

Flachgeneigte Dächer in Holzbauweise richtig ausgeführt

Do's and Dont's aus bauphysikalischer Sicht

Teibinger, Martin; Nusser, Bernd

1 Einleitung

Flachgeneigte Dachkonstruktionen aus Holz stellen und stellen einen architektonischen Trend sowohl im Wohnungsbau als auch im Objektbau dar. Grundsätzlich kann man hinsichtlich der Funktionslagen folgende Flachdachvarianten unterscheiden:

- Aufdachdämmungen (Trennung der Tragstruktur und der Dämmung)
- Zwischensparrendämmung
 - o mit entsprechenden Überlüftungsquerschnitten
 - o ohne Überlüftung, mit beidseitig angebrachten dampfbremsenden Schichten zum Teil mit hohen s_d -Werten
 - o mit Nutzschicht oberhalb der Dachabdichtung (z.B. Gründach)

Die Aufdachdämmung stellt hierbei die Variante mit dem geringsten Gefährdungspotential für die Tragstruktur dar, da der Taupunkt sich i.d.R. außerhalb der statisch wirksamen Bereiche befindet.

In den letzten Jahrzehnten wurden die Holzelemente mit beidseitig diffusionsdichten Schichten und Sparrenvoldämmung infolge ihrer bautechnischen (geringe Konstruktionshöhe) und wirtschaftlichen Vorteile forciert. Diese Varianten funktionieren bei feuchtetechnischen Berechnungen nach Glaser zwar, stellen jedoch ein schwer kalkulierbares Sicherheitsrisiko dar, da eindringende Feuchte keine Möglichkeit zum Austrocknen hat. Solche „dicht-dicht“-Aufbauten bilden eine regelrechte Feuchtefalle, da außerplanmäßig eingedrungene Feuchtigkeit weder nach außen noch nach innen austrocknen kann. In jüngster Vergangenheit mussten infolge von Feuchteintritten in die Konstruktion zum Teil schwerwiegende Schäden festgestellt werden.

Die Holzforschung Austria (HFA) führte bis dato viele Begutachtungen von flachgeneigten Dachkonstruktionen durch. Dabei zeigte sich, dass 100 % luftdichte Aufbauten bautechnisch so gut wie nicht auszuführen sind und Flachdachkonstruktionen ein dementsprechendes Rücktrocknungspotential besitzen sollten. Obwohl bereits PVC-Dachabdichtungen mit s_d -Werten von „nur“ 19,5 m erhältlich sind ist dieser aussenseitige Diffusionswiderstand noch immer deutlich zu hoch um von den Vorteilen eines diffusionsoffenen Aufbaus zu profitieren.

Häufig werden aus diesem Grund innenseitig feuchteadaptive Dampfbremsen (FADAB) [5] eingesetzt. Um das dadurch mögliche Rücktrocknungspotential auszuschöpfen, muss eine hohe mittlere relative Luftfeuchtigkeit an der Dampfbremse anliegen (Abbildung 1) und ein Partialdruckgefälle als treibendes Potential vom Gefachinnern nach außen vorherrschen. Hierfür sind i.d.R. hohe Temperaturen im Gefach notwendig. Durch Gründächer, Kiesauflagen u.ä. oder durch den Schattenwurf von Dachaufbauten und hoher benachbarter Gebäude wird eine direkte Erwärmung der Dachfläche durch die Sonne verhindert, wodurch das Rücktrocknungspotential deutlich reduziert wird. In wie weit eine Beschattung, Dachbegründungen u.ä. sowie verschiedene Materialkombinationen das hygrothermische Verhalten von hölzernen Flachdachaufbauten mit feuchteadaptiver Dampfbremse beeinflussen ist Gegenstand aktueller Diskussionen und wurde bis 2008 lediglich simulationstechnisch untersucht.

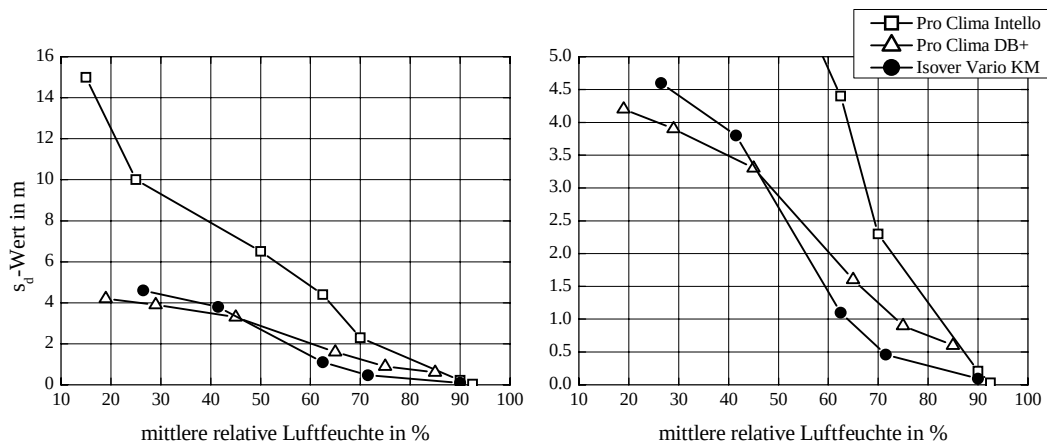


Abbildung 1: Relative luftfeuchteabhängige s_d -Werte dreier am Markt erhältlichen feuchtheadaptiven Dampfbremsen (Herstellerangaben).

2 Messtechnische Untersuchungen

Im Zuge des Forschungsprojekts „Innovative flachgeneigte hölzerne Dachkonstruktionen“ an der HFA wurden 16 Flachdachaufbauten bestehend aus 10 unterschiedlichen Dachvarianten bzgl. ihrer hygrothermischen Eigenschaften hin untersucht. Der Beobachtungszeitraum erstreckt sich von Februar 2008 bis Juli 2009. Die Dachelemente befinden sich auf zwei klimatisierten Forschungshäusern an der HFA in Wien, wobei eines der beiden Häuser (Haus B) zur Simulation einer Beschattung von einem Gitterrost aus 50 cm breiten OSB-Plattenstreifen überspannt wird (Abbildung 2, Abbildung 3 und Abbildung 4) [6].

Auf Haus A wurden zehn verschiedene Flachdachaufbauten montiert, auf Haus B wurden nochmals sechs der zehn Dachaufbauten von Haus A montiert, um diese bei beschatteten Randbedingungen zu untersuchen. Die verschiedenen Dachaufbauten können zusammenfassend Tabelle 1 entnommen werden.

Abbildung 5 zeigt die Abmessungen der EPDM-Dachelemente und die Messpositionen zum Erfassen wichtiger klimatischer Bedingungen im Gefach sowie der Materialfeuchtemesspunkte im Dachelement.

Die Dachelemente wurden durch Innenraumklimat von $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ und $(60 \pm 5) \%$ einer starken hygrischen Belastung ausgesetzt.



Abbildung 2: Südwestansicht des bauphysikalischen Forschungshauses A.



Abbildung 3: Südwestansicht des bauphysikalischen Forschungshauses B mit überspannendem Beschattungselement und darin eingelegtem Gitterrost aus OSB-Plattenstreifen.



Abbildung 4: Dachansicht des Forschungshauses B mit überspannendem Gitterrost aus OSB-Plattenstreifen zur Simulation einer Beschattung.

Tabelle 1: Schematische Darstellung der untersuchten Flachdachaufbauten, Aufbau von außen nach innen, Dämnhöhe 28 cm.

Haus A (besonnt)	Aufbau 1 ➤ EPDM ➤ OSB ➤ KVH / MiWo ➤ FADAB A ➤ MDF	Aufbau 2 ➤ EPDM ➤ OSB ➤ KVH / MiWo ➤ FADAB A ➤ OSB	Aufbau 3 ➤ EPDM ➤ OSB ➤ KVH / MiWo ➤ FADAB B ➤ MDF
Haus B (beschattet)	Aufbau 4 ➤ EPDM ➤ OSB ➤ KVH / MiWo ➤ FADAB B ➤ OSB	Aufbau 5 ➤ extensive. Begrünung ➤ EPDM ➤ OSB ➤ KVH / MiWo ➤ FADAB B ➤ MDF	Aufbau 6 ➤ EPDM ➤ OSB ➤ KVH / MiWo ➤ FADAB A ➤ Konterlattung ➤ OSB
	Aufbau 7 ➤ EPDM ➤ OSB ➤ KVH / MiWo ➤ PE-Folie ➤ MDF	Aufbau 8 ➤ Gleitbügel ➤ Unterspannbahn ➤ MDF ➤ KVH / MiWo ➤ OSB	Aufbau 9 ➤ Stehfalz ➤ Schalung ➤ Unterkonstr. ➤ Unterspannbahn ➤ MDF ➤ KVH / MiWo ➤ OSB

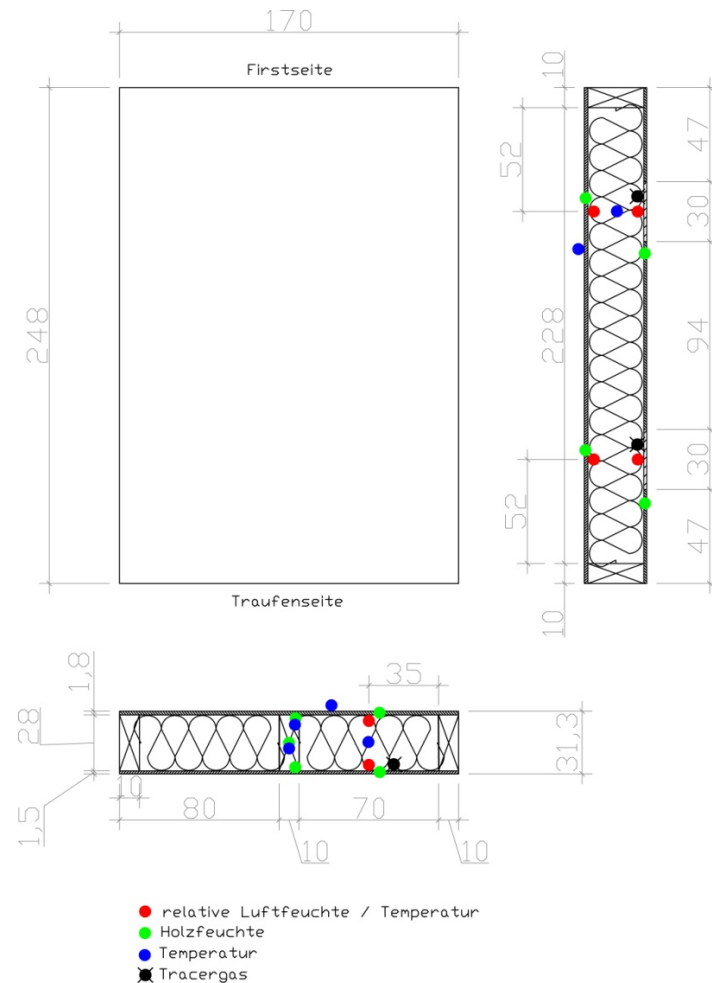


Abbildung 5: Abmessung der EPDM-Dachelemente sowie Darstellung der Messpositionen.

3 Messtechnische Ergebnisse

Nachfolgend werden exemplarisch die messtechnischen Ergebnisse der Aufbauten 1 bis 4 diskutiert:

Während des 17monatigen Beobachtungszeitraums zeigen sich noch keine wesentlichen Unterschiede im hygrothermischen Verhalten der EPDM-Dachelemente 1 bis 4. Abbildung 6 zeigt die Klimate in den besagten Dachelementen im besonnten Gebäude. Es ist zu erkennen, daß es auf der Gefachaußenseite zu Temperaturen von über 76 °C kommt und vereinzelt zu rel. Luftfeuchten von $\geq 90\%$. Gefachinnenseitig zeigen sich hingegen deutlich höheren rel. Luftfeuchten von $\geq 95\%$ bis hin zum Tauwasser wobei die dortige Temperatur sich an der Innenraumtemperatur orientiert.

Betrachtet man hingegen die Klimate in den beschatteten Dachelementen in Abbildung 7 so zeigt sich, daß gefachaußenseitig maximale Temperaturen von lediglich 40°C und ebenfalls rel. Luftfeuchten von $\geq 90\%$ erreicht werden. Diese hohen rel. Luftfeuchten werden jedoch über einen deutlich längeren Zeitraum als bei den besonnten Dachelementen erreicht. Gefachinnenseite liegt die rel. Luftfeuchtigkeit aufgrund der geringeren Feuchteumverteilung unter derer der besonnten Dachelemente.

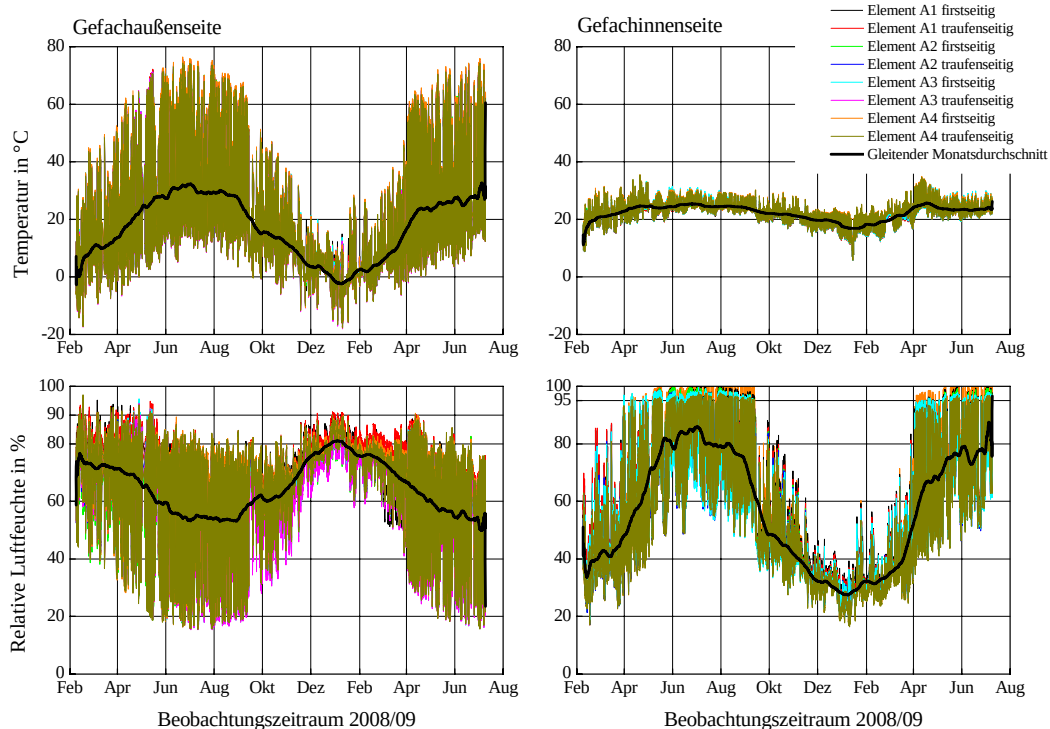


Abbildung 6: Klimate in den besonnten Dachelementen mit EPDM-Abdichtung und feuchteadaptiver Dampfbremse sowie der gleitende Monatsdurchschnitt über alle EPDM-Dachelemente 1 bis 4.

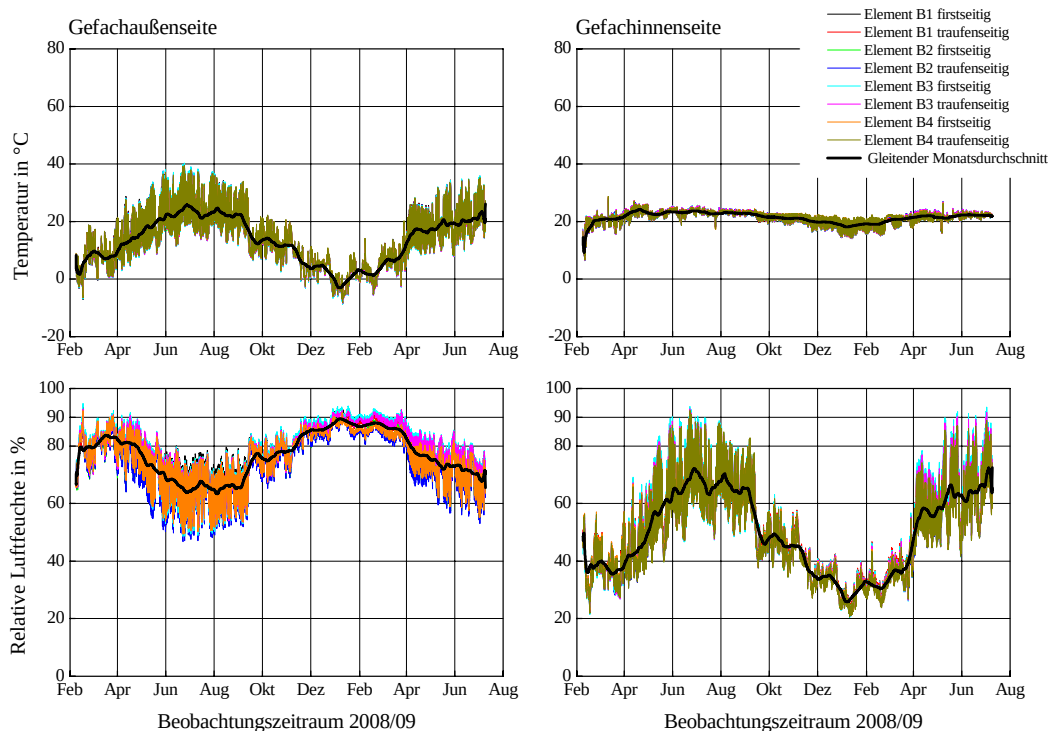


Abbildung 7: Klimate in den beschatteten Dachelementen mit EPDM-Abdichtung und feuchteadaptiver Dampfbremse sowie der gleitende Monatsdurchschnitt über alle EPDM-Dachelemente 1 bis 4.

Abbildung 8 zeigt die gemessenen Materialfeuchten der außenseitigen Beplankung (OSB) der besonnten und beschatteten EPDM-Dachelemente 1 bis 4. Wie zu erkennen ist, vermindert sich der Feuchtegehalt in den besonnten Dachelementen wohingegen jener in den beschatteten Elementen sich tendenziell erhöht hat. Vor allem im Januar bis April 2009 zeigen sich dort teilweise hohe Materialfeuchten von > 20 %.

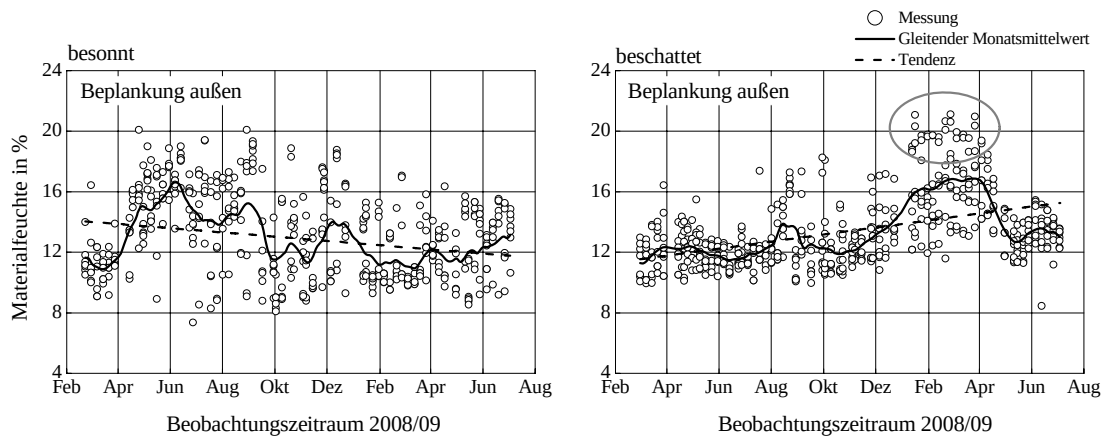


Abbildung 8: Materialfeuchte der oberseitigen Beplankung (OSB) in den besonnten und beschatteten EPDM-Dachelementen 1 bis 4 sowie des gleitenden Monatsmittelwert über alle EPDM-Dachelementen 1 bis 4

In Abbildung 9 sind die Wasserdampfpartialdrücke in den besonnten und den beschatteten Dachelementen 1 bis 4 sowie in den jeweiligen Innenräumen dargestellt. Wie zu erkennen ist, steigen die Wasserdampfpartialdrücke in den beschatteten Dachelementen in den Sommermonaten nur sehr gering über den des Innenraums. Hierdurch kann es nur zu einer geringen Rücktrocknung nach innen kommen. Bei den besonnten Dachelementen ist dieses Potential deutlich stärker ausgeprägt.

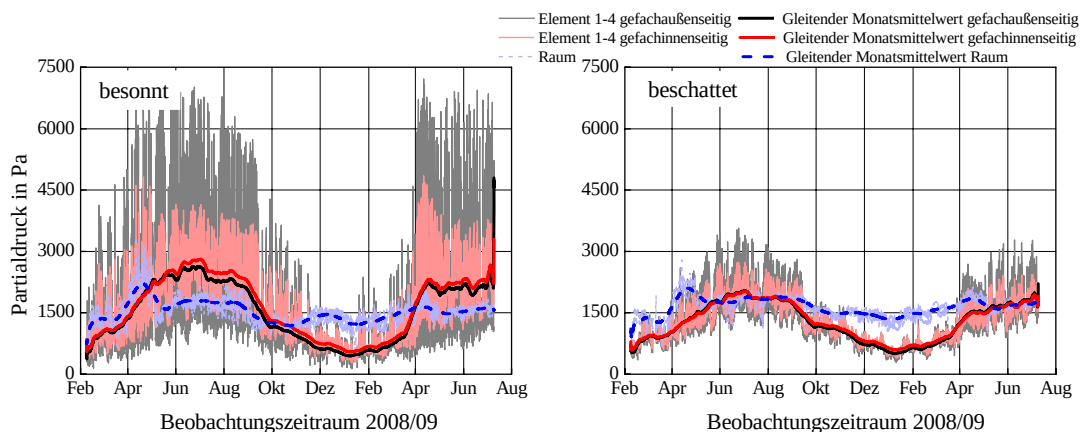


Abbildung 9: Darstellung des Wasserdampfpartialdruck in den besonnten und beschatteten Dachelementen sowie im Innenraum der Forschungshäuser.

Die Messungen zeigen also, daß aufgrund der Beschattung die rel. Luftfeuchte an der Gefachoberseite über einen sehr langen Zeitraum (hier gemessene 49 % der Zeit eines Jahres) ≥ 80 % liegt. Erst während der Sommermonate, wenn sich die Außenlufttemperatur deutlich erhöht, erhöht sich auch die Temperatur im Gefach wodurch die rel. Luftfeuchte gefachoberseitig wieder sinkt. Durch diesen feuchten und lang anhaltenden Zustand erhöht sich naturgemäß auch die Materialfeuchte der oberseitigen Beplankung was zu ernsthaften Schäden führen kann.

Zu alledem wird auch ersichtlich, daß die hohe Feuchtigkeit im Gefach - aufgrund der geringen gefachaußenseitigen Temperatur bei einem beschatteten Dach - nicht wieder nach innen abtrocknen kann.

4 Simulationstechnische Ergebnisse

Wie bereits erläutert, zeigten sich aufgrund des relativ kurzen Beobachtungszeitraums keine wesentlichen Unterschieden in den untersuchten Dachelementen des selben Konstruktionstyps. Um dennoch eine Aussage auf die unterschiedlichen Wirkungsweisen der eingesetzten Materialkombinationen und über das Langzeitverhalten der Konstruktionen machen zu können, wurden numerische Simulationsprogramme eingesetzt. Auch in der Normung haben solche Simulationen bereits Einzug gehalten. So wird in der ÖNORM EN 15026 [9] darauf hingewiesen, daß die instationäre wärme- und feuchtetechnische Simulation detailliertere und genauere Informationen zur Gefahr feuchtebedingter Probleme in Bauteilen liefert, als das bekannte Glaser-Verfahren aus

dem Jahr 1959 [3] und zur Entwicklung entsprechender Abhilfemaßnahmen herangezogen werden kann. Während manche dieser Programme bereits kommerziell eingesetzt werden (z.B. WUFI [2]) dienen andere der Entwicklung neuer Berechnungsansätze und werden schwerpunktmäßig in der Forschung eingesetzt. So auch das an der TU-Wien entstandene und in Kooperation mit der HFA weiterentwickelte numerische Simulationsprogramm HAM3D-VIE [1]. Diese Software wurde mit den in den Forschungsdächern gewonnenen Messdaten validiert und unter anderem durch die Möglichkeit der Leckagesimulation erweitert.

Nachfolgend wird als exemplarisches Simulationsergebnis aufgezeigt wie sich eine Leckage auf das hygrischen Verhalten eines Flachdachaufbaus entsprechend Aufbau 1 in Tabelle 1 mit unterschiedlichen Dampfbremsen auswirkt. Hierzu wird eine nicht abgeklebte Durchdringung einer elektrischen Leitung durch die Dampfbremse entsprechend Abbildung 10 simuliert.



Abbildung 10: Simulierte, nicht abgeklebte Durchdringung eines Elektrokabels durch die Dampfbremse [4].

Wie in Abbildung 11 zu sehen ist, steigt der Gesamtwassergehalt des Dachelements mit PE-Dampfbremse aufgrund des fehlenden Rücktrocknungspotentials tendenziell an. Die Dachelemente mit den feuchteadaptiven Dampfbremsen hingegen können mit der kleinen Leckage schadensfrei umgehen. Hierbei ist jedoch zu beachten, daß als Randbedingungen im Winter ein relativ trockenes Innenklima von 40 % rel. Luftfeuchte und als Außenbedingung das Wiener Klima herangezogen wurde. Im Übrigen wird dieses Dachelement bei der Simulation zu keiner Zeit beschattet.

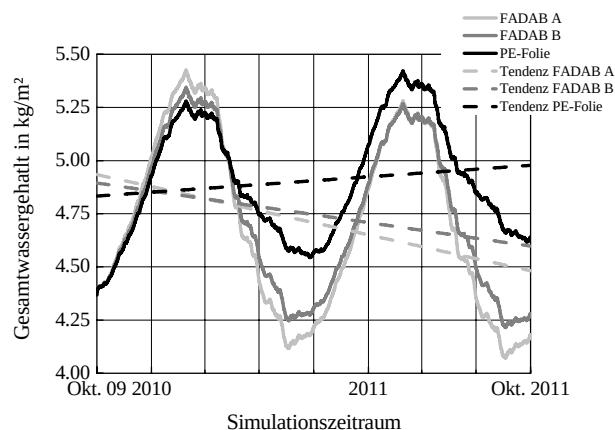


Abbildung 11: Gesamtwassergehalt pro m² Dachfläche bei der Simulation eines nicht abgeklebten Elektrokabels und der Verwendung unterschiedlicher Dampfbremsen.

5 Zusammenfassung

Basierend auf den getätigten Untersuchungen, Gutachten und Simulationen können folgende Aussage zu den Do's (Tu es) and Dont's (Lass sein) bei der Flachdachplanung und Ausführung gemacht werden.

Den Planern und ausführenden Betrieben wird Mitte des Jahres von der HFA eine Broschüre zur Verfügung gestellt, in welcher Konstruktionsempfehlungen in Abhängigkeit der vorhandenen Randbedingungen ausgesprochen und wichtige Detailausbildungen zu flachgeneigten hölzernen Dachkonstruktionen aufgezeigt werden.

:

5.1 Do it (Tu es)!

☺ Dichtes Notdach zum Feierabend

Regen während der Bauphase stellt eine sehr häufige Ursache für nachfolgende 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 Notdaches zum Feierabend gehört zur Pflicht des Zuständigen. Die hierdurch entstehenden Kosten verschwinden recht schnell gegenüber den Kosten für etwaige Sanierungsmaßnahmen und Imageverlust. Auch abschnittsweises Arbeiten und sofortiges Fertigstellen der Dachfläche verringert die Gefahr einer Auffeuchtung durch Niederschlag.

☺ Innenseitig nur so diffusionsdicht wie maximal notwendig

Um ein Rücktrocknen von vorhandener Feuchtigkeit aus dem Gefach 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 Spreizung im s_d -Wert (mehrere Meter Differenz zwischen min. und max. s_d -Wert), 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 im Winter zu Problemen führen kann.

☺ Dynamische Feuchteschutzberechnung

Zur Sicherstellung der Funktionstauglichkeit einer Konstruktion sind hygrothermische Simulationen sehr gut geeignet. Vor allem beim Einsatz von feuchteadaptiven Dampfbremsen kann nur diese Art des Nachweises gewählt werden. Bei den getätigten Simulationen zeigten 2D-Rechnungen eine bessere Übereinstimmung mit den Messwerten als 1D-Rechnungen. Ausschlaggebend ist bei den Simulationen jedoch 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 einem solaren Absorptionskoeffizienten von $\geq 0,6$ sind deshalb zu bevorzugen.

☺ Elementbauweise

Durch die Elementierung der Dachfläche wird eventuell eindringende Feuchtigkeit nicht über weite Bereich im Dach verteilt wodurch sich auftretende Feuchteschäden „lediglich“ auf das betroffene Element begrenzen.

☺ Maximale Vorfertigung

Hierdurch können Schadensursachen wie ein Verletzen der Dampfbremse vermieden werden. Außerdem besteht die Möglichkeit die Dachabdichtung bereits (elementweise) aufzubringen was einem schnelle Verschließen der Dachabdichtung sehr entgegen kommt.

☺ 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.

☺ Dachneigung $\geq 3^\circ$ (bei Foliendächer)

Die ÖNORM B 7220 [8] gibt als Minstdachneigung 1° 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 versorgt eventuell vorhandene kleine Undichtheiten auch stetig mit Wasser. Deswegen werden bei Foliendächern Dachneigungen über 3° empfohlen.

☺ Dachneigung $\geq 7^\circ$ (bei Blechdächer)

Nach ÖNORM B 2221 [7] darf in keinem Bereich des Daches eine Dachneigung von 5° unterschritten werden. Um dies auch im Traufenbereich, an Kehlen und in Sparrenmitte sicher zu stellen wird für Blechdächer eine Dachneigung nicht unter 7° empfohlen. Dies unterstützt wie bereits erwähnt auch eine ggf. vorhandene Belüftung.

☺ 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 nach außen diffusionsoffenen Aufbau gemäß Aufbau 8 in Tabelle 1. Ggf. kann zusätzlich noch ein Wirrgelege auf der Unterspannbahn eingesetzt werden.

☺ „Sich sehende“ Belüftungsöffnungen

Wird ein hinterlüftetes Blechdach ausgeführt, so sollte darauf geachtet werden, daß ein Luftwechsel im Belüftungsquerschnitt sichergestellt werden kann. Am ehesten ist dies durch sich direkt gegenüberliegende Belüftungsöffnungen – ohne Verwinkelung der Belüftungsebene – zu gewährleisten. Natürlich spielen die Größe des Belüftungsquerschnitts, die Dachneigung sowie die Windanströmung ebenfalls eine wichtige Rolle. Hierzu werden derzeit weitere Untersuchungen an den HFA durchgeführt.

5.2 Don't do it (Lass es sein)!

☹ „dicht-dicht“-Aufbauten

Die Nachteile von Dachaufbauten mit beidseitig angebrachten hohen Diffusionswiderständen – sogenannten „dicht-dicht“-Aufbauten – wurden bereits erläutert. Aufgrund der quasi nicht vorhandenen „Fehlertoleranz“ solcher Aufbauten sind diese unbedingt zu vermeiden.

☹ Anhaltende Beschattung der Dachfläche

Wird die Dachfläche über einen längeren Zeitraum 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. Großflächige Dachaufbauten und eine hohe Attika sollten deshalb vermieden werden. Einen ähnlichen Effekt wie die Beschattung hat ein Gründach o.ä.

☹ Holzfeuchten $> 18\%$

Viel hat sich in den letzten Jahren im Bezug auf die Verwendung von trockenem Bauholz getan. Glücklicherweise, denn nach außen diffusionsdichte Dachaufbauten reagieren empfindlich auf zu hohe Materialfeuchten. Es soll hier deshalb noch mal darauf hingewiesen werden, dass das verwendete Bauholz – auch die Vollholzschalung – eine Holzfeuchte von max. 18 % besitzen darf [10]. Für Flachdächer sollte das verwendete Holz eher eine Einbaufeuchte von max. 16 % aufweisen.

☹ Zwischensparrendämmung bei sehr feuchtem Innenklima.

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

⊗ Nachträgliche Durchdringungen

Nachträgliche, auf der Baustelle gesetzte Durchdringungen sind nur mit hoher Sorgfalt wieder dicht abzuschließen. Durch Einplanen der Durchdringungen in den Fertigungs- bzw. Montageplan können diese am ehesten sauber ausgeführt werden. Lassen sich nachträgliche Durchdringungen nicht vermeiden, so sind unbedingt Manschetten als spezielle Abdichtungssysteme zu verwenden. Diese sind vorzugsweise vom zuständigen Holzbauer an zu bringen oder sollten zumindest von ihm abgenommen werden.

⊗ Hohlräume in der Wärmedämmung

Hohlräume in der Wärmedämmung ermöglichen die Luftkonvektion im Gefach, wodurch sich Feuchtigkeit schnell am kühlssten Ort sammeln kann. Es hat sich gezeigt, dass auch nur partiell nicht sauber anliegender Dämmstoff zu Problemen in dämmstofffreien Bereichen auf der Kaltseite führen kann. Aus diesen Gründen sollte das Gefach zu 100% ausgedämmt sein.

⊗ Hohe Baurestfeuchte im Winter

Eine hohe Baurestfeuchte im Winter kann nicht nur beim Einsatz von feuchteadaptiven Dampfbremsen zum Problem werden. Auch beim nachträglichen Dämmen von innen können die äußere Beplankung sowie die Sparren bereits stark auffeuchten. Auf jeden Fall muss die Baurestfeuchte bei der Planung beachtet und im Bauablauf ggf. reduziert werden.

6 Literaturverzeichnis

- [1] Bednar, T. (2000): *Beurteilung des feuchte- und wärmetechnischen Verhaltens von Bauteilen und Gebäuden. Weiterentwicklung der Meß- und Rechenverfahren. Dissertation.* TU Wien, Institut für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz.
- [2] IBP / Software / WUFI. Fraunhofer-Institut für Bauphysik (Holzkirchen). Online verfügbar unter <http://www.wufi.de/>, zuletzt geprüft am 21.04.2009.
- [3] Glaser, H. (1959): *Grafisches Verfahren zur Untersuchung der Diffusionsvorgänge.* In: Kältetechnik, H. 10, S. 345–349.
- [4] Hall, M.; Hauser, G. (2003): *In situ Quantifizierung von Leckagen bei Gebäuden in Holzbauart.* Universität Kassel, Fachgebiet Bauphysik. Kassel. (Forschungsbericht, AIF-Nr. 12611 N).
- [5] Künzel, H. M.; Kaufmann, A. (1995): *Feuchteadaptive Dampfbremse für Gebäudedämmungen.* Fraunhofer-Institut für Bauphysik (Holzkirchen). IBP-Mitteilung, 268.
- [6] Nusser, B.; Neubauer, G., Polleres, S. (2008): *Angewandte Bauforschung. Forschungsgebäude zu hygrothermischen Bauteiluntersuchungen unter Realbedingungen errichtet.* In: HFA-Magazin, Jg. 6, H. 1, S. 3–5.
- [7] ÖNORM B 2221, 2002-02-01: *Bauspenglerarbeiten - Werkvertragsnorm.*
- [8] ÖNORM B 7220, 2002-07-01: *Dächer mit Abdichtungen.*
- [9] ÖNORM EN 15026, 2007-06-01: *Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation.*
- [10] ÖNORM B 2215, 2009-07-15: *Holzbauarbeiten – Werkvertragsnorm*

Die im Beitrag dargestellten Ergebnisse wurde im Rahmen eines vom FFG geförderten Forschungsprojektes unter Beteiligung der Firmen Dachtec, Harrer, Glöckl, Kaufmann Bausysteme, Maier, Roth, Schertler und WieHag erarbeitet.