

Problemlösungen für schwierige bauphysikalische Sanierungen: Variable Dampfbremse - Fallbeispiele

Hartwig M. Künzel

Fraunhofer-Institut für Bauphysik
(Leiter: Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. mult. Dr. E.h. mult. Karl Gertis)

Kurzfassung

Bei der Sanierung von Gebäuden wird der Planer oder ausführende Handwerker zum Teil mit schwer lösbaaren Feuchteschutzproblem konfrontiert, wenn es gilt die vorhandene Bausubstanz durch zusätzliche Dämmung möglichst kostengünstig auf ein modernes Anforderungsniveau zu heben. Dabei kann insbesondere der Einsatz von herkömmlichen Dampfsperren für den Tauwasserschutz unerwünschte Nebenwirkungen haben. Häufig sind traditionelle Wand- und Dachkonstruktionen, wie z.B. Fachwerkwände oder Steildächer mit dampfdichter Vordeckung (Dachpappe) darauf angewiesen, auch zur Raumseite hin austrocknen zu können. Wird dies durch Dampfsperren verhindert können kleine Ausführungsmängel rasch zu großen Feuchteschäden führen. Durch die Betrachtung des instationären Temperatur- und Feuchteverhaltens von Außenbauteilen wird deutlich, dass der Versuch einer hermetischen Abdichtung große Nachteile besitzt und besser durch ein kontrolliertes Feuchtemanagement ersetzt werden sollte. Das heißt, statt Dampfsperren lieber dampfbremsende Bauteilschichten einsetzen und in schwierigen Fällen auf Dampfbremsen mit variablem Diffusionswiderstand zurückzugreifen, um ein ausreichendes Austrocknungspotential zu gewährleisten. Anhand von vier Fallbeispielen wird gezeigt, wie variable Dampfbremsen funktionieren und welchen günstigen Einfluss sie, im Vergleich zu konventionellen Dampfsperren auf das Feuchteverhalten von Bauteilen nach der Sanierung haben.

1. Einleitung

Altbauten, seien es denkmalgeschützte Prachtbauten oder weniger ästhetische Nachkriegsgebäude haben eines gemeinsam: Ihr Wärmeschutz entspricht in der Regel nicht den heutigen Anforderungen an den Wohnkomfort und den Heizenergiebedarf. Deshalb muss bei der Altbausanierung in erster Linie auf eine energetische Verbesserung des Gebäudes abgezielt werden. Meist wird der größte Energieeinspareffekt durch eine Erhöhung der Wärmedämmung erreicht. Dabei sind jedoch durch die vorhandene Bausubstanz und das Budget häufig enge bauphysikalische Grenzen gesetzt. Vor allem beim Anbringen einer Innendämmung oder beim nachträglichen Ausbau von Dachgeschossen können Probleme mit dem Feuchteschutz der Konstruktion auftreten. In solchen Fällen kann der Einsatz einer variablen Dampfbremse die Situation oft verbessern. Die variable oder feuchteadaptive Dampfbremse passt ihren Dampfdiffusionswiderstand so den Umgebungsbedingungen an, dass die Feuchtebilanz von Bauteilen, d.h. die Bilanz aus Feuchteaufnahme und -abgabe deutlich verbessert wird. Im folgenden wird die Funktionsweise dieser Dampfbremse unter den instationären Wärme- und Feuchteverhältnissen in der Praxis beschrieben und ihre Wirkung anhand von unterschiedlichen Fallbeispielen aufgezeigt.

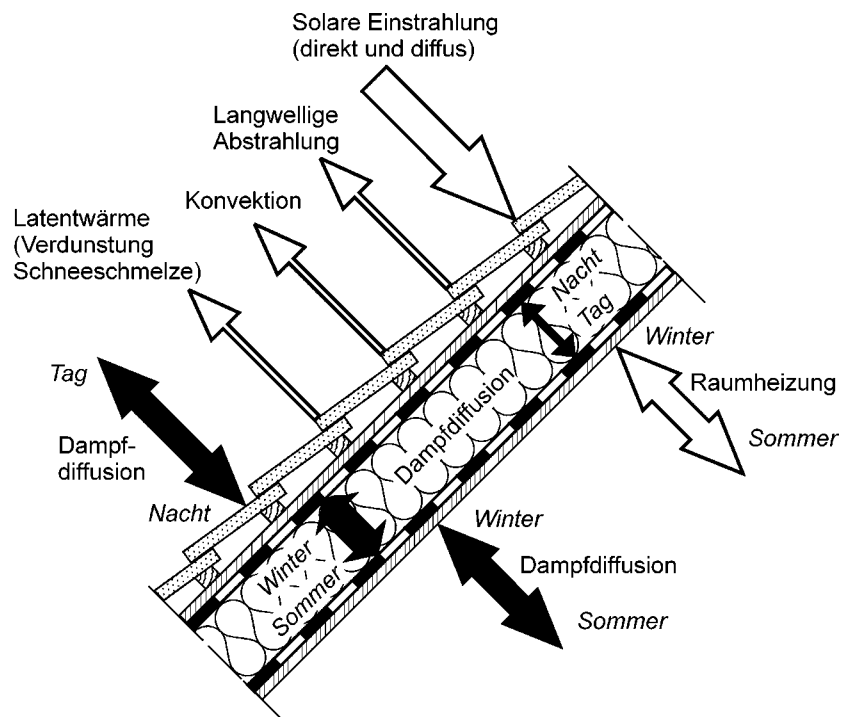


Bild 1 Schematische Darstellung der wärme- und feuchtetechnischen Einwirkungen und deren Richtungen bei einer Dachkonstruktion.

2. Instationäres Temperatur- und Feuchteverhalten von Außenbauteilen

Die Hauptaufgabe von Außenbauteilen ist der Schutz von Gebäuden vor den natürlichen Witterungsbedingungen. Neben Niederschlag und Wind, die nur sporadisch auftreten, sind hier vor allem die Sonnenstrahlung und die Außenluftbedingungen von Bedeutung. In Bild 1 sind diese hygrothermischen Einflüsse und ihre Wirkungsrichtungen am Beispiel eines Steildaches schematisch dargestellt. Die meisten Einflussfaktoren unterliegen an der Außenoberfläche tageszeitlichen und raumseitig saisonalen Schwankungen oder sogar Richtungsänderungen. Tagsüber wird der Dacheindeckung durch Sonneneinstrahlung Wärme zugeführt, was zu einer Temperaturerhöhung führt bis sich ein Gleichgewicht mit der Wärmeabgabe nach innen durch Wärmeleitung und nach außen durch langwellige Abstrahlung, Konvektion und eventuell Latentwärmeeffekte bei Phasenumwandlungen (Verdunsten von Niederschlagswasser oder Schneeschmelze) einstellt. Bereits vor Sonnenuntergang, wenn die solare Einstrahlung zurückgeht kann die langwellige Abstrahlung vor allem an klaren Tagen zu einer deutlichen Unterkühlung und damit einer Betauung des Daches führen. Bei einer mittleren Betauungszeit von ca. 300 Stunden pro Monat werden der Außenoberfläche von gut gedämmten Dächern dadurch monatlich zwischen 2 kg/m^2 (Winter) und 8 kg/m^2 (Sommer) Tauwasser zugeführt. Bei Belüftung des Daches können entsprechende Tauwassermengen auch in der Belüftungsebene anfallen und zu einer deutlichen Befeuchtung der Sparren führen [1].

Die Vorgänge an der Dachoberfläche wirken sich auch auf die instationären Temperatur- und Feuchteverhältnisse in der Konstruktion aus. Die tagsüber erhöhte Außenoberflächentemperatur bedingt eine Dampfdiffusion weg von den äußeren Bauteilschichten ins Innere des Daches bzw. bei diffusionsoffenen Konstruktionen auch eine Feuchteabgabe an die Außenluft. Welche Ausmaße die Feuchteumlagerung nach innen annehmen kann ist in Bild 2 am Beispiel eines nach Süden orientierten Blechdaches dargestellt. Dort sind die gemessenen Verläufe der Dachoberflächentemperatur und der relativen Luftfeuchte zwischen Dampfbremse und Mineralwollendämmung für einem klaren Wintertag aufgezeichnet [2]. Bei winterlichen Außenlufttemperaturen steigt die Temperatur der Blecheindeckung von -15°C in der Nacht auf 70°C an. Dieser starke Temperaturanstieg treibt die Feuchte der Holzschalung (Tragschalung für die Blecheindeckung) in das Dachinnere. Deshalb steigt die Feuchte zwischen Dampfbremse und Dämmung mit einer leichten Verzögerung von unter 10% auf über 90% r.F. an. In der Nacht, wenn die Dachoberflächentemperatur wieder unter die Temperatur des beheizten Innenraumes fällt dreht sich der Dampfdiffusionsstrom um und die relative Feuchte hinter der Dampfbremse geht nach einiger Zeit auf den Ausgangszustand zurück. Diese Messungen zeigen deutlich die täglichen Feuchteschwankungen, die in einem Bauteil durch Dampfdiffusion auftreten können. In der Regel ist jedoch der nächtliche Diffusionsstrom im Winter größer als die sonnenbedingte Umkehrdiffusion, so dass die Feuchte im Winter über einen längeren Zeitraum betrachtet nach außen wandert. Im Sommer nimmt die Umkehrdiffusion entsprechend zu, so dass sich die Feuchte größtenteils nach innen verlagert bzw. zur Raumseite hin austrocknet, wenn sie nicht durch eine Dampfsperre daran gehindert wird.

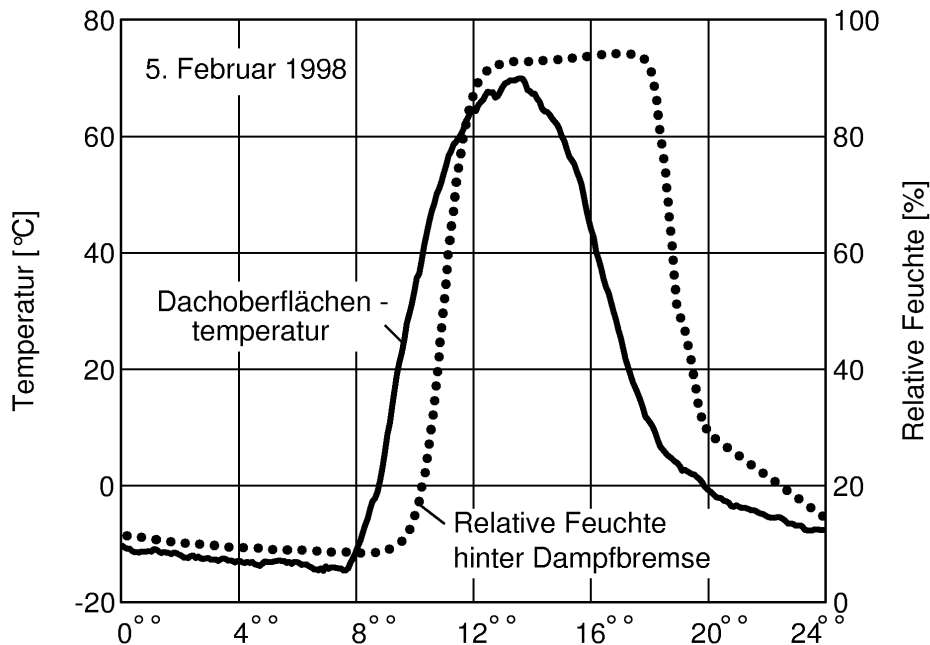


Bild 2 An einem klaren Wintertag bei einem nach Süden orientierten unbelüfteten Blechdach (Neigung 50°) gemessene Verläufe der Oberflächentemperatur (Temperatur der Blecheindeckung) und der relativen Luftfeuchte zwischen Dampfbremse und Mineralwolldämmung.

3. Feuchtemanagement, der moderne Feuchteschutz

Wie bereits gezeigt sind die hygrothermischen (temperatur- und feuchtebedingten) Beanspruchungen von Außenbauteilen vielfältig. Bewitterte Dächer und Fassaden sind ausgeprägten Wechsellasten ausgesetzt. Dabei überlagern sich meist mehrere Belastungszyklen, wie z.B. der Sommer/Winter-, Tag/Nacht-, Regen/Sonnenschein-Zyklus. Aufgrund der daraus resultierenden Bauteilbewegungen bzw. Materialspannungen sowie Alterungs- oder Schädigungsprozessen sind die hygrothermischen Beanspruchungen entscheidend für die Lebensdauer eines Bauteils. Die raumseitigen Wechsellasten, vor allem der Sommer/Winterzyklus sowie nutzungsbedingte Temperatur- und Feuchtechsel sind in der Regel weniger bedeutend, was ihre mechanischen Auswirkungen anbelangt. Für die Behaglichkeit und hygienische Qualität im Raum sind sie jedoch nicht zu vernachlässigen. Der Einsatz von dampfdichten Sperrschichten hat sich bei bewitterten Außenbauteilen als problematisch erwiesen. Viele Bauschadensfälle sind auf das Versagen solcher Sperrschichten aufgrund von Ausführungsmängeln oder ungenügender Dauerhaftigkeit zurückzuführen.

Anstatt die hermetische Abdichtung zu perfektionieren konzentriert sich der moderne Feuchteschutz deshalb auf das Feuchtmanagement von Bauteilen. Das heißt, ein begrenzter Feuchteintrag wird hingenommen, wenn anschließend eine ausreichend rasche Austrocknung sicher gestellt ist. Die jeweils zulässigen Feuchtemengen und deren Verweilzeit im Bauteil richten sich dabei nach der Art der Beanspruchung sowie der Feuchtespeicherfähigkeit und Feuchteresistenz der beteiligten Materialien. Generell kann davon ausgegangen werden, dass ein Bauteil nach einem charakteristischen Beanspruchungszyklus nicht mehr Feuchte enthalten darf als vorher. Beispielsweise muß das winterliche Tauwasser im Sommer völlig austrocknen. Genauso muß eingedrungenes Niederschlagswasser während der nächsten Trockenperiode abgegeben werden. Außerdem darf das während eines Zykluses aufgenommene Wasser eine bauteilverträgliche Grenze nicht überschreiten. Die Beurteilung des instationären Temperatur- und Feuchteverhaltens ist mit einem gewissen Aufwand verbunden und erfordert einschlägige Erfahrung. Manchmal sind auch rechnerische Simulationen zur Absicherung der Gebrauchstauglichkeit einer Konstruktion notwendig. Der Vorteil des Feuchtmanagements liegt in der Betonung des Austrocknungspotentials. Dies führt zu einer größeren Feuchteschadenstoleranz bei kleineren Ausführungsmängeln oder alterungsbedingten Eigenschaftsänderungen. Das Feuchtmanagement stellt jedoch keinen Freibrief für schlechte Verarbeitung oder unzureichende Wartung dar.

4. Die variable Dampfbremse

Herkömmliche Dampfsperren mit einem s_d -Wert (Sperrwert als diffusionsäquivalente Luftschichtdicke ausgedrückt) von mehr als 100 m helfen zwar auf einfache Weise die Normvorgaben in der DIN 4108 [3] zu erfüllen, für den praktischen Einsatz sind sie jedoch nur in Ausnahmefällen gut geeignet. Untersuchungen an modernen Holzhäusern in den USA haben gezeigt, dass selbst bei guter Verarbeitung der konvektionsbedingte Feuchteintrag in Außenbauteile etwa dem Diffusionsstrom durch eine Dampfbremse mit einem s_d -Wert von ca. 3 m entspricht [4]. D.h. selbst bei einem wesentlich höheren Sperrwert der Dampfbremse gelangt soviel Feuchte in das Bauteil, als wenn sie nur einen s_d -Wert von 3 m hätte. Deshalb suggerieren Dampfsperren mit hohen s_d -Werten zwar eine höhere Sicherheit gegen Tauwasser-ausfall, in Wirklichkeit wird der winterliche Feuchteintrag jedoch kaum reduziert. Dafür wird die sommerliche Austrocknung stark behindert, wenn nicht verhindert. In vielen Fällen ist es daher sinnvoller statt einer Dampfsperre eine diffusions-hemmende Dampfbremse mit einem s_d -Wert zwischen 2 m und 5 m einzusetzen. Die winterliche Tauwasserbildung wird dadurch ausreichend begrenzt und gleichzeitig eine gewisse Rücktrocknung zur Raumseite im Sommer ermöglicht.

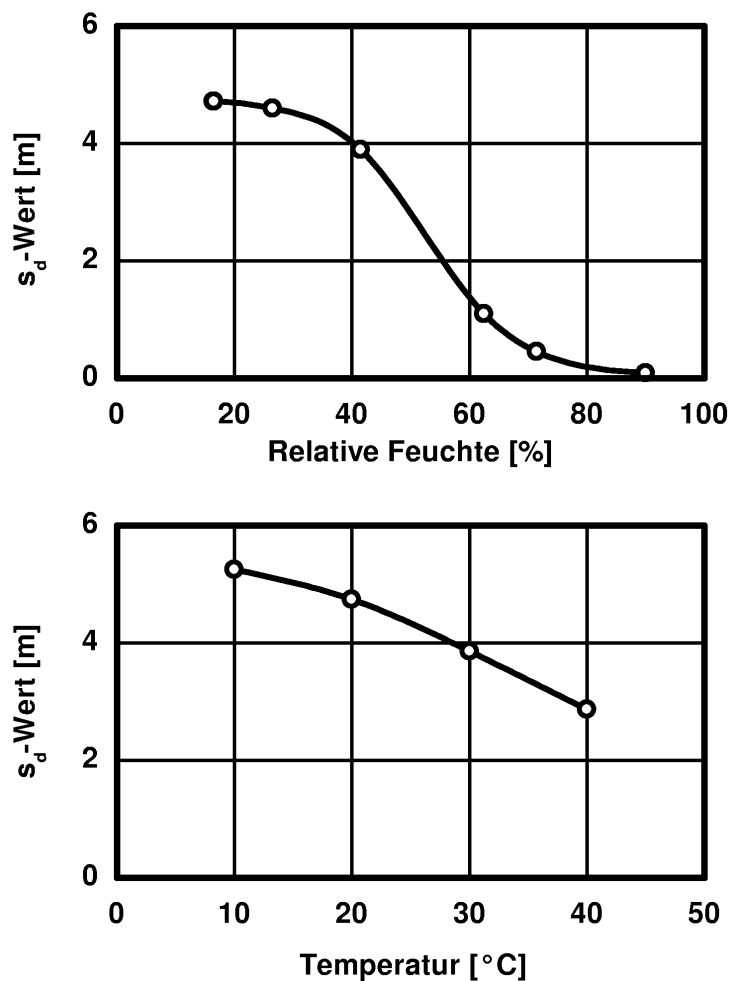


Bild 3: *Abhängigkeit des Diffusionssperwertes (s_d -Wert) der feuchteadaptiven Dampfbremse auf Polyamidbasis von der relativen Luftfeuchte (oben: Messung bei 23°C) und Temperatur (unten: Messung im Trockenbereich).*

Bei der Altbausanierung, wie z.B. bei der Innendämmung von Fachwerkgebäuden oder bei der nachträglichen Dämmung außen dampfdichter Steildächer, reicht das Austrocknungspotential durch eine diffusionshemmende Dampfbremse manchmal nicht aus, um eine langfristige Feuchtesicherheit der Konstruktion zu gewährleisten [5]. In solchen Fällen ist es günstig das Trocknungspotential durch den Einsatz einer variablen Dampfbremse zu erhöhen. Eine variable oder feuchteadaptive Dampfbremse verhält sich unter winterlichen Randbedingungen, wie eine diffusionshemmende Dampfbremse. Sind jedoch günstige Voraussetzungen für die Austrocknung des Bauteils gegeben, wie z.B. im Sommer oder auch in anderen Jahreszeiten bei witterungsbedingter Umkehrdiffusion wird sie diffusionsoffen und fördert damit die Trocknung. Dieses Phänomen lässt sich durch den feuchteadaptiven s_d -Wert der variablen Dampfbremse erklären. Wie bereits die Messergebnisse in Bild 2 gezeigt

haben, schwankt die relative Feuchte hinter einer Dampfbremse stark mit den Witterungsbedingungen. Wandert die Feuchte nach außen, wird es im Bereich der Dampfbremse sehr trocken. In dieser Situation muß die Dampfbremse dafür sorgen, dass von der Raumseite nicht noch mehr Feuchte nachkommt, die diesen Diffusionsstrom noch verstärkt. Sie muss also möglichst dicht sein. Wandert die Feuchte nach innen (diese Situation wird als Umkehrdiffusion bezeichnet), steigt die relative Feuchte an der Dampfbremse stark an. Im Extremfall kommt es dabei sogar zur Tauwasserbildung. Jetzt ist eine hohe Durchlässigkeit der Dampfbremse vorteilhaft, damit die ankommende Feuchte an die Raumluft weiter gegeben werden kann und das Bauteil austrocknet.

Bild 3 zeigt die Abhängigkeit des s_d -Wertes der feuchteadaptiven Dampfbremsefolie auf Polyamidbasis von der Umgebungsfeuchte und -temperatur. Die ausgeprägte Abhängigkeit der Dampfdurchlässigkeit von den hygrischen Umgebungsverhältnissen ist auf die Einlagerung von Wassermolekülen zwischen die langkettigen Polymermoleküle zurückzuführen. Bei normaler Raumlufttemperatur variiert ihr Sperrwert zwischen ca. 4 m im trockenen Zustand und 0,1 m bei sehr hoher Feuchte (Tauwasserbildung auf der Folie oder Kontakt mit nassem Baustoff). Damit erfüllt sie in fast idealer Weise, die Anforderungen zum Einsatz für eine feuchtetolerante Konstruktion. Die Temperaturabhängigkeit des Sperrwertes ist weit weniger ausgeprägt als die Feuchteabhängigkeit. Sie spielt im praktischen Einsatz, wegen der geringen Variation der Raumlufttemperatur kaum eine Rolle.

5. Fallbeispiele für den praktischen Einsatz der variablen Dampfbremse

Zur Verifizierung der theoretischen Überlegungen und instationären hygrothermischen Berechnungen, die zur Entwicklung der variablen Dampfbremse geführt haben [5], sind auf dem Versuchsgelände des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik in Holzkirchen eine Reihe von experimentellen Untersuchungen durchgeführt worden, die im folgenden kurz zusammengefasst werden.

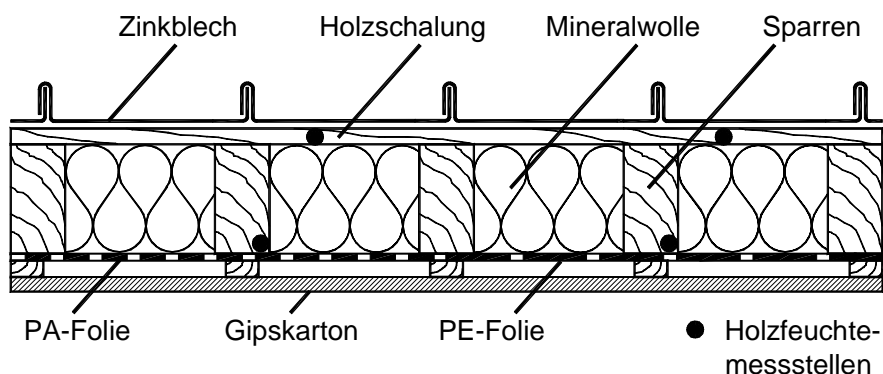


Bild 4: Aufbau des untersuchten Blechdaches.

5.1 Austrocknung eines unbelüfteten Blechdaches

Gegenstand der Untersuchung ist ein in [2] ausführlich beschriebenes unbelüftetes Blechdach mit Glaswolle-Zwischensparrendämmung. Betrachtet wird die nordorientierte Dachhälfte mit einer Neigung von 50° über einem beheizten und Dachraum, dessen Raumluft während der Heizperiode durch regelbare Luftbefeuchter auf 50% r.F. eingestellt wird. Wie in Bild 4 dargestellt ist ein Teil der Sparrenfelder raumseitig durch eine konventionelle Polyethylenfolie (PE-Folie) und der andere Teil mit der feuchtevariablen Polyamidfolie (PA-Folie) abgedichtet. Die darauf folgende Innenbeplankung besteht in beiden Fällen aus Gipskarton. Mit Hilfe der ebenfalls in Bild 4 eingezeichneten Holzfeuchtemessfühler (elektrische Widerstandsmessung) wird die sommerliche Austrocknung der anfangs fasergesättigten 30 mm starken Holzschalung verfolgt. Um eine eventuelle Umverteilung der Feuchte in der Dachkonstruktion feststellen zu können wird außerdem die raumseitige Oberflächenfeuchte der Sparren registriert.

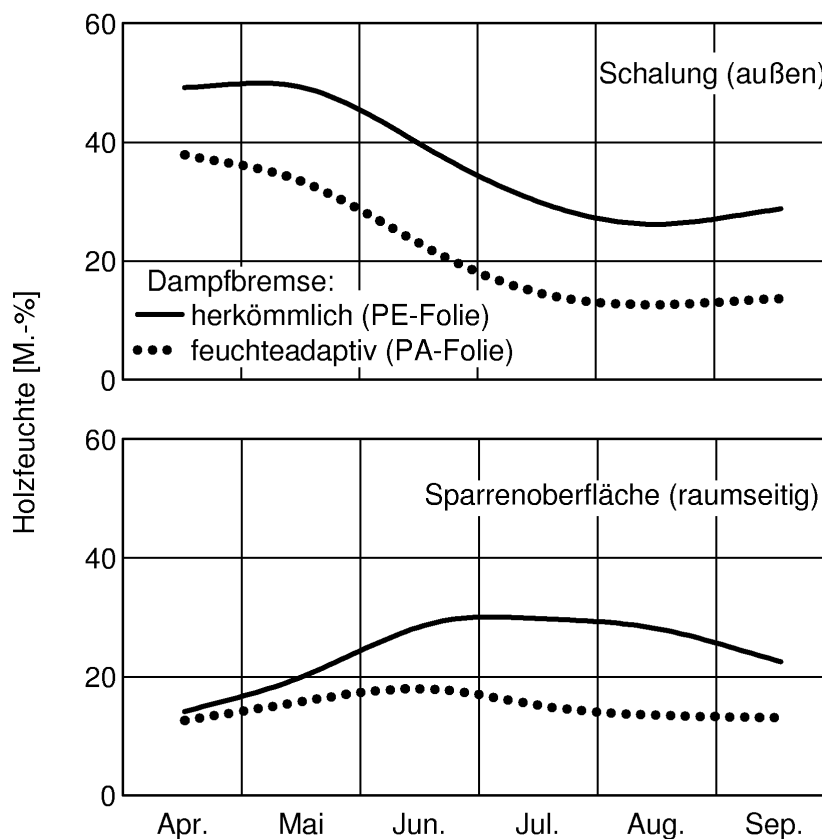


Bild 5: Gemessener Verlauf der Holzfeuchte in der Bretterschalung unter der Blecheindeckung und im Bereich der raumseitigen Sparrenoberflächen in den Dachfeldern mit den unterschiedlichen Dampfbremssfolien

Die Holzfeuchteverläufe der äußeren Schalung und der Sparrenoberflächen in der Nähe der Innenbeplankung sind von April bis September in Bild 5 aufgezeichnet. Die Sparrenfeuchte ist zu Beginn beider Dachfelder nahezu gleich groß. Die Schalungsbretter haben zwar am Anfang im Feld mit der herkömmlichen PE-Folie eine etwas höhere Feuchte, als im anderen Feld, sie liegt aber in beiden Fällen über der Fasersättigung. Im Laufe des Sommers wandert die Feuchte aus der Schalung nach innen. Aus der gleichmäßigen Abnahme der Schalungsfeuchte in den Dachfeldern ist erkennbar, dass der mittlere Diffusionsstrom annähernd gleich groß ist. In der Summe verliert die Schalung im Sommer ca. 2,5 kg/m² Wasser. Dafür steigt die Sparrenfeuchte auf der Innenseite an, wobei die feuchtevariable PA-Folie eine rasche Trocknung in den Wohnraum hinein ermöglicht. Dadurch wird der anfängliche Feuchteanstieg im Vergleich zum Feld mit der PE-Folie so stark gedämpft, dass die Sparrenfeuchte nicht über die kritische Marke von 20 M.-% ansteigt. Am Ende des Sommers liegt die Holzfeuchte im gesamten Dachfeld mit der variablen Dampfbremse unter 15 M.-% (lufttrockener Zustand), während die Feuchte im Feld mit der PE-Folie deutlich erhöht bleibt (> 20 M.-%) und am Ende des Sommers langsam wieder nach außen wandert.

5.2 Schrägdachsanierung von außen

Bei der Neueindeckung von ausgebauten Dächern bestehender Gebäude ist häufig ein gleichzeitiger Einbau bzw. eine Erneuerung der Wärmedämmung zweckmäßig. In der Regel soll dabei der Wohnraum unangetastet bleiben, so dass Dämmung und Dampfbremse (sie ist in der Regel erforderlich, wie in [6] gezeigt) nur von außen in den Sparrenzwischenraum eingepasst werden können. Da die Dampfbremse nach herkömmlichem Verständnis nicht über die Kaltseite eines Bauteils gehen soll, muß sie so zugeschnitten und an die Flanken der einzelnen Sparren angedichtet werden, dass der Sparren an der Außenseite frei bleibt. Dieses Vorgehen ist nicht nur aufwendig, es hat auch den Nachteil, dass eine dauerhafte Luftdichtheit nur schwer zu erreichen ist. Wesentlich einfacher und auch vorteilhafter in bezug auf die Luftdichtheit wäre das Weiterführen der Dampfbremse über die Außenseite der Sparren. Welche Auswirkungen eine solche Maßnahme auf die Feuchtesituation in den Sparren haben kann, wird zunächst durch einen einfachen Laborversuch und anschließend rechnerisch untersucht.

Ein frisch eingeschlagener Holzbalken mit einem Querschnitt von 140 mm x 140 mm wird in 50 cm lange Abschnitte gesägt, stirnseitig versiegelt und mit der feuchteadaptiven PA-Folie bzw. mit einer herkömmlichen PE-Folie umhüllt und abgedichtet. Anschließend werden die folienumwickelten Sparrenstücke zusammen mit unverhüllten Referenzproben in einem Klimaraum bei 23°C und 50% r.F. gelagert und regelmäßig gewogen. Nach Ende des Versuchs wird die verbleibende Holzfeuchte mit Hilfe der Darmmethode bestimmt. Bild 6 zeigt die mittleren Holzfeuchteverläufe der Sparrenstücke über einen Zeitraum von sechs Monaten. Ausgehend vom Zustand der Fasersättigung trocknen die nicht umhüllten Referenzproben innerhalb von vier Wochen unter die kritische Marke von 20 M.-%. Die mit der variablen PA-

Folie umhüllten Proben brauchen dazu knapp fünf Monate. Die Trocknungszeit liegt damit noch innerhalb des in der DIN 68 800 geforderten Austrocknungszeitraumes von sechs Monaten. Die in PE-Folie eingewickelten Sparrenstücke trocknen hingegen so gut wie gar nicht aus und zeigen gegen Ende des Versuchs deutliche Spuren von oberflächlichem Schimmelpilzwachstum [7].

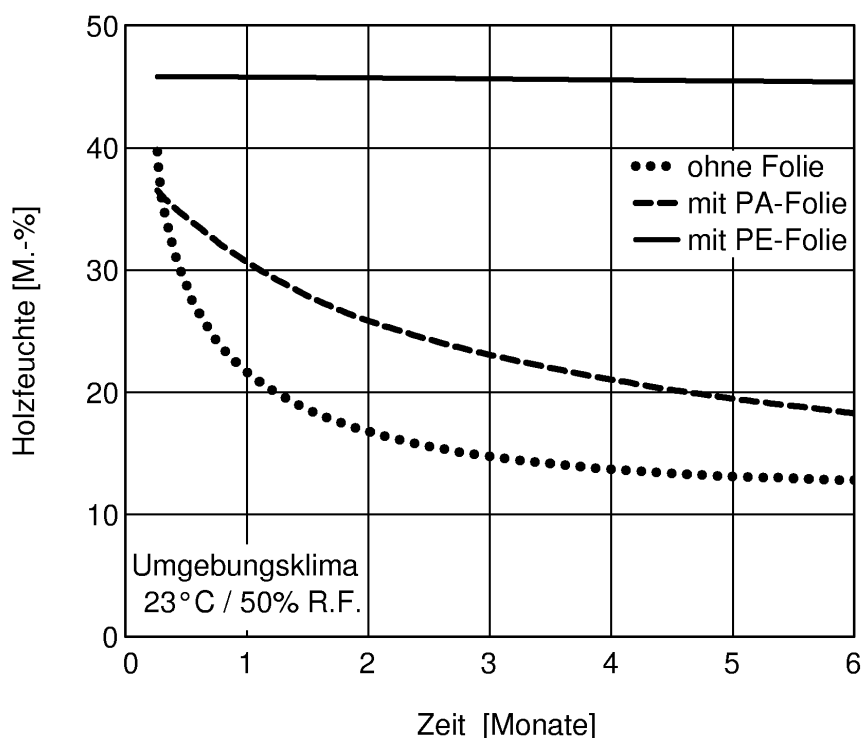


Bild 6: *Durch Wiegen bestimmte Austrocknungsverläufe der folienumhüllten Sparrenstücke und der unverhüllten Referenzproben in einem Klimaraum*

Das Verhalten der Sparrenstücke im Laborversuch kann mit Hilfe zweidimensionaler Simulationsrechnungen auf den eingangs genannten Sanierungsfall übertragen werden [8]. Ausgehend von einem Schrägdach mit angefeuchteten Holzsparren wird die Feuchteverteilung im Holz über einen Zeitraum von drei Jahren nach einer Sanierung betrachtet, bei der die jeweilige Dampfbremssfolie zur Verbesserung der Luftdichtheit über die Sparren verlegt wird. Einmal wird die herkömmliche PE-Folie und das andere Mal die feuchteadaptive PA-Folie verwendet. Um bei den Ergebnissen auf der sicheren Seite zu liegen werden kurzweilige Strahlungsenergiegewinne und kapillare Transportvorgänge, die die Austrocknung beschleunigen könnten, nicht berücksichtigt. Bild 7 zeigt den zugrunde gelegten Dachauschnitt dessen Symmetrieebenen jeweils durch die Mitte von Sparren und Gefach verlaufen. Die benötigten hygrothermischen Kennwerte stammen aus der WUFI-Datenbank. Der Innenputz wird mit einer diffusionsäquivalenten Luftschichtdicke (sd-

Wert) von 0,2 m und die diffusionsoffene Schalungsbahn auf der Außenseite mit einem sd-Wert von 0,02 m angesetzt. Als klimatische Randbedingungen werden Tagesmittel der Außentemperatur und -feuchte eines für Holzkirchen typischen Jahres gewählt. Das Raumklima variiert sinusförmig zwischen 20 °C, 40 % rel. Feuchte im Winter und 22 °C, 60 % rel. Feuchte im Sommer (repräsentative Werte für normale Wohnraumnutzung). Die Berechnung des Austrocknungsverhaltens beginnt im Oktober. Für den Holzsparren und die Holzverschalung wird ein Anfangswassergehalt von 110 kg/m³ (knapp 30 Masse-%) angenommen. Die Anfangsfeuchte der übrigen Materialien entspricht der Ausgleichsfeuchte bei 80 % rel. Feuchte.

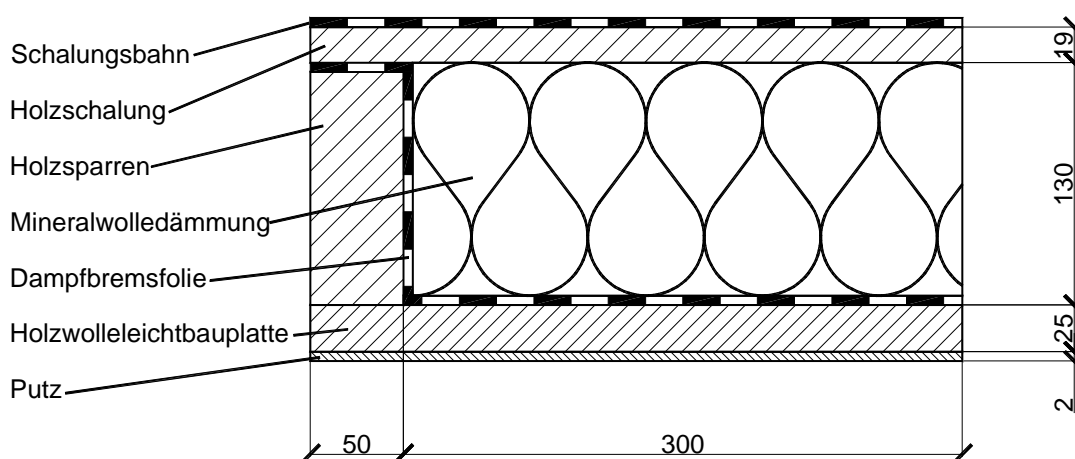


Bild 7: Durch die Symmetrieebenen begrenzter Ausschnitt aus dem Aufbau des von außen sanierten Daches.

Der Trocknungsverlauf des betrachteten Dachausschnitts mit den beiden unterschiedlichen Dampfbremsen ist anhand von Feuchte-Isoflächen für zwei Zeitpunkte in Bild 8 dargestellt. Bei dem Dach mit der PE-Folie trocknet nur ein Teil der Feuchte nach innen aus, während sich der Rest durch Dampfdiffusion zur äußeren Sparrenoberfläche hin bewegt, wie die Feuchteverteilung nach sechs Monaten und nach einem Jahr deutlich zeigt. Ersetzt man die PE-Folie durch eine feuchteadaptive PA-Folie, wie in Bild 8 rechts dargestellt, dann trocknet die anfänglich vorhandene Sparrenfeuchte rasch nach allen Seiten aus. In der Anfangszeit führt dies allerdings in der Nähe des Sparrens zu einer leichten Erhöhung der Schalungsfeuchte, die sich jedoch innerhalb eines Jahres wieder vollständig abbaut.

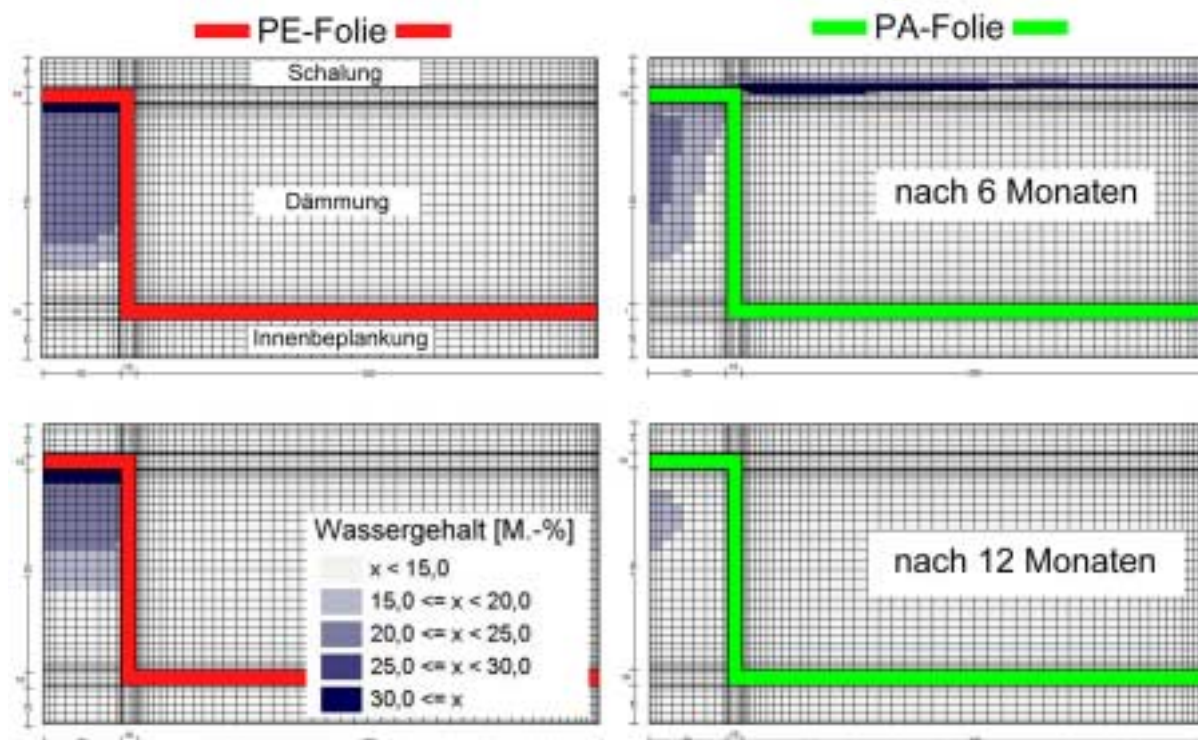


Bild 8: Feuchteverteilung im Dach 6 und 12 Monate nach der Sanierung.

Die Entwicklung der Holzfeuchteverteilung im Dach bei Einsatz der unterschiedlichen Dampfbremsen ist anhand der inneren und äußeren Oberflächenfeuchten der Sparren (jeweils in der Mitte betrachtet) in Bild 9 dargestellt. Während die Feuchte der raumseitigen Sparrenoberfläche bei beiden Konstruktionsvarianten rasch austrocknet und sich den saisonalen Raumlufffeuchtebedingungen annähert, kommt es an der äußeren Sparrenoberfläche unter der PE-Folie langfristig zu sehr kritischen Feuchtezuständen. Im Gegensatz dazu trocknet die Sparrenoberfläche unter der feuchteadaptiven PA-Folie innerhalb eines Jahres bis unter 20 M.-% aus. Damit können dort Schäden durch Schimmelpilz oder Fäulnis an den Sparren nach der Sanierung ausgeschlossen werden.

Die Ergebnisse der zweidimensionalen hygrothermischen Simulation zeigen, dass bei nachträglich von außen gedämmten Dächern mit umwickelten Sparren die Funktionstauglichkeit entscheidend von der Wahl der Dampfbremsfolie abhängt. Verwendet man PE-Folie, so trocknet der Sparren nur schlecht aus und es kommt innerhalb des Sparrens zu Holzfeuchten über 100 Masse-%. Wird hingegen eine variable Dampfbremse auf der Basis von Polyamid eingesetzt, trocknet der Sparren kontinuierlich aus.

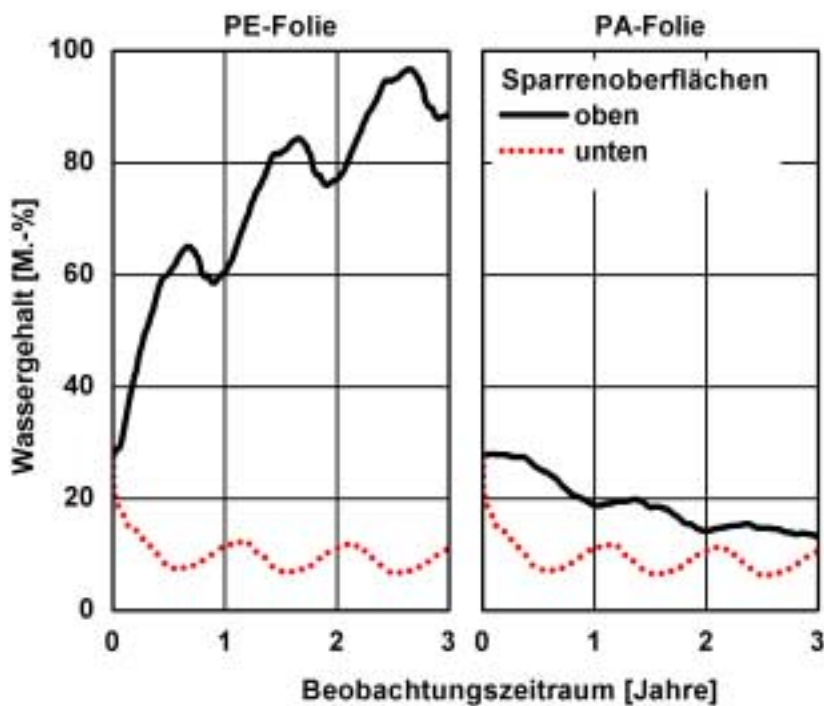


Bild 9 Zeitliche Entwicklung der Feuchteverhältnisse in den Sparren während der ersten drei Jahre nach der Sanierung.

5.3 Austrocknung leichter Außenwandelemente

Genauso, wie bei Dächern gibt es auch bei Wänden Konstruktionen, die z.B. aufgrund dampfdichter Beschichtungen, Wandkollektoren oder Blechbeschlägen kaum nach außen austrocknen können. In solchen Fällen sollte die Dampfdiffusion zur Raumseite eine Entspannung der Feuchtesituation ermöglichen. Deshalb wird mit Hilfe des folgenden Fallbeispiels untersucht, ob die variable Dampfbremse auch unter den hygrothermischen Bedingungen, die an Außenwänden herrschen ihre trocknungsfördernde Wirkung zeigt. Dazu werden Leichtbauelemente in die Ost- und Westfassade der klimatisierten (20°C, 50% r.F.) IBP-Versuchshalle eingebaut. Der Aufbau der Leichtbauelemente ist in Bild 10, links skizziert. Zur Bestimmung des Trocknungspotentials werden die anfangs trockenen Holzbretter der Außenbeplankung vor dem Einbau solange in Wasser getaucht, bis sie etwa 50 M.-% (4 kg/m²) aufgenommen haben. Anschließend werden die Wandelemente außen mit einer Aluminiumplatte dampfdicht verschlossen. Raumseitig kommt die feuchteadaptive PA-Folie und als Innenbeplankung eine Gipskartonplatte zum Einsatz.

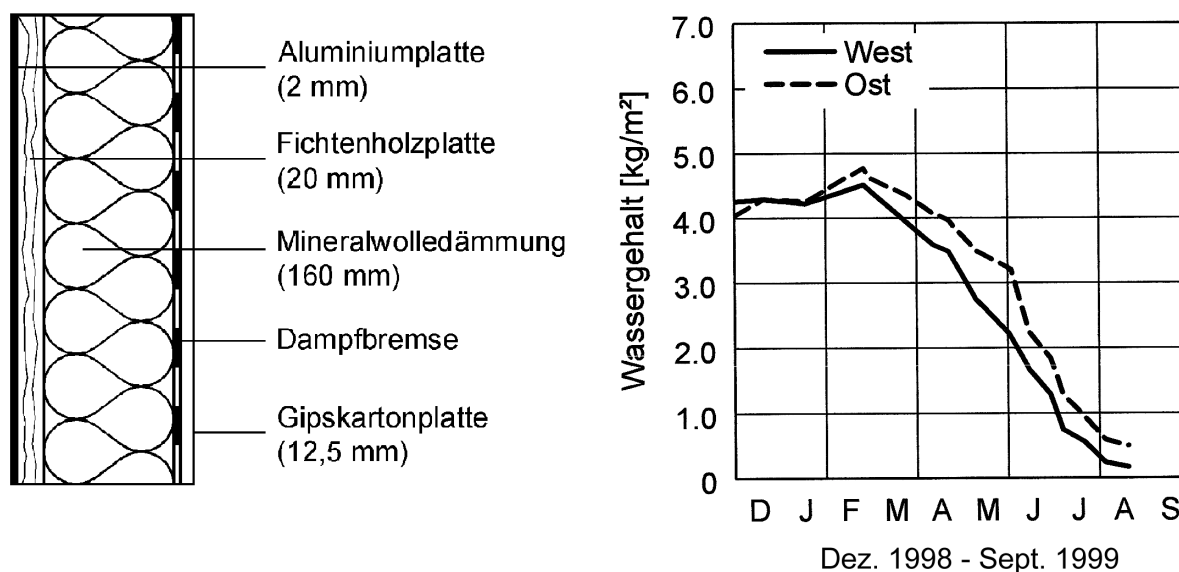


Bild 10: Aufbau (rechts) und Austrocknungsverläufe (links) exponierter Wandelemente einer klimatisierten Versuchshalle

Der Versuch startet im November 1998, wobei der Wassergehalt wöchentlich durch Wiegen der herausnehmbaren Wandelemente bestimmt wird. Auf der rechten Seite von Bild 10 sind die gemessenen Feuchteverläufe der west- und ostorientierten Elemente dargestellt. Während in den Wintermonaten Dezember bis einschließlich Februar eine leichte Zunahme des Wassergehalts durch eindiffundierende Raumluftfeuchte festzustellen ist, beginnt bereits im März die Austrocknung der Elemente. Fünf Monate später, im August ist sowohl das nach Westen, als auch das nach Osten ausgerichtete Leichtbauelement völlig trocken, wobei sie insgesamt mehr als 4 kg/m^2 Wasser abgegeben haben. Das ist viermal soviel, wie die zulässige Tauwassermenge nach DIN 4108 [3]. Der etwas günstigere Trocknungsverlauf des westorientierten Wandelements ist auf die höhere solare Einstrahlung zurückzuführen, da die Ostseite der Versuchshalle im Gegensatz zur Westseite einen großen Dachüberhang besitzt.

5.4 Feuchteverhalten einer Fachwerkwand mit Innendämmung

Bei der Innendämmung von Fachwerkwänden sollte der s_d -Wert der Dämmschicht samt Innenputz bzw. Beplankung und ggf. Dampfbremse gemäß WTA-Merkblatt 8-1-96-D [9] zwischen $0,5 \text{ m}$ und maximal 2 m liegen. Hintergrund dieser Empfehlung sind die gegenläufigen Tauwasserschutz- und Schlagregenschutzanforderungen. Der Schlagregenschutz bei Fachwerkfassaden besteht in einer Maximierung des Austrocknungspotentials, da ein Eindringen von Regenfeuchte in die Fugen zwischen Holzkonstruktion und Ausfachung bis tief in die Wand hinein nicht zu verhindern ist.

Das heißt, auch die Innendämmung sollte so dampfdurchlässig, wie möglich sein. Der Tauwasserschutz ist im Prinzip nur durch einen s_d -Wert am oberen Ende dieses Bereichs zu gewährleisten. Dieser Spagat lässt sich am ehesten mit einer variablen Dampfbremse bewerkstelligen. Da im vorangegangenen Fallbeispiel die Austrocknungsmöglichkeit durch diese Dampfbremse bereits gezeigt wurde, soll hier ihr Einsatz für den Tauwasserschutz bei Fachwerkwänden genauer beleuchtet werden.

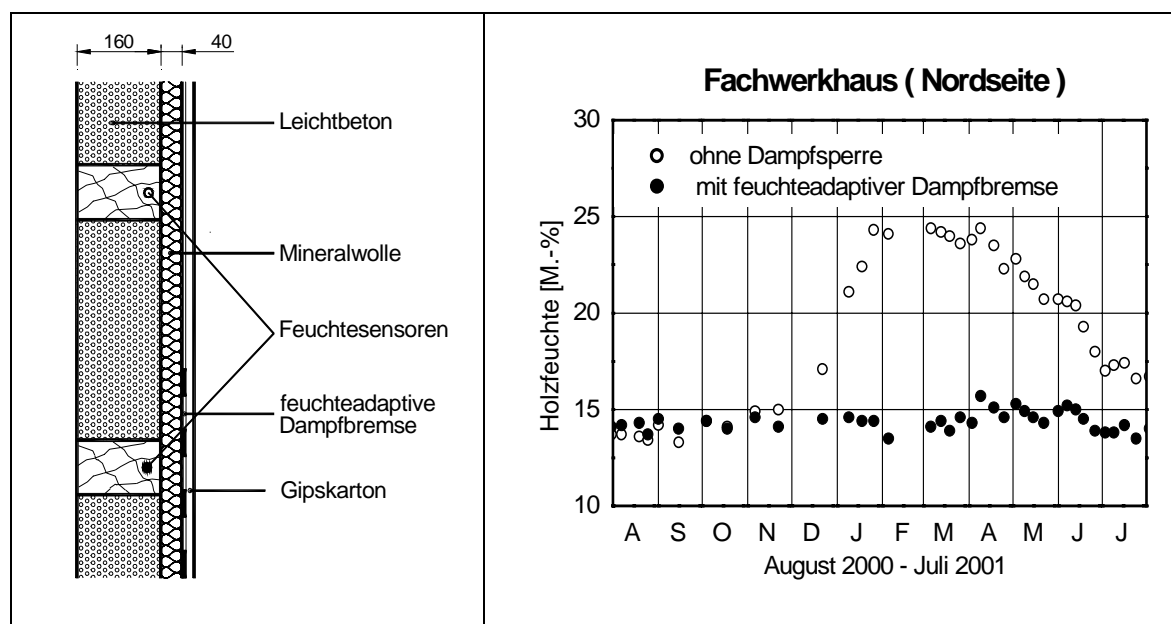


Bild 11: Aufbau der Fachwerkwand mit Innendämmung (links) und Verlauf der Holzfeuchte im Fachwerk mit und ohne variable Dampfbremse

An einer nordorientierten Fachwerkwand mit Leichtbetonausfachung ist zur Verbesserung des Wärmeschutzes eine Innendämmung aus Mineralwolle aufgebracht. Der obere Teil der Wand ist ausschließlich mit Gipskarton beplankt während im unteren Teil, wie in Bild 11 zu sehen, die feuchteadaptive PA-Folie zwischen Dämmung und Innenbeplankung befestigt ist. Wegen des milden Winters 2000/2001 wird die Raumluftfeuchte des Fachwerkhauses während der Heizperiode aus Versuchsgründen auf etwa 60% r.F. angehoben. Auf der rechten Seite von Bild 11 sind die im Fachwerkholz gemessenen Feuchteverläufe über einen Zeitraum von einem Jahr dargestellt. Während die Holzfeuchte ohne Dampfbremse trotz der Sorptionsfähigkeit der Leichtbetonausfachung deutlich ansteigt und mit 25 M.-% kritische Werte erreicht, bleibt sie hinter der Dampfbremse das ganze Jahr annähernd konstant bei ca. 15 M.-%. Dieses Beispiel zeigt, dass die variable Dampfbremse für die energetische Sanierung von Fachwerkgebäuden einen ausreichenden Tauwasserschutz bietet.

6. Schlussfolgerungen

Die Fallbeispiele zeigen, dass die variable oder feuchteadaptive Dampfbremse auch für bauphysikalisch schwierige Sanierungsfälle einsetzbar ist und die Feuchte-toleranz der Konstruktion erhöht. Die Verbesserung der Feuchtesituation im Vergleich zu herkömmlichen Dampfbremsen ist allerdings auf die reine Dampfdiffusion beschränkt. Ein mangelnder Regenschutz oder unzureichende Luftdichtheit können damit nicht kompensiert werden. Das bedeutet, die variable Dampfbremse stellt keine Alternative zu einer sorgfältigen Durchführung von Sanierungsmaßnahmen dar. Ihr Einsatz sollte daher nicht dazu verführen, bei der Planung oder Ausführung von Anschlussdetails großzügiger zu verfahren als bisher, da sonst die gewonnene Feuchtetoleranz schnell ins Gegenteil umschlagen kann.

7. Literatur

- [1] Künzel, H.: Dachdeckung und Dachbelüftung, IRB-Verlag, Stuttgart (1996).
- [2] Künzel, H.M. und Großkinsky, Th.: Feuchtesicherheit unbelüfteter Blechdächer; auf die Dampfbremse kommt es an! wksb 43 (1998), H. 42, S. 22-27.
- [3] DIN 4108, Teil 3. Wärmeschutz im Hochbau, klimabedingter Feuchteschutz. August 1981.
- [4] TenWolde, A. et al.: Air Pressures in Wood Frame Walls. Proceedings Thermal VII. ASHRAE Publications, Atlanta 1999.
- [5] Künzel, H.M. und Kasper, F.-J.: Von der Idee einer feuchteadaptiven Dampfbremse bis zur Markteinführung. Bauphysik 20 (1998), H. 6, S. 257-260.
- [6] Künzel, H.M.: Kann bei vollgedämmten, nach außen diffusionsoffenen Steildachkonstruktionen auf eine Dampfbremse verzichtet werden? Bauphysik 18 (1996), H. 1, S. 7-10.
- [7] DIN 68800, Teil 2: Holzschutz, vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau. Mai 1996.
- [8] Holm, A. und Künzel, H.M.: Feuchtetechnisches Verhalten von Holz-sparren bei einer Dachsanierung von außen. IBP-Mitteilung 27 (2000) Nr. 370.
- [9] WTA-Merkblatt 8-1-96-D: Bauphysikalische Anforderungen an Fachwerk-fassaden. Oktober 1997.