

Von der Idee einer feuchteadaptiven Dampfbremse bis zur Markteinführung

von

Dr.-Ing. Hartwig M. Künzel

Dr. rer. nat. Franz-Josef Kasper*

Fraunhofer-Institut für Bauphysik

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

Postfach 11 52 – D-83601 Holzkirchen

Fraunhoferstraße 10 – D-83626 Valley

*Grünzweig + Hartmann AG, Ladenburg

Von der Idee einer feuchteadaptiven Dampfbremse bis zur Markteinführung

Die feuchteadaptive Dampfbremse ist eine Innovation, die seit ihrer Markteinführung im Jahr 1997 sehr hohe Umsatzzuwächse zu verzeichnen hat. Das liegt vor allem an ihren besonderen Dampfdiffusionseigenschaften, die dazu führen, daß bei ihrem Einsatz trotz wirksamen winterlichen Tauwasserschutzes ein großes sommerliches Austrocknungspotential für das gedämmte Bauteil besteht. Der vorliegende Beitrag beschreibt, wie der Weg von der Idee einer solchen Dampfbremse über die Spezifizierung der Diffusionseigenschaften durch rechnerische Simulation zum marktreifen Produkt verlief und welche Hürden zu überwinden waren.

From the idea of a smart vapour retarder to its marketability. *The smart vapour retarder is an innovation with great market success since its introduction in 1997. This is due to its special vapour diffusion properties which guarantee protection from interstitial condensation as well a high drying potential for the insulated building component during summertime. This article describes the way from the initial idea over the specifications of the diffusion properties by numerical simulations to the marketable product and the hurdles which had to be overcome.*

1 Einleitung

Produktentwicklungen sind häufig kontinuierliche Prozesse, in denen vorhandene Bauprodukte schrittweise verbessert werden. Beispiele dafür sind die über Jahre verbesserten Wärmedurchlaßwiderstände von monolithischen Wänden durch Optimierung der Mauersteine und Mörtel sowie die ständige Verbesserung der Dampfdurchlässigkeit von diffusionsoffenen Unterspannbahnen bis zu einem Grad, der die exakte Bestimmung der s_d -Werte mit den genormten Meßverfahren schwierig macht. Demgegenüber stehen Entwicklungen, die in der Baubranche völlig neue Materialien betreffen und deshalb nur begrenzt auf bereits vorhandene Erfahrungen und Kenntnisse zurückgreifen können. Ihnen geht meist eine Idee voraus, für deren praktische Umsetzung eine ganze Reihe von Hindernissen überwunden werden muß. Ein Beispiel für solch eine Entwicklung ist eine feuchteadaptive Dampfbremse, die sich seit ihrer Markteinführung erstaunlich schnell durchgesetzt hat. Wie es zur Idee einer solchen Dampfbremse kam und welche Voraussetzungen für die Markteinführung geschaffen werden mußten, wird im folgenden kurz erörtert.

Dr.-Ing. Hartwig M. Künzel, Fraunhofer-Institut für Bauphysik (Leiter: Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. mult. Dr. E. h. mult. Karl Gertis), Postfach 1152, 83601 Holzkirchen. Dr. rer. nat. Franz-Josef Kasper, Grünzweig + Hartmann AG, Postfach 1240, 68526 Ladenburg.
Hartwig M. Künzel – Diplom Chemische Verfahrenstechnik Universität Erlangen. Seit 1987 wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Feuchtetechnik und seit 1994 Leiter der Abteilung Hygrothermik am Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Holzkirchen, 1994 Promotion.

Franz-Josef Kasper – Studium der Physik an der Universität Bonn, Diplom 1975. 1976 bis 1981 wissenschaftlicher Assistent an der PH/TU Berlin, 1982 Promotion an der TU Berlin, 1981 bis 1987 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM). Seit 1988 bei Grünzweig + Hartmann AG Ludwigshafen, Leiter der Abteilung Anwendungstechnik Bauphysik.

2 Von der Idee zur Produktspezifikation

Auslöser für die Idee zur Entwicklung einer feuchteadaptiven Dampfbremse waren rechnerische Untersuchungen zur Innendämmung von Fachwerkwänden [1]. Aufgrund der Gefahr von schädlicher Tauwasserbildung im Bereich des Holzständerwerkes sollte demnach der Mindest- s_d -Wert der Innendämmung je nach Wärmedurchlaßwiderstand zwischen 0,5 m und 1,2 m liegen. Auf der anderen Seite können Gewitterstürme im Sommer das Regenwasser, wie in Bild 1 dargestellt, in die Fugen zwischen Holz und Ausfachung hineintreiben. Dann sollte auch eine Austrocknung zur Raumseite hin möglich sein, damit die Feuchte im fugennahen Bereich ausreichend schnell abgeführt wird. Deshalb wird in [1] als oberste Grenze für den s_d -Wert der Dämmschicht 2 m vorgeschlagen. Bei Faserdämmstoffen, deren Dampfdurchlässigkeit etwa der von ruhender Luft entspricht, muß eine Dampfbremse die Diffusionshemmung übernehmen. Es liegt auf der Hand, daß es günstig wäre, eine Dampfbremse zu haben, die im Winter, wenn Tauwassergefahr besteht, einen s_d -Wert hat, der an der oberen Grenze des genannten Bereichs angesiedelt ist und im Sommer, wenn die Austrocknung nach innen gewünscht wird, an der unteren Grenze liegt. Das heißt, es wird eine Dampfbremse angestrebt, deren s_d -Wert im Winter mindestens 2 m und im Sommer weniger als 1 m beträgt.

Eine solche Dampfbremse könnte auch zur Lösung von Feuchteproblemen in außen dampfdichten Dächern beitragen. Wie in Bild 2 dargestellt, besteht bei voll gedämmten Steildächern mit relativ dampfdichter Vordeckung (z. B. Bitumenpappe auf Holzschalung) oder großformatiger Eindeckung die Gefahr, daß sich die Feuchte im Dach langsam aufschaukelt, da bei Nordorientierung im Winter mehr Tauwasser anfällt als im Sommer austrocknen kann. Untersuchungen mit einem modernen Verfahren zur Berechnung des instationären Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen [3] haben gezeigt, daß auch hier eine Dampfbremse mit den

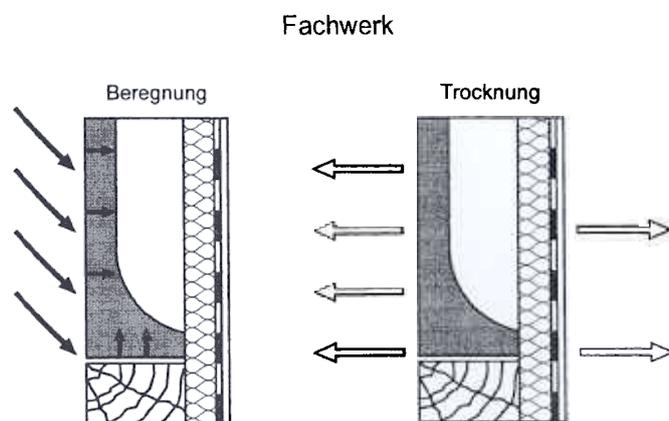


Bild 1. Schematische Darstellung der Feuchteaufnahme einer Fachwerkwand mit Innendämmung bei Schlagregen (links) und der anschließenden Feuchteabgabe durch Dampfdiffusion (rechts), die nach Möglichkeit auch zur Raumseite hin erfolgen sollte, um eine längerfristige Feuchtebelastung des Holzes zu vermeiden

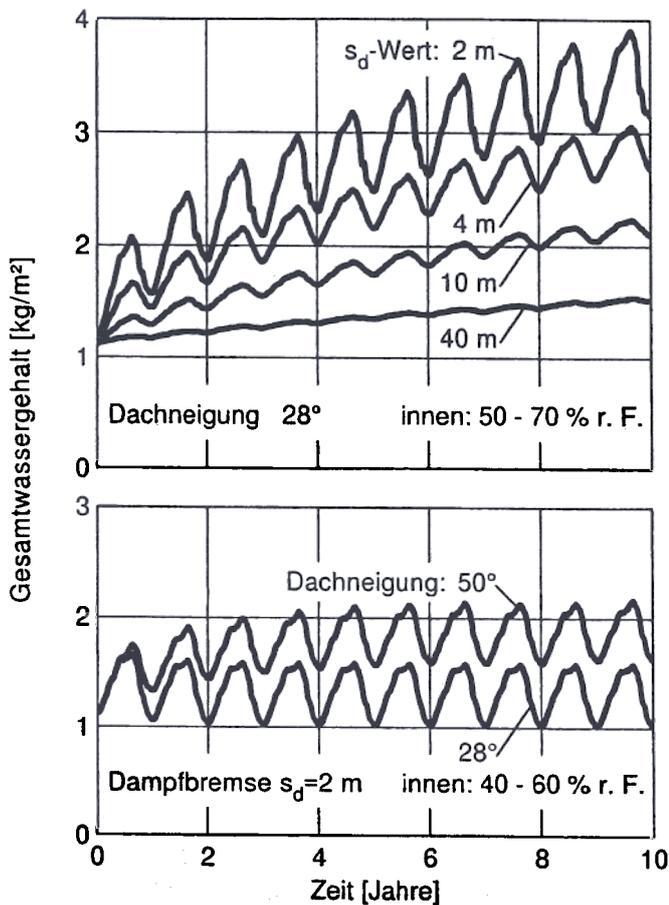


Bild 2. Feuchteakkumulation aufgrund von Dampfdiffusionsvorgängen in einem unbelüfteten, nordorientierten Steildach mit dampfdichtem Unterdach in Abhängigkeit vom s_d -Wert der raumseitigen Dampfbremse sowie von der Dachneigung und der Raumluftfeuchte nach [2]

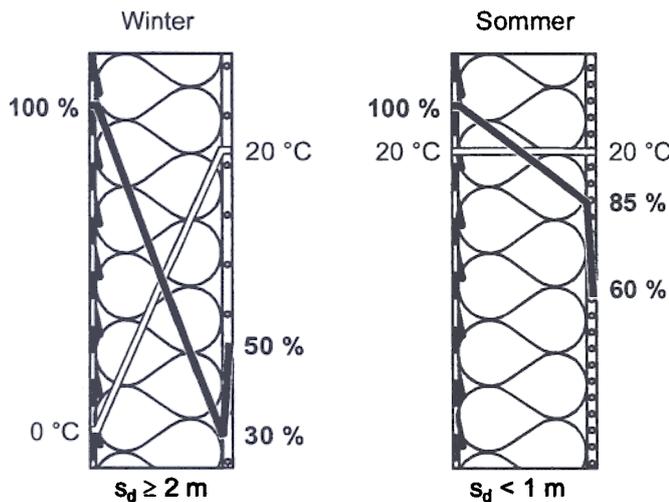


Bild 3. Typische Temperatur- und Feuchtegradienten in einem außen dampfdichten Bauteil mit Tauwasser unter winterlichen und sommerlichen Bedingungen

bereits genannten Diffusionseigenschaften eine deutliche Verbesserung der Situation bewirken kann. Die Frage ist jedoch, wie kann man eine Dampfbremse dazu bringen, daß sie, wenn erforderlich, von Winter auf Sommerbetrieb umschaltet?

Da sich die Temperaturverhältnisse in beheizten Räumen kaum mit den Jahreszeiten ändern, kommt nur die relative Luftfeuchte als Steuergröße in Frage. Bild 3 zeigt die Luftfeuchteverhältnisse in der Umgebung einer Dampfbremse

mit den spezifizierten Eigenschaften, die sich typischerweise im Winter und im Sommer einstellen. Materialien, deren Dampfdurchlässigkeit von der Umgebungsfeuchte abhängt, sind aus der Literatur (z. B. [4]) bekannt. Durch rechnerische Parameterstudien kann festgestellt werden, wie diese Abhängigkeit aussehen muß, um die genannten Forderungen zu erfüllen. Es zeigt sich, daß unter der Voraussetzung einer exponentiellen Abhängigkeit des materialspezifischen Dampfdiffusionskoeffizienten von der relativen Feuchte der s_d -Wert nach DIN 52 615 [5] im Trockenbereich mindestens 2 m und im Feuchtbereich weniger als 1 m betragen muß, um den gewünschten Umschalteffekt zwischen Winter und Sommer zu erzielen. Damit sind die gesuchten Diffusionseigenschaften für die feuchteadaptive Dampfbremsefolie ausreichend genau spezifiziert, um das entsprechende Material zu suchen bzw. gegebenenfalls zu entwickeln.

3 Die feuchteadaptive Dampfbremsefolie auf Polyamidbasis

Die feuchtetechnischen Eigenschaften stellen im vorliegenden Fall zwar das wesentlichste Kriterium für die Materialauswahl dar, um zu einem marktfähigen Produkt zu kommen; es sind aber auch noch andere Eigenschaften, wie z. B. Brandverhalten, Reißfestigkeit, Dauerhaftigkeit und physiologische Unbedenklichkeit zu berücksichtigen. Im folgenden werden auch diese Aspekte genauer betrachtet.

3.1 Feuchtetechnische Eigenschaften

Im Rahmen einer Diplomarbeit [6] wurde ziemlich schnell festgestellt, daß es auf dem Markt bereits eine Folie gibt, die die feuchtetechnischen Spezifikationen voll erfüllt. Bei die-

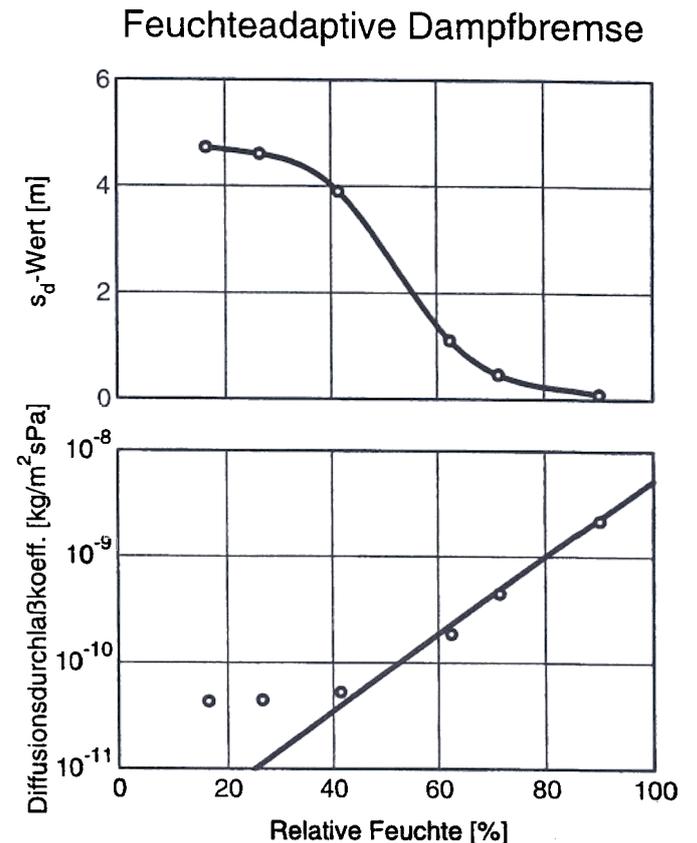


Bild 4. Abhängigkeit des s_d -Wertes (oben) und des Diffusionsdurchlaßkoeffizienten (unten, in logarithmischer Darstellung) der Folie von der Umgebungsfeuchte, gemessen durch Diffusionsversuche bei 23 °C und unterschiedlichen Luftfeuchtebedingungen

Diffusionsversuch

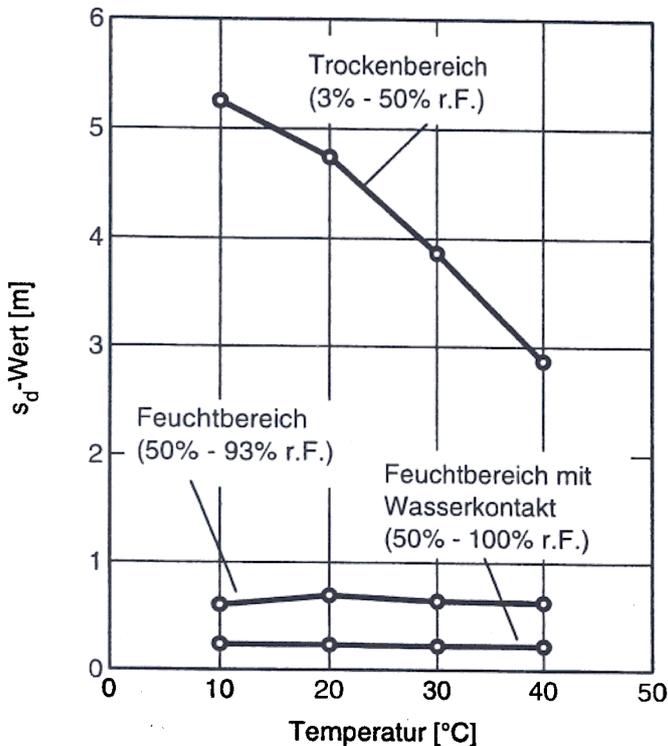


Bild 5. Abhängigkeit des s_d -Wertes der Folie von der Umgebungstemperatur in verschiedenen Feuchtebereichen

ser Folie handelt es sich um ein Produkt auf Polyamidbasis aus der Lebensmittelverpackung. Dort wird diese Folie jedoch meist in Kombination mit einer Polyethylenfolie eingesetzt, da dadurch die rasche Austrocknung von Lebensmitteln verhindert und eine einfache Verschweißbarkeit erreicht wird. Wegen ihrer hohen Temperaturbeständigkeit wird sie auch als Bratfolie oder Wursthaut, dann allerdings ohne Polyethylenverbund, verwendet. Sie gilt als aroma- und sauerstoffdicht, was neben ihrer physiologischen Unbedenklichkeit den Einsatz im Lebensmittelbereich begründet.

Bild 4 zeigt die Abhängigkeit des s_d -Wertes einer 50 μm dicken Polyamidfolie (oben) und ihres Diffusionsdurchlaßkoeffizienten (unten) von der Umgebungfeuchte. Im unteren Bild ist die Ordinate im logarithmischen Maßstab dargestellt, d. h. der gerade Anstieg des Diffusionsdurchlaßkoeffizienten der Folie zwischen 40 % und 90 % rel. Feuchte bedeutet, daß in diesem Bereich die Voraussetzung einer exponentiellen Zunahme in Abhängigkeit von der Feuchte gegeben ist. Die Eckwerte für die winterlichen und sommerlichen Bedingungen werden mit $s_d = 4 \text{ m}$ im Trockenbereich und $s_d = 0,5 \text{ m}$ im Feuchtbereich sogar übertroffen. Da von Polymeren bekannt ist, daß ihre Dampfdurchlässigkeit nicht nur von der Umgebungfeuchte, sondern auch von der Temperatur abhängt, werden Diffusionsversuche, die standardmäßig bei 23 °C durchgeführt werden, auch bei anderen Temperaturen durchgeführt. Bild 5 zeigt die Abhängigkeit des s_d -Wertes der Folie von der Temperatur, gemessen im Trocken- und Feuchtbereich nach DIN 52 615 [5] sowie im Feuchtbereich mit Wasserkontakt ohne Salzlösung (im englischen als inverted wet-cup bezeichnet). Im trockenen Zustand zeigt der Dampfdiffusionswiderstand der Folie eine relativ starke Abnahme mit der Temperatur. Dennoch liegt ihr s_d -Wert auch bei 40 °C, einer Temperatur, die in Wohnräumen so gut wie nie erreicht wird, noch über dem winterlichen Eckwert von $s_d = 2 \text{ m}$. Im Feuchtbereich und bei Wasserkontakt ist keine

Temperaturabhängigkeit des Diffusionswiderstandes feststellbar.

3.2 Brandschutztechnische Eigenschaften

Nachdem hinsichtlich der feuchteadaptiven Eigenschaften die Einsetzbarkeit sichergestellt war, mußte als nächstes die brandschutztechnische Hürde genommen werden. Diese besteht darin, daß nach den geltenden Landesbauordnungen der Bundesländer nur Baustoffe eingesetzt werden dürfen, die mindestens der Baustoffklasse B2 (normalentflammbar) nach DIN 4102 Teil 1 [7] zuzuordnen sind. Diese Forderung gilt als erfüllt, wenn bei einer Kantenbeflammung von 5 Proben die vorgegebene Meßmarke innerhalb von 20 s nicht erreicht wird. Darüber hinaus wurde eine Einstufung in die Baustoffklasse B1 (schwerentflammbar) angestrebt, und zwar im Abstand null zur Hinterlegung. Diese Zusatzforderung macht eine Prüfung im Brandschacht erforderlich, wobei diese Prüfung als bestanden gilt, wenn folgende Bedingungen eingehalten werden:

- Der Mittelwert der Restlänge der Proben beträgt mindestens 15 cm und keine Probe weist eine Restlänge von 0 cm auf.
- Bei keinem Versuch wird die mittlere Rauchgastemperatur von 200 °C überschritten.

Die für die Verwendung als feuchteadaptive Dampfbremssfolie ausgewählte Polyamidfolie bestand beide geforderten Brandschutzprüfungen, ohne daß dem Material irgendwelche brandhemmenden Chemikalien zugegeben werden mußten. Damit war der Weg frei für den Antrag beim DIBt in Berlin auf Einstufung in die Baustoffklasse DIN 4102-B1 durch allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, wobei diese Materialeigenschaft Bestandteil des Übereinstimmungsnachweises durch eine dafür anerkannte Zertifizierungsstelle/Überwachungsstelle ist.

3.3 Mechanische Eigenschaften und Eignung für die Baustelle

Nachdem im Hinblick auf die bauphysikalischen Eigenschaften alle Hürden für die Markteinführung der feuchteadaptiven Dampfbremssfolie überwunden waren, stand noch die Prüfung der Verwendbarkeit auf der Baustelle auf der Arbeitsliste. Die Eignung für den Baustellenbetrieb macht es erforderlich, folgende mechanische Eigenschaften zu prüfen

- Reißfestigkeit nach DIN 53 455 [8]
- Reißdehnung nach DIN 53 455
- Weiterreißfestigkeit nach DIN 53 363 [9]
- Durchstoßfestigkeit nach DIN 53 373 [10]

Die für die mechanischen Eigenschaften einzuhaltenden Mindestwerte sind in Tabelle 1 aufgeführt. Dabei ist die hohe Durchstoßfestigkeit, die die feuchteadaptive Dampfbremssfolie erreicht, besonders hervorzuheben, da sie sicherstellt, daß eine unabsichtlich in die Folie gestoßene Dachlatte nicht zur Verletzung der Folie führt. Diese Eigenschaft hilft in Verbin-

Tabelle 1. Mindestwerte der mechanischen Eigenschaften für die feuchteadaptive Dampfbremssfolie

Materialeigenschaft		Orientierung	
		längs	quer
Reißfestigkeit	(N/15 mm)	≥ 30	
Reißdehnung	(%)	≥ 200	
Weiterreißfestigkeit	(N)	≥ 20	
		$\geq 7,5$	

dung mit der Tatsache, daß Polyamid anders als zum Beispiel Polyethylen bei tiefen Temperaturen nicht zum Verspröden neigt, unbeabsichtigte Fehlstellen im Rahmen der Verlegung zu vermeiden. Neben der Überprüfung der mechanischen Eigenschaften war es notwendig, geeignete Klebe- und Dichtbänder auszuwählen, die eine normgerechte Ausführung der Luftdichtheitsschicht nach DIN V 4108 Teil 7 [11] ermöglichen. Wegen der polaren Eigenschaften der Polyamidfolie konnte rasch eine Lösung gefunden werden. Für die Markteinführung wurde auf bereits in der Praxis erprobte Butylkautschukbänder zurückgegriffen. Inzwischen sind zur Optimierung der Verarbeitung und weiteren Verbesserung der Verklebung Acrylatklebebänder an die Stelle der Butylkautschukbänder getreten.

3.4 Dauerhaftigkeit und Alterungsverhalten

Polyamide zeigen eine hohe Chemikalienbeständigkeit und im Vergleich zu anderen Kunststoffen eine sehr hohe Festigkeit gegenüber dynamischer Beanspruchung [12]. Deshalb werden sie im Bausektor z. B. auch für Dübel zur Befestigung von Wärmedämmverbundsystemen verwendet. Die thermische Alterung der Folie beim sogenannten California-Test sowie eine vierwöchige Freibewitterung haben keinerlei Änderungen in den mechanischen und feuchtetechnischen Eigenschaften ergeben. Die Untersuchungen zeigen auch, daß die Feuchteabhängigkeit des Diffusionswiderstandes langfristig erhalten bleibt und sich nicht wie bei anderen marktgängigen Dampfbremsen irreversibel verändert [13].

Nach Abschluß aller technischen Prüfungen für die Eignung der feuchteadaptiven Dampfbremsfolie muß als letzter technischer Schritt für die Markteinführung die praktische Verlegung auf Musterbaustellen erfolgen. Bild 6 zeigt die Herstellung eines Wandanschlusses mit Kompriband und



Bild 6. Bearbeitung eines Wandanschlusses mit Kompriband und Anpreßleiste auf einer Versuchsbaustelle

Anpreßleiste auf einer dieser Versuchsbaustellen. Gleichzeitig dienen diese Baustellen dazu, entsprechende Erfahrungen für Anwendungs- und Verlegehinweise zu erhalten. Auch diese letzte technische Herausforderung vor der Markteinführung wurde erfolgreich bestanden.

4 Markteinführung

Nachdem auch aus Freilandversuchen, in denen das Verhalten der feuchteadaptiven Dampfbremsfolie im Vergleich zu herkömmlichen Dampfbremsen getestet wurde, positive Ergebnisse vorlagen [14], [15], konnte die Markteinführung beginnen. Die letzten Vorbereitungen betrafen die Festlegung eines Markennamens, die Lieferform und die Kennzeichnung bezüglich Material und Recycling der Folie. Außerdem erfolgten begleitende Marketingmaßnahmen, wie das Erstellen von Druckschriften und die Auswahl eines Einführungslogos. Bei einer gemeinsamen Pressekonferenz des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik und des Lizenznehmers, der Grünzweig + Hartmann AG, zur BAU 97 in München wurde die feuchteadaptive Dampfbremsfolie der Öffentlichkeit vorgestellt. Seitdem hat sich der Absatz der Folie sehr gut entwickelt, wobei ihr Marktanteil im letzten Quartal des Einführungsjahres bereits über 10 % lag. Aufgrund des großen Erfolges bei der Markteinführung der feuchteadaptiven Dampfbremse in Deutschland wird die Einführung auch in anderen Ländern angestrebt. Zur Zeit laufen die Patentmeldungen in 36 Ländern innerhalb und außerhalb Europas.

Literatur:

- [1] Künzel, H. M.: Feuchtetechnische Anforderungen an Wärmeschutzmaßnahmen bei Fachwerkaußenwänden. Tagungsband des 2. Internationalen Kongresses zur Bauwerkserhaltung, Berlin, 9.-11. Febr. 1994, S. 209-214.
- [2] Künzel, H. M.: Vorsicht bei nachträglicher Steildachdämmung. IBP-Mitteilung 22 (1995), Nr. 269.
- [3] Künzel, H. M.: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Dissertation Universität Stuttgart 1994.
- [4] Klopfer, H.: Wassertransport durch Diffusion in Feststoffen. Bauverlag Wiesbaden.
- [5] DIN 52615 : 1987-11: Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit von Bau- und Dämmstoffen.
- [6] Kaufmann, A.: Untersuchungen zur Auswahl geeigneter Materialien für den Einsatz als feuchteabhängige Dampfbremse bei voll gedämmten Dachkonstruktionen und rechnerische Abschätzung ihrer praktischen Feuchtwirkung. Diplomarbeit Fachhochschule München 1995.
- [7] DIN 4102-1: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Baustoffe; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen.
- [8] DIN 53455 : 1981-08: Prüfung von Kunststoffen - Zugversuch.
- [9] DIN 53363 : 1969-05: Prüfung von Kunststoff-Folien - Weiterreißversuch an trapezförmigen Proben mit Einschnitt.
- [10] DIN 53373 : 1970-09: Prüfung von Kunststoffen - Durchstoßversuch mit elektronischer Meßwerterfassung.
- [11] DIN V 4108-7: Wärmeschutz im Hochbau. Luftdichtheit von Bauteilen und Anschlüssen - Planungs- und Ausführungsempfehlungen.
- [12] Vieweg, R. und Müller, A.: Kunststoff-Handbuch - Band VI - Polyamide. Carl Hauser Verlag, München 1966.
- [13] Künzel, H. M.: Feuchtebelastungen beeinträchtigen die Wirkung von Dampfbremsen. IPB-Mitteilung 24 (1997), Nr. 309.
- [14] Künzel, H. M.: Feuchtesichere Altbausanierung mit neuartiger Dampfbremse. Bundesbaublatt 45 (1996), H. 110, S. 798-801.
- [15] Künzel, H. M.: Intelligente Dampfbremse ermöglicht schadensfreies Dämmen auch in Problemfällen. deutsche bauzeitung 130 (1996), H. 12, S. 103-106.