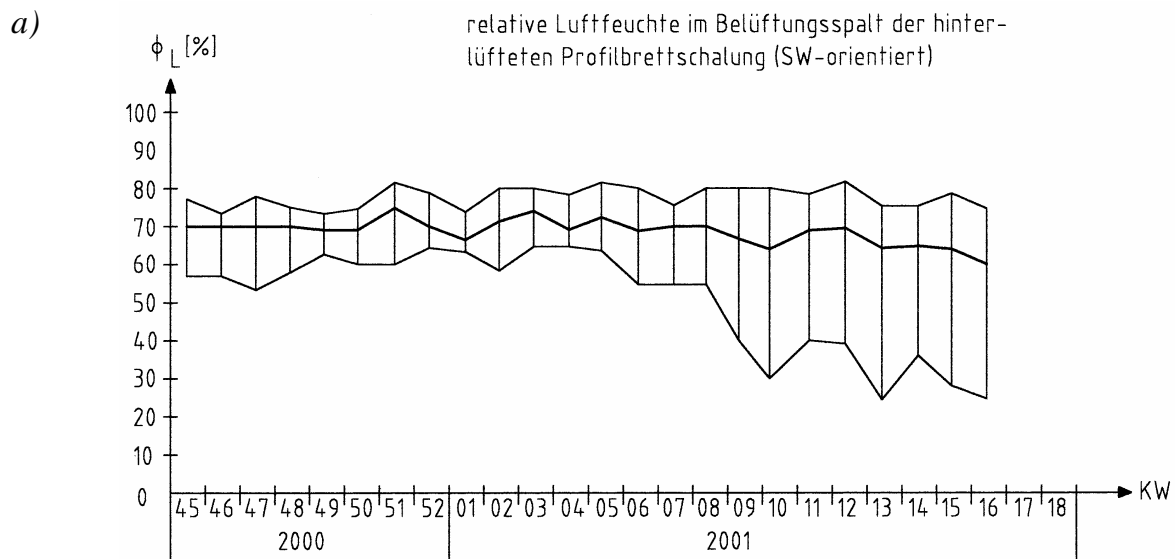


Bild 3: Gemessene relative Luftfeuchten (v.o.n.u. Maximal-, Mittel- und Minimalwerte der jeweiligen Woche) im Belüftungsspalt einer hinterlüfteten Profilbrettschalung (auf vertikaler Lattung) ohne vollflächige wasserableitende Schicht auf der Rohwand
a) November 2000 bis April 2001 [20]

b) Juni bis Dezember 2001 [21]

Im übrigen wird in Norddeutschland häufig auf die wasserableitende Schicht auf der Rohwand hinter Mauerwerk-Vorsatzschalen verzichtet, was nach Gesprächen mit vielen Zimmerern bei Verwendung heutiger MDI/PUR-verleimter OSB- bzw. MDF-Bekleidungen bzw. -Bepankungen trotz Verzichts auf chemischen Holzschutz bisher nicht zu einer Zunahme von Schäden durch Holzschädlinge geführt hat.

3.2 Laboruntersuchungen

Anhand von Laborversuchen wurde bereits an anderer Stelle nachgewiesen [15, 16, 17, 18, 19], dass Rohwände mit äußeren Bekleidungen oder Bepankungen aus bauaufsichtlich zugelassenen, MDI/PUR-verleimten MDF- oder OSB-Platten [8, 12] und Mauerwerk-Vorsatzschalen jeweils auch *ohne* vollflächige wasserableitende Schicht die

in Abschnitt 3.1 formulierten biologischen Voraussetzungen des baulichen Holzschutzes erfüllen.

3.3 Feuchtemessungen in den Luftschichten ausgeführter Außenwände

Zur praktischen Absicherung der in Abschnitt 3.2 genannten Laboruntersuchungen wurde an ausgeführten Bauten jeweils auf der Wetterseite die relative Luftfeuchte

- zum einen in der Luftschicht hinter einer nach Südwesten orientierten Mauerwerk-Vorsatzschale ohne vollflächige wasserableitende Schicht auf der Rohwand und
- zum Vergleich im Belüftungsspalt einer ebenfalls nach Südwesten orientierten, jedoch nach DIN 68 800-2 [7], 8.2, ausreichend hinterlüfteten Profilbrettschalung ebenfalls ohne wasserableitende Schicht auf der Rohwand

gemessen, und zwar mit Hilfe von automatisch aufzeichnenden Datenloggern mit kapazitiven Feuchtefühlern (Bilder 2 und 3).

Dabei zeigte sich, dass die relativen Luftfeuchten

- deutlichen tageszeitlichen Schwankungen unterlagen,
- bei beiden Konstruktionen im Frühjahr ab- und im Herbst wieder zunahmen und
- hinter der Mauerwerk-Vorsatzschale im Mittel merklich höher lagen als hinter der Profilbrettschalung - im Spätherbst wurden Wochenmittel von mittl $u = 90\%$ r.F. bei Höchstwerten von $\max u = 100\%$ r.F. erreicht.

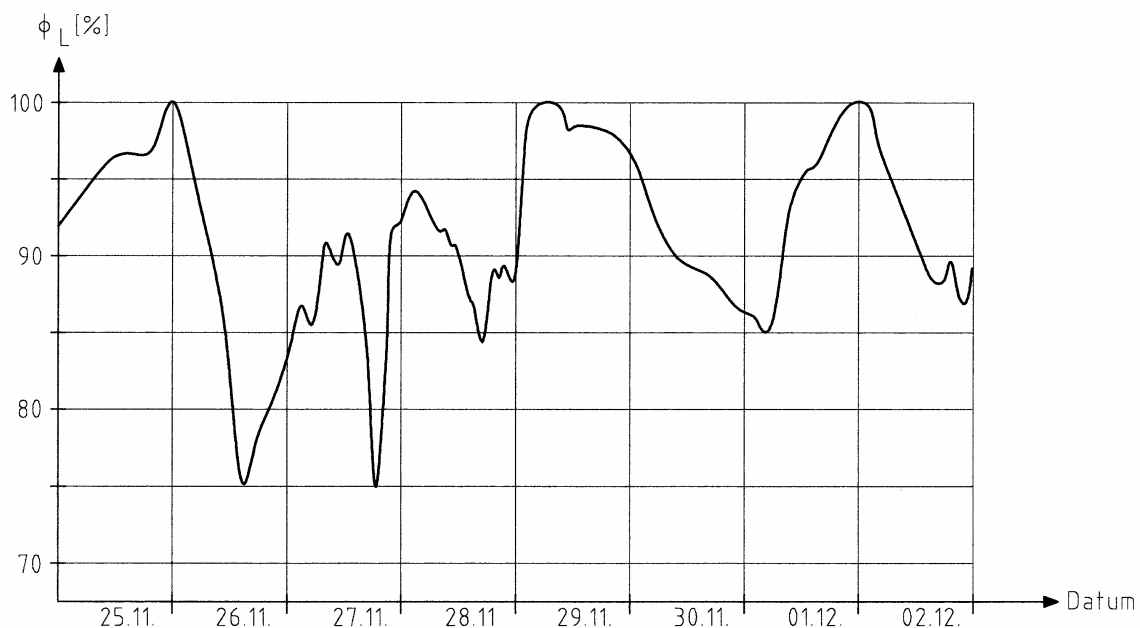


Bild 4: Detaildarstellung der Periode mit den höchsten gemessenen relativen Luftfeuchten in der Luftschicht hinter einer Mauerwerk-Vorsatzschale ohne vollflächige wasserableitende Schicht auf der Rohwand [21]

Zur besseren Beurteilung der gemessenen Höchstwerte ist in Bild 4 der Feuchteverlauf hinter der Mauerwerk-Vorsatzschale in der feuchtesten Messperiode im Detail dargestellt. Man erkennt, dass Spitzenwerte von $\max u = 100\%$ r.F. immer nur kurzzeitig auftreten, so dass auch nur mit geringfügiger Tauwasserbildung auf der Oberfläche der MDF- bzw. OSB-Bekleidung bzw. -Bepankung zu rechnen ist.

4 Schlussfolgerungen

Zusammengefasst können die Ergebnisse der Feuchtemessungen in den Luftschichten ausgeführter Außenwände (vgl. Abschnitt 3.3) folgendermaßen beurteilt werden:

- Gemäß DIN 68 800-2 : 1996-05 [7], Tabelle 3, sind als äußere Bepankung von Außenwänden (sowohl mit hinterlüfteter Außenwandbekleidung als auch mit Mauerwerk-Vorsatzschale) Holzwerkstoffplatten der Holzwerkstoffklasse 100 zu verwenden. Entsprechend DIN 68 800-2 : 1996-05, Tabelle 2, ist in diesem Fall der Höchstwert des massebezogenen Feuchtegehaltes auf $\max u = 18 \text{ M-}\%$ zu begrenzen. Die untersuchten MDF-Platten sind allerdings nur für Anwendungsbereiche zugelassen, in denen der Feuchtegehalt der Platte $u = 15 \text{ M-}\%$ nicht *auf Dauer* übersteigt [12].
- Vergleicht man den Höchstwert von $\max u = 18 \text{ M-}\%$ mit der Sorptionsisotherme von phenolharzverleimten Spanplatten (Bild 5, oberste Kurve), so erfüllt der Belüftungsspalt hinter der Profilbrettschalung im Mittel (bei nur kurzzeitigen Überschreitungen) diese Anforderung, während die Luftschicht hinter der Mauerwerk-Vorsatzschale über unzulässige längere Zeiträume zu hohe Luftfeuchten aufweist (und deshalb nach DIN 68 800-2 : 1996-05, Tabelle 3, mit einer wasserableitenden Schicht mit $s_d \geq 1 \text{ m}$ zu versehen ist).

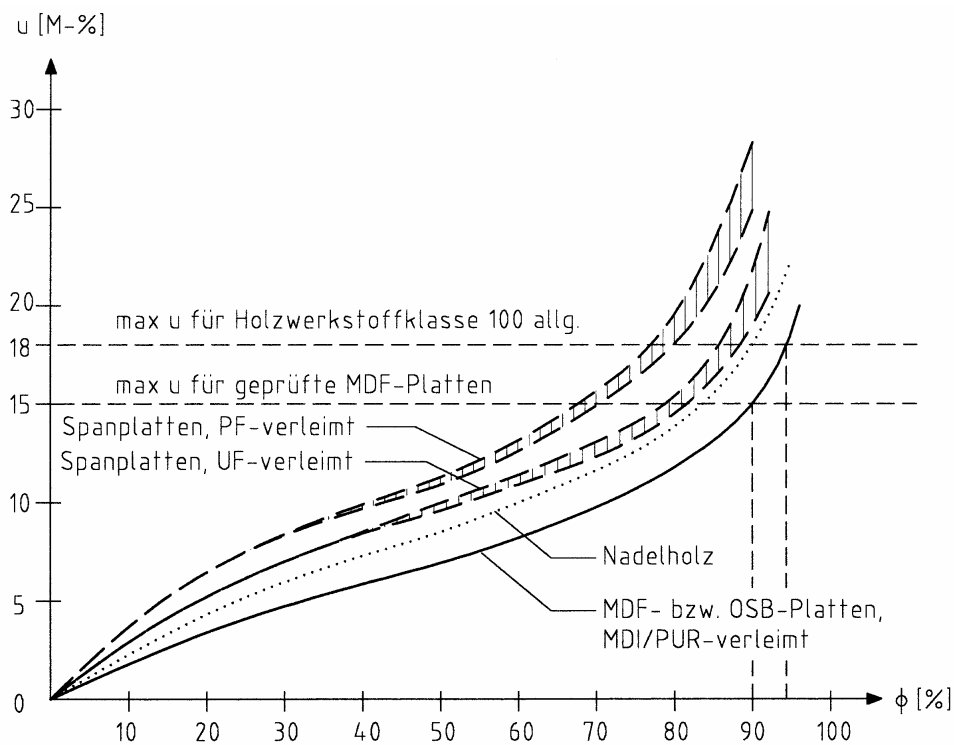


Bild 5: Sorptionsisothermen von Holz und Holzwerkstoffen [21], von oben nach unten

- phenolharzverleimte (PF-verleimte) Spanplatten bei $10 \text{ }^\circ\text{C}$ [22, 23]
- harnstoffharzverleimte (UF-verleimte) Spanplatten bei $20 \text{ }^\circ\text{C}$ [22, 23]
- Nadelholz bei 20 bis $40 \text{ }^\circ\text{C}$ [24]
- MDI/PUR-verleimte MDF- und OSB-Platten mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung [8, 12] bei 20 bis $23 \text{ }^\circ\text{C}$ [25]

- Vergleicht man aber den Höchstwert von $\max u = 15 \text{ M-\%}$ mit den Sorptionsisothermen von heutigen, bauaufsichtlich zugelassenen MDI/PUR-verleimten MDF- bzw. OSB-Platten [8, 12] (Bild 5, unterste Kurve), so erfüllt nicht nur der Belüftungsspalt hinter der Profilbrettschalung, sondern auch die Luftschicht hinter der Mauerwerk-Vorsatzschale die Anforderung, dass der Feuchtegehalt der Platte 15 M-% nicht *auf Dauer* übersteigt.

Zusammenfassend ergaben die jeweils auf der Wetterseite durchgeführten Feuchtemessungen in den Luftschichten zweier ausgeführter Außenwände in Holzrahmenbauart, dass Mauerwerk-Vorsatzschalen ohne vollflächige wasserableitende Schicht

- zwar bei äußerer Beplankung der Außenwände mit phenolharzverleimten Spanplatten unzulässig,
- aber bei Verwendung bauaufsichtlich zugelassener MDI/PUR-verleimter OSB- oder MDF-Platten ohne chemischen Holzschutz möglich sind.

Die vorliegenden stichprobenartigen Untersuchungen bedürfen allerdings noch einer Bestätigung durch eine größere Anzahl von untersuchten Objekten.

5 Literatur

- [1] DIN 4108-3 : 1981-08: Wärmeschutz im Hochbau; Klimabedingter Feuchteschutz; Anforderungen und Hinweise für Planung und Ausführung.
- [2] DIN 4108-3 : 2001-07: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden; Klimabedingter Feuchteschutz; Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung.
- [3] DIN 1053-1 : 1974-11: Mauerwerk; Berechnung und Ausführung.
- [4] DIN 1053-1 : 1990-02: Mauerwerk; Rezeptmauerwerk; Berechnung und Ausführung.
- [5] DIN 1053-1 : 1996-11: Mauerwerk; Berechnung und Ausführung.
- [6] DIN 68 800-2 : 1984-01: Holzschutz im Hochbau; Vorbeugende bauliche Maßnahmen.
- [7] DIN 68 800-2 : 1996-05: Holzschutz; Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau.
- [8] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-9.1-414 für OSB-Flachpreßplatten "KRONOPLY 3" vom 04.10.1999.
- [9] DIN 4108-2 : 1981-08: Wärmeschutz im Hochbau; Wärmedämmung und Wärmespeicherung; Anforderungen und Hinweise für Planung und Ausführung.
- [10] DIN V 4108-4 : 1998-10: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden; Wärme- und feuchteschutztechnische Kennwerte.
- [11] Schulze, H. : Außenwände in Holztafelbauart mit Mauerwerk-Vorsatzschale, Teil II - Freilandversuche. Durchgeführt im Auftrage der Entwicklungsgemeinschaft Holzbau in der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung e.V., München, 1997.
- [12] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-9.1-442 für Holzfaserplatten "KRONOTEK WP 50 und DP 50" vom 31.05.1999.
- [13] Holzschutz: baulich, chemisch, bekämpfend. Erläuterungen zu DIN 68 800-2, -3, -4. Hrsg. vom Deutschen Institut für Normung e.V. (DIN) und der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung e.V. (DGfH). Berlin, Wien, Zürich: Beuth 1998.

- [14] *Schulze, H.*: Holzbau Handbuch Reihe 3 (Bauphysik), Teil 5 (Holzschutz), Folge 2: Baulicher Holzschutz. Informationsdienst Holz, hrsg. von der Entwicklungsgemeinschaft Holzbau in der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung e.V., München, September 1997.
- [15] *Marquardt, H.*: Außenwände in Holzrahmenbauart ohne äußere wasserableitende Schicht. 22. Holzschutz-Tagung der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung (DGfH), Bad Kissingen 17. bis 18.10.2000. München: DGfH, S. 51 - 63.
- [16] *Marquardt, H.; Mainka, G.-W.*: Außenwände in Holztafelbauart mit Wetterschutzschalen ohne wasserableitende Schicht auf der äußeren Bekleidung oder Beplanung. Bauphysik 23 (2001), H. 3, S. 144 - 151 (ISSN 0171-5445).
- [17] *Marquardt, H., Mainka, G.-W.*: Wood Based Panelling as a Replacement for Breathable Membranes in Timber Frame Housing. IABSE Conference "Innovative Wooden Structures and Bridges", Lahti, Finland, August 29 - 31, 2001. Zürich: IABSE/AIPC/IVBH 2001, Report 85, S. 307 - 312 (ISBN 3-85748-1003-X).
- [18] *Marquardt, H., Mainka, G.-W.*: High Performance Wood Based Panels Substitute Breathable Membranes on External Wall Sheathings. "Performance of Exterior Envelopes of Whole Buildings VIII" Conference, Clearwater Beach, FL, USA, December 2 - 7, 2001. Conference Proceedings (CD-ROM). Atlanta: ASHRAE 2001 (ISBN 1-883413-96-6, ISSN 1088-8586).
- [19] *Marquardt, H.; Mainka, G.-W.*: Außenwände in Holztafelbauart (Holzrahmenbauart) ohne äußere wasserableitende Schicht (Forschungsbericht in Vorbereitung).
- [20] *Marquardt, H.; Saath, T.*: Untersuchung ausgeführter Außenwände in Holzrahmenbauart mit Mauerwerk-Vorsatzschalen ohne vollflächige wasserableitende Schicht auf der Rohwand. Bauen mit Holz 103 (2001), H. 10, S. 29 - 34 (ISSN 005-6545).
- [21] *Marquardt, H.*: Erwiderung auf den Leserbrief von J. Herlyn zum Beitrag [20]. Bauen mit Holz 104 (2002), H. 2, S. 27 - 29 (ISSN 005-6545).
- [22] *Greubel, D.*: Vergleich von Rechen- und Meßergebnissen zum Feuchtehaushalt hölzerner Wandelemente unter instationären Klimarandbedingungen. Bauphysik 8 (1986), H. 6, S. 183 - 188, Bauphysik 9 (1987), H. 1, S. 21 - 25 (ISSN 0171-5445).
- [23] *Kießl, K.; Möller, U.*: Zur Berechnung des Feuchteverhaltens von Bauteilen aus Holz und Holzwerkstoffen. Holz als Roh- und Werkstoff 47 (1989), S. 317 - 322 und S. 359 - 363.
- [24] *Klopfer, H.*: Wassertransport durch Diffusion in Feststoffen. Wiesbaden und Berlin: Bauverlag 1974 (ISBN 3-7625-0383-4).
- [25] *Diederichs, U.; Marquardt, I.*: Ermittlung der Sorptionseigenschaften und der Porenverteilungen der Werkstoffe KRONOTEC (MDF-Platte) und KRONOPLY 3 (OSB-3-Platte). Untersuchungsbericht Nr. U 00 0035-1 - Die/Ma - (15.11. 2000) der Universität Rostock, Fakultät für Ingenieurwissenschaften, Fachbereich Bauingenieurwesen, Fachgebiet Baustoffe (unveröffentlicht).