

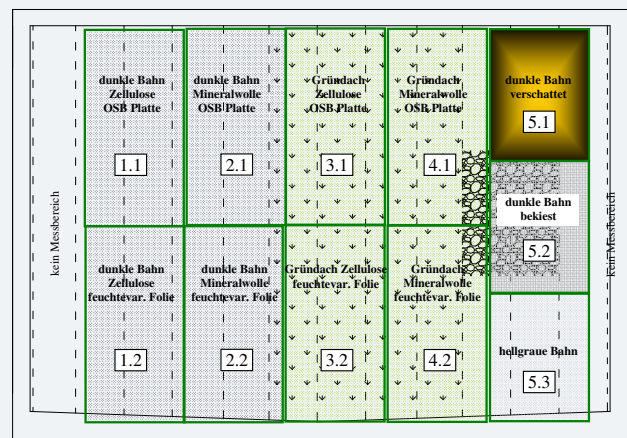
# Flachdächer in Holzbauweise - Aktuelle Forschungsergebnisse

**Forschung** In den letzten Jahren wurden vermehrt einschalige, unbelüftete Flachdächer gebaut, welche prinzipiell dem Risiko von Tauwasseranfall und daraus folgendem Befall mit holzerstörenden Pilzen ausgesetzt sind. Ein zweijähriges Forschungsprojekt an der MFPA Leipzig, in Zusammenarbeit mit der TU München, hat nun gezeigt, wie und unter welchen Bedingungen solche Aufbauten schadensfrei funktionieren können. **Claudia Fülle und Norman Meißner**



Bilder und Diagramme: Claudia Fülle

**Bild 1** Versuchsgebäude in Leipzig



**Bild 2** Versuchsgebäude in Leipzig, Schematischer Aufbau

## Aufbau des Forschungsprojekts

Ausgangspunkt für das Forschungsprojekt [1] war die unbefriedigende Normungslage (DIN 4108-3), nach der unbelüftete Flachdächer entweder eine Dampfsperre ( $s_d > 100\text{m}$ ) oder Aufdachdämmung aufweisen mussten, um als nachweisfrei zu gelten. Diese Dächer funktionieren zwar theoretisch, im Fall von Einbaufeuchte oder konvektiv durch Leckagen eingetragene Feuchtigkeit bieten sie jedoch quasi keine Austrocknungsmöglichkeiten und können leicht zu Schäden führen.

Im Gegensatz dazu gab es gute Erfahrungen mit einschaligen hölzernen Flachdächern, welche als raumseitige Luftdichtungsebene eine feuchtevariable Dampfbremse aufwiesen. Ziel des Forschungsprojekts war die systematische Untersuchung solcher bislang normnonkonformen, aber praxistauglichen Aufbauten.

Das Forschungsprojekt wurde finanziert aus Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesamts für Bauwesen und Raumordnung und der Industriepartner Egger Holzwerkstoffe Wismar GmbH & Co. KG, Glunz AG, Wolfen Henkel AG & Co. KGaA, isofloc Wärmedämmtechnik GmbH, Kronoply GmbH und proclima Moll bauökologische Produkte GmbH.

Das Projekt bestand aus drei Säulen, die zusammen eine umfassende Beurteilung der Dachaufbauten ermöglichen:

1) Messungen an einem Versuchsgebäude (Bild 1) mit 8 verschiedenen Dachaufbauten,

2) Hygrothermische Simulationen zur Validierung der Materialkennwerte und zur Abschätzung der Grenzen von Randbedingungen und Nutzung sowie

3) Untersuchungen an realen Gebäuden, meist Schadensfälle.

Das Freilandversuchsgebäude an der MFPA Leipzig (Bild 1) besitzt eine 8 m x 5,5 m große Dachfläche, auf der acht Haupt- und drei Nebenvarianten realisiert wurden. Der einschalige Aufbau bestand immer (von innen nach außen) aus einer raumseitigen Dampfbremse (15 mm OSB/3 oder feuchtevariable Dampfbremse), 220 mm Vollsparrendämmung (Zellulose-Einblasdämmung oder Mineralwolle), 22 mm OSB/3-Bekplankung sowie einer schwarzen PVC-Dachabdichtung (nackt oder Gründach). Aus der Kombination dieser drei x zwei Baustoffe ergaben sich dann die acht untersuchten Hauptvarianten (Bild 2).

Die verwendete PVC-Dachabdichtung besitzt einen relativ geringen Dampfdiffusionswiderstand ( $s_d = 19\text{m}$ ), welcher sich vorteilhaft auf die hygrothermischen Verhältnisse im Dach auswirkt. Der Gründachaufbau bestand aus 60 mm mineralischem Substrat mit extensiver Begrünung.

## Messtechnik

Es wurde umfangreiche Messtechnik (Bild 3) installiert: Das Außenklima wurde komplett gemessen und aufgezeichnet (Temperatur und relative Luftfeuchte, Wind, Niederschlagsmenge, Globalstrahl-

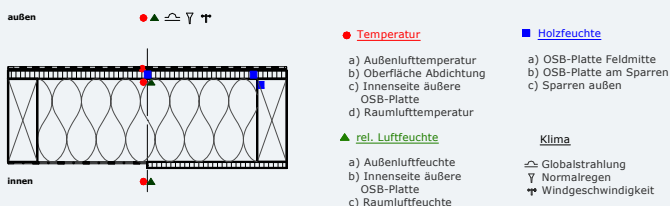
lung). Das Innenklima (Temperatur und relative Luftfeuchte) wurde gemessen und geregelt auf Jahres-Sinuskurven mit  $T = 21(\pm 1)^\circ\text{C}$  und  $\Phi = 55(\pm 5)\%$ , was eine relativ hohe Nutzungsanforderung an die Dachaufbauten darstellt.

In den acht Hauptvarianten wurden die Oberflächentemperaturen unter der Dachabdichtung, Temperatur und relative Luftfeuchte zwischen OSB-Bekleidung und Dämmung, die Holzfeuchten im Sparren sowie die Materialfeuchten der OSB-Bekleidung gemessen.

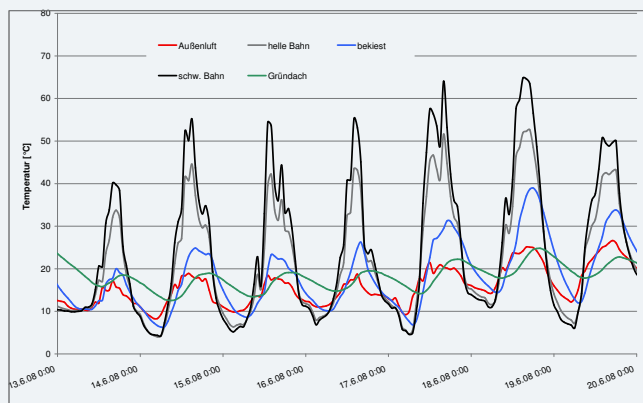
## Bewertungskriterien

Die Zerstörung von Holzbauteilen oder Holzwerkstoffplatten ist dort zu erwarten, wo hohe Materialfeuchten auftreten und das sommerli-

Die positive Wirkung des sorptiven Dämmstoffs wird auch durch die relative Luftfeuchten zwischen OSB/3-Bekleidung und Dämmung (Bild 5) gezeigt: Variante 1.2 (Zellulose-feuchtevariable Dampfbremse) weist auch im strengen Winter 2008/09 max. Luftfeuchten von nur 72 % auf. Im Gegensatz dazu steigt bei Variante 2.1 (Mineralwolle-OSB) die relative Luftfeuchte auf bis zu 95%, womit die Bildung von Flüssigwasser in den Poren erwartet werden muss. Zur Beurteilung des Risikos von Schimmelpilzbildung sind die Wertepaare von Temperatur und relativer Luftfeuchte in der kritischen Ebene noch einmal als Isoplethen dargestellt (Bild 7): Während für Varianten 1.1 und 1.2 (beide mit Zellulose-Dämmung) Wachstum von Schimmelpilz ausgeschlossen werden kann - da alle Tagesmittelwerte unter-



**Bild 3 Anordnung der Messstellen in den untersuchten Feldbereichen**



**Bild 4 Oberflächentemperatur unter der Dachabdichtung, Sommerfall, Stundenmittelwerte**

che Rücktrocknungspotenzial nicht ausreicht, die im Winter anfallende Feuchte abzuführen. Für die eingesetzten Holzwerkstoffplatten gilt, dass die Materialfeuchte nicht für einen längeren Zeitraum 18 M% überschreiten darf. Für Vollholz liegt dieser Grenzwert bei 20 M%. Für die Bewertung des Befalls mit Schimmelpilz innerhalb der Konstruktion wurden die langjährigen Untersuchungen von Viitanen [2] zu Grunde gelegt, welcher eine Grenz-Wachstums-Kurve von Temperatur und relative Luftfeuchte in der kritischen Ebene (Bilder 7 und 10) entwickelt hat.

## Ergebnisse der Messungen

### 1.) Einfluss der Deckschicht

Wie die Messungen gezeigt haben, hat die Art der äußeren Dachabdichtung einen großen Einfluss auf den hygrothermischen Zustand des Dachaufbaus. Je niedriger die Oberflächentemperatur im Winter, desto größer ist der Dampfdruckunterschied zwischen Innen- und Außenseite der Dachkonstruktion und desto größer der entsprechende Diffusionsstrom in das Dach. Der Gründachaufbau bewirkt zum Beispiel eine stetigere Außenoberflächentemperatur und wirkt im Winter wie ein thermischer Puffer. Allerdings „dämmt“ der Gründachaufbau das Dach auch im Sommer, wenn die hohen Oberflächentemperaturen die Voraussetzung für die Rücktrocknung sind. Bild 4 zeigt für eine Woche im Sommer 2008 die Oberflächentem-

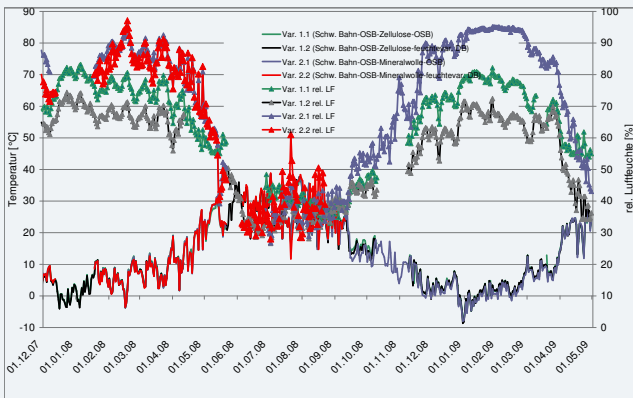
peraturen unter der Dachabdichtung: Der Temperaturunterschied zwischen Gründach und schwarzer Bahn ist sehr groß, sodass bei den Varianten mit Gründach die Rücktrocknung deutlich vermindert ist. Die winterliche „Dämmwirkung“ kann diesen Unterschied auch nicht kompensieren, wie die nachfolgenden Abbildungen (5-6 vs. 7-8) zeigen.

Interessant in Bild 4 ist ebenfalls der Unterschied zwischen schwarzer und heller Bahn, die geringere Temperatur bei der hellen Bahn ist auf die verminderte Strahlungsabsorption zurückzuführen.

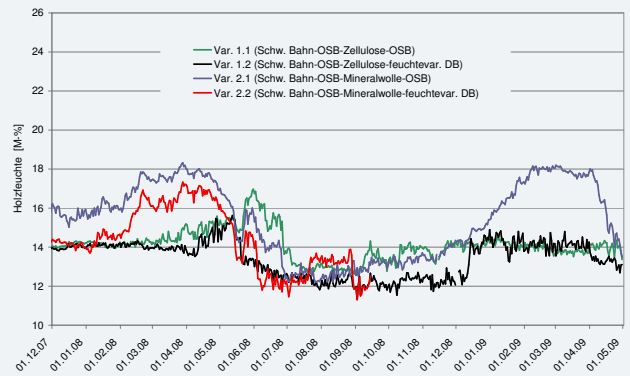
### 2.) Varianten mit schwarzer PVC-Bahn

Die Beurteilung der Dachaufbauten erfolgt jeweils aufgrund der relativen Luftfeuchte in der kritischen Ebene, zwischen OSB-Bekleidung und Dämmung, (Bild 5) und der Holzfeuchten im Sparren (Bild 6).

Die Holzfeuchten im Sparren (Bild 6) bleiben auch in den Wintermonaten für alle vier Varianten mit schwarzer Bahn unter dem kritischen Wert von 20 M%. Für Variante 2.1 (Mineralwolle-OSB) steigt die Holzfeuchte im Januar 2009 (bei sehr tiefen Außentemperaturen) stark, bis auf 18 M%, an, sinkt jedoch wieder bis Ende April. Insgesamt ist festzustellen, dass die Varianten mit Zellulose-Dämmung deutlich geringere Holzfeuchten aufweisen, da der sorptive Dämmstoff Feuchtespitzen abpuffern kann. Für Variante 4.2 (Mineralwolle-feuchtevariable Dampfbremse) kam es leider zu einem Messwertausfall ab Juli 2008.



**Bild 5 Temperatur und relative Luftfeuchte zwischen OSB/3-Beklankung und Dämmung für die Varianten mit schwarzer PVC-Bahn, Tagesmittelwerte**



**Bild 6 Holzfeuchte im Sparren für die Varianten mit schwarzer PVC-Bahn**

halb der Grenzkurve nach Viitanen [2] liegen -, muss bei den beiden anderen Varianten 2.1 und 2.2 (jeweils mit Mineralwolle) mit Schimmelpilzwachstum in Frühjahr und Herbst gerechnet werden.

**3.) Varianten mit Gründach**

Für die Varianten mit Gründach liegen auch alle vier Holzfeuchten (Bild 9) unter dem Grenzwert von 20 M%. Jedoch steigt die relative Luftfeuchte bei Variante 4.1 (Mineralwolle-OSB) auf kritische 95 % (Flüssigwasser) bzw. bis auf ca. 90 % für Variante 4.2 (Mineralwolle-feuchtevariable Dampfbremse) und Variante 3.1 (Zellulose-OSB).

Die verminderte sommerliche Austrocknung kann gut an den (sommerlichen) max. Temperaturen von 28°C (Tagesmittelwerte) abgelesen werden, während die Temperatur bei den Varianten mit schwarzer Bahn (Bild 5) bis zu 39°C im Sommer ansteigt.

In Bild 10 sind zur Abschätzung des Schimmelpilzrisikos nur die Wertepaare von Variante 3.2 und 4.1 dargestellt, da es für die beiden anderen Varianten leider zu Messausfällen im relevanten Zeitraum (Januar-April 2009) kam, und damit die Beurteilung zumindest nicht auf Basis der Messwerte erfolgen kann. Wie Bild 10 entnommen werden kann, kann für Variante 3.2 (Zellulose-feuchtevariable Dampfbremse) Schimmelpilzwachstum ausgeschlossen werden, während bei Variante 4.1 (Mineralwolle-OSB) mit Schimmelpilzwachstum gerechnet werden muss.

**Hygrothermische Simulationen**

Es wurden für alle Varianten hygrothermische Simulationen mit dem Programm WUFI durchgeführt. Dabei sollten zunächst die Materialkennwerte validiert werden. Für alle Varianten konnte dabei eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Messung und Rechnung erzielt werden. Beispielhaft sind dazu Temperatur und relative Luftfeuchte zwischen OSB-Beklankung und Dämmung für Variante 1.2 (Zellulose-feuchtevariable Dampfbremse) dargestellt (Bild 11).

Darauf aufbauend wurden dann weitere hygrothermische Simulationen durchgeführt, um andere klimatische oder konstruktive Randbedingungen in ihrem Einfluss abzuschätzen. Die Ergebnisse sind im Abschlussbericht des Forschungsvorhabens [1] dargestellt.

**Ergebnisse**

Im Forschungsprojekt konnte gezeigt werden, dass einschalige, unbelüftete Flachdachaufbauten auch in Abweichung von den derzeit noch gültigen Normen dauerhaft schadensfrei funktionieren können.

Bei keiner der untersuchten acht Varianten kam es zu Holzfeuchten oder Materialfeuchten in der OSB-Beklankung, welche auf Befall mit holzerstörenden Pilzen schließen lassen.

Trotzdem lassen sich zwischen den Aufbauten deutliche Unterschiede festmachen, welche vor allem für die Abschätzung des



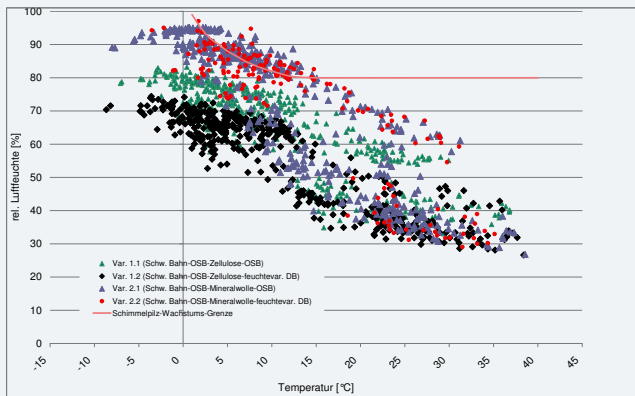
**Eine Betrachtung der baupraktischen Randbedingungen zum schadensfreien Funktionieren eines Flachdaches finden Sie ab Seite zk.**

Schimmelpilzrisikos relevant werden:

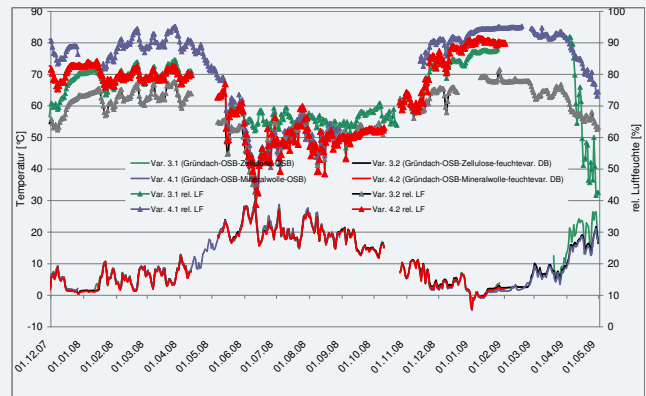
Als günstigste Variante hat sich für beide Deckschichten - schwarze PVC-Bahn und Gründach - die Kombination aus Zellulose-Einblasdämmung und feuchtevariabler Dampfbremse herausgestellt. Bei diesem Aufbau sorgt die speicherfähige Zellulose-Dämmung dafür, dass auftretende Spitzen des Dampfdiffusionsstroms (etwa bei sehr niedrigen Außentemperaturen) abgepuffert und nicht sofort an die Holzbauteile oder Holzwerkstoffplatten weitergeleitet werden, während die feuchtevariable Dampfbremse zu einer sehr guten Rücktrocknung im Sommer führt.

Abzuraten ist (für beide Deckschichten) von der Kombination aus Mineralwolle und 15 mm OSB/3 als diffusionshemmende Schicht. Im Hinblick auf den Ausschluss von kritischen Bauteilfeuchten können folgende Varianten empfohlen werden:

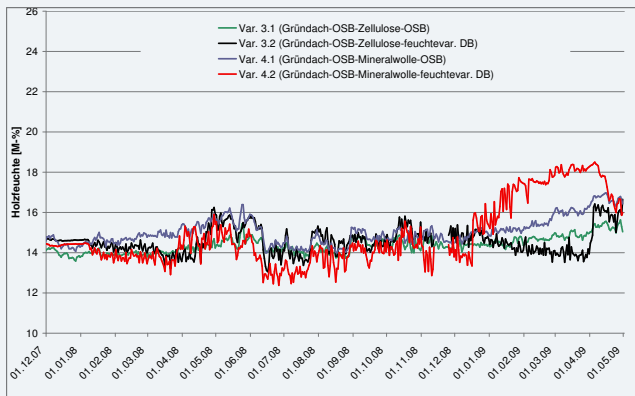
- Variante 1.2      Schwarze PVC-Bahn - OSB - Zellulose - feuchtevariable Dampfbremse
- Variante 1.1      Schwarze PVC-Bahn - OSB - Zellulose - OSB
- Variante 2.2      Schwarze PVC-Bahn - OSB - Mineralwolle - feuchtevariable Dampfbremse
- Variante 3.2      Gründach - OSB - Zellulose - feuchtevariable Dampfbremse



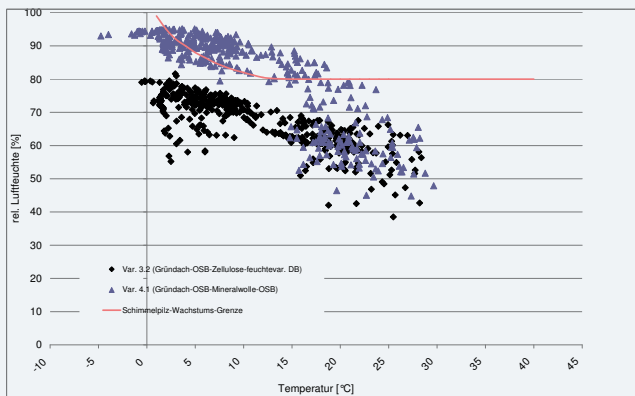
**Bild 7: Temperatur und relative Luftfeuchte (Tagesmittelwerte) zwischen OSB/3-Beplankung und Dämmung als Isoplethendarstellung (zur Abschätzung des Schimmelpilzrisikos) für die Varianten mit schwarzer Bahn**



**Bild 8: Temperatur und relative Luftfeuchte zwischen OSB/3-Beplankung und Dämmung für die Varianten mit Gründach**



**Bild 9 Holzfeuchte im Sparren für die Varianten mit Gründach**



**Bild 10 Temperatur und relative Luftfeuchte (Tagesmittelwerte) zwischen OSB/3-Beplankung und Dämmung als Isoplethendarstellung (zur Abschätzung des Schimmelpilzrisikos) für die Varianten mit Gründach**

Für die Varianten 1.1, 1.2 und 3.2 kann auch Schimmelpilzwachstum im Inneren des Dachaufbaus ausgeschlossen werden, während bei Variante 2.2 (Schw. PVC-Bahn - OSB - Mineralwolle-feuchtevariable Dampfbremse) im ersten Winter aufgrund der für die Untersuchungen gewählten Einbaufeuchte der OSB/3-Beplankung (12 M%)

Schimmelpilzwachstum nicht ausgeschlossen werden kann.

Basierend auf den Untersuchungen kann damit für die oben genannten Aufbauten eine Zuordnung zu den Umgebungsbedingungen der Nutzungsklasse 2 nach DIN 1052 sowie für die Tragkonstruktion eine Einstufung in die Gebrauchsklasse/Gefährdungsklasse 0 nach DIN 68800 erfolgen.

Selbstverständlich müssen zum schadensfreien Funktionieren einige Randbedingungen erfüllt sein. Als wichtigste Voraussetzungen seien genannt: sehr gute Ausführung der Luftdichtheitsebene, trocken verbautes Holz, keine Hohlräume, schnelles Abführen von Baufeuchte bei der Erstellung und keine Verschattung des Dachs durch Aufbauten oder Nachbarbebauung.

#### Literatur

- [1] Winter S., Fülle C. und Werther N. 2009: Experimentelle und numerische Untersuchung des hygrothermischen Verhaltens von flach geneigten Dächern in Holzbauweise mit oberer dampfdichter Abdichtung unter Einsatz ökologischer Bauprodukte zum Erreichen schadensfreier, markt- und zukunftsgerichteter Konstruktionen. Abschlussbericht des Forschungsvorhabens. Fraunhofer IRB Verlag, Mai 2009
- [2] Viitanen H. 2010: Untersuchungen und dynamische Simulationen zum Schimmelpilzwachstum in Holzbaquerschnitten. Vortrag beim Kongress „Holzschutz und Bauphysik“ 25./26.2.10 München. [www.akoeh.de](http://www.akoeh.de)

#### Autoren

**Dipl.-Ing. Claudia Fülle** ist wissenschaftliche Mitarbeiterin und Arbeitsgruppenleiterin Wärme- und Feuchteschutz, Bereich Bauphysik, an der MFPA Leipzig GmbH.  
**Dipl.-Ing. Norman Werther** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, TU München.

[www.BAUENMITHOLZ.de](http://www.BAUENMITHOLZ.de)

#### Schlagwörter

Bauphysik, Flachdach, Forschung



