

Richtiger Einsatz von Dampfbremsen bei der Altbausanierung

Hartwig M. Künzel

Fraunhofer-Institut für Bauphysik

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

Kurzfassung

Die Frage ob dampfdichte Dampfsperren oder moderate Dampfbremsen mit speziellen Eigenschaften für einen besseren Feuchteschutz sorgen stellt sich nicht nur im Neubau. Auch bei der energetischen Ertüchtigung der Altbausubstanz wird der Planer oder ausführende Handwerker mit zum Teil schwer lösbaaren Feuchteschutzproblemen konfrontiert, wenn es gilt die Vorgaben der EnEV möglichst kostengünstig zu erfüllen. 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 in der Regel scheitert und besser durch ein kontrolliertes Feuchtemanagement ersetzt werden sollte. Das heißt, statt Dampfsperren lieber dampfbremsende Bauteilschichten einsetzen oder auf spezielle Dampfbremsen mit variablem Diffusionswiderstand bzw. kapillarer Saugfähigkeit zurückzugreifen, um ein ausreichendes Trocknungspotential sicher zu stellen. Anhand von Labor- und Freilandversuchen sowie instationären Berechnungen wird gezeigt, wie solche Dampfbremsen funktionieren und welchen Einfluss sie, im Vergleich zu konventionellen Dampfsperren auf das Feuchteverhalten von Bauteilen haben.

1. Problemstellung

Überkommene Feuchteschutzparadigmen, wie z.B. das allseitige Abdichten von Bauteilen gegenüber Dampfdiffusionsvorgängen haben in der Vergangenheit zu zahlreichen Schäden geführt, da in der Praxis unvermeidbare Feuchteinträge während und nach der Bauphase nicht ausreichend berücksichtigt wurden. Selbst lufttrockene Bauteile enthalten aufgrund ihrer Sorptionsfähigkeit häufig mehrer Liter Wasser pro Quadratmeter, d.h. deutlich mehr als die maximal zulässige Tauwassermenge von 1000 g/m^2 gemäß DIN 4108-3 [1]. Auch bei sorgfältigster Ausführung der dampfdichten Schichten ist eine Feuchtezufuhr durch einbindende Bauteile, die sog. Wasserdampfdiffusion durch Flankenübertragung [2], nicht auszuschließen. Hinzu kommen häufig trotz zufriedenstellender Luftdichtheit der Gebäudehülle, konvektive Wasserdampfeinträge durch kleine Fehlstellen, die zu lokalen Feuchteanreicherungen führen können. Da echte Dampfsperren in beiden Richtungen nahezu dampfdicht sind, lassen sie auch keine Austrocknung zu, so dass selbst kleine Ursachen eine große Schadenswirkung besitzen. Deshalb wird im folgenden erläutert

unter welchen Umständen moderate Dampfbremsen oder solche mit besonderen, trocknungsfördernden Eigenschaften die günstigere Lösung darstellen. Dazu werden Labor- und Freilandversuche vorgestellt, deren Ergebnisse fundierte Empfehlungen für die Praxis ableiten lassen.

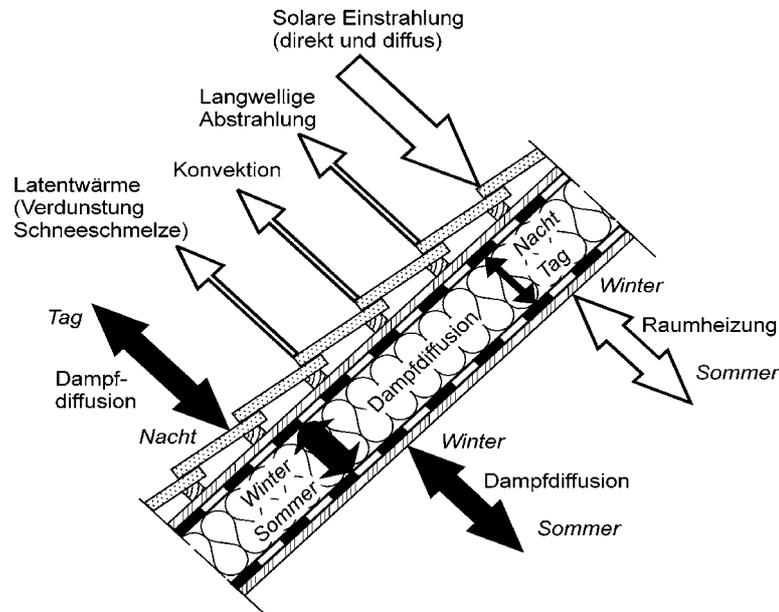


Bild 1 Schematische Darstellung der wärme- und feuchtetechnischen Einwirkungen und deren Richtungen bei einer Dachkonstruktion.

2. Instationäre Temperatur- und Feuchtebeanspruchung der Gebäudehülle

Die Gebäudehülle schützt das Gebäude 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, die nach innen durch Wärmeleitung und nach außen durch langwellige Abstrahlung, Konvektion und eventuell Latentwärmeeffekte durch Verdunsten von Niederschlagswasser oder Schneeschmelze wieder abgegeben wird. Bereits vor Sonnenuntergang, wenn die solare Einstrahlung zurückgeht kann die langwellige Abstrahlung vor allem an klaren Tagen zu einer deutlichen Unterkühlung und damit zu einer Betauung des Daches führen. Bei einer mittleren Betauungszeit von ca. 300 Stunden pro Monat werden der Außenoberfläche von gut gedämmten Dächern monatlich zwischen 2 kg/m^2 und 8 kg/m^2 Tauwasser zugeführt. Bei belüfteten Dächern können entsprechende Tauwassermengen auch in der Belüftungsebene anfallen und zur Befeuchtung von Sparren und Dämmung führen [3].

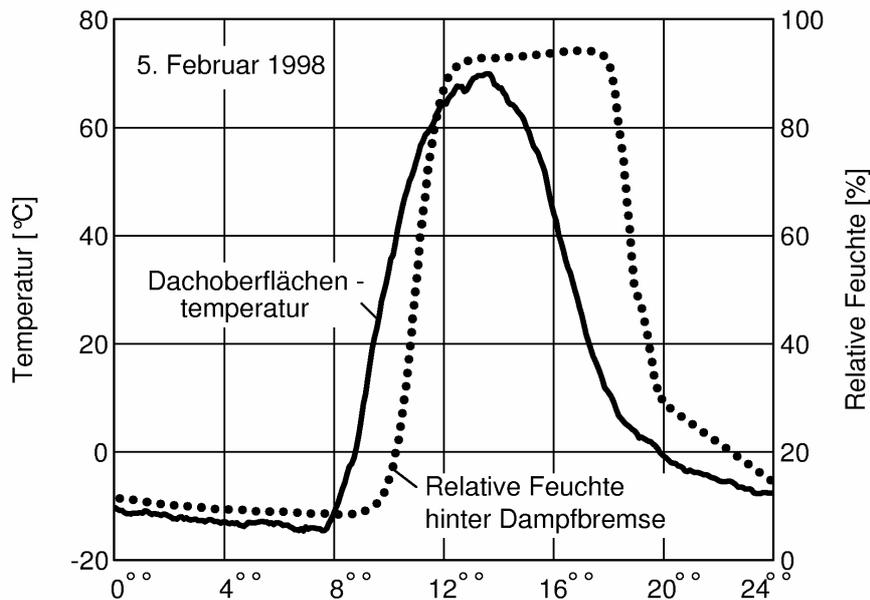


Bild 2 An einem klaren Wintertag bei einem nach Süden orientierten unbelüfteten Blechdach (Neigung 50°) gemessene Verläufe der Oberflächentemperatur (Temperatur der Blecheindeckung) und der relativen Luftfeuchte zwischen Dampfbremse und Mineralwolleddämmung.

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 oder belüfteten Konstruktionen auch eine Feuchteabgabe an die Außenluft. Welche Ausmaße die Feuchteumverteilung 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 Mineralwolleddämmung für einen klaren Wintertag aufgezeichnet [4]. Bei winterlichen Außenlufttemperaturen steigt die Temperatur der Blecheindeckung von nachts -15°C auf 70°C in der Mittagszeit an. Dieser starke Temperaturanstieg treibt die Feuchte der Holzschalung (Tragschalung für die Blecheindeckung) in das Dachinnere. In der Folge steigt die Feuchte zwischen Dampfbremse und Dämmung mit einer gewissen 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.

Die Entwicklung neuer Baustoffe hat dazu geführt, dass viele Bauteile nach der vermeintlich extremsten hygrothermischen Beanspruchung ausgelegt werden. Dies führt nicht nur zu teureren, sondern manchmal auch zu schlechten Lösungen, wenn dabei weniger offensichtliche Feuchtequellen (z.B. Baufeuchte, Dampfdiffusion durch Flankenübertragung, etc.) übersehen werden. Deshalb ist es zweckmäßig vor der Feuchteschutzplanung die zu erwartenden hygrothermischen Beanspruchungen genauer zu analysieren. Im Hochbau gibt es grundsätzlich zwei unterschiedliche Beanspruchungsarten, die permanente Feuchtelast und die hygrothermische Wechsellast. Wie im Folgenden erläutert wird, erfordern beide völlig verschiedene Feuchteschutzprinzipien.

2.1 Statische Feuchte- und Temperaturbeanspruchung

Ist ein Bauteil einem ständig gleichgerichteten Feuchtegradienten ausgesetzt spricht man von einer statischen Feuchtelast. Diese Feuchtelast kann sowohl dampfförmig als auch flüssig auf das Bauteil einwirken. Einer vorwiegend flüssigen Feuchtelast sind Bauteile unterhalb der Geländeoberkante im Erdreich oder Grundwasser ausgesetzt. Bauteile für Kühlräume, deren Lufttemperatur dauernd unter ihrer Umgebungstemperatur liegt, sind einer permanenten dampfförmigen Feuchtelast von außen ausgesetzt, bei Warmwasser- oder Dampfbädern kommt sie von innen. Am günstigsten ist in solchen Fällen das Anbringen einer Sperrschicht auf der Belastungsseite, z.B. eine metallisierte Dampfsperre bei Kühlräumen oder bituminöse Abdichtungsbahnen im Perimeterbereich (schwarze Wanne). Dabei kommt es besonders darauf an, daß die jeweilige Sperrschicht flächendeckend und dauerhaft abdichtet. Das ist zwar trivial stellt aber in der Praxis erfahrungsgemäß das größte Feuchteschadenspotential dar. Häufige Temperatur- und Feuchtwchsel führen wegen der damit verbundenen Längenänderungen oder Spannungswechsel zu einer langfristigen Beeinträchtigung der Abdichtung. Bei einer statischen Feuchtelast sind starke Wechselbeanspruchungen jedoch die Ausnahme. Ein häufig unterschätztes Risiko sind hier physikalisch-chemische Materialveränderungen (z.B. Hydrolyse) die durch die ständige Anwesenheit von Wasser verursacht werden. Vor allem Klebstoffe und Beschichtungen können von diesem Problem betroffen sein.

2.2 Dynamische Feuchte- und Temperaturbeanspruchung

Die dynamische Feuchte- und Temperaturbeanspruchung ist im Hochbau die Regel. 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 Feuchtwchsel 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. Statt die hermetische Abdichtung zu perfektionieren konzentriert sich der moderne Feuchteschutz deshalb auf das Feuchtemanagement. Das heißt, ein begrenzter Feuchteeintrag wird hingenommen, wenn anschließend eine ausreichend rasche Rücktrocknung gesichert ist. Die jeweils zulässigen Feuchtemengen in der Konstruktion 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 Zyklusses aufgenommene Wasser eine bauteilverträgliche Grenze nicht überschreiten. Die Beurteilung des instationären Temperatur- und Feuchteverhaltens ist mit einem gewissen Aufwand verbunden und erfordert einschlägige Erfahrung. Der Vorteil des Feuchtemanagements liegt in der Betonung des Austrocknungspotentials. Dies führt zu einer größeren Feuchteschadenstoleranz gegenüber Ausführungsmängeln oder alterungsbedingten Eigenschaftsänderungen.

3. Aufgabe und Eigenschaften von Dampfbremsen

Dampfbremsen sind in der Regel zum Schutz von wärme gedämmten Bauteilen vor eindiffundierender Raumluftheuchte erforderlich. Bei Innendämmungen mit diffusionsoffenen Dämmstoffen sind sie nach wie vor unverzichtbar. Sie sollten möglichst weit auf der Warmseite der Gebäudehülle installiert werden und gleichzeitig als Luftdichtheitsschicht fungieren. Herkömmliche Dampfsperren mit einem s_d -Wert (Sperrwert als diffusionsäquivalente Luftschichtdicke ausgedrückt) von mehr als 100 m erfüllen zwar auf einfache Weise die Normvorgaben in der DIN 4108 [1], für den praktischen Einsatz sind sie jedoch nur in Sonderfällen (bei statischer Feuchtelast) gut geeignet. Untersuchungen an modernen Holzhäusern in den USA haben gezeigt, dass selbst bei guter Verarbeitung der konvektionsbedingte Feuchteeintrag in Außenbauteile etwa dem Diffusionsstrom durch eine Dampfbremse mit einem s_d -Wert von ca. 3 m entspricht [5]. 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 eine höhere Tauwassersicherheit, als es der Realität entspricht. Dafür wird die sommerliche Austrocknung stark behindert. In vielen Fällen ist es daher sinnvoller statt einer Dampfsperre eine diffusionshemmende 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.

Bei einigen typischen Sanierungsfällen, beispielsweise bei der nachträglichen Vollsparrendämmung außen dampfdichter Schrägdächer (Bitumenpappe als Vordeckung bzw. Blech oder Schiefer als Eindeckung) oder bei der Innendämmung alter Fachwerkgebäude, reicht die Rücktrocknung durch eine diffusionshemmende Dampfbremse nicht aus, um eine langfristige Feuchtesicherheit der Konstruktion zu gewährleisten [6]. In diesen Fällen ist es günstig das Trocknungspotential durch den Einsatz trocknungsfördernder Dampfbremsen zu erhöhen. Seit einiger Zeit sind zwei derartige Dampfbremsen auf dem Markt, die nach unterschiedlichen physikalischen Prinzipien arbeiten.

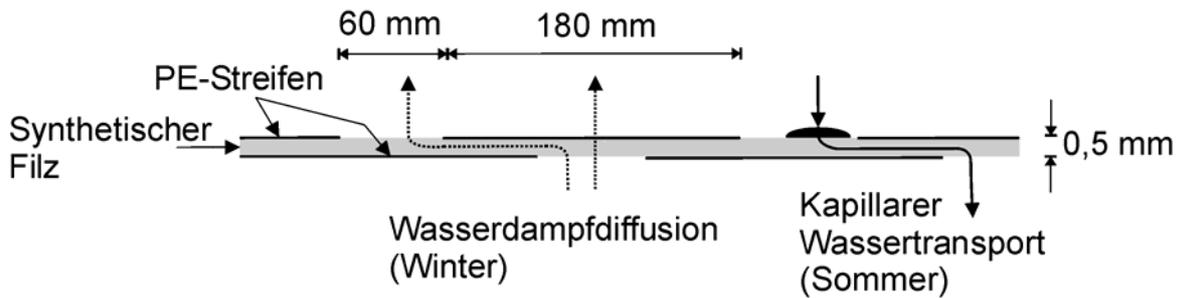


Bild 3: Aufbau der kapillaraktiven Dampfbremse auch „Hygrodiode“ genannt.

3.1 Funktionsprinzipien der trocknungsfördernden Dampfbremsen

Die kapillaraktive oder wasserdurchlässige Dampfbremse besteht, wie in Bild 3 dargestellt, aus einem synthetischen Filz, der mit wechselseitig überlappenden Polyethylenstreifen versehen ist [7]. Die Polyethylenstreifen sorgen für einen ausreichenden Dampfdiffusionswiderstand ($s_d > 10$ m) im Winter. Wenn die Dampfbremse jedoch durch Leckagen in der Dachabdichtung oder durch Umkehrdiffusion mit Sommerkondensation nass wird, saugt der Filz die Feuchte auf und verteilt sie durch Kapillarleitung auch auf die andere Seite der Dampfbremse, von wo aus sie zur Raumseite hin verdunsten kann. Allerdings muß für einen spürbaren sommerlichen Trocknungseffekt genügend Wasser auf der Dampfbremse anfallen, um den Kapillartransport im Filz in Gang zu bringen.

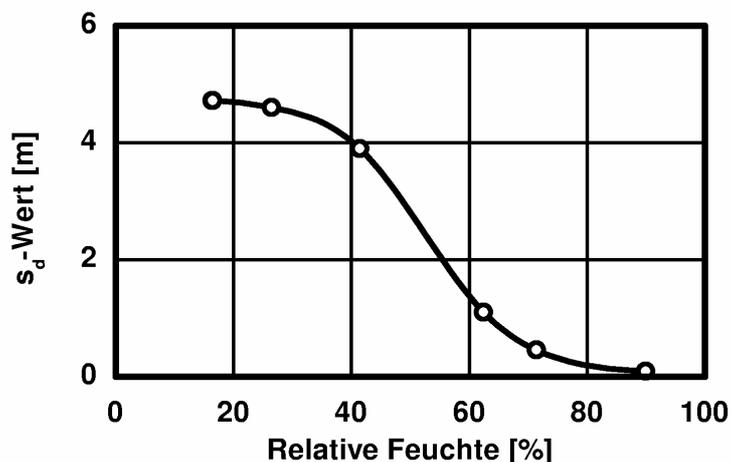


Bild 4: Abhängigkeit des Diffusionssperwertes (s_d -Wert) der feuchteadaptiven Dampfbremsfolie auf Polyamidbasis von der relativen Luftfeuchte).

Die 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 lange bevor Tauwasser ausfällt diffusionsoffener und fördert damit die Trocknung. Dieses Phänomen lässt sich durch den variablen s_d -Wert der feuchteadaptiven

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 soll die Dampfbremse dafür sorgen, dass von der Raumseite keine 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 an. Im Extremfall kommt es dabei zur Tauwasserbildung. Jetzt ist eine hohe Durchlässigkeit der Dampfbremse vorteilhaft, damit die ankommende Feuchte an die Raumlufte weiter gegeben werden kann und das Bauteil austrocknet. Bild 4 zeigt die Abhängigkeit des s_d -Wertes der variablen Dampfbremsefolie auf Polyamidbasis (PA) von der Umgebungsfeuchte. Die ausgeprägte Abhängigkeit der Dampfdurchlässigkeit von den hygrischen Umgebungsverhältnissen ist auf die Einlagerung von Wassermolekülen zwischen die langkettigen Polymermoleküle zurückzuführen. Bei normaler Raumlufte temperatur variiert ihr Sperrwert zwischen ca. 4 m im trockenen Zustand und 0,1 m bei Wasserkontakt (z.B. Tauwasserbildung auf der Folie oder Berührung mit nassem Baustoff).

3.2 Überprüfung der feuchtetechnischen Eigenschaften im Labor

Freilandversuche an Steildächern haben gezeigt, dass die mittlere Oberflächentemperatur von Dächern in den Sommermonaten über 20°C ansteigt und damit je nach Neigung und Orientierung auch einige Zeit über der Raumlufte temperatur liegt. Diese Übertemperatur beträgt im Monatsmittel meist nur wenige Kelvin, sie sorgt aber für eine anhaltende Umkehrdiffusion, die bei entsprechender Feuchte im Dach auch zur Tauwasserbildung auf der Dampfbremse führt. Mit Hilfe einer speziellen Messvorrichtung werden die Verhältnisse im Dach in einem Labortest nachvollzogen um die s_d -Werte verschiedener Dampfbremsen unter realen Einsatzbedingungen erfassen zu können. Der Messaufbau wurde so konzipiert, dass eine s_d -Wert-Bestimmung in Anlehnung an die DIN 52615 [8] ermöglicht wird. Im Gegensatz zur s_d -Wert-Bestimmung im Feuchtbereich nach [8] wird jedoch reines Wasser im Gefäß verwendet, das auf eine Temperatur von 25°C geregelt wird. Der Versuch findet in einem Klimaraum bei 23°C und 50% r.F. statt, so dass Tauwasserbildung an der Unterseite der Dampfbremsen zu erwarten ist (Tauwassertest). Untersucht werden neben der feuchteadaptiven PA-Folie und der kapillaraktiven Dampfbremse, zwei weitere Dampfbremsen aus Natronkraftpapier, die nach Herstellerangaben s_d -Werte zwischen 2 m und 3 m besitzen.

Die Ergebnisse des Tauwassertests sind im Vergleich zu den anschließend an denselben Proben im Trockenbereich (gemäß DIN 52615 [8]) gemessenen Werten in Tabelle 1 dargestellt. Da eine der beiden Natronkraftpapier-Dampfbremsen während des Versuchs durch das Ausblühen von Salzzusätzen unbrauchbar wurde, sind nur die Ergebnisse des auf den ersten Blick intakt gebliebenen Produktes in der Tabelle aufgeführt. Es zeigt sich, dass alle drei Dampfbremsen unter den Bedingungen des Tauwassertests ihre Dampfdurchlässigkeit erhöhen. Dabei erreichen sie s_d -Werte zwischen 0,15 m und 0,3 m, wie sie für diffusionsoffene Unterdeckbahnen charakteristisch sind. Betrachtet man die WDD-Werte (auf die Fläche bezogener Masseverlust der Diffusionsgefäße) wird deutlich, dass in drei Sommermonaten, je nach Dampfbremse zwischen sieben und elf Litern Wasser pro Quadratmeter austrocknen können. Das eröffnet ein beachtliches Trocknungspotential, wenn man bedenkt, dass eine herkömmliche PE-Folie ($s_d = 20$ m) unter den gleichen Bedingungen nur etwa ein Hundertstel dieser Wassermenge durchlässt. Trotz dieser

sommerlichen Rücktrocknungsbeschleunigung bieten die kapillaraktive und die feuchteadaptive Dampfbremse mit einem s_d -Wert im Trockenzustand von 13,5 m bzw. 3,8 m eine ausreichend große Sperrwirkung im Winter. Die Dampfbremse aus Natronkraftpapier erreicht hingegen nach dem Tauwassertest nicht mehr ihren ursprünglichen Sperrwert von 5,5 m (vor dem Versuch im Trockenbereich nach [8] bestimmter Wert), sondern nur noch 1,2 m. Ein ähnlicher Einbruch beim s_d -Wert wurde für diese Dampfbremse auch unter praktischen Einbaubedingungen in einem Steildach festgestellt [9]. Mit 0,6 m und 0,9 m lagen dort die s_d -Werte nach einem Jahr deutlich unter den Herstellerangaben.

Tabelle 1: Ergebnisse aus Diffusionsversuchen beim Tauwassertest und im Trockenbereich [8]. Der eingeklammerte s_d -Wert von Natronkraftpapier zeigt den Sperrwert vor dem Tauwassertest an.

Material	Tauwassertest		Trockenbereichstest	
	s_d -Wert [m]	WDD [g/m ² d]	s_d -Wert [m]	WDD [g/m ² d]
Kapillaraktive Dampfbremse	0,30	75	13,5	2
Feuchteadaptive PA-Folie	0,15	126	3,8	6
Natronkraftpapier	0,21	100	1,2 (5,5)	21

4. Dampfbremsen im praktischer Einsatz

Zur Überprüfung der Wirksamkeit der unterschiedlichen Dampfbremsen wurden, neben den Laborversuchen, eine Reihe von Freilanduntersuchungen auf dem Versuchsgelände des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik in Holzkirchen durchgeführt und durch instationäre Berechnungen ergänzt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden im Folgenden kurz zusammengefasst und interpretiert.

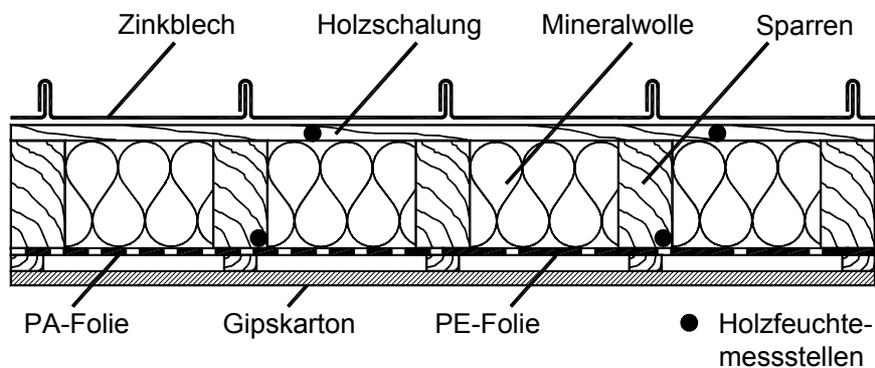


Bild 5: Aufbau des untersuchten Blechdaches mit Angabe der Feuchtemessstellen.

4.1 Austrocknung eines außen dampfdichten Steildaches

Gegenstand der Untersuchung ist ein in [4] 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 5 dargestellt ist ein Teil der Sparrenfelder raumseitig durch eine Polyethylenfolie (PE-Folie) und der andere Teil mit der feuchteadaptiven Polyamidfolie (PA-Folie) abgedichtet. Die darauf folgende Innenbeplankung besteht in beiden Fällen aus Gipskarton. Mit Hilfe der ebenfalls in Bild 5 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. Da die Feuchte im Dachfeld mit der Polyethylenfolie, wie noch gezeigt wird, im Sommer nicht ausgetrocknet ist wurde der Versuch im nächsten Jahr mit der kapillaraktiven Dampfbremse wiederholt. Das heißt, die PE-Folie wurde entfernt und durch eine kapillaraktive Dampfbremse ersetzt. Abgesehen vom Außenklima (die jährlichen Unterschiede der meteorologischen Verhältnisse sind meist gering) blieben die sonstigen Bedingungen unverändert, weshalb die Ergebnisse hier zusammen betrachtet.

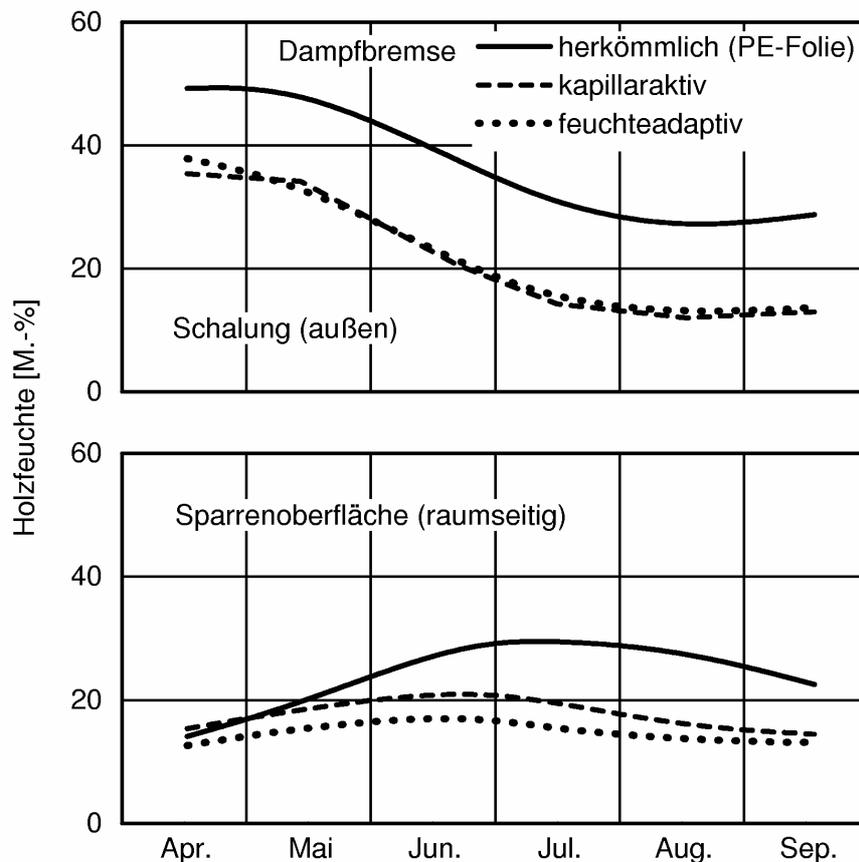


Bild 6: Gemessener Verlauf der Holzfeuchte in der Bretterschalung unter der Blecheindeckung und im Bereich der raumseitigen Sparrenoberflächen in den Dachfeldern mit den unterschiedlichen Dampfbremsen.

Die Holzfeuchteverläufe der äußeren Schalung und der Sparrenoberflächen in der Nähe der Innenbeplankung sind von April bis September in Bild 6 dargestellt. Die Sparrenfeuchte ist zu Beginn in allen Dachfeldern nahezu gleich groß. Die Schalungsbretter haben zwar am Anfang im Feld mit der PE-Folie eine etwas höhere Feuchte, als in den anderen Fällen, sie liegt aber jeweils 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 sowohl die feuchteadaptive als auch die kapillaraktive Dampfbremse eine rasche Trocknung in den Wohnraum hinein ermöglicht. Dadurch wird der Feuchteanstieg im Vergleich zum Feld mit der PE-Folie so stark gedämpft, dass die Sparrenfeuchte nicht bzw. nur sehr kurzfristig über die kritische Marke von 20 M.-% ansteigt. Am Ende des Sommers liegt die Holzfeuchte in den Dachfeldern mit den trocknungsfördernden Dampfbremsen unter 15 M.-% (lufttrockener Zustand), während die Feuchte hinter der PE-Folie deutlich erhöht bleibt (> 20 M.-%).

4.2 Dachsanierung von außen

Bei der Neueindeckung von ausgebauten Satteldächern bestehender Gebäude ist häufig ein gleichzeitiger Einbau bzw. eine Erneuerung der Wärmedämmung zweckmäßig. Soll der Wohnraum dabei unangetastet bleiben, können Dämmung und Dampfbremse (sie ist in der Regel erforderlich, wie in [10] gezeigt) nur von außen in den Sparrenzwischenraum eingepasst werden. Da die Dampfbremse nach herkömmlichem Verständnis nicht über die Kaltseite eines Bauteils geführt werden darf, 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 7 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 [11] 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.

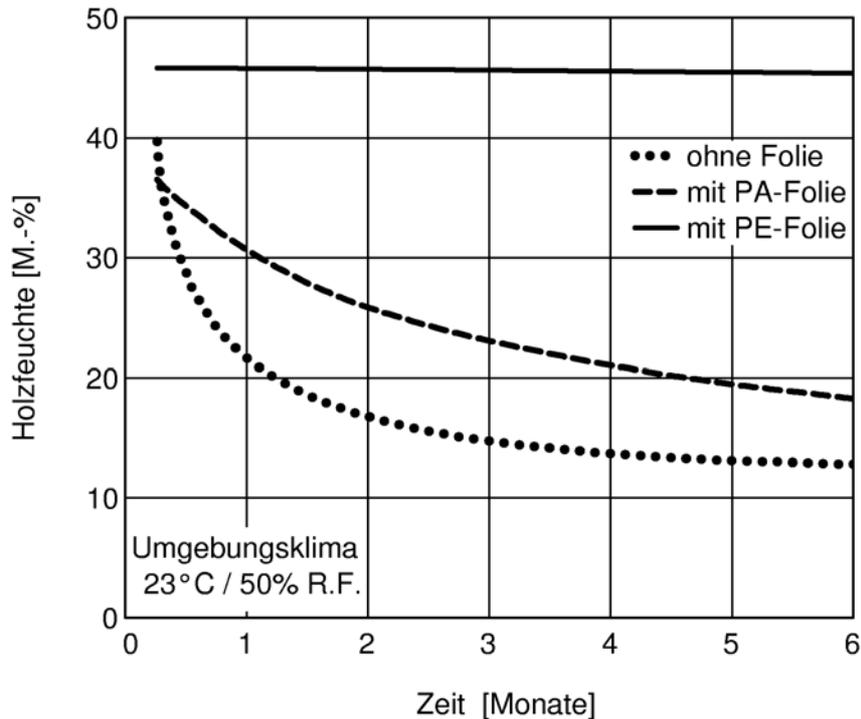


Bild 7: Durch Wiegen bestimmte Austrocknungsverläufe der folienumhüllten Sparrenstücke und der unverhüllten Referenzproben in einem Klimaraum

Das Verhalten der Sparrenstücke im Laborversuch kann mit Hilfe zweidimensionaler Simulationsrechnungen auf den eingangs genannten Sanierungsfall übertragen werden [12]. In einem Satteldach mit angefeuchteten Holzsparren wird die Feuchteverteilung im Holz über einen Zeitraum von drei Jahren nach einer Sanierung betrachtet, bei der die jeweilige Dampfbremisfolie über die Sparren verlegt wurde. Im ersten Fall kommt eine herkömmliche PE-Folie und im zweiten die feuchteadaptive PA-Folie zum Einsatz. Um bei den Ergebnissen auf der sicheren Seite zu liegen werden kurzweilige Strahlungsenergiegewinne und kapillare Transportvorgänge, die die Austrocknung beschleunigen könnten, nicht berücksichtigt. Bild 8 zeigt den zugrunde gelegten Dachausschnitt dessen Symmetrieebenen jeweils durch die Mitte von Sparren und Gefach verlaufen. Die jeweiligen hygrothermischen Stoffkennwerte werden der WUFI-Datenbank entnommen. Der Innenputz soll eine diffusionsäquivalente Luftschichtdicke (sd-Wert) von 0,2 m aufweisen und die diffusionsoffene Schalungsbahn auf der Außenseite einen sd-Wert von 0,02 m. 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.

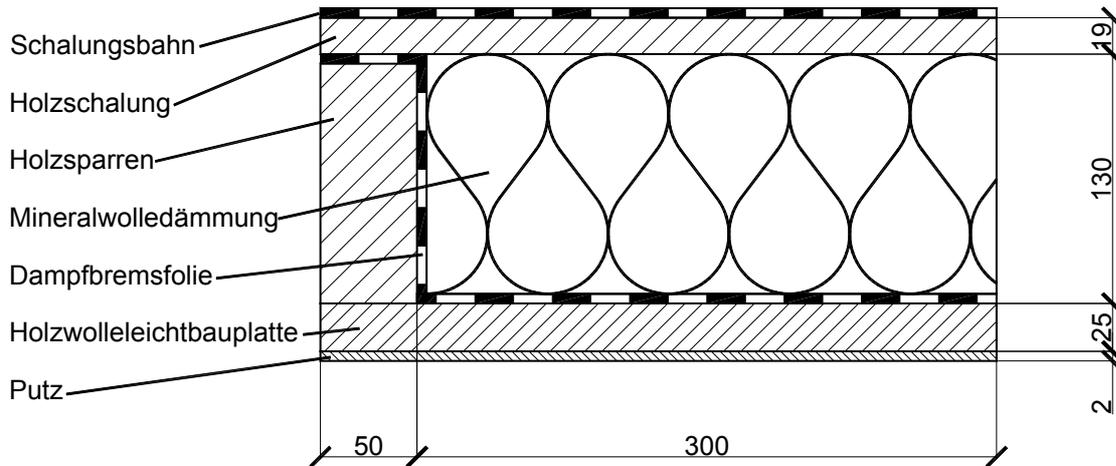


Bild 8: Durch die Symmetrieebenen in Sparren und Gefach begrenzter Ausschnitt aus dem Aufbau des von außen sanierten Daches.

Der Trocknungsverlauf des betrachteten Dachausschnitts mit den unterschiedlichen Dampfbremsen ist anhand von Feuchte-Isoflächen für zwei Zeitpunkte in Bild 9 dargestellt. Beim 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 9 rechts geschehen, 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.

Die Entwicklung der Holzfeuchteverteilung im Dach hängt stark vom Sperrwert der Dampfbremse auf der Kaltseite ab. Während die Feuchte der raumseitigen Sparrenoberfläche bei beiden Konstruktionsvarianten relativ schnell austrocknet und sich den saisonalen Raumluftfeuchtebedingungen annähert, kommt es an der äußeren Sparrenoberfläche unter der PE-Folie langfristig zu kritischen Feuchtezuständen. Im Gegensatz dazu trocknet die Sparrenoberfläche unter der variablen PA-Folie innerhalb eines Jahres bis unter 20 M.-% aus. Damit ist dort das Auftreten von Schäden durch Schimmelpilz oder Fäulnis nach der Dachsanierung selbst bei hoher Ausgangsfeuchte sehr unwahrscheinlich.

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 eine herkömmliche PE-Folie, so trocknet der Sparren nur schlecht aus und es kommt innerhalb des Sparrens zu Holzfeuchten über 100 Masse-%. Wird hingegen die variable Dampfbremse auf der Basis von Polyamid eingesetzt, trocknet der Sparren kontinuierlich aus.

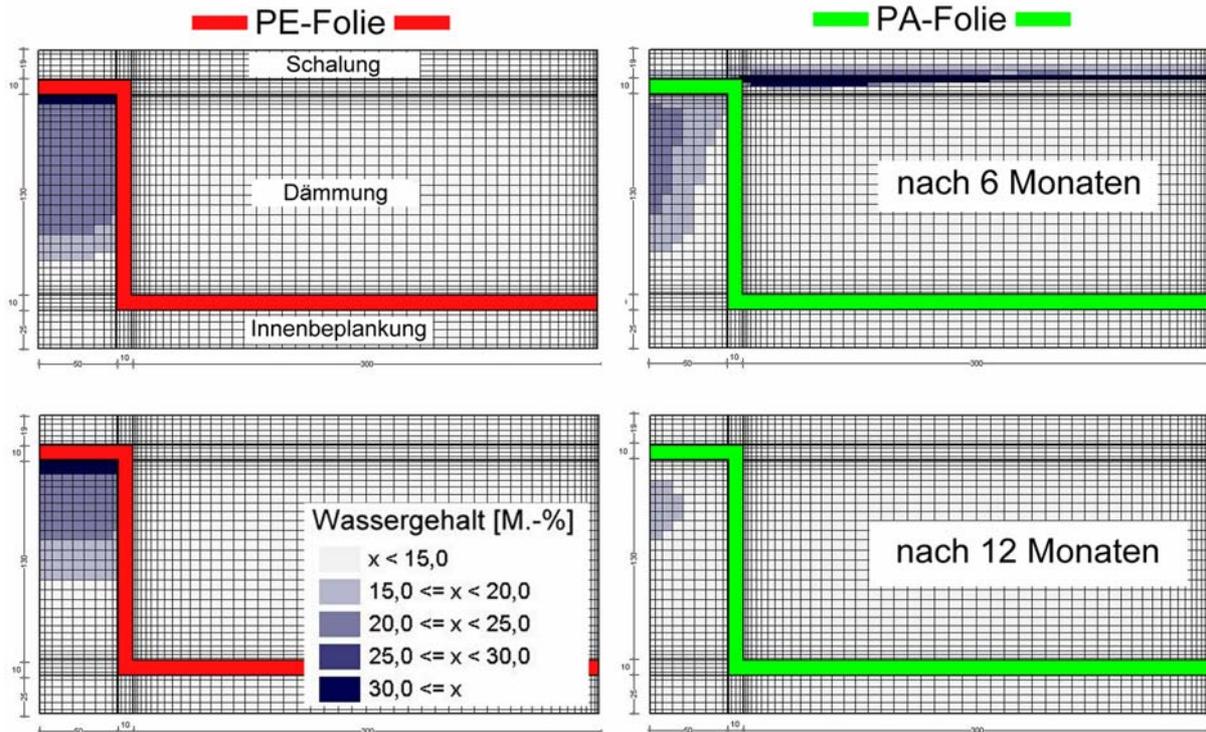


Bild 9: Feuchteverteilung im Dach 6 und 12 Monate nach der Sanierung.

4.3 Austrocknung leichter Außenwandelemente

Wie bei Dächern gibt es auch bei Wänden außen relativ dampfdichte Konstruktionen, die z.B. aufgrund von Kunststoffbeschichtungen, Blechblenden oder Verglasung kaum nach außen austrocknen können. In solchen Fällen sollte die Dampfdiffusion zur Raumseite eine Entspannung der Feuchtesituation ermöglichen. Anhand von Holzbauelementen wird daher untersucht, ob die hier betrachteten Dampfbremsen auch unter den an Außenwänden herrschenden, hygrothermischen Bedingungen, ihre trocknungsfördernde Wirkung zeigen. Dazu werden gerahmte und umfangversiegelte Leichtbauelemente durch Einschieben in die Ost- und Westfassade einer klimatisierten (20°C, 50% r.F.) Testhalle der freien Bewitterung ausgesetzt. Der Aufbau dieser Wandelemente 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 außenseitig mit einer Aluminiumplatte dampfdicht verschlossen. Raumseitig kommt die feuchteadaptive PA-Folie bzw. die kapillaraktive Dampfbremse und als Innenbeplankung eine Gipskartonplatte zum Einsatz.

Der Versuch startet im November 1998. Der Wassergehalt wird wöchentlich durch Wiegen der herausnehmbaren Wandelemente bestimmt. Auf der rechten Seite von Bild 10 sind die Feuchteverläufe als Mittelwert der west- und ostorientierten Elemente dargestellt. Während die Elemente mit der variablen PA-Folie in den Wintermonaten Dezember bis einschließlich Februar eine leichte Zunahme des Wassergehalts durch eindiffundierende Raumlufffeuchte zeigen, bleibt der Wassergehalt der Elemente mit der kapillaraktiven Dampfbremse in diesem Zeitraum nahezu konstant. Dieser Unterschied ist auf den höheren sd-Wert (im Trockenbereich) der kapillaraktiven Dampfbremse zurückzuführen. Dafür beginnt bei den Wandelementen mit der PA-Folie die

Austrocknung bereits im März. Fünf Monate später, im August sind die Leichtbauelemente 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 [1]. Im Gegensatz dazu, beginnt die Austrocknung der Wandelemente mit der kapillaraktiven Dampfbremse erst im Juni und verläuft deutlich langsamer, so dass am Ende des Sommers noch gut zwei Drittel der Ausgangsfeuchte in den Elementen steckt.

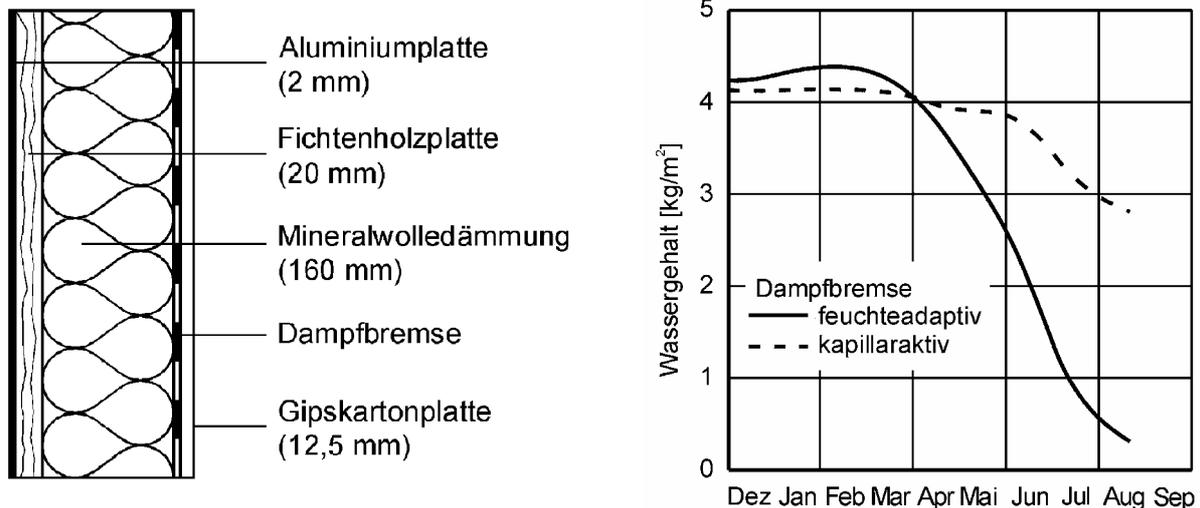


Bild 10: Aufbau (rechts) und Austrocknungsverläufe (links) exponierter Wandelemente einer klimatisierten Versuchshalle

Offensichtlich tritt bei den Wandelementen wegen der geringeren Außenoberflächentemperaturen seltener als im Dach (siehe Ziffer 4.1) sommerliche Tauwasserbildung an der Dampfbremse auf. Deshalb ist die kapillaraktive Dampfbremse in Außenwänden weniger wirksam als in Dächern. Da die variable PA-Folie jedoch schon lange vor Beginn der Tauwasserbildung im Bereich von 70 % bis 80% r.F. aufmacht (dampfdurchlässig wird), kann sie ihre trocknungsfördernde Wirkung auch bei Wandkonstruktionen entfalten.

4.4 Tauwasserschutz einer innen gedämmten Fachwerkfassade

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 [13] zwischen 0,5 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 der 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.

Dazu werden experimentelle Untersuchungen am IBP-eigenen Fachwerkhaus durchgeführt. Dort ist in Teilbereichen der nordorientierten Fachwerkwand mit Leichtbetonausfachung eine 40 mm dicke Innendämmung aus Mineralwolle aufgebracht. Der obere Teil der Wand enthält keine Dampfbremse hinter der Gipskartonbeplankung während im unteren Teil, wie in Bild 11, links zu sehen, die feuchteadaptive PA-Folie zwischen Dämmung und Innenbeplankung befestigt ist. Wegen des milden Winters 2000/2001 wird die Raumluftheuchte 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 feuchteadaptiven Dampfbremse das ganze Jahr annähernd konstant bei ca. 15 M.-%. Dieses Beispiel zeigt, dass die variable PA-Folie für die energetische Sanierung von Fachwerkgebäuden günstig ist.

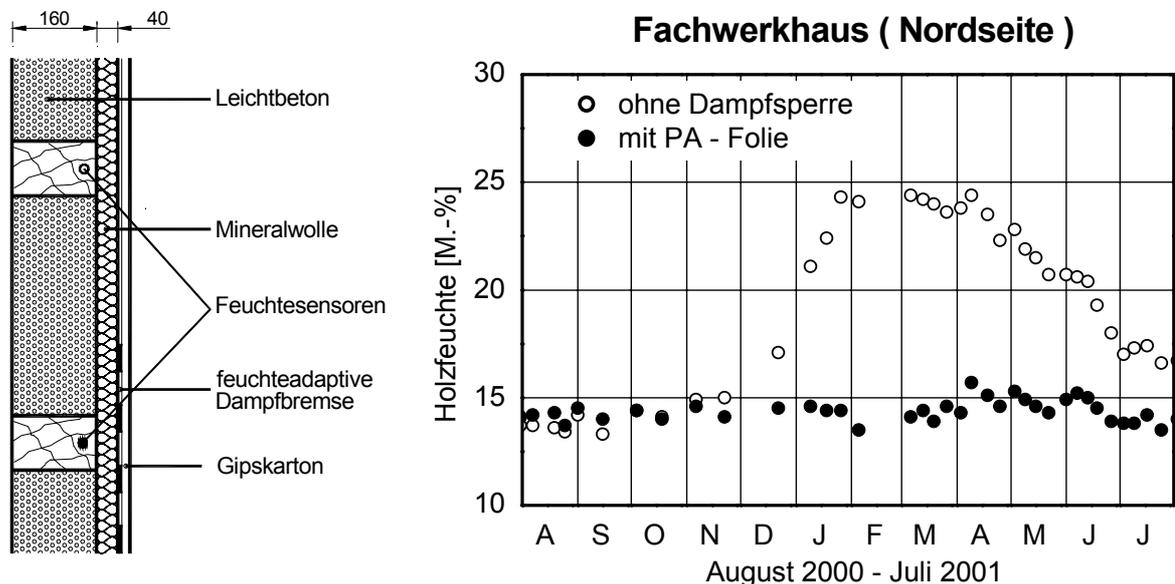


Bild 11: Aufbau der Fachwerkwand mit Innendämmung (links) und Verlauf der Holzfeuchte im Fachwerk mit und ohne variable Dampfbremse

5. Schlussfolgerungen

Die Ausführungen zeigen, dass die hier untersuchten, trocknungsfördernden Dampfbremsen die Feuchtetoleranz von Baukonstruktionen im Vergleich zu herkömmlichen Dampfsperren deutlich verbessern. Ihr Einsatz ist insbesondere beim nachträglichen Ausbau von Dachgeschossen, wegen der häufig dampfdichten Vordeckung (Dachpappe) zweckmäßig. Während beide Dampfbremsen in Dächern ähnlich gute Ergebnisse liefern, ist die feuchteadaptive Polyamidfolie bei Wandkonstruktionen vorzuziehen. Da der Trocknungsmechanismus der kapillaraktiven Dampfbremse erst bei starker Tauwasserbildung richtig in Gang kommt ist die Umkehrdiffusion bei Wänden, wegen der niedrigeren Außenoberflächentemperaturen häufig unzureichend. Ein ähnliches Problem entsteht beim Einsatz von feuchtesorbierenden Dämmstoffen, da diese ebenfalls eine starke sommerliche Tauwasserbildung verhindern bzw. entstehendes Tauwasser selber aufsaugen. Für die Innendämmung von historischen

Gebäuden, wie z.B. Fachwerkhäusern, mit Faserdämmstoffen sollte deshalb ausschließlich die feuchteadaptive Dampfbremse verwendet werden.

Ein mangelnder Regenschutz oder unzureichende Luftdichtheit können jedoch von keiner der beiden untersuchten Dampfbremsen ausreichend kompensiert werden. Das bedeutet, die neuen Dampfbremsen stellen keine Alternative zu einer sorgfältigen Verarbeitung 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 der Konstruktion schnell ins Gegenteil umschlagen kann.

In vielen Fällen bietet auch der Einsatz von Dampfbremsen mit moderaten s_d -Werten (2 m bis 5 m) ausreichende Feuchtesicherheit. Bei erhöhter Baufeuchte oder außen dampfdichten Bauteilen sind diese, in letzter Zeit verstärkt auf den Markt kommenden Dampfbremsen, jedoch weniger geeignet. Das gilt insbesondere für Dampfbremsen aus Kraftpapier, da sie nach einer Befeuchtung ihre ursprüngliche dampfbremsende Wirkung nicht zurückerlangen. Außerdem sind sie extrem anfällig für Schimmelpilzwachstum, wie die Erfahrungen im praktischen Einsatz gezeigt haben. Ihre Anwendung sollte deshalb auf außen diffusionsoffene Konstruktionen beschränkt bleiben. Bei einer eher statischen Feuchtlast, wie z.B. in Schwimmbädern oder Kühllhäusern sind dichte Dampfsperren mit s_d -Werten über 100 m einzusetzen. In allen anderen Fällen ist die Anwendung sehr dichter Dampfsperren wenig sinnvoll oder sogar schadensträchtig.

6. Literatur

- [1] DIN 4108-3. Wärmeschutz im Hochbau, klimabedingter Feuchteschutz. August 1981.
- [2] Klopfer, H.: Nichtbelüftetes geneigtes Dach mit Sparrenvollämmung – Wasserdampfdiffusion durch Flankenübertragung. Deutsches Architektenblatt 29 (1997), H. 8, S. 1191-1192.
- [3] Künzel, H.: Dachdeckung und Dachbelüftung, IRB-Verlag, Stuttgart (1996).
- [4] Künzel, H.M. und Großkinsky, Th.: Feuchtesicherheit unbelüfteter Blechdächer; auf die Dampfbremse kommt es an! wksb 43 (1998), H. 42, S. 22-27.
- [5] TenWolde, A. et al.: Air Pressures in Wood Frame Walls. Proceedings Thermal VII. ASHRAE Publications, Atlanta 1999.
- [6] Künzel, H.M. und Kasper, F.-J.: Von der Idee einer feuchteadaptiven Dampfbremse bis zur Markteinführung. Bauphysik 20 (1998), H. 6, S. 257-260.
- [7] Sagelsdorf, R. und Rode, C.: Eine wasserdurchlässige Dampfbremse als Hygrodiode. Schweizer Ingenieur und Architekt (SI+A) 1997, Nr. 36.
- [8] DIN 52615: Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit von Bau- und Dämmstoffen. November 1987.
- [9] Künzel, H.M. und Großkinsky Th.: Feuchtebelastungen beeinträchtigen die Wirkung von Dampfbremspappen. IBP-Mitteilung 24 (1997), Nr. 309.
- [10] Künzel, H.M.: Kann bei vollgedämmten, nach außen diffusionsoffenen Steildachkonstruktionen auf eine Dampfbremse verzichtet werden? Bauphysik 18 (1996), H. 1, S. 7-10.
- [11] DIN 68800, Teil 2: Holzschutz, vorbeugende bauliche Maßnahmen. Mai 1996.
- [12] Holm, A. und Künzel, H.M.: Feuchte technisches Verhalten von Holzsparren bei einer Dachsanierung von außen. IBP-Mitteilung 27 (2000) Nr. 370.
- [13] WTA-Merkblatt 8-1-96-D: Bauphysikalische Anforderungen an Fachwerkfassaden. Oktober 1997.