

# Experimentelle und numerische Analyse des hygrothermischen Verhaltens unbelüfteter Flachdachkonstruktionen in Holzbauweise

Norman Werther, Claudia Fülle, Stefan Winter

Flachdachkonstruktionen in Holzbauweise werden seit einigen Jahren von Planern und Bauherren wieder verstärkt nachgefragt und ausgeführt. Der Fokus liegt dabei vor allem auf energetisch effizienten, unbelüfteten Konstruktionen. Bauphysikalisch muss jedoch gerade die normkonforme Ausführung mit raumseitig diffusionshemmender Schicht  $s_d \geq 100$  m nach *DIN 4108-3* (2001) als kritische Bauweise angesehen werden. Gleichzeitig zeigt sich, dass neuartige Baumaterialien, eine verbesserte Luftdichtheit der Konstruktion, qualitativ hochwertiges und trocken verbautes Holz und Holzwerkstoffe zu sicheren unbelüfteten Flachdachkonstruktionen beitragen können. Auf Basis von Labor- und Feldversuchen sowie weiterführenden numerischen Bauteilsimulationen wurden für deutsche Klimabedingungen Konstruktionsregeln entwickelt, die eine dauerhaft schadensfreie Anwendung von unbelüfteten Flachdachkonstruktionen in Holzbauweise mit ökologischen Bauprodukten und ohne chemischen Holzschutz entsprechend der Gefährdungsklasse (Gebrauchsklasse 0) erlauben.

**Schlüsselwörter:** Dauerhaftigkeit von Holz, Flachdach, Holzbau, hygrothermische Bauteilsimulation

## Einleitung

Flach geneigte Dachkonstruktionen wiesen in den letzten Jahrzehnten vor allem im Neubaubereich eine sehr geringe Verbreitung auf, galten oft als architektonisch uninteressant und schadensanfällig. Seit einigen Jahren ist jedoch festzustellen, dass von Bauherren und Architekten – besonders im Verwaltungs- und Industriebau, aber auch im privaten Sektor – wieder vermehrt Flachdachkonstruktionen nachgefragt und ausgeführt werden. Vor allem einschalige unbelüftete Flachdachkonstruktionen in Holzbauweise stehen dabei im Fokus der Baupraxis, da sie einerseits trotz schlankem Aufbau energetisch sehr effizient sind, andererseits durch die Verwendung von ökologischen Baustoffen sowie Holz und Holzwerkstoffen ohne chemischen Holzschutz zu nachhaltigen Baukonstruktionen beitragen.

## Ausgangssituation und normativer Sachstand

Üblicherweise können nach außen hin diffusionsoffene Konstruktionen bei Flachdachaufbauten nur durch das Anordnen einer zusätzlichen Belüftungsebene unterhalb der Dachab-

dichtung erzielt werden. Diese durchlüfteten Aufbauten erweisen sich jedoch als ungünstig, weil zum einen die größeren Konstruktionshöhen architektonisch problematisch sind und zu aufwendigen Anschlussdetails führen, und weil zum anderen die Belüftung oftmals nicht ausreichend sichergestellt werden kann (*Borsch-Laaks et al., 2004*).

Bereits in den 60er bis 90er Jahren des 20. Jahrhunderts war eine große Nachfrage infolge zahlreicher öffentlicher Bau- und Förderungsprogramme nach Flachdachkonstruktionen in Holzbauweise spürbar. Systematische Untersuchungen zu einschaligen Aufbauten ohne Unterlüftung der Dachhaut mit Dämmung in der Gefachebene sind jedoch aus dieser Periode nicht bekannt. Erfolgt für einschalige unbelüftete Konstruktionsaufbauten mit Dämmung in der Gefachebene die normkonforme Ausführung ohne rechnerischen Tauwassernachweis gemäß *DIN 4108-3* (2001) und *DIN 68800-2* (1996), ist raumseitig der Gefachedämmung eine diffusionshemmende Schicht  $s_d \geq 100$  m anzuordnen. Zahlreiche Schadensfälle der letzten Jahre haben jedoch gezeigt, dass gerade bei diesen beidseitig dampfdicht ausgeführten Konstruktionen unplanmäßig eingetragene Feuchtigkeit, wie er-

höhe Einbaufeuchte oder Konvektionsfeuchte, in der Verdunstungsperiode nicht wieder abgeführt werden kann und kritische Bauteilzustände hervorruft (Schmidt und Winter, 2008).

Anmerkungen wie im Holzbauhandbuch zeigen, dass bereits frühzeitig bezüglich beiderseits mit dampfdichten Schichten ausgeführte Flachdachaufbauten Skepsis bestand. „Solche Konstruktionen haben sich in der Vergangenheit als schadensträchtig erwiesen, da der chemische Holzschutz bei solchen Bauteilquerschnitten bei ungewollt auftretender Feuchte nicht in der Lage ist, allgemeine Bauschäden zu verhindern. Deshalb sollten sie nur in Ausnahmefällen angewandt werden“ (Schulze, 1997). In den Hinweisen zur Anwendung von Holzwerkstoffen der DIN 68800-2 (1996) spiegeln sich diese Anmerkungen ebenfalls wider.

Dadurch wird nochmals bestätigt, dass es sich bei normkonformen unbelüfteten Flachdachkonstruktionen in Holzbauweise mit beidseitiger dampfdichter Schicht um kritische Ausführungen handelt, die von Planern und Ausführenden nicht mehr angewendet werden sollten. Aktuelle Studien mittels instationärer hygrothermischer Bauteilsimulationen bestätigen diese Aussagen und zeigen gleichzeitig, dass neuartige Materialien, verbesserte luftdichte Ausführung der Konstruktion, feuchteresistente Plattenwerkstoffe sowie trocken verbautes Holz und Holzwerkstoffe zu sicheren unbelüfteten Flachdachkonstruktionen beitragen können. Eine umfassende systematische experimentelle Validierung dieser Aussagen stand bisher jedoch aus, was eine Verallgemeinerung erschwert.

## Untersuchungsmethodik

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens der Gesellschaft für Materialforschung und Prüfungsanstalt für das Bauwesen Leipzig (MFPA Leipzig) und dem Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion der Technischen Universität München erfolgte auf Basis von Labor- und Feldversuchen sowie weiterführenden numerischen Bauteilsimulationen die systematische Untersuchung zur Funktionalität von unbelüfteten einschaligen Flachdachkonstruktionen in Holzbauweise, unter Berücksichtigung feuchtevariabler und ökologischer Baumaterialien.

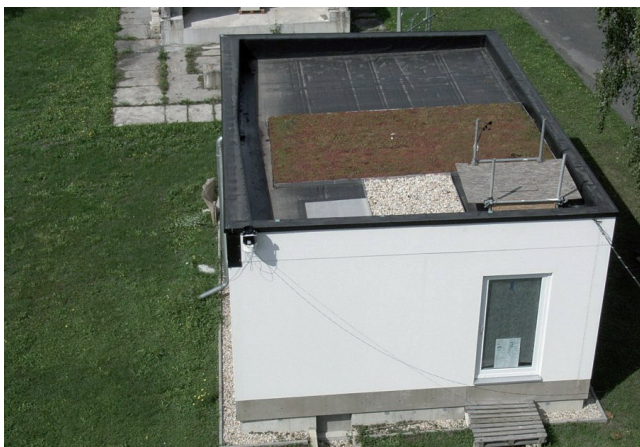


Abb. 2: Versuchsgebäude

Fig. 2: Test building

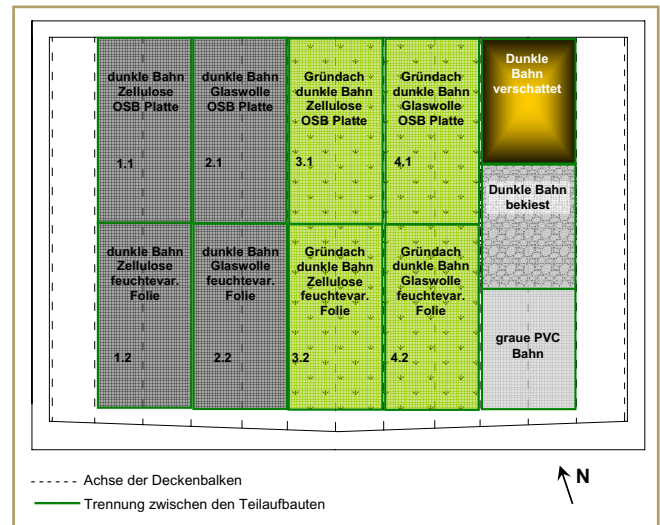


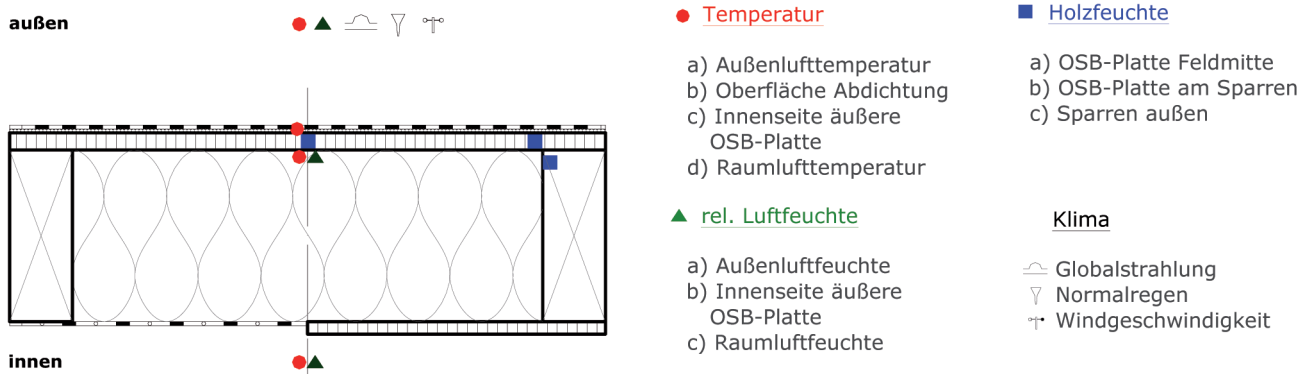
Abb. 1: Übersicht der Konstruktionsvarianten

Fig. 1: Variants of roof construction

## Laborversuche

Zur experimentellen Untersuchung wurde ein Versuchsgebäude auf dem Gelände der MFPA Leipzig errichtet, das die Beurteilung verschiedener praxisrelevanter Aufbauten erlaubte. Die Dachfläche wies dabei eine Neigung von  $2^\circ$  auf und wurde umlaufend von einer Attika umschlossen. Um Einflüsse der Attika auszuschließen, wiesen die Untersuchungsflächen jeweils einen Abstand von  $0,5\text{ m}$  zu dieser auf. Die Hauptuntersuchungsflächen variierten in der Art der raumseitigen diffusionshemmenden Schicht (15 mm OSB/3-Platte bzw. feuchtevariable Dampfbremse - INTELLO<sup>®</sup>), dem Gefächdämmstoff (Glaswolle bzw. Zelluloseeinblasdämmstoff) und der Art der Dachabdichtung (schwarze PVC-Abdichtung unbedeckt bzw. mit 80 mm Gründach), (vgl. Abb. 1 und 2). Der Regelaufbau der Konstruktion bestand aus Konstruktionsvollholz (80 mm x 220 mm), mit einer oberseitigen Beplankung aus 22 mm dicken OSB/3-Platten sowie Volldämmung in den Gefachen. Der Regelaufbau wies damit einen mittleren U-Wert von  $0,2\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  auf. Die zur Verfügung stehende Dachfläche von  $8\text{ m} \times 5,5\text{ m}$  wurde in acht gleich große Hauptuntersuchungsflächen und drei Nebenuntersuchungsflächen unterteilt. Die acht Hauptuntersuchungsflächen mit je einer Grundfläche von ca.  $3\text{ m}^2$  (vier mit PVC-Abdichtung und vier mit zusätzlichem Gründachaufbau) wurden untereinander so getrennt, dass eine hygrische Beeinflussung ausgeschlossen wird. Die drei zusätzlichen Nebenuntersuchungsflächen dienten als Referenzfelder zur Bestimmung des Einflusses der Deckschichten (graue PVC-Bahn, 50 mm Kiesauflage, Verschattung). Der Innenraum des Versuchsgebäudes wurde über den Untersuchungszeitraum mit einer Temperatur von  $21 \pm 1^\circ\text{C}$  und einer relativen Luftfeuchte von  $50 \pm 10\%$  klimatisiert. Zur Schaffung ungünstiger Ausgangsbedingungen wurde die oberseitige OSB/3-Beplankung auf 12 M-% konditioniert und eingebaut.

Über den Untersuchungszeitraum hinweg wurden die klimatischen Bedingungen außerhalb und innerhalb der Konstruktion stündlich erfasst und aufgezeichnet (vgl. Abb. 3), um begleitend eine numerische Berechnung der Konstruktionsvarianten zu erlauben.



**Abb. 3: Schematische Darstellung Konstruktionsaufbau, Messstellen**

Fig. 3: Schematical Structural design, placement of measurement equipment

### Numerische Bauteilsimulationen

Neben der Analyse der hygrothermischen Verhältnisse im Versuchsgebäude wurden zahlreiche numerische Bauteilsimulationen zum gekoppelten Wärme und Feuchtetransport mit Hilfe der validierten Software WUFI® (*Fraunhofer Institut für Bauphysik IBP*, 2008) unter den realen konstruktiven und klimatischen (instationären) Randbedingungen durchgeführt. Im Fokus der Simulationen standen neben der Validierung von Materialkennwerten vorrangig Parameterstudien, die Grenzwertbetrachtungen für die experimentell untersuchten Aufbauten erlaubten. So wurden zusätzliche Untersuchungen für variierende Klimabedingungen und weitere konstruktive Aufbauten durchgeführt.

Zur Bereitstellung von entsprechenden Klimadaten, als Randbedingungen für die Simulation, wurden die am Versuchsstand ermittelten Außenklimadaten mit denen des Deutschen Wetterdienstes (Station Leipzig-Schkeuditz) abgeglichen und zum Teil um diese erweitert. Hierdurch standen notwendige Kennwerte für die Lufttemperatur, relative Luftfeuchte, Niederschlagsmenge, Windgeschwindigkeit und -richtung, Bedeckungsgrad sowie Daten zur Solarstrahlung mit diffus und direktem Strahlungsanteil in Form von Stundenwerten für den Außenbereich zur Verfügung. Für das Innenklima wurde die über den Untersuchungszeitraum registrierte Lufttemperatur und die relative Luftfeuchte des Raumklimas genutzt.

Die weiterhin für die Simulation notwendigen hygrischen und thermischen Baustoffkennwerte der Dachkonstruktion wurden vorerst der programmspezifischen Materialdatenbank entnommen. Anschließend wurden diese mit eigenen und herstellereigenen Untersuchungen abgeglichen und auf die objektspezifisch eingesetzten Materialien angepasst, um die Übereinstimmung der Simulations- und Messergebnisse weiter zu verbessern. Neben den notwendigen Informationen zur Materialdicke, Rohdichte, Porosität, Wärmeleitfähigkeit und Einbaufeuchte wurde besonderes Augenmerk auf die Korrektheit der feuchteabhängigen Wasserdampfdiffusionswiderstände, Sorptionsfeuchten und Feuchtetransportkoeffizienten gelegt, die besonders bei Holzwerkstoffplatten in Abhängigkeit vom Herstellungsprozess, Dicke, Plattentyp und Klebstoffen stark variieren können und damit das Simulationsergebnis deutlich beeinflussen.

### Feldstudien

Zur Erweiterung der Datenbasis und Bestätigung der Dauerhaftigkeit für einschalige unbelüftete Flachdachkonstruktionen

wurden ergänzend zu den Laboruntersuchungen und Bauteilsimulationen Feldstudien durchgeführt. Die bestehenden Objekte – mit raumseitig angeordneter feuchtevariabler diffusionshemmender Schicht – wurden optisch sowie messtechnisch begutachtet und auf Schäden und ihre Ursachen hin untersucht.

### Beurteilungskriterien

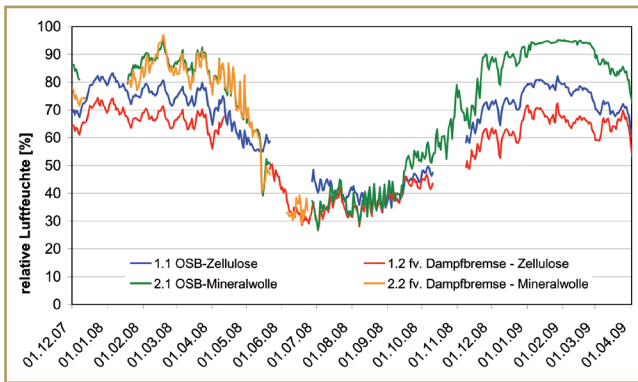
Mit Schäden im Konstruktionsaufbau muss an den Stellen gerechnet werden, die dauerhaft eine hohe Feuchtigkeitsbelastung ermöglichen. Als kritische Bauteile innerhalb dieser Konstruktionsaufbauten müssen primär die oberseitige Beplankung und die außenseitigen Bereiche der Deckenbalken angesehen werden. Die oberseitige OSB/3-Beplankung kann entsprechend ihrer Produktnorm für die Anwendung im Feuchtbereich eingesetzt werden, was Werkstofffeuchten bei Temperaturen von 20 °C und einer relativen Luftfeuchte, die nur wenige Wochen im Jahr den Wert von 85 % überschreitet, entspricht. Gemäß dem Entwurf zur *DIN 68800-2* (2009) wäre somit ein Feuchtegehalt der Platten von maximal 18 M-% zulässig. Die beabsichtigte Zuordnung der Deckenbalken zur Gebrauchsklasse 0 nach *DIN 68800-2* (2009) wäre unter dauerhafter Einhaltung von Holzfeuchten  $u \leq 20$  M-% und damit in der Regel mit relativen Luftfeuchten in der Konstruktion unterhalb des 90%-Niveaus möglich.

### Ergebnisse

#### Laboruntersuchungen

##### Deckschichteneinfluss

Die gemessenen Werte der Oberflächentemperatur am Versuchsstand spiegeln deutlich den signifikanten Einfluss von Strahlungsabsorption und thermisch wirksamer Masse der Deckschichten wider. Besonders die Bereiche mit schwarzer Dachabdichtung ohne zusätzliche Verschattung oder Deckschichten wiesen in den Sommermonaten Temperaturen von annähernd maximal 80 °C auf und überstiegen damit die maximale Außenlufttemperatur von 30 °C (Stundenwerte) deutlich. An Wintertagen mit wolkenlosen Nächten konnten im Gegensatz dazu infolge der langwelligen Abstrahlung bis zu 10 °C geringere Oberflächentemperaturen im Vergleich zur Außentemperatur verzeichnet werden. Konstruktionsaufbauten mit zusätzlichen Deckschichten oder Verschattung reduzierten die Oberflächen-



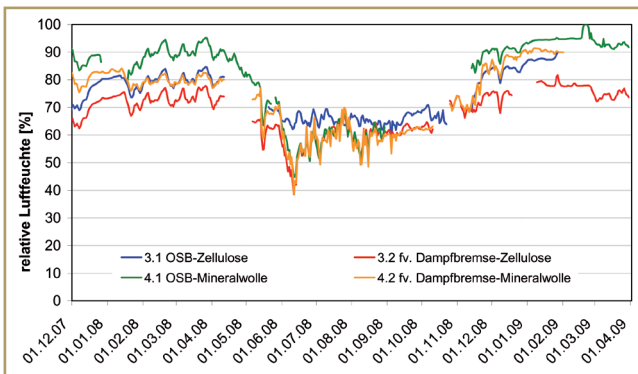
**Abb. 4: Tagesmittel der relativen Luftfeuchte zwischen oberseitiger OSB-Platte und Gefachdämmung, schwarze PVC-Abdichtung**

*Fig. 4: Daily values of relative humidity between upper OSB and insulation in fields with black PVC sealing*

temperaturen in den Sommermonaten deutlich und verschlechterten damit das Rücktrochnungsverhalten der Konstruktion, was ebenfalls die Untersuchungen des IBP Holzkirchen bestätigt (Künzel, 1999). Bereits am Ende des Sommers führte dies bei den Gründachaufbauten im Vergleich zu Aufbauten ohne Deckschicht zu ca. 20 % höheren relativen Luftfeuchten, was im zweiten Winter für nahezu alle Untersuchungsvarianten mit Gründach zu kritischen Bauteilfeuchten führte. Als unkritisch stellte sich hier nur die Variante mit raumseitig feuchtevariabler Dampfbremse und Zellulosedämmung dar.

#### ***Einfluss der diffusionshemmenden Schicht***

Die ermittelten relativen Luftfeuchten (Abb. 4 und 5) zwischen der oberseitigen Beplankung und der Gefachdämmung stellen über den Untersuchungszeitraum den Einfluss der raumseitigen diffusionshemmenden Schicht dar. Vor allem in der Tauperiode (Winter), die generell zur Auffeuchtung der Konstruktion durch Diffusion führt, trägt der höhere Diffusionswiderstand der eingesetzten feuchtevariablen Dampfbremse im Vergleich zur OSB-Platte zur Reduktion der Bauteilfeuchte bei. Unabhängig von der Art der Dachabdichtung (unbedeckt bzw. Gründach) und dem Gefachdämmstoff wiesen die Ausführungsvarianten



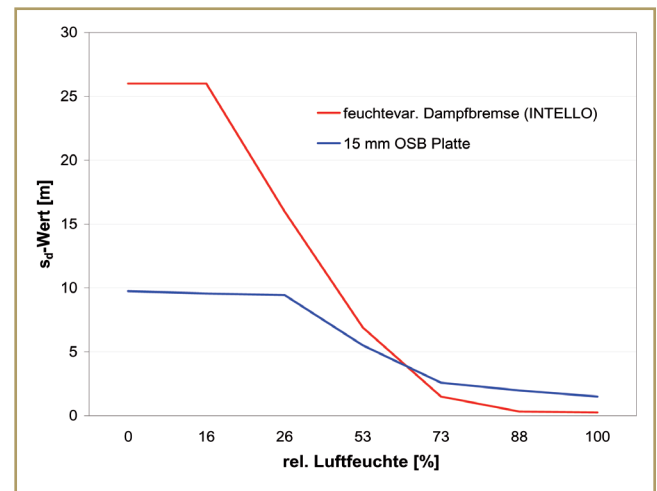
**Abb. 5: Tagesmittel der relativen Luftfeuchte zwischen oberseitiger OSB-Platte und Gefachdämmung, Gründach**

*Fig. 5: Daily values of relative humidity between upper OSB and insulation in fields with green roof*

mit feuchtevariabler Dampfbremse im Gegensatz zur Ausführung mit raumseitiger OSB-Platte um bis zu 10 % geringere relative Luftfeuchten in der kritischen Ebene auf. In den Sommermonaten trug der geringere Diffusionswiderstand (vgl. Abb. 6) der feuchtevariablen Bahnen zur besseren Rücktrochnung bei. Infolge von Messausfällen konnten die Ergebnisse einiger Untersuchungsvarianten nicht durchgängig dargestellt werden.

#### ***Einfluss der Gefachdämmung***

Aus den Abb. 4 und 5 wird ebenfalls der Einfluss des Gefachdämmstoffes auf die relativen Luftfeuchten der Untersuchungsvarianten ersichtlich. Unabhängig von der Deckschicht wiesen die Gefache mit Zellulosedämmstoff in der kritischen Ebene vor allem in den Wintermonaten um bis zu 15 % geringere relative Luftfeuchten im Vergleich zu Gefachen mit Glaswollendämmung auf. Zurückgeführt werden kann dies auf die hohe Feuchtespeicherfähigkeit der Zellulose, die in der Tauperiode die Feuchtebelastung für die benachbarte Holzwerkstoffbeplankung und Deckenbalken minimiert und die aufgenommene Feuchtigkeit in der sommerlichen Verdunstungsperiode damit verzögert



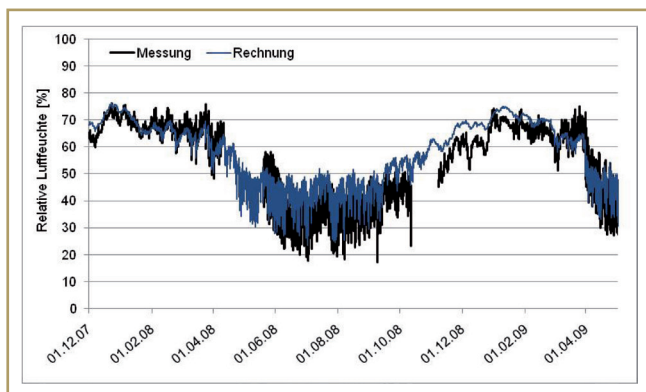
**Abb. 6: Vergleich der raumseitig diffusionshemmenden Schichten**

*Fig. 6: Comparison of diffusion resistance for used materials*

wieder abgibt. Die in den Diagrammen ersichtlichen unterschiedlichen Startfeuchten für die Varianten mit Zellulose- und Glaswollendämmung können darauf zurückgeführt werden, dass die konstruktive Fertigstellung der Untersuchungsvarianten vor dem Beginn der Messungen erfolgte und sich damit bereits Feuchteunterschiede zu Messbeginn eingestellt hatten.

#### ***Holz-, Holzwerkstofffeuchten***

Die Messungen der Holz- und Holzwerkstofffeuchten (vgl. Abb. 3) in der kritischen Ebene bestätigen die anhand der relativen Luftfeuchten ersichtlichen Tendenzen. Innerhalb der Untersuchungen des Feuchtegehaltes der oberseitigen OSB-Beplankung wiesen jeweils die Messstellen in Gefachmitte um bis zu 1,5 M-% höhere Feuchten als am Gefachrand auf. Dies kann auf die zusätzliche Sorptionsfähigkeit des Sparrens am Gefachrand zurückgeführt werden. Kritische Zustände für die oberseitigen OSB-Beplankung wurden jedoch nur in den Varianten 2.1 (schwarze Bahn-OSB-Glaswolle-OSB) und Vari-



**Abb. 7: Vergleich zwischen Messung und Simulation der relativen Luftfeuchte zwischen OSB-Beplankung und Zellulosedämmung (Variante 1.2)**

Fig. 7: Comparison between measurement and simulation for relative humidity between upper OSB and cellulose insulation (variant 1.2)

ante 4.2 (Gründach - OSB - Glaswolle - feuchtevariable Bahn) verzeichnet. Hier wurden in der zweiten Winterperiode bei sehr tiefen Außentemperaturen partiell Plattenfeuchten von über 25 M-% gemessen. Zurückgeführt werden konnte dies auf Oberflächenkondensat, welches an der Plattenoberfläche auftrat. In beiden Varianten konnten geringe Spalte zwischen Glaswolledämmung und OSB-Beplankung festgestellt werden. Die Holzfeuchten in den Sparren lagen in allen Untersuchungsvarianten jedoch unterhalb des normativ kritischen Niveaus von 20 M-%.

## Ergebnisse

Innerhalb der Untersuchungen erfolgte für alle Varianten eine numerische Simulation unter realen Randbedingungen zum hygrothermischen Verhalten. Hierbei konnte nach Bestimmung der objektspezifischen Materialkennwerte mit den experimentellen Messergebnissen eine sehr gute Übereinstimmung erzielt werden. Exemplarisch wird dies in Abb. 7 verdeutlicht. Aufbauend auf diesen Ergebnissen wurden weiterführende Parameterstudien durchgeführt, die folgende Betrachtungen enthielten:

- Variation Außenklima (Berechnung für Klimadatenatz „Holzkirchen 1991“)
- Variation Innenklima (Simulation von erhöhter Innenraumfeuchte)
- Berücksichtigung eines konvektiven Feuchteintrags von 50, 150 und 250 g je m<sup>2</sup> und Winter
- Variation der Dachabdichtung (Berechnung für helle PVC-Bahn und dampfdichte Abdichtung, wie z. B. Bitumen)
- Simulation von Verschattung durch umliegende Gebäude
- Simulation von Dachüberbauten, z. B. durch Photovoltaik

## Fazit

Für die meisten der untersuchten Aufbauten konnte bestätigt werden, dass unbelüftete einschalige Flachdachkonstruktionen in Holzbauweise dauerhaft schadensfrei und funktionsfähig sind. Infolge des breiten Spektrums eingesetzter Baustoffe und



Aufbauten unterschieden sich die Ergebnisse allerdings erheblich voneinander.

Die folgenden vier Konstruktionsaufbauten können dabei unter Ausschluss von dauerhafter Verschattung als unbedenklich eingestuft und als Stand der Technik angesehen werden:

- Schwarze PVC-Bahn - OSB/3 - Zellulose - OSB
- Schwarze PVC-Bahn - OSB/3 - Zellulose - feuchtevariable Dampfbremse
- Schwarze PVC-Bahn - OSB/3 - Mineralwolle - feuchtevariable Dampfbremse
- Gründach (max. 80 mm Substrat) - OSB/3 - Zellulose - feuchtevariable Dampfbremse

Infolge dieser Konstruktionsvoraussetzungen entstehen klimatische Verhältnisse, die denen der Nutzungsklasse 2 nach *DIN 1052* (2008) entsprechen. Die aufgetretenen Holzfeuchten in diesen Objekten unterhalb des 20 M-% Niveaus verdeutlichen diese Ergebnisse nochmals und schließen den Befall von holzerstörenden Pilzen aus. Der Befall der Tragkonstruktion durch holzerstörende Insekten wird durch die geschlossene Bauweise ausgeschlossen. Auf Basis dieser Erkenntnisse wird zukünftig eine Zuordnung der Deckenbalken zur Gebrauchsklasse 0 nach *DIN 68800-2* (2009) möglich sein. Auf zusätzliche vorbeugende chemische Schutzmaßnahmen kann somit verzichtet werden. Die Holzwerkstoffe der oberseitigen Beplankung müssen dabei mindestens für den Einsatz in der Nutzungsklasse 2 zugelassen sein. Erfüllt wird diese Anforderung durch Holzwerkstoffe, die nach *DIN EN 13986* (2005) mindestens für den Feuchtbereich anwendbar sind.

Zusätzlich bestätigen die Untersuchungen, dass sorptive Dämmstoffe in einem deutlich größeren Maße als z. B. Mineralwoll-dämmstoffe in der Lage sind, anfallendes Tauwasser oder temporäre Baufeuchte zu speichern und verzögert in der Trocknungsperiode wieder abzugeben und damit die Holzbauteile vor unzuträglicher Befeuchtung zu schützen. Durch den variablen Wasserdampfdiffusionswiderstand mit großer Spreizung zwischen Trocken- und Feuchtebereich bieten raumseitig feuchtevariable Dampfbremsen eine vorzuziehende Variante der inneren diffusionshemmenden Schicht. Unter üblichen Innenraumklimata kann hierdurch eine unzuträgliche Auffeuchtung in der Tauperiode verhindert und vor allem eine gute sommerliche Rücktrocknung ermöglicht werden. Bei der Auswahl der Dachabdichtung sind dunkle, diffusionshemmende Bahnen mit relativ niedrigem  $s_d$ -Wert helleren Abdichtungsbahnen klar vorzuziehen.

Alle übrigen Konstruktionen sind in jedem Fall unter Berücksichtigung der spezifisch vorhandenen Randbedingungen zu betrachten.

Trotz dieser Erkenntnisse muss darauf hingewiesen werden, dass unbelüftete Flachdachkonstruktionen nach wie vor eine sorgfältige Planung und Ausführung erfordern, insbesondere in Bezug

auf die dauerhafte Ausführung der Luftdichtung. Bei geplanten Umnutzungen oder Änderung der konstruktiven Randbedingungen müssen die Aufbauten im Einzelfall über hygrothermische Simulationen, mit abgesicherten Materialkennwerten, überprüft werden.

Basierend auf diesen nationalen Erkenntnissen wurde für unbelüftete einschalige Flachdachkonstruktionen mit Gefachdämmung in der Tragebene im Zuge der Überarbeitung der *DIN 68800-2* (2009) ein Normungsentwurf erarbeitet, der neben den Regeln zur Nachweisführung auch nachweisfreie Konstruktionsaufbauten enthält.

## Danksagung

Die Autoren bedanken sich beim Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) und dem Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) sowie den beteiligten Industriepartnern für die Förderung des Forschungsvorhabens. Gleichzeitig gilt ein Dank der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung e.V. (DGfH) für die Koordinierung des Projektes.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

## Literatur

Borsch-Laaks R, Köhnke E U, Schopach H, Wagner G, Winter S, Schmidt D (2004) *Flaches Dach, aber sicher! - Flachdach ohne Belüftung mit Attika. die neue quadriga - Fachzeitschrift für den Holzbau* (6): 30-42

DIN 1052 (2008) *Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbawerken - Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau*

DIN 4108-3 (2001) *Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden - Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz. Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung*

DIN 68800-2 (1996) *Holzschutz-Teil 2. Vorbeugende Bauliche Maßnahmen im Hochbau*

DIN 68800-2 (2009) *Entwurf, Holzschutz-Teil 2. Vorbeugende Bauliche Maßnahmen im Hochbau*

DIN EN 13986 (2005) *Holzwerkstoffe zur Verwendung im Bauwesen - Eigenschaften, Bewertung der Konformität und Kennzeichnung*

Fraunhofer Institut für Bauphysik IBP (2008) *Software zur Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen*

Künzel H M (1999) *Einfluss der Deckschicht auf die Temperaturverhältnisse in Flachdächern. IBP Mitteilung 354, Fraunhofer Institut für Bauphysik*

Schmidt D, Winter S (2008) *Flachdächer in Holzbauweise – Spezial. Informationsdienst Holz, Holzabsatzfonds*

Schulze H (1997) *Holzbau-Handbuch. Reihe 3, Teil 5, Folge 2, Baulicher Holzschutz. Entwicklungsgemeinschaft Holzbau an der DGfH*

## Autoren

**Dipl.-Ing. Norman Werther**, Bauingenieur, war von 2005 bis 2008 wissenschaftlicher Mitarbeiter der Gesellschaft für Materialforschung und Prüfungsanstalt für das Bauwesen Leipzig mbH (MFPA Leipzig GmbH) und ist seit 2006 wissenschaftlicher Mitarbeiter bei Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter am Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion der Technischen Universität München, Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen, Arcisstraße 21, 80333 München. [www.hb.bv.tum.de](http://www.hb.bv.tum.de); [werther@bv.tum.de](mailto:werther@bv.tum.de)

**Dipl.-Ing. Claudia Fülle**, Bauingenieurin, war von 2003 bis 2008 wissenschaftliche Mitarbeiterin und Doktorandin am Institut für Bauklimatik, Lehrstuhl Bauphysik, der Technischen Universität Dresden. Seit 2008 ist Fülle Leiterin der Arbeitsgruppe Wärme- und Feuchteschutz, Geschäftsbereich Bauphysik, Gesellschaft für Materialforschung und Prüfungsanstalt für das Bauwesen Leipzig mbH (MFPA Leipzig GmbH). [www.mfpa-leipzig.de](http://www.mfpa-leipzig.de); [fuelle@mfpa-leipzig.de](mailto:fuelle@mfpa-leipzig.de)

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter**, Ordinarius für Holzbau und Baukonstruktion an der TU München und Mitglied der kollegialen Leitung der MPA Bau an der TU München, ist Gesellschafter der MFPA Leipzig GmbH, Mitinhaber eines Ingenieurbüros beratender Ingenieure mit Sitz in Lauterbach und Büros in München und Darmstadt sowie Mitglied in verschiedenen nationalen und europäischen Normungsgremien, u. a. Vorsitzender des Spiegelausschuss Holzbau des DIN NA Bau.

## ABSTRACT

### *Experimental and numerical study on the hygrothermal behaviour of nonventilated wooden flat roof constructions*

*Highly insulated non-ventilated flat roofs in timber construction were more frequently applied in the last years. According to German standard DIN 4108-3 (2001) an internal tight vapour barrier is required for a verified construction, but also can easily cause moisture damages. At the same time new building products, airtight constructions, dry timber and wood based panels give new opportunities for safe and durable constructions. With the help of long term laboratory examinations, numerical simulations and in-situ measurements for German climate conditions, design principles and recommendations have been developed. These principles can guarantee a durable use of wooden flat roof constructions in combination with high energetic efficiency, including ecological building products and without chemical treated timber according use class 0 of DIN 68800 (1996).*

**Keywords:** Flat roof, timber construction, durability of timber, hygrothermal building simulation