



# Flachdächer in Holzbauweise bauphysikalisch richtig ausgeführt

Bernd Nusser

## Einleitung

Auf kein anderes Bauteil am Gebäude wirken so vielschichtige Belastungen ein wie auf das Dach. Mechanische Belastungen der äußeren Dachhaut durch Witterung und Wartung sowie hygrische und thermische Belastungen vom Rauminneren wie von außen fordern ein hohes Maß an Leistungsfähigkeit der Konstruktion und der eingesetzten Produkte. Die am Dachelement herrschenden Randbedingungen beeinflussen nicht nur die Wahl der eingesetzten Materialien, sondern auch die der gesamten Konstruktion. Hieraus wird deutlich, dass die Ermittlung aller Belastungen des Daches – nicht nur der statisch wirksamen – am Anfang jeder Konstruktionsplanung stehen muss.

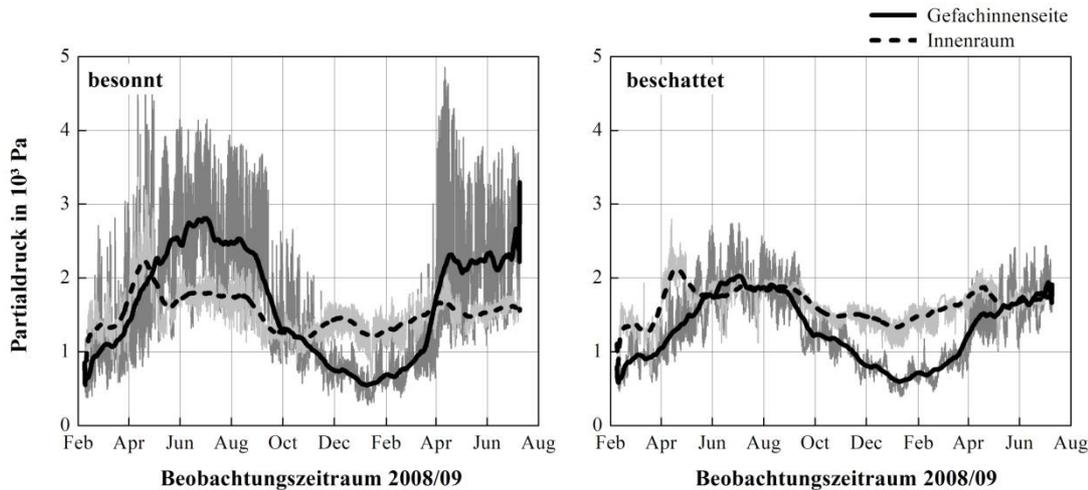
Abbildung 1 zeigt die Auswertung von 22 Gutachten bzw. persönlichen Gesprächen zu Schadensfällen an Flachdächern. Wie zu erkennen ist, ist ein Großteil der Schäden auf konvektive Feuchteinträge durch Leckagen in der innenseitigen Luftdichtheitsschicht zurück zu führen. In (Fuhrmann 2003; Hall und Hauser 2003; Kalamees et al. 2008; Mattsson 2007) werden ungenügend dichte Bauteilanschlüsse und Elektroinstallationen ebenfalls als typische Gründe für eine geringe Luftdichtheit von Gebäuden und konvektionsbedingte Feuchteschäden aufgeführt. Diverse gutachtliche Untersuchungen durch die Holzforschung Austria (HFA) bestätigen diese Aussagen und zeigen, dass 100 % luftdichte Konstruktionen bautechnisch so gut wie nicht auszuführen sind. Mögliche konvektive Feuchteinträge müssen deshalb bereits in der Planungsphase berücksichtigt werden.



**Abbildung 1:** Auswertung von 22 Gutachten bzw. persönlichen Gesprächen zu Schadensfällen an Flachdächern

Dachkonstruktionen mit außenseitigen hohen Diffusionswiderständen benötigen zum Rücktrocknen von vorhandener Feuchtigkeit hohe Temperaturen im Gefach. Hierdurch steigt der Wasserdampfpartialdruck im Gefach über den Wasserdampfpartialdruck im Innenraum und ein Diffusionsstrom vom Gefach in den Innenraum wird ermöglicht. Je deutlicher die Wasserdampfpartialdruckdifferenz zwischen Gefach und Innenraum, desto größer wird der Diffusionsstrom in den Innenraum - sprich die rücktrockenbare Feuchtigkeitsmenge. Abbildung 2 zeigt die Wasserdampfpartialdrücke in den Gefachen eines besonnten und eines beschatteten EPDM-Flachdaches und jene in den zugehörigen Innenräumen. Es ist sofort ersichtlich, dass die sommerliche Wasserdampfpartialdruckdifferenz bei dem beschatteten Dach um ein vielfaches geringer ist als bei dem besonnten Dach. Ein Rücktrocknen von im Gefach vorhandener Feuchtigkeit ist aus dem beschatteten Dach kaum möglich.

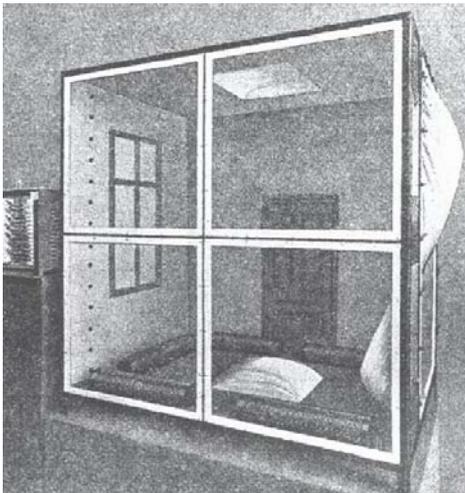
Nur wenn sowohl konvektive Feuchteinträge wie auch mögliche Beschattungssituationen bereits in der Planungsphase berücksichtigt werden, können hygrisch robuste, dauerhafte Holzkonstruktionen geschaffen werden. Der nachfolgende Artikel geht auf die Möglichkeit zur Berücksichtigung dieser Faktoren und deren Einfluss auf Foliendächer ein.



**Abbildung 2:** Wasserdampfpartialdrücke im Gefach eines besonnten und beschatteten Flachdaches und im Innenraum. Es zeigt sich die deutlich geringere sommerliche Partialdruckdifferenz im beschatteten Dach.

## 1. Feuchteintrag durch Luftleckagen

Herrscht zwischen Innenraum und Außenbereich ein Temperaturgefälle, so stellt sich aufgrund des thermischen Auftriebs an höher gelegenen Raumpositionen ein größerer Luftdruck als im Außenbereich ein. Dies zeigt die Wölbung der Folien in Abbildung 3 sehr deutlich.



**Abbildung 3** Veranschaulichung des thermischen Auftriebs in einem beheizten Raum. Die Luftdruckdifferenz zwischen Boden/Decke und Außenbereich ist anhand der gewölbten Folien klar zu erkennen (Borsch-Laaks 2006).

Aufgrund dieses Überdrucks an höheren Positionen im Raum (z.B. am Dach), wirken sich Fehlstellen in der innenseitigen Luftdichtheitsschicht dort sehr negativ aus. Diese werden quasi mit Überdruck mit Raumluft versorgt. Die Luftdruckdifferenz zwischen Innenraum und Außenbereich lässt sich gemäß Gleichung (1) berechnen (Hens 2007).

$$\Delta P = -0,0215 \cdot (T_{\text{air,ex}} - T_{\text{air,in}}) \cdot h \quad (1)$$

$\Delta P$  Druckdifferenz zwischen Innenraum und Außenbereich in Pa  
 $T_{\text{air,ex}}$  Lufttemperatur im Außenbereich in K  
 $T_{\text{air,in}}$  Lufttemperatur im Innenraum in K  
 $h$  Höhe des zusammenhängenden Luftraums im Innenraum in m



Um nun den konvektiven Feuchteeintrag durch innenseitige Luftleckagen quantifizieren zu können, wurden die Baupläne von 50 Einfamilienhäusern (EFH) bezüglich Ihrer Elektroinstallationen und anderweitigen Durchdringungen hin ausgewertet. Unter der Annahme, dass die in den EFH erfassten Leckagen verallgemeinert durch ein nicht abgeklebtes Elektrokabel beschrieben werden können, wurde ein statistisch vorhandener Leckagevolumenstrom gewonnen (Nusser et al. 2010).

Zur Berücksichtigung möglicher Luftleckagen müssen neben den konstruktiv vorhandenen Leckagen jedoch auch die Ausführungsqualität und Fertigungsbedingungen bedacht werden. Unter Baustellenbedingungen gefertigte Konstruktionen sind anfälliger für Luftleckagen als im Werk unter optimierten Bedingungen vorgefertigte Elemente. Ebenso wird durch eine Blower-Door-Messung mit Leckageortung im Ausbauzustand die Wahrscheinlichkeit von unentdeckten Leckagen verringert.

Unter Berücksichtigung all der genannten Faktoren, lässt sich der leckagebedingte Luftvolumenstrom in Bauteile durch Gleichung (2) errechnen.

$$Q = 4 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta P^{2/3} \cdot \frac{1}{F_a} \tag{2}$$

- Q: Leckagevolumenstrom in m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.s
- ΔP Druckdifferenz zwischen Innenraum und Außenbereich in Pa
- F<sub>a</sub> Luftdichtheitsfaktor

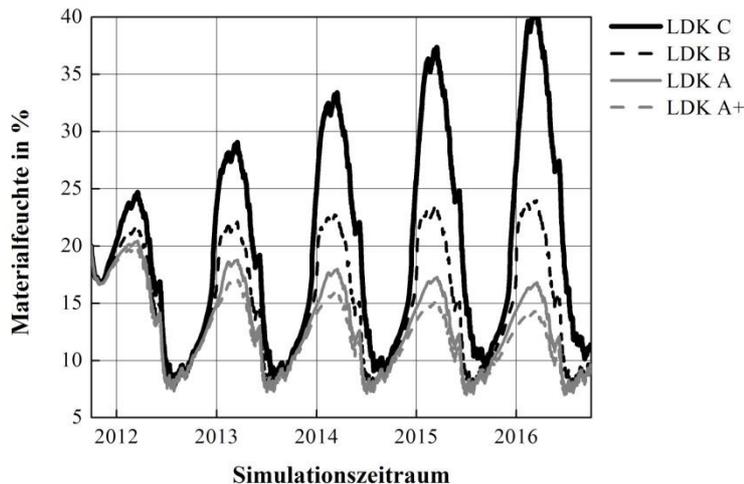
Der Luftdichtheitsfaktor F<sub>a</sub> hängt von den angesprochenen Ausführungs- und Fertigungsbedingungen ab. Um dies zu berücksichtigen werden vier Luftdichtheitsklassen definiert, welche in Tabelle 1 aufgeführt sind. Den vorgefertigten Dachelementen (LDK A+) wird demnach der geringste Leckagevolumenstrom zugeordnet. Jenen Dachelementen mit den geringsten Anforderungen (LDK C) wird hingegen der höchste Leckagevolumenstrom zugeordnet.

Die ermittelten Luftvolumenströme sollten mittels weiterentwickelter Simulationsmodelle z.B. HAM3D-VIE (Bednar 2000) oder WUFI® 5 (Künzel 1994) bereits in der Planungsphase berücksichtigt werden.

**Tabelle 1:** Definition der Luftdichtheitsklassen (LDK) für Dachelemente mit zugehöriger Gebäudeluftdichtheit n<sub>50</sub> und Luftdichtheitsfaktor F<sub>a</sub>

LDK	A+	A	B	C
<b>Definition</b>	- industriell vorgefertigt - Dampfbremssfolie und beidseitige Beplankung - vorgefertigte Bauzeitenabdichtung - ÜA od. CE Kennzeichnung - Durchdringungen mit Manschetten oder eingehaust	- Durchdringungen mit Manschetten oder eingehaust - Blower-Door inkl. Leckageortung	- Durchdringungen mit Manschetten oder eingehaust - Blower-Door inkl. Leckageortung	- Luftdichtheit nach Stand der Technik
<b>n<sub>50</sub></b>	nicht gemessen	< 1.5 h <sup>-1</sup>	< 3.0 h <sup>-1</sup>	nicht gemessen
<b>F<sub>a</sub></b>	8	4	2	1

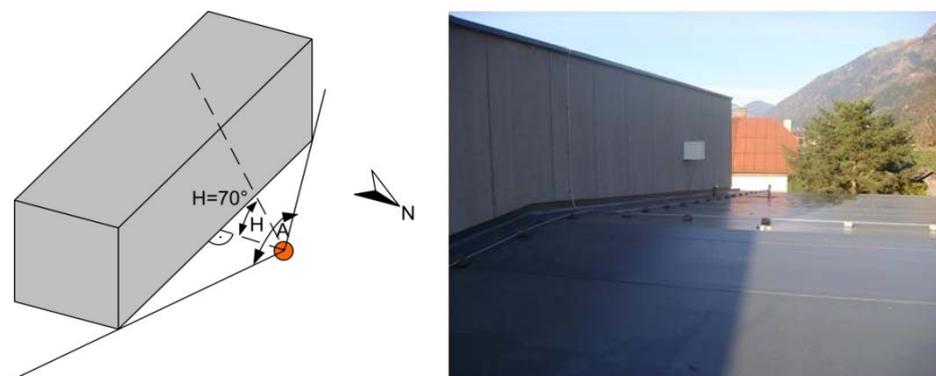
Die Materialfeuchteverläufe in Abbildung 4 verdeutlichen den Einfluss der Luftdichtheitsklassen auf den Materialfeuchtegehalt der außenseitigen Beplankung eines Flachdaches mit schwarzer Dachbahn (voll besont). Der Diffusionswiderstand der innenseitigen Dampfbremse beträgt bei diesen Simulationen konstant 2 m. Wie zu erkennen ist, steigt die Materialfeuchte bei Dachelementen, welche der Luftdichtheitsklasse C und B zugeordnet sind kontinuierlich in kritische Bereiche an. Lediglich die Dachelemente mit der Luftdichtheitsklasse A und A+ zeigen ein Rücktrocknen von erhöhten Einbaufeuchten.



**Abbildung 4:** Materialfeuchte der außenseitigen Beplankung eines Flachdaches in Abhängigkeit der Luftdichtheitsklasse (LDK)

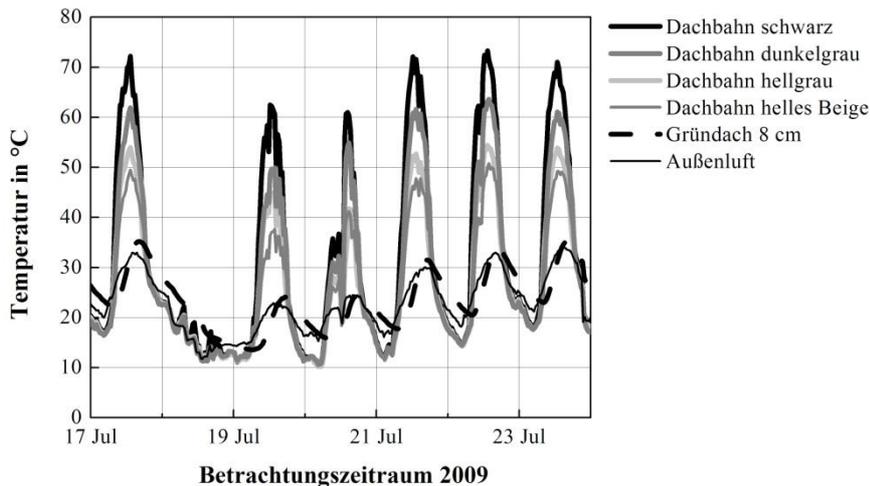
## 2. Rücktrocknung durch Sonnenenergie

Wie in der Einleitung bereits dargelegt wurde, sind hohe Temperaturen im Gefach unbedingt notwendig um die Rücktrocknung von vorhandener Feuchtigkeit aus dem Dachelement zu ermöglichen. Gelangt die Sonne aufgrund von Dachaufbauten oder hohen benachbarten Gebäuden nicht direkt auf die Dachfläche, so reduziert dies das Rücktrocknungspotential der Konstruktion enorm. Abbildung 5 zeigt eine bauliche Begebenheit, bei der die Sonne über die Mittagszeit, also über die Zeit mit der höchsten solaren Einstrahlung, den betrachteten Punkt nicht erreicht. Lediglich durch die Vormittags- und Nachmittagssonne (Änderung des Azimut A) kann der betrachtete Punkt direkt besonnt werden. Auch während des Höchststands der Sonne ist für Mitteleuropa die schattenwerfende Konstruktion zu hoch.



**Abbildung 5:** Schematische Darstellung (links) einer möglichen baulichen Situation in Mitteleuropa durch welche lediglich der veränderliche Azimut A der Sonne eine direkte Besonnung des betrachteten Punktes ermöglicht. Das Foto rechts zeigt ein gebautes Beispiel (Buxbaum 2010).

Doch nicht nur durch die Beschattung der Dachfläche wird eine Erhöhung der Dachoberflächentemperatur behindert, sondern auch durch die Wahl der Farbe der Dachabdichtung. Dunkle Dachabdichtungen erzeugen aufgrund verstärkter Absorption der Sonnenenergie höhere Temperaturen auf der Dachhaut als helle Dachabdichtungen und Dachbegrünungen dämpfen die Temperaturerhöhung auf der Dachhaut noch deutlicher. Die resultierende Dachoberflächentemperatur aufgrund verschiedener Dachfarben und bei einem Gründachaufbau zeigt Abbildung 6. Eine dauerhafte Beschattung kann bzgl. der Dachoberflächentemperatur in etwa mit einem Gründachaufbau verglichen werden. Zum Vergleich der Absorptionszahlen sind in Tabelle 2 beispielhaft jene von ausgewählten Materialien und Farben aufgeführt.



**Abbildung 6:** Gemessene Temperaturen auf der Dachoberfläche in Abhängigkeit der Dachhautfarbe bzw. unter einem Gründachaufbau und Darstellung der Außenlufttemperatur am Standort Wien

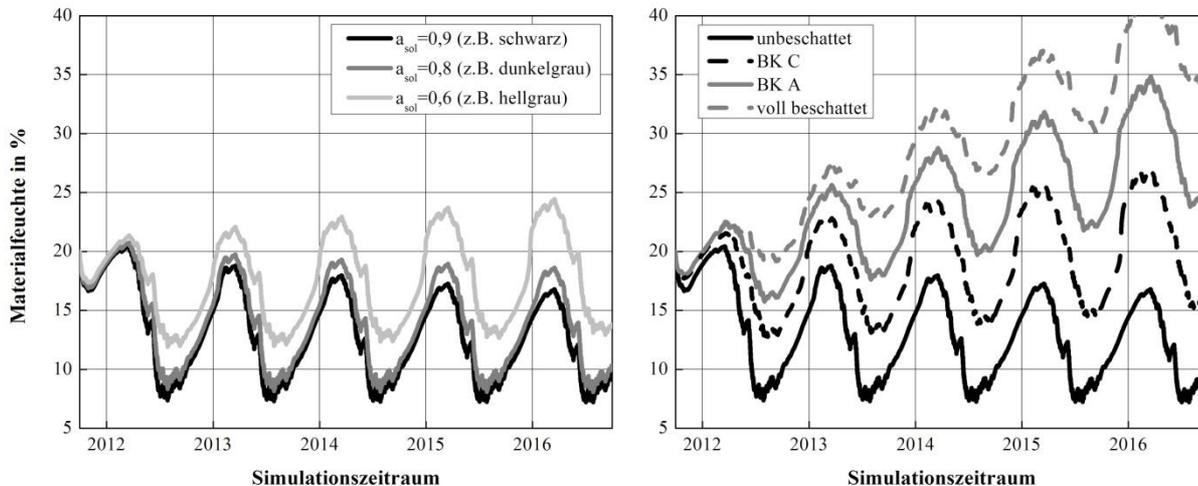
**Tabelle 2:** Solare Absorptionszahl  $a$  ausgewählter Materialien und Farben

Farbe/Material	Solare Absorptionszahl $a$
Schwarz	0,90 <sup>2</sup> 0,949 <sup>3</sup>
Dunkelbraun	0,83 <sup>2</sup>
Grau (hell; dunkel)	0,65 <sup>2</sup> ; 0,849 <sup>3</sup>
Hellgrün	0,65 <sup>2</sup>
Blau	0,65 <sup>2</sup>
Hellbeige	0,58 <sup>2</sup>
Weiß	0,21 <sup>2</sup> ; 0,234 <sup>3</sup> ; 0,26 <sup>1</sup>
Holz	0,82-0,92 <sup>1</sup>
Metallblech galvanisiert, oxidiert (bewittert)	0,80 <sup>1</sup> ; 0,86 <sup>2</sup>
Aluminium poliert	0,09 <sup>1</sup>
Ölfarbe schwarz	0,98 <sup>1</sup>
Zinkweiß	0,16 <sup>1</sup>

1: (Incropera et al. 2007) 2: (Häupl 2008) 3: (Bludau et al. 2008)

Abbildung 7 zeigt die Materialfeuchten des bereits in Abschnitt 1 simulierten Dachaufbaus mit der Luftdichtheitsklasse A jedoch bei Variation der Dachhautfarbe (linke Grafik) und bei verschiedenen Beschattungssituationen (rechte Grafik). Wie die linke Grafik zeigt, ist das simulierte Flachdach mit einer hellgrauen Dachabdichtung nicht funktionstauglich, da es über die Jahre zu einer Aufweitung der außenseitigen Beplankung kommt. Die rechte Grafik in Abbildung 7 verdeutlicht den gravierenden Einfluss der Beschattung auf die Tauglichkeit des Flachdaches. Bereits bei einer Beschattung der Dachfläche von 13:30 Uhr bis 15:30 Uhr zwischen Mitte März und Anfang August – hierdurch wird die Dachkonstruktion der

Beschattungsklasse C zugeordnet – steigt die Materialfeuchte der außenseitigen Beplankung über kritische Werte an.

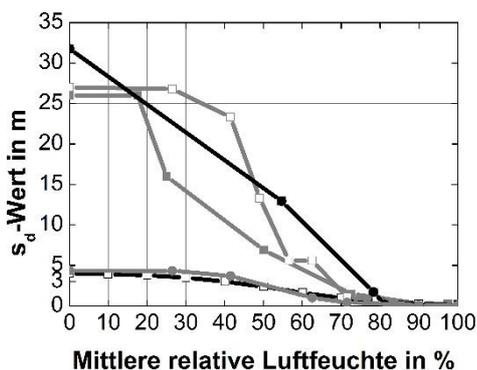


**Abbildung 7:** Materialfeuchte der außenseitigen Beplankung eines Flachdaches in Abhängigkeit des solaren Absorptionskoeffizient  $a_{sol}$  bzw. der Dachhautfarbe (linke Grafik) und der Beschattungssituation (Beschattungsklassen BK, rechte Grafik)

Bauteilspezifische Beschattungsanalysen lassen sich z.B. mit einer geeigneten Soft- und Hardware durchführen. Hierfür wird der geplante Standort z.B. fotografisch aufgenommen oder mit Hilfe von Planangaben nachgebildet und so die Dauer des Schattenwurfes errechnet.

### 3. Einfluss der Dampfbremse

Bei Flachdächern in Holzrahmenbauweise kann Feuchtigkeit im Gefach lediglich nach innen abtrocknen, ein Abtrocknen nach außen ist aufgrund der außenseitigen Dachabdichtung mit relativ hohen Diffusionswiderständen quasi nicht möglich. Um die Trocknung nach innen zu ermöglichen, darf der innenseitige Diffusionswiderstand jedoch nicht zu hoch gewählt sein, d. h. die Dampfbremse darf keinen zu hohen  $s_d$ -Wert aufweisen. Es ist inzwischen Stand der Technik für zwischensparrengedämmte Flachdächer deshalb feuchteadaptive Dampfbremsen einzusetzen. **Abbildung 8** zeigt die  $s_d$ -Werte verschiedener solcher Dampfbremsen, wie sie in der WUFI®-Materialdatenbank hinterlegt sind.

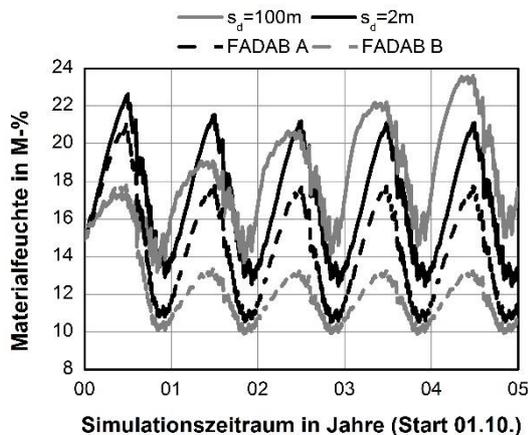


**Abbildung 8:**  $s_d$ -Werte verschiedener feuchteadaptiver Dampfbremsen entsprechend der WUFI®-Materialdatenbank

Anhand von **Abbildung 9** wird ersichtlich, wie sich der Einsatz verschiedener Dampfbremsen auf die Materialfeuchte der außenseitigen OSB im Flachdach auswirkt. Wie zu erkennen ist, verursacht der konvektive Feuchteeintrag (LDK B) bei einer innenseitigen Dampfbremse mit einem konstanten  $s_d$ -Wert von 100 m ein stetiges Aufschaukeln der Materialfeuchte. Auch die Verwendung einer moderaten Dampfbremse mit einem konstanten  $s_d$ -Wert von 2 m führt nicht zu den gewünschten Materialfeuchten von  $\leq 18$  M-%. Erst durch Verwendung einer feuchteadaptiven Dampfbremse (FADAB) wird das gewünschte Bauteilverhalten erzielt.



Wie **Abbildung 9** ebenfalls zeigt, hängt die resultierende Materialfeuchte im Flachdach auch von der Art, bzw. der  $s_d$ -Wert-Verläufe (vgl. **Abbildung 8**) der verwendeten FADAB ab. Im dargestellten Beispiel werden bei Verwendung von Produkt B deutlich geringere Materialfeuchten erreicht als bei Verwendung von Produkt A, die Verwendung von Produkt B bringt somit zusätzliche Sicherheitsreserven mit sich.

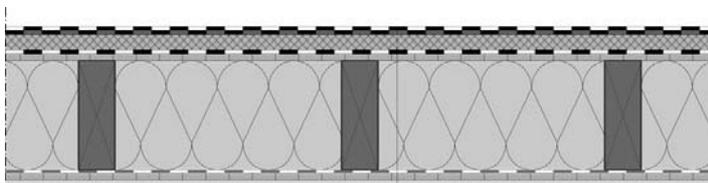


**Abbildung 9:** Materialfeuchte der außenseitigen Beplankung (OSB) eines Flachdaches in Abhängigkeit der eingesetzten Dampfbremse (FADAB = feuchteadaptive Dampfbremse) bei LDK B (Standort Hof (D))

#### 4. Sicherheit durch Zusatzdämmung

Soll ein Flachdach mit Zwischensparrendämmung aus feuchteschutztechnischer Sicht robuster gestaltet werden, so kann dies durch eine Zusatzdämmung auf der Bauzeitabdichtung erfolgen (Nusser und Teibinger 2011).

**Abbildung 10** zeigt den Aufbau eines solchen Flachdaches mit Zusatzdämmung.



##### Aufbau von außen nach innen

- Dachabdichtung ggf. mit Trennlage
- druckfeste Zusatzdämmung
- **Bauzeitabdichtung mit  $s_d \geq 100m$**
- Beplankung außen
- Dämmung und Tragstruktur
- Dampfbremse
- Beplankung innen

**Abbildung 10:** Zwischensparrengedämmtes Flachdachelement mit Zusatzdämmung auf der Bauzeitabdichtung

Der Bauzeitabdichtung kommt hierbei eine besondere Bedeutung zu. Zum einen soll diese Abdichtung das Dach während der Bauphase vor Niederschlag schützen (Achtung, Abdichtung muss schadensfrei begehrbar sein) und zum andern hindert diese Abdichtungsebene Feuchtigkeit davor, aus dem Gefach nach oben in die Zusatzdämmung zu diffundieren. Aus diesem Grund soll die Bauzeitabdichtung einen  $s_d$ -Wert von 100 m nicht unterschreiten.

Durch die aufgebrachte Zusatzdämmung wandert der Taupunkt vom Gefach nach außen Richtung Zusatzdämmung, wodurch weniger Tauwasser im Gefach entsteht. Hierdurch kann ein reduziertes Rücktrocknungspotential des Daches, z. B. aufgrund von schattenwerfenden PV-Modulen oder aufgrund eines Gründachaufbaus, kompensiert werden. Die Mindestdicke der Zusatzdämmung muss durch eine hygrothermische Simulation ermittelt werden.

#### 5. Planung von Flachdachkonstruktionen

##### 5.1. Bauphysikalischer Nachweis

Die in den Abschnitten 1 bis 4 erläuterten Einflussfaktoren sind bei der Planung des Bauteils zu berücksichtigen. Dies kann nur durch geeignete Simulationsverfahren in Anlehnung an die (ÖNORM EN 15026) erfolgen. Auch beim Einsatz von feuchteadaptiven Dampfbremsen kann nur die instationäre Simulation zur hygrothermischen,

bauphysikalischen Nachweisführung eingesetzt werden. Das stationäre Glaser-Verfahren nach (ÖNORM EN ISO 13788) bzw. (ÖNORM B 8110-2) berücksichtigt die genannten Faktoren nicht oder nur unzureichend und darf deshalb zum Tauglichkeitsnachweis von Flachdächern mit hohen außenseitigen Diffusionswiderständen nur sehr bedingt eingesetzt werden.

## 5.2. Nachweisfreie Konstruktionen

Sollen Flachdächer ohne bauphysikalischen Nachweis realisiert werden, so muss auf bereits freigegebene Konstruktionen zurückgegriffen werden. Diese konnten bisher z.B. der Planungsbroschüre für flachgeneigte Dächer (Teibinger und Nusser 2010) der HFA entnommen werden. Hierin wurden je nach zugehöriger Luftdichtheitsklasse der Konstruktion und anliegendem Innenklima spezifische Flachdachkonstruktionen empfohlen und ihre Beschattungsklassen angegeben.

Aufgrund der neuen Bewertungs- und Simulationsmethodik für Holzbauteile nach WTA und der starken Nachfrage nach der Planungsbroschüre hat sich die HFA entschlossen, die Planungsbroschüre zu überarbeiten und zeitgemäß als Webtool „Planungshilfe Flachdach“ frei zugänglich zu publizieren. Prinzipiell orientiert sich der Aufbau der Planungshilfe Flachdach am Aufbau der bekannten Bauteildatenbank [www.dataholz.com](http://www.dataholz.com) (bald [www.dataholz.eu](http://www.dataholz.eu)) was einen einfachen und bekannten Umgang mit der Planungshilfe sicherstellt. Der Zugang zum Webtool erfolgt ebenfalls über die dataholz-Website. Das Kernstück der Planungshilfe Flachdach bildet wie bei der Planungsbroschüre auch eine Variantensammlung zum Finden des geeigneten Flachdachaufbaus. Mit Hilfe von Filtereinstellungen werden die vorhandenen Randbedingungen und bei Bedarf die gesuchte Dampfbremse definiert, was Abbildung 11 beispielhaft verdeutlicht.

Suche nach Baustoffen, Bauteilen, Holz

---

Anwendungen > Planungshilfe

---

<p><b>Dachtyp</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="radio"/> Flachdach ohne Auflast</li> <li><input type="radio"/> Flachdach mit Gründachaufbau</li> <li><input type="radio"/> Flachdach mit Kiesauflage</li> </ul> <p><b>Innenklima</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="radio"/> geringe Feuchtelast (EN 15026)</li> <li><input type="radio"/> mittlere Feuchtelast (EN 15026)</li> <li><input checked="" type="radio"/> Bemessungsfeuchtelast (WTA 6-2)</li> <li><input type="radio"/> hohe Feuchtelast (EN 15026)</li> </ul>	<p><b>Standort</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="radio"/> Zwettl (AT)</li> <li><input type="radio"/> Holzkirchen (DE)</li> </ul> <p><b>Luftdichtheitsklasse</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="radio"/> LDK A+</li> <li><input checked="" type="radio"/> LDK A</li> <li><input type="radio"/> LDK B</li> <li><input type="radio"/> LDK C</li> </ul> <p><b>Absorptionszahl der Dachbahn</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="radio"/> <math>\geq 0,9</math></li> <li><input checked="" type="radio"/> <math>\geq 0,7</math></li> </ul>	<p><b>Beschattungssituation</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="radio"/> unbeschattet</li> <li><input checked="" type="radio"/> beschattet durch aufgeständerte PV-Anlage</li> <li><input type="radio"/> beschattet durch vertikale Beschattung</li> </ul> <p><b>Dampfbremse</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="radio"/> Ampack Ampatex Variano</li> <li><input type="radio"/> Ampack Ampatex Resano</li> <li><input type="radio"/> Isocell Airstop DIVA</li> <li><input type="radio"/> Pro Clima INTELLO</li> <li><input type="radio"/> Pro Clima DB+</li> <li><input type="radio"/> Würth WÜTOP DB2</li> <li><input type="radio"/> Würth Thermo Vario SD</li> </ul>
--	--	--

**Abbildung 11:** Darstellung der Filteroptionen in der neuen „Planungshilfe-Flachdach“ in welcher hygrothermisch nachgewiesene Flachdachkonstruktionen aufgeführt werden.

## 5.3. Do's and Dont's

Nachfolgend werden grundlegende Do's and Dont's für den Bau von flachgeneigten, hölzernen Dachkonstruktionen ausgesprochen.

### 5.3.1. Do!

#### ☺ Verwendung trockener Baustoffe

Viel hat sich in den letzten Jahren in Bezug auf die Verwendung von trockenem Bauholz getan. Das verwendete Bauholz – auch die Vollholzschalung – darf in Österreich nur eine Holzfeuchte von max. 18 M.-% besitzen



(ÖNORM B 2215). Für Flachdächer sollte das verwendete Holz eher eine Einbaufeuchte von max. 16 M.-% aufweisen.

#### ☺ **Maßnahmen zur Verhinderung eines Feuchteintrages während der Bauphase**

Regen während der Bauphase stellt eine sehr häufige Ursache für Bauschäden dar. Trotz des Wissens um diese Gefahr wird dem temporären Wetterschutz offensichtlich noch nicht die Bedeutung zugesprochen, die ihm gebührt. Die Herstellung eines dichten und windgesicherten Witterungsschutzes zum Feierabend gehört zur Pflicht des Zuständigen. Die hierdurch entstehenden Kosten verschwinden recht schnell gegenüber den Kosten für etwaige Sanierungsmaßnahmen und Imageverlust.

#### ☺ **Innenseitig nur so diffusionsdicht wie notwendig**

Um ein Rücktrocknen von vorhandener Feuchtigkeit aus dem Gefach von Dächern mit außenseitig hohem Diffusionswiderstand zu ermöglichen, ist innenseitig ein geringer Diffusionswiderstand notwendig. Dieser darf jedoch nur so gering gewählt werden, dass trotz der im Winter eindiffundierenden Feuchtigkeit noch immer Sicherheitsreserven vorhanden sind. Um dies zu überprüfen ist ein Tauwassernachweis unbedingt erforderlich.

#### ☺ **Feuchteadaptive Dampfbremsen**

Feuchteadaptive Dampfbremsen besitzen eine  $s_d$ -Wert-Spreizung von mehreren Metern, wodurch im Winter weniger Feuchte eindiffundiert und im Sommer deutlich mehr ausdiffundieren kann. Damit die Rücktrocknung im Sommer funktioniert, sind hohe rel. Luftfeuchten an der Dampfbremse notwendig, welche wiederum hohe Dachoberflächentemperaturen bedingen. Für den winterlichen Feuchteschutz hingegen ist ein trockenes Klima an der Dampfbremse erforderlich, weshalb z.B. Baurestfeuchte von Putzen, Estrichen u.dgl. im Winter zu Problemen führen kann. Des Weiteren sind feuchteadaptive Dampfbremsen bei feuchtem Innenklima (Schwimmbädern, Brauereien, etc.) nicht einzusetzen.

#### ☺ **Dynamische Feuchteschutzberechnung**

Zur Sicherstellung der Funktionstauglichkeit und Risikoabschätzung einer zu den nachweisfreien Aufbauten abweichenden Konstruktion sind hygrothermische Simulationen sehr gut geeignet. Vor allem beim Einsatz von feuchteadaptiven Dampfbremsen kann nur diese Art des Nachweises gewählt werden. Ausschlaggebend ist bei den Simulationen die Verwendung von Randbedingungen, die dem Nutzungsfall entsprechen.

#### ☺ **Aufdachdämmung**

Eine Aufdachdämmung stellt die sicherste Möglichkeit ein Flachdach auszuführen dar. Die Tragstruktur liegt hier im warmen Bereich und es besteht keine Gefahr von kondensationsbedingten Feuchteschäden an statisch wirksamen Bauteilen im Dach.

#### ☺ **Dunkle Dachoberflächen**

Durch hohe Dachflächentemperatur wird die Rücktrocknung von vorhandener Feuchtigkeit im Gefach stark gefordert. Dunkle Oberflächen bzw. Dachoberflächen mit einer hohen solaren Absorptionszahl sind deshalb zu bevorzugen.

#### ☺ **Elementbauweise und Vorfertigung**

Durch die Elementierung der Dachfläche wird eventuell eindringende Feuchtigkeit nicht über weite Bereiche im Dach verteilt. Auftretende Feuchteschäden bleiben „lediglich“ auf das betroffene Element begrenzt. Durch Vorfertigung können Schadensursachen wie ein Verletzen der Dampfbremse vermieden werden. Außerdem besteht die Möglichkeit die Dachabdichtung bereits (elementweise) aufzubringen, was einem schnellen Verschließen der Dachabdichtung sehr entgegen kommt.

#### ☺ **Dachneigung (Foliendächer und Unterdächer)**

Die (ÖNORM B 7220) gibt als Mindestdachneigung zwar  $1^\circ$  an, verweist jedoch auch darauf, dass bei Dachneigungen  $< 3^\circ$  mit Pfützenbildung zu rechnen ist. Stehendes Wasser auf dem Dach beeinflusst nicht nur die Temperatur im Gefach, sondern kann auch zu Schäden führen.

#### ☺ **Gleitbügelblech**

Beim Ausführen eines nicht hinterlüfteten Blechdaches hat sich die Verwendung einer Eindeckung mit Gleitbügelblechen bewährt. Aufgrund der Befestigungsart und Bördelung ermöglicht diese Art der Eindeckung einen Wasserdampftransport über die Dachfläche nach außen. Dacheinbauten sind auf ein notwendiges Minimum zu reduzieren.

#### ☺ **„Sich sehende“ Belüftungsöffnungen**

Wird ein hinterlüftetes Flachdach ausgeführt, so muss darauf geachtet werden, dass ein Luftwechsel im Belüftungsquerschnitt sichergestellt werden kann. Am ehesten ist dies durch sich direkt gegenüberliegende

Belüftungsöffnungen gegeben – ohne Verwinkelung der Belüftungsebene – um eine direkte Windanströmung zu gewährleisten.

#### ☺ **Unterdach mit Entwässerung**

Aufgrund der geringen Neigung von Hinterlüftungsebenen bei flachgeneigten Dächern ( $\geq 3^\circ$ ) ist hier ein geeignetes Unterdach mit einer Unterdeckbahn mit erhöhter Regensicherheit vorzusehen. Damit in der Hinterlüftungsebene vorhandene Feuchtigkeit nach außen ablaufen kann, muss ein geeigneter Entwässerungspfad bei der Planung ebenfalls mitberücksichtigt werden.

#### ☺ **Gewerkeübergreifend planen**

Getätigte Umfragen ergaben, dass es an den Schnittstellen zwischen den Gewerken häufig zu Ausführungsmängeln kommt. Auch hier gilt wie für alle Planungsleistungen, dass eine interdisziplinäre Planung und problembewusste Bauleitung der Schlüssel zu einer sauberen, funktionstüchtigen Schnittstelle ist.

#### ☺ **Maximale Dichtheit**

Trotz Verwendung einer feuchteadaptiven Dampfbremse und Beachtung aller bisher aufgeführten Punkte ist eine absolut professionelle Arbeit in Bezug auf die Wasser- und Luftdichtheit der Dachelemente Voraussetzung für eine dauerhafte, hochwertige Dachkonstruktion. Es ist auf wind- und luftdichte Anschlüsse Wert zu legen.

#### ☺ **Koordination des Bauablaufes zur Vermeidung erhöhter Belastung durch Baurestfeuchte**

Eine hohe Baurestfeuchte im Winter kann nicht nur beim Einsatz von feuchteadaptiven Dampfbremsen zum Problem werden. Auch beim erst nachträglichen Dämmen von innen können die äußere Beplankung sowie die Sparren bereits stark auffeuchten. Auf jeden Fall muss die Baurestfeuchte im Bauablauf beachtet und ggf. reduziert werden. Der Bauablauf ist entsprechend zu planen und zu koordinieren.

#### ☺ **Wartung!**

Um eine hohe Lebensdauer und eine lange Funktionstauglichkeit des Daches sicher zu stellen, sind Wartungen des Daches in regelmäßigen Abständen durch zu führen. Hierfür eignen sich auch Wartungsverträge mit spezialisierten Firmen.

### 5.3.2. Don't!

#### ☹ **„Dicht-dicht“-Aufbauten**

Aufgrund der quasi nicht vorhandenen „Fehlertoleranz“ sind Aufbauten mit hohen Diffusionswiderständen auf der Außen- und Innenseite unbedingt zu vermeiden.

#### ☹ **Anhaltende Beschattung der Dachfläche**

Wird die Dachfläche über einen längeren Zeitraum im Sommer nicht durch die Sonne erwärmt, so verringert sich das Rücktrocknungspotential enorm und die obere Beplankung ist über einen langen Zeitraum einer hohen rel. Luftfeuchtigkeit ausgesetzt. Bei großflächigen Dachaufbauten wie Aufdach-Solar- oder PV-Anlagen, hohen Umgebungsgebäuden und dergleichen sind deshalb objektbezogene Beschattungsanalysen erforderlich. Einen ähnlichen Effekt wie die Beschattung hat ein Gründach o.ä.

#### ☹ **Zwischensparrendämmung bei sehr feuchtem Innenklima und Grün-/Kiesdächern**

Bei sehr feuchten Innenklimaten, wie sie z.B. in Schwimmbädern oder bestimmten Produktionshallen herrschen oder bei Grün-/Kiesdächern ist eine Flachdachkonstruktion mit Aufdachdämmung die einzig sichere Variante.

#### ☹ **Nachträgliche Durchdringungen**

Durch Einplanen der Durchdringungen in den Fertigungs- bzw. Montageplan können diese am ehesten dicht ausgeführt werden. Lassen sich nachträgliche Durchdringungen nicht vermeiden, so sind unbedingt Manschetten zur Abdichtung zu verwenden. Diese sind vorzugsweise vom zuständigen Holzbauunternehmen anzubringen oder sollten zumindest von ihm abgenommen werden.

## Literaturverzeichnis

- Bednar, T. (2000): *Beurteilung des feuchte- und wärmetechnischen Verhaltens von Bauteilen und Gebäuden. Weiterentwicklung der Meß- und Rechenverfahren*. Dissertation. Wien. TU Wien, Institut für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz.
- Bludau, C.; Zirkelbach, D.; Künzel, H. M. (2008): *Surface Temperatures on Flat Roofs and Hygrothermal Consequences*. In: Rode, Carsten (Hg.): *Proceedings of the 8th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries*. Report R-189. 16-18 June 2008. Copenhagen, Denmark (Proceedings), S. 213–220.



- Borsch-Laaks, R. (2006): *Risiko Dampfkonvektion. Wann gibt s wirklich Schäden*. In: Holzbau - die neue quadriga, H. 3, S. 17–22.
- Buxbaum, C. (26.02.2010): *Trocknungspotential von teilweise beschatteten & unbelüfteten Flachdachkonstruktionen*. Veranstaltung vom 26.02.2010, aus der Reihe "Holzschutz und Bauphysik". TU München (D). Veranstalter: AKÖH.
- Fuhrmann, W. (2003): *Luft- und Winddichtheit von Holzhausbauten. Einfluss der Konstruktionsarten und Ausbaustufen*. 2. Aufl. Unter Mitarbeit von Schober, K.Peter; Teibinger, M. Herausgegeben von Holzforschung Austria. Wien. (Forschungsbericht, 357).
- Hall, M.; Hauser, G. (2003): *In situ Quantifizierung von Leckagen bei Gebäuden in Holzbauart*. Universität Kassel, Fachgebiet Bauphysik. Kassel. (Forschungsbericht, AIF-Nr. 12611 N).
- Häupl, P. (2008): *Bauphysik - Klima Wärme Feuchte Schall. Grundlagen, Anwendungen, Beispiele*: Ernst, Wilhelm & Sohn.
- Hens, H. S. (2007): *Building Physics - Heat, Air and Moisture. Fundamentals and Engineering Methods with Examples and Exercises*: Ernst, Wilhelm & Sohn.
- Incropera, F. P.; DeWitt, D. P.; Bergman, T. L.; Lavine, A. (2007): *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. 6. Aufl.: John Wiley and Sons Ltd.
- Kalamees, T.; Korpi, M.; Eskola, L.; Kurnitski, J.; Vinha, J. (2008): *The distribution of the air leakage places and thermal bridges in Finnish detached houses and apartment buildings*. In: Rode, Carsten (Hg.): Proceedings of the 8th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries. Report R-189. 16-18 June 2008. Copenhagen, Denmark (Proceedings), S. 1095–1102.
- Künzel, H. M. (1994): *Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten*. Dissertation. Stuttgart. Universität Stuttgart, Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen. Online verfügbar unter [www.bauphysik.de](http://www.bauphysik.de).
- Mattsson, B. (2007): *Studies on building air leakage. A transient pressurisation method, measurements and modelling*. Dissertation. Chalmers University of Technology (Göteborg, Sweden).
- Nusser, B.; Bednar, T.; Teibinger, M. (2010): *Euro-Glaser unter Beachtung solarer Strahlungs-/ Absorptionsbedingungen sowie druckinduzierter Feuchteinträge im Vergleich zu dynamischen Simulationen*. In: IBPSA (Hg.): BauSim 2010: Building Performance Simulation in a Changing Environment. Proceedings of the third German-Austrian IBPSA Conference. 22. - 24. September 2010. Wien , S. 535–541.
- Nusser, Bernd; Teibinger, Martin (2011): *Gründach versus Foliendach. Leistungsvergleich und Maßnahmen zur Verbesserung der hygrischen Sicherheit*. In: Holzbau - die neue quadriga (5), S. 13–17
- ÖNORM EN ISO 13788, 2013: *Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren*. Österreichisches Normungsinstitut.
- ÖNORM B 8110-2, 2003: *Wärmeschutz im Hochbau - Teil 2: Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz*. Österreichisches Normungsinstitut.
- ÖNORM EN 15026, 2007: *Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation*. Österreichisches Normungsinstitut.
- Teibinger, M.; Nusser, B. (2010): *Planungsbroschüre. Flachgeneigte Dächer aus Holz*. Wien: Eigenverlag (HFA-Schriftenreihe, 29).