

# **Feuchteadaptive Dampfbremse und kapillaraktiver Dämmstoff im Fachwerk – Welche Vorteile bringen sie ?**

Prof. Dr.-Ing. Klaus Sedlbauer, Dr.-Ing. Martin Krus  
Fraunhofer-Institut für Bauphysik

## **1. Hintergrund und Zielsetzung**

Bei energetischen Sanierungen von Fachwerkbauten sind die derzeit geltenden Bestimmungen zur Energieeinsparung und zum klimabedingten Feuchteschutz nach DIN 4108 in den Teilen 2 [1] und 3 [2] in der Regel zu erfüllen. Eine grundsätzliche Forderung des Denkmalschutzes besteht in der Erhaltung der originalen Bausubstanz. Andererseits genügen die früher verwendeten Ausfachungsmaterialien wie Lehm oder Vollziegel nicht mehr den heutigen Anforderungen an den Wärmeschutz und Wohnkomfort. Da viele Fachwerkhäuser unter Denkmalschutz stehen, gilt es, einen tragbaren Kompromiss zwischen energetischer Sanierung und der Erhaltung des historischen Erscheinungsbildes und der Bausubstanz zu finden. Oftmals bleibt unter Voraussetzung der Erhaltung des äußeren Erscheinungsbildes der Fachwerkfassade als einzig mögliche Wärmeschutzmaßnahme die Anbringung einer Wärmedämmung auf der Innenseite der Außenwand. Da Innendämmungen aber aus bauphysikalischen Gründen - Absenkung der Temperatur zwischen Dämmung und Ausfachungsmaterial und damit verbunden höhere Feuchten in diesem Bereich - nicht unkritisch sind, sollte die Wahl des Dämmstoffes sowie der gesamte Konstruktionsaufbau den hygrothermischen Verhältnissen einer Fachwerkfassade genau angepaßt werden. Ausgehend von bekannten Hinweisen zur hygrothermisch sinnvollen Auslegung von Fachwerkbauten, wie sie beispielsweise im Merkblatt 8-1-96 der Wissenschaftlich-Technischen Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (WTA) mit dem Titel "Bauphysikalische Anforderungen an Fachwerkfassaden" [3] dargelegt sind, sollen neue Erkenntnisse aus mehrjährigen Freilanduntersuchungen an Fachwerkfassaden (Bild 1) im Freigelände des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik (IBP) in Holzkirchen sowie aus weitergehenden Berechnungen mit dem bereits mehrfach experimentell verifizierten Rechenverfahren WUFI [4] zum Feuchteschutz von Fachwerkbauten erläutert und Hinweise zur bewitterungsabhängigen Auswahl geeigneter Sanierungsmaßnahmen gegeben werden.



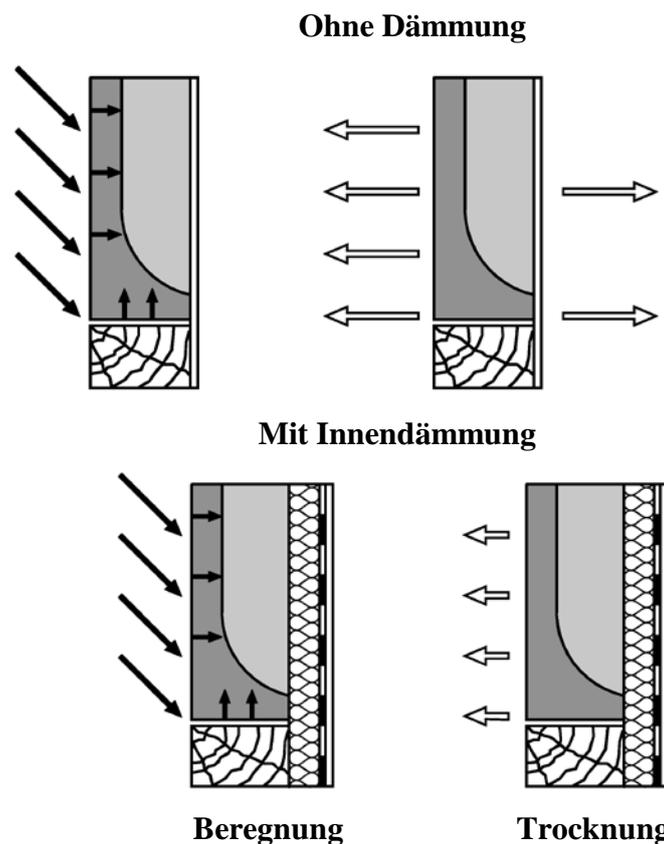
**Bild 1** Fotografische Aufnahme des Fachwerkhauses auf dem Freigelände des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik in Holzkirchen.

## **2. Schlagregenschutz**

Holzfachwerk ist aus bauphysikalischer Sicht eine äußerst problematische Konstruktion. Der Grund liegt in dem geringen Regenschutz aufgrund von Schwindrissen verbunden mit einem feuchteempfindlichen tragenden Holzfachwerk. Insgesamt sollte die jährliche Schlagregenmenge auf eine Fachwerkfassade den Wert von 150 Liter/m<sup>2</sup> nicht überschreiten. Ansonsten sind konstruktive Regenschutzmaßnahmen vorzunehmen, wie beispielsweise eine Verschindelung der Fassade.

Das Eindringen von Regenfeuchte in die Wand bei Sturm oder Gewitter ist allerdings auch unterhalb dieser Grenze nicht völlig auszuschließen. Während bei normalen Mauerwerkswänden der Außenputz wasserhemmend bzw. wasserabweisend eingestellt wird, hat dies bei Fachwerkfassaden den Effekt, dass das vom hydrophoben Putz ablaufende Regenwasser in die Schwindfugen zwischen Ausfachung und Fachwerk eindringt und dort erst recht zu Feuchteschäden führt. Eine Lösung wäre hier nur die gezielte Abdichtung dieser Fugen gegen Schlagregen. Bisher ist es jedoch nicht gelungen, eine wirklich dauerhafte Fugenabdichtung zu gewährleisten [5]. Um Schäden zu vermeiden, muss die Feuchte rasch genug austrocknen können. Das Sicherstellen einer ausreichenden Trocknungsmöglichkeit ist somit der einzig mögliche Schlagregenschutz für Sichtfachwerk. Für die Trocknung nach außen sind diffusionsoffene Ausfachungsmaterialien ( $\mu$ -Wert < 10) günstig. Generell sind die meisten herkömmlichen Mauersteine und Mörtel, eventuell in Verbindung mit Faserdämmstoffen,

zur Ausfachung geeignet. Aufgrund der Feuchteempfindlichkeit und des ausgeprägten Quell- und Schwindverhaltens sind historische und moderne Lehmbaumaterialien eher ungünstig [5]. Es ist selbstverständlich, dass nicht nur die Ausfachungsmaterialien für eine gute Trocknung entsprechend dampfdurchlässig sein müssen, sondern auch die Außenanstriche. Für einen Anstrich auf der Ausfachung gilt, dass der  $s_d$ -Wert kleiner als 0,1 m sein soll, während für den Holzanstrich die Grenze von  $s_d < 0,5$  m wegen des höheren Diffusionswiderstandes von Holz ausreicht [6].



**Bild 2** Schematische Darstellung der Befeuchtung und Trocknung einer Fachwerkwand ohne Dämmung und mit Innendämmung inklusive Dampfbremse.

Im Gegensatz zur schlagregenbedingten Feuchteaufnahme, die durch die Dämmung nicht beeinflusst wird, verlangsamt die Innendämmung durch Absenkung des Temperaturniveaus die Austrocknung nach außen und unterbindet die Trocknung nach innen.

Eine zusätzliche Innendämmung kann den Trocknungsverlauf nach einem Schlagregenereignis gravierend beeinflussen, wie anhand von Bild 2 verdeutlicht wird. Bei einem Wandaufbau ohne Dämmung kann die Feuchte nach beiden Richtungen, also auch zur Raumseite hin, austrocknen. Dies ist besonders dann wichtig, wenn beispielsweise ein starker Wind das Wasser tief in die Schwindfu-

gen eingetrieben hat. Wird eine Innendämmung aufgebracht, die nach gängiger Praxis eine Dampfbremse beinhaltet, dann ist für die Feuchte der Weg nach innen weitgehend unterbunden. Zusätzlich wird durch die Innendämmung, außer im Hochsommer, das Temperaturniveau der davorliegenden Wand abgesenkt, was auch die Austrocknung nach außen verlangsamt, da die Temperaturdifferenz, die an der Ausfachung anliegt, den Diffusionsvorgang beeinflusst. Aus diesem Grund sollte im Sinne einer Trocknungsmöglichkeit zum Raum hin versucht werden, den  $s_d$ -Wert der raumseitigen Dämmschicht inklusive Dampfbremse zu minimieren, ohne den Tauwasserschutz zu gefährden. In [3] ist deshalb ein Grenzwert von  $s_d = 2$  m genannt, der von einer Innendämmung keinesfalls überschritten werden sollte.

### **3. Tauwasserschutz bei Innendämmung**

Aus hygienischen Gründen ist Tauwasserbildung bzw. Schimmelpilzbefall auf den Wandinnenoberflächen zu verhindern. Deshalb schreibt die DIN 4108-2 [1] einen Mindestwärmehaushaltswiderstand vor, der bei allen beheizten Gebäuden, also auch bei Fachwerkhäusern einzuhalten ist. Für Außenwände beträgt dieser Mindestwärmehaushaltswiderstand je nach Flächenmasse zwischen 1,0 und 1,75 m<sup>2</sup>K/W. Betrachtet man die Wärmehaushaltswiderstände in Tabelle 1, die sich bei einer 14 cm dicken Wand mit historischen und modernen Baustoffen erzielen lassen, wird deutlich, dass zur Erfüllung der Wärmehaushaltswiderstandsanforderungen, in der Regel eine zusätzliche Dämmung notwendig ist. Zur Erhaltung der Außenansicht der Fachwerkfassade ist dann eine Innendämmung unumgänglich.

Wird der Mindestwärmehaushaltswiderstand eingehalten, ist bei normaler Wohnraumnutzung auch der Schutz gegen Oberflächentauwasser gewährleistet. Normale Wohnraumnutzung bedeutet, dass die relative Luftfeuchte im Winter im Mittel unter 50 % bleibt [7]. Die Tauwassergefahr ist vor allem beim Anbringen einer Innendämmung zu berücksichtigen, da durch eine derartige Dämmmaßnahme die Temperatur der Innenoberflächen des Fachwerks unter die Taupunkttemperatur der Raumluft sinken kann. Wasserdampfdiffusion oder Luftkonvektion aus dem Wohnraum führen dann ggf. zu einer Feuchteerhöhung im Holz oder der Ausfachung. Um Luftkonvektion zu verhindern, muss der gesamte Wandaufbau stets luftdicht ausgeführt werden. Hohlräume z.B. zwischen Innendämmung und Außenwand sind möglichst zu vermeiden. Aufgrund der häufig vorhandenen Un-

ebenheiten von Fachwerkwänden sind Dämmstoffe, die sich dem Untergrund anpassen können, wie z.B. Dämmputze oder Faserdämmstoffe, günstig. Auch Innendämmungen aus Leichtlehm sind anwendbar, solange damit kein zu hoher Feuchteeintrag während der Applikationsphase verbunden ist. Starre Dämmplatten hingegen können Hohlräume bilden, deren Abdichtung selbst bei besonderer Sorgfalt oft nicht dauerhaft gewährleistet werden kann.

Tabelle 1 Zusammenstellung der rechnerischen Wärmeleitfähigkeit einiger häufig anzutreffender Ausfachungsmaterialien und des resultierenden Wärmedurchlasswiderstandes der Ausfachung bei einer Dicke von 14 cm.

Ausfachungsmaterial	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	Wärmedurchlass- widerstand [m <sup>2</sup> K/W]
Naturstein (Sedimentgestein)	2,3	0,06
Vulkanisch-poriges Gestein	0,5	0,3
Vollziegel	0,7	0,2
Strohlehm	0,5	0,3
Lehm mit Leichtzuschlägen	0,2 – 0,3	0,5 – 0,7
Ausfachungsmörtel	0,2	0,7
Porenbeton	0,12 – 0,14	1,0 – 1,2
Mauerstein + 4 cm Dämmung (Mineralfaser/ Schaumkunststoff)	2,3 0,04	~ 1,0
Fachwerkholz	0,13 – 0,2	0,7 – 1,1

Um Tauwasserschäden an der Holzkonstruktion in der Winterperiode infolge der Innendämmung zu vermeiden, wird nach [8] empfohlen, die Dämmwirkung der zusätzlichen Innendämmung auf  $R = 0,8 \text{ m}^2\text{K/W}$  zu begrenzen oder einen "kapillaraktiven" Dämmstoff, der einen Teil des anfallenden Tauwassers kapillar zum Raum hin zurückführt, zu verwenden. Das Problem der Wasserdampfdiffusion aus dem Raum ist wegen der bereits erwähnten Anforderungen an die Trocknungsmöglichkeit einer Fachwerkwand bei der Planung einer Innendämmung genauer zu betrachten. Der Dampfdiffusionswiderstand der raumseitigen Bauteilschichten sollte nicht höher sein als aus Tauwasserschutzgründen notwendig. In [3] wird dazu unabhängig von der Art der Dämmung ein Mindestwert von

$s_d = 0,5$  m gefordert. Ob die Einhaltung dieses Mindestwertes in der Praxis ausreicht oder ob er sogar noch unterschritten werden kann, wird im folgenden anhand neuerer Versuchsergebnisse erörtert. Insbesondere wird auf die Anordnung einer feuchteadaptiven Dampfbremse auf der Raumseite mit variablem  $s_d$ -Wert eingegangen, die im Winter dichter, im Sommer dampfdurchlässiger ist.

### **3.1 Einsatz einer feuchteadaptiven Dampfbremse**

#### **Untersuchungsvarianten**

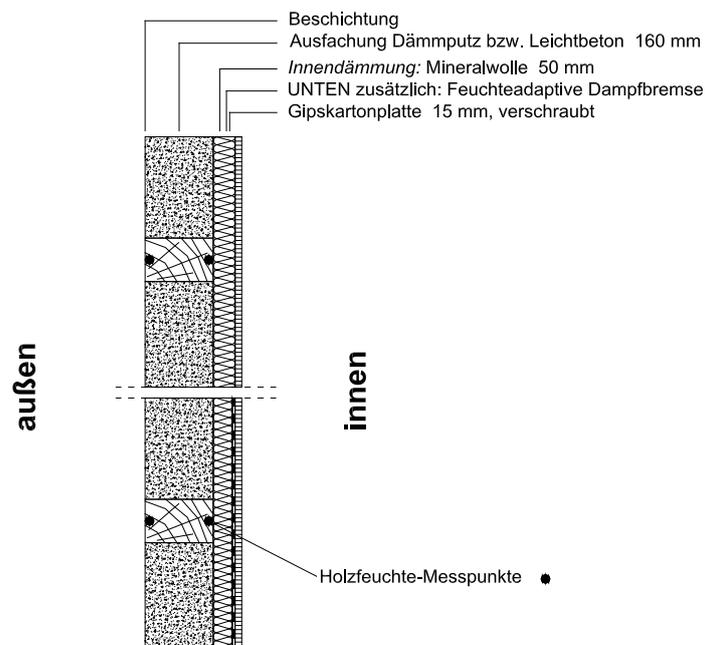
Ziel dieser neueren Untersuchungen ist es, die Funktionsfähigkeit des Einsatzes einer feuchteadaptiven Dampfbremse im Freilandversuch sowie durch begleitende Berechnungen zu überprüfen. Dabei wird am Beispiel eines Fachwerkmörtels als Ausfachungsmaterial und Mineralwolleplatten als Innendämmung der Einfluss einer feuchteadaptiven Dampfbremse untersucht [9]. Die Nord- und Südwand des auf dem Freigelände des IBP bestehenden Fachwerk-Versuchshauses (Bild 1) wurden derart ausgeführt. Der Wandaufbau ist in Bild 3 dargestellt, wobei zwei unterschiedliche Ausfachungsmaterialien zum Einsatz kamen, Dämmputz und Leichtbeton. Am unteren Querbalken wird die Dämmung zur Raumseite hin mit einer feuchteadaptiven Dampfbremse versehen. Mit eingezeichnet ist die Anordnung der Holzfeuchtemessstellen.

Die Fertigstellung des Wandaufbaus erfolgte von Juli bis September 2000. Mit der Messung der Holzfeuchte konnte im August 2000 begonnen werden. Während der ersten Winterperiode (Dezember 2000 bis März 2001) wurde der Innenraum auf ca. 20 °C und 60% relative Feuchte klimatisiert, um extreme Raumklimabedingungen zu simulieren. In der zweiten Winterperiode (Dezember 2001 bis März 2002) wurde die Raumlufttemperatur im Mittel auf 20 °C und die Raumluftfeuchte auf ca. 50 % eingestellt.

#### **Ergebnisse**

Bild 4 zeigt die Verläufe der Holzfeuchte auf der zum Raum hin liegenden Seite des Fachwerkholzes bei der in Bild 3 gezeigten Variante mit Leichtbeton als Ausfachungsmaterial. Man erkennt für die dargestellte Nordseite deutlich den Feuchteanstieg im Winter auf knapp 25 M.-% im Falle einer fehlenden Dampfsperre bzw. -bremse. Die als kritisch einzustufende Holzfeuchte von 20 M.-% gemäß DIN 68800 Teil 2 [10] wird über einen längeren Zeitraum überschritten,

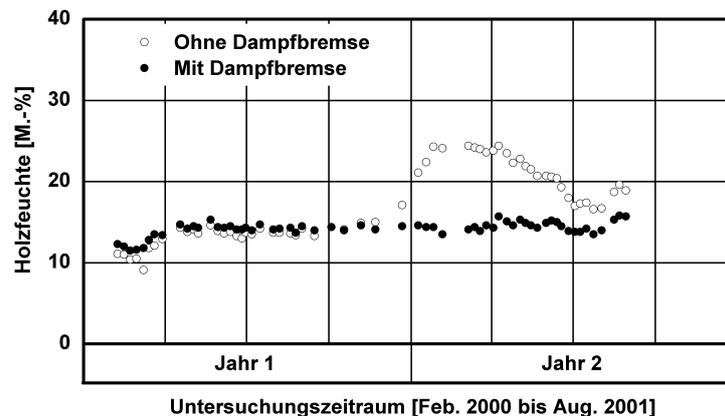
während sich mit Dampfbremse, auf die gesamte Messzeit bezogen, unkritische Werte einstellen. Insgesamt ergeben sich dort Holzfeuchten zwischen 10 und 15 M.-%. Generell liegen aufgrund der höheren solaren Einstrahlung die gemessenen Werte der Holzfeuchte auf der Südseite niedriger als auf der Nordseite (nicht dargestellt).



**Bild 3** Schematische Darstellung des untersuchten Wandquerschnittes am Fachwerkhau. Dämmputz bzw. Leichtbeton als Ausfachungsmaterial. Mit angegeben ist die geometrische Verteilung der Holzfeuchte-Meßstellen.

Um zur Ergänzung der experimentellen Ergebnisse das langfristige Feuchteverhalten zu klären, wurden mit Hilfe des Programms WUFI-2D [4] für die zweidimensionalen instationären Wärme- und Feuchtetransportvorgänge Berechnungen durchgeführt. Bei den Berechnungen wird aus Vergleichsgründen für das Holz als Startwert von einem massebezogenen Feuchtegehalt von 20 % ausgegangen. Als Außenklima dienen Holzkirchner Wetterdaten von 1991, wobei für mehrjährige Berechnungen der Datensatz mehrfach durchlaufen wird. Startzeitpunkt der Berechnungen ist der Oktober. Für das Innenklima werden konstante Verhältnisse von 20 °C und 50 % r.F. angenommen. Bild 5 zeigt für einen Zeitraum von vier Jahren den Verlauf der Holzfeuchte für die Variante mit und ohne feuchteadaptive Dampfbremse. Ohne Dampfbremse steigt der Feuchtegehalt

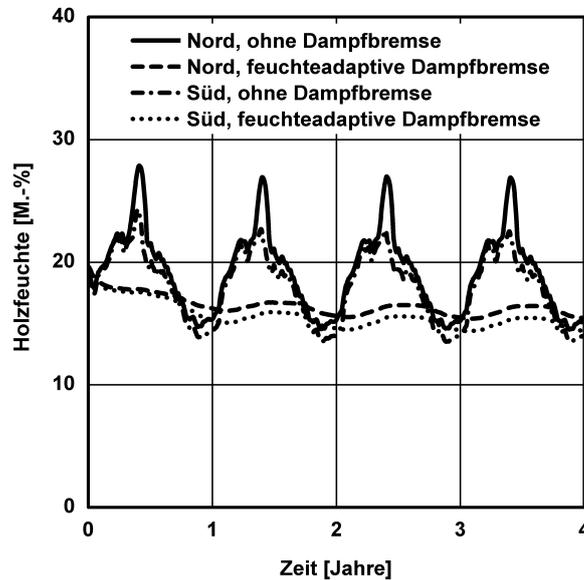
auf der Nord- und Südseite jeweils im Winter stark an und es werden auf der Nordseite Werte bis 28 M.-% erreicht. Durch die sommerliche Trocknung sinkt die Holzfeuchte bis auf 15 M.-%. Trotzdem liegen für Zeiträume von jährlich 3 bis 4 Monaten Holzfeuchten über 20 M.-% vor. Die Variante mit feuchteadaptiver Dampfbremse trocknet im ersten Jahr bis ein Feuchtegehalt von ca. 15 M.-% erreicht wird. Im weiteren Zeitverlauf schwankt die Holzfeuchte jahreszeitlich bedingt und liegt im Mittel bei 15 M.-%. Man erkennt, dass erwartungsgemäß die Südwand trockener bleibt als die Nordwand.



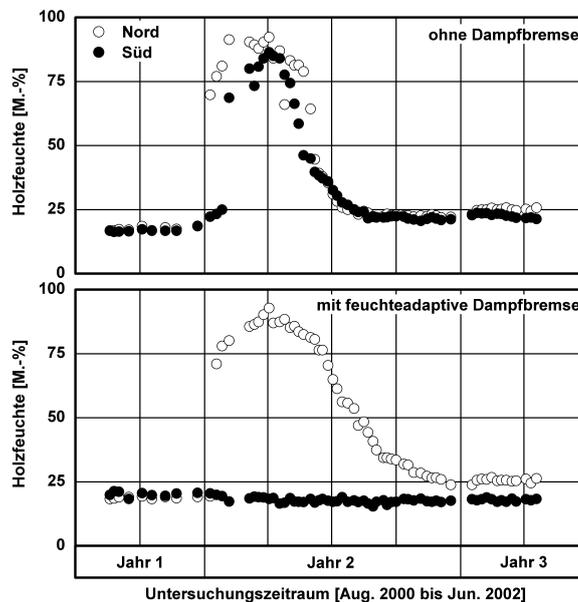
**Bild 4** Gemessene Zeitverläufe der Holzfeuchte an der Innenseite des oberen und unteren Querriegels (ohne Dampfbremse und mit feuchteadaptiver Dampfbremse) auf der Nordseite des Fachwerkhauses für das in Bild 3 dargestellte Gefach mit Leichtbeton als Ausfachungsmaterial. Ab Dezember 2000 wurde die Innenraumluftfeuchte von 50 auf 60 % angehoben, um extreme Raumklimabedingungen zu simulieren

Trotz ähnlichen Aufbaus (Ausfachung Dämmputz statt Leichtbeton) wurden in einem anderen Bereich der Fachwerkfassade wesentlich höhere Wassergehalte beobachtet. Die zeitlichen Verläufe der Holzfeuchte, gemessen auf der Innenseite des oberen und unteren Querriegels für die Variante gemäß Bild 4 mit Dämmputz als Ausfachungsmaterial sind in Bild 6 wiedergegeben. Der Verlauf der Holzfeuchte zeigt bei der Variante ohne Dampfbremse im Januar 2001 einen extremen Anstieg, sowohl für die Nord- als auch die Südseite. Es werden Holzfeuchten über 80 M.-% gemessen. Anschließend findet bis zum Sommer eine Austrocknung auf ca. 20 M.-% statt. In der zweiten Winterperiode ist eine geringfügige Zunahme der Holzfeuchte zu verzeichnen. Bei der Variante mit feuch-

teadaptiver Dampfbremse steigt die Holzfeuchte nur auf der Nordseite im Januar 2001 extrem an. Anschließend nimmt sie langsam bis auf 25 M.-% ab. Auf der Südseite dagegen bleibt die Holzfeuchte erwartungsgemäß unter 20 M.-%.

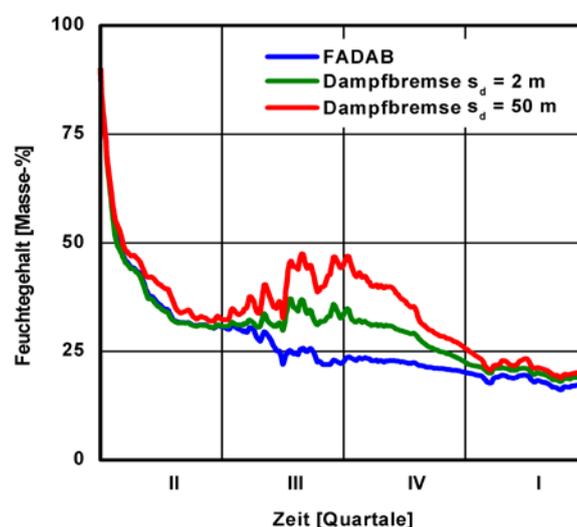


**Bild 5** Für einen Zeitraum von vier Jahren berechnete Zeitverläufe der Holzfeuchte an der Innenseite des oberen und unteren Querriegels auf der Nord- und Südseite des Fachwerkhauses mit und ohne feuchteadaptive Dampfbremse bei einer Innenraumluftfeuchte von 50%.



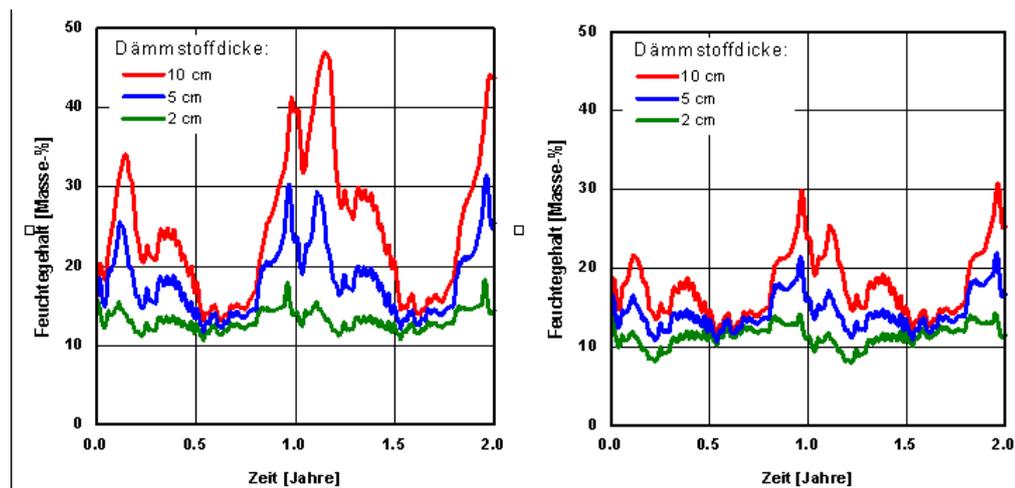
**Bild 6** Gemessene Zeitverläufe der Holzfeuchte an der Innenseite des oberen und unteren Querriegels (ohne und mit feuchteadaptiver Dampfbremse) auf der Nord- und Südseite des Fachwerkhauses für das in Bild 3 dargestellte Gefach mit Dämmputz als Ausfachungsmaterial.

Die gemessenen extrem hohen Feuchtegehalte, sind nicht durch anfallendes Tauwasser zu erklären, da ein derart schneller Feuchteanstieg nicht über Diffusionsvorgängen erfolgen kann. Es müssen in der ersten Winterperiode äußere Einflüsse (Unwetter Lothar) dazu geführt haben, dass in die Konstruktion Wasser von außen eingedrungen ist. Eine vergleichende Bewertung verschiedener Varianten ausschließlich anhand der Messverläufe der Holzfeuchte ist deshalb nicht möglich. Aus diesem Grund werden wiederum zusätzlich zu den Messungen rechnerische Untersuchungen mit WUFI durchgeführt. Bild 7 zeigt die berechneten Zeitverläufe der Holzfeuchte an der Innenseite eines Querriegels auf der Nordseite für das Austrocknungsverhalten der Variante mit feuchteadaptiver und herkömmlicher Dampfbremse (Membran mit einem  $s_d$ -Wert von 2 m) sowie mit einer Dampfbremse aus Polyethylen. Deutlich zeigt sich das rasche Austrocknen mit feuchteadaptiver Dampfbremse, während sich bei einem konstanten  $s_d$ -Wert von 2 m im Sommer etwas höhere Werte der Holzfeuchte ergeben. Bei Verwendung der Dampfbremse mit einem  $s_d$ -Wert von 50 m werden aufgrund von Umkehrdiffusion, wobei durch die Erwärmung der Außenoberfläche die Feuchte aufgrund des sich einstellenden Wasserdampfdruckgefalles nach innen getrieben wird, vorübergehend Feuchtegehalte von bis zu 40 M.-% erreicht.



**Bild 7** Berechnete Zeitverläufe der Holzfeuchte an der Innenseite eines Querriegels auf der Nordseite für das Austrocknungsverhalten der Variante mit feuchteadaptiver Dampfbremse (FADAB) und herkömmlicher Dampfbremse mit niedrigem und hohem Diffusionswiderstand.

Die für die Untersuchungen eingesetzte feuchteadaptive Dampfbremse kann als trocknungsfördernd bezeichnet werden, da sie, wie die Messungen belegen, im Vergleich zu herkömmlichen Dampfbremsfolien bei gleichem Tauwasserschutz eine verbesserte Austrocknung ermöglicht. Der Grund dafür ist, dass sie, wie u.a. in [13, 14] gezeigt, ihren Sperrwert in Abhängigkeit von den Umgebungsbedingungen ändert. Dadurch kann sie im Sommer, wenn die Fachwerkwand nach innen trocknen soll, im Extremfall so dampfdurchlässig werden wie eine Gipskartonplatte ( $s_d$ -Wert: 0,1 m). Bei den Temperatur- und Feuchteverhältnissen im Winter bietet sie mit einem  $s_d$ -Wert von etwa 4 m dennoch einen ausreichenden Tauwasserschutz. Sollte bei einer Fachwerkkonstruktion aus unterschiedlichen Gründen Wasser von außen eindringen, was nicht auszuschließen ist, da sich zwischen Holz und Ausfachung durch Schwinden Fugen bilden können, ermöglicht die feuchteadaptive Dampfbremse im Vergleich zu einer herkömmlichen Dampfbremse ein schnelleres Austrocknen der Konstruktion.



**Bild 8** Mit dem Rechenverfahren WUFI ermittelte Zeitverläufe der Holzfeuchte an der Innenseite des Querriegels ohne Dampfsperre bzw. Dampfbremse auf der Nordseite einer Fachwerkwand bei unterschiedlichen Dicken der innenseitigen Dämmung.  
 Links: für eine normale Feuchtelast (im Winter ca. 40 % r.F.)  
 Rechts: für eine geringe Feuchtelast (im Winter ca. 30 % r.F.).

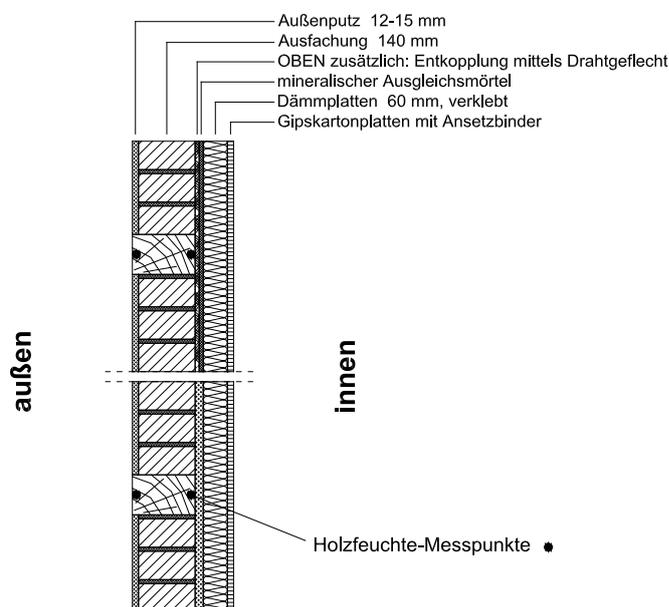
Um zu klären, ob immer eine innenseitige Dampfbremse erforderlich ist, werden für einen Aufbau ohne Dampfbremse die Feuchtegehalte im Fachwerkh Holz bei Annahme einer geringen (im Winter im Mittelwert 30 % r.F.) bzw. normalen Feuchtelast, die im Winter etwa 40 % r.F. im Raum bedeutet, berechnet. Aus den in Bild 8 dargestellten Ergebnissen wird deutlich, dass sich bei geringer Feuchtelast innere Dämmschichtdicken von bis zu 5 cm ohne Schadensrisiko

verbauen lassen. Dies erklärt auch die Tatsache, dass viele Fachwerkinnen-dämmungen schadensfrei bleiben, obgleich eine Dampfbremse fehlt.

### **3.2 Einsatz einer kapillaraktiven Innendämmung**

#### **Untersuchungsvarianten**

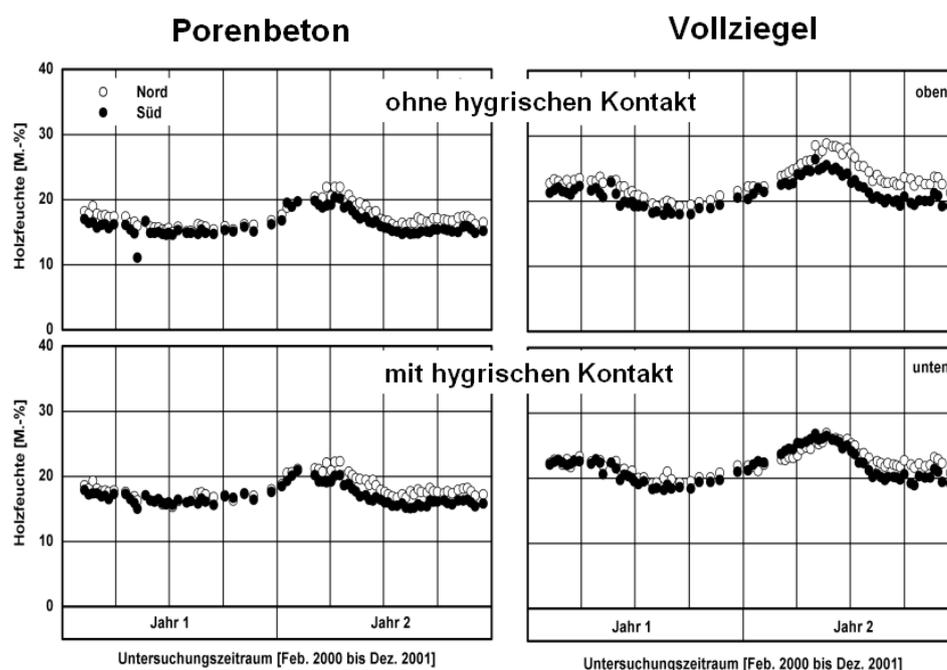
Die zur Untersuchung der Wirkung kapillaraktiver Innendämmungen, wie sie beispielsweise in [8] beschrieben sind, aufgebauten Varianten sind in Bild 9 dargestellt. Bei beiden Untervarianten wurde zusätzlich oben zwischen Ausfachung bzw. Querbalken und Innendämmung eine Entkopplungsschicht aus Drahtgeflecht eingebracht, um zu klären, ob ein vollflächiger idealer hygrischer Kontakt Voraussetzung für die Wirksamkeit eines kapillaraktiven Dämmstoffes ist. Die Variante mit Vollziegelausfachung soll die Verhältnisse bei einem Altbau repräsentieren, bei dem zusätzlich eine Innendämmung aufgebracht wird. Bei der anderen Variante besteht die Ausfachung aus Porenbeton der Rohdichte-klasse 600. Als Innendämmstoff wird für beide Ausfachungsmaterialien eine Porenbetondämmplatte mit einer Rohdichte von ca. 115 kg/m<sup>3</sup> eingesetzt. Die bei den messtechnischen Untersuchungen vorhandenen Randbedingungen entsprechen den in Kapitel 3.1 beschriebenen.



**Bild 9** Schematische Darstellung des Wandquerschnittes zur Untersuchung der Wirkung kapillaraktiver Dämmplatten am Fachwerkhaus (Variante 1 Ausfachung aus Vollziegel und Variante 2 Ausfachung aus Porenbeton). Mit angegeben ist die geometrische Verteilung der Holzfeuchte-Messstellen.

## Ergebnisse

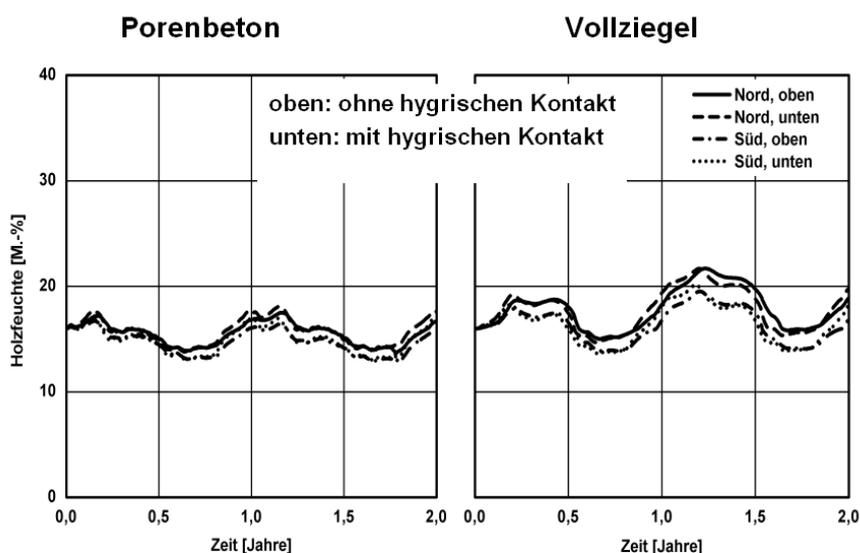
Die zeitlichen Verläufe der Holzfeuchte für die Variante mit Vollziegel- und Porenbetonausfachung, gemessen auf der Innenseite der oberen und unteren Querriegel, sind in Bild 10 wiedergegeben. Die Holzfeuchte zeigt bei der Ausfachung mit Vollziegel sowohl auf der Süd- als auch auf der Nordseite kritische Werte. Bei der Variante mit Porenbetonausfachung liegen die Holzfeuchten auf der Innenseite zu Beginn der Messungen bei 18 M.-% und sinken im Laufe des Sommers auf 15 M.-% ab. In der zweiten Winterperiode (60 % Raumlufffeuchte im Winter 2000/2001) steigen die Feuchten bis zu einem Maximalwert von 22 M.-%, der im März und April 2001 erreicht wird. Danach findet eine langsame Trocknung statt. Die Holzfeuchte ist vor allem in der zweiten Sommerperiode auf der Südseite niedriger als auf der Nordseite. Zwischen der Variante oben (Entkopplung durch Drahtgeflecht) und unten (ohne Entkopplung) ist bei allen Varianten kein grundlegender Unterschied festzustellen.



**Bild 10** Gemessene Zeitverläufe der Holzfeuchte an der Innenseite des oberen und unteren Querriegels für die Variante mit Ausfachung aus Vollziegel (Bild rechts) und Porenbeton (Bild links) auf der Nord- und Südseite des Fachwerkhäuses.

Bei den durchgeführten Berechnungen wird aus Vergleichsgründen vom praktischen Feuchtegehalt, d.h. von einem Sorptionsfeuchtegehalt entsprechend 80 % r.F. ausgegangen. Als Außenklima dienen auch hier die Holzkirchner Standardwetterdaten, wobei für mehrjährige Berechnungen diese Daten mehr-

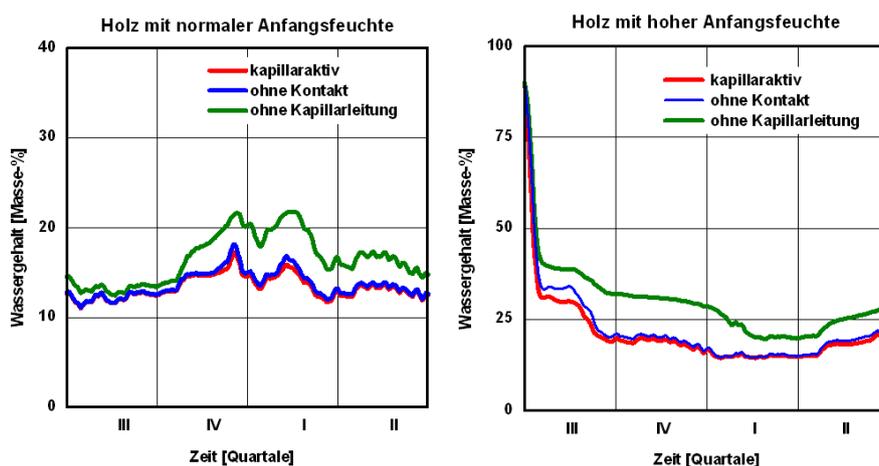
fach durchlaufen werden. Startzeitpunkt der Berechnungen ist der Oktober. Für das Innenklima werden konstante Verhältnisse angenommen, d. h. 20 °C und 50 % r.F. Bei den Berechnungen des langfristigen Verhaltens werden im Unterschied zu den Messungen oberflächennähere Bereiche der Holzbalken untersucht, da dort zeitweise höhere und damit kritischere Feuchtegehalte zu erwarten sind. Bild 11 zeigt für einen Zeitraum von zwei Jahren den berechneten Verlauf der Holzfeuchte bei der Ausfachung mit Vollziegel und Porenbeton für die nord- und südorientierte Wand, jeweils oben und unten, d.h. ohne und mit Kapillarkontakt zwischen Porenbetondämmplatte und Ausfachung bzw. Holzbalken. Man erkennt zum einen, dass erwartungsgemäß die Südwand merklich trockener bleibt als die Nordwand. Ferner bestätigt auch die Berechnung den mit der Zeit auf kritische Werte ansteigenden Holzfeuchtegehalt in der Variante mit Vollziegelausfachung. Ein wesentlicher Einfluss des hygrischen Kontakts kann auch rechenstechnisch nicht festgestellt werden.



**Bild 11** Für einen Zeitraum von 2 Jahren berechnete Zeitverläufe der Holzfeuchte an der Innenseite des Querriegels für die Variante mit Ausfachung aus Vollziegel (Bild rechts) und Porenbeton (Bild links) auf der Nord- und Südseite des Fachwerkhauses.

Zusätzlich wird mithilfe zweidimensionaler Berechnungen das Austrocknungsverhalten eines stark befeuchteten Querriegels mit 80 M.-% (vgl. Sturmschaden Lothar, Bild 6) berechnet. Als Innendämmung wurde dabei eine kapillaraktive Calciumsilikatplatte mit 12 cm Dicke angesetzt, da sie eine deutlich höhere Kapillaraktivität als die Porenbetonplatte aufweist. Bild 12 rechts zeigt den zeitli-

chen Verlauf der Holzfeuchte für die drei gerechneten Varianten, wobei zur Modellierung eines Schadensfalls auf die Feuchtegehalte des Holzes zurückgegriffen wurde, wie sie sich nach dem Unwetterschaden messtechnisch zeigten (Bild 6). Die schnellste Austrocknung ergibt sich im Falle der exakten rechen-technischen Abbildung der Kalziumsilikatplatte mit hygri-schem Kontakt. Ohne hygri-schen Kontakt werden kurzzeitig etwas höhere Holzfeuchten festgestellt. Schaltet man, was rechentechnisch einfach möglich ist, die Kapillarlei-tung aus, so ist unschwer ein langsames Austrocknen festzustellen. Ohne Kapillarlei-tung ergeben sich auch ohne Unwetterschaden, wie Bild 12 links zeigt höhere Holzfeuchtwerte, die zeitweise auch die 20 M.-% übersteigen. Bei diesen Er-gebnissen ist zu berücksichtigen, dass die zugrunde gelegten Materialkennwerte nicht eigenen Messungen entstammen und derzeit noch nicht nachgemessen werden konnten. Außerdem steht eine Überprüfung im Freilandversuch noch aus.



**Bild 12** Berechnete Zeitverläufe der Holzfeuchte an der Innenseite des Querriegels für die Variante mit Ziegelausfachung auf der Nordseite des Fachwerkhauses mit und ohne hygri-schen Kontakt bzw. ohne Kapillarlei-tung für den Fall normaler Holzfeuchte beim Beginn der Berechnungen (Bild links) sowie nach durch Unwet-ter eingedrungener Feuchte (Bild rechts).

Aus den dargelegten Ergebnissen wird klar, dass die Wirkung kapillaraktiver In-nendämmsysteme zu niedrigen Holzfeuchten führen kann, auch wenn, was für Fachwerkbauten aufgrund des jahreszeitlich bedingten Schwind- und Quell-verhaltens typisch ist, kein hygri-scher Kontakt langfristig bewerkstelligt werden kann. Allerdings muss auch bei Einsatz biegesteifer Dämmplatten dauerhaft si-chergestellt sein, dass keine Hinterströmung auftritt und der Anschluss an die

flankierenden Bauteile fachgerecht ausgeführt wird. Sind beide Bedingungen gegeben, kann auch mit Dämmschichtdicken bis zu 10 cm gearbeitet werden, wie weitergehende, aber hier nicht dargestellte Berechnungen zeigen.

#### **4. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen**

Unter Voraussetzung der Erhaltung des äußeren Erscheinungsbildes der Fachwerkfassade bleibt, um die energetischen Anforderungen zu erfüllen, als einzig mögliche Wärmeschutzmaßnahme die Anbringung einer Wärmedämmung auf der Innenseite der Außenwand. Innendämmungen verringern die Feuchtetoleranz der Konstruktion und müssen daher entsprechend sorgfältig geplant und ausgeführt werden. Der Dampfdiffusionswiderstand ( $s_d$ -Wert) der Innendämmung inklusive Innenbeplankung und eventueller Dampfbremse sollte mindestens 0,5 m betragen, sofern nicht dauerhaft eine Nutzung mit geringer Feuchtebelastung sichergestellt werden kann (Büronutzung). Beim Einsatz von Faserdämmstoffen ist die Anwendung einer feuchteadaptiven Dampfbremse mit variablem  $s_d$ -Wert vorteilhaft. Im Vergleich zu herkömmlichen Dampfbremsfolien bietet sie bei gleichem Tauwasserschutz eine verbesserte Austrocknung im Sommer. Sollte bei einer Fachwerkkonstruktion aus unterschiedlichen Gründen Wasser von außen eindringen, ermöglicht die feuchteadaptive Dampfbremse im Vergleich zu einer herkömmlichen Dampfbremse ein schnelleres Austrocknen der Konstruktion. Sind die o.g. handwerklichen und bauphysikalischen Anforderungen erfüllt, kann auch eine Innendämmung mit einem gegenüber den WTA-Empfehlungen größerer Wärmedurchlasswiderstand bewerkstelligt werden.

Ergänzende messtechnische und rechnerische Untersuchungen zur Wirksamkeit von kapillaraktiven Innendämmungen zeigen vor allem am Beispiel einer Kalziumsilikatplatte, dass die erhoffte Wirkung der Kapillaraktivität bei „normalen“ sowie vor allem bei schadhaft hohen Feuchtegehalten gezeigt werden kann. Dabei setzt -auch schon bevor Tauwasser anfällt- im hygrokopischen Feuchtebereich ein Kapillartransport ein (die sog. Oberflächendiffusion), der zu einem Feuchtetransport entgegen dem Wasserdampfdruckgefälle führt. Auch für diese Art der Innendämmung gilt, dass bei richtiger handwerklicher Ausführung für die Innendämmung größere Wärmedurchlasswiderstand als gemäß den WTA-Richtlinien ohne Schaden gebaut werden können. Eine Überprüfung im Freilandversuch sollte möglichst rasch erfolgen.

Grundsätzlich ist bei der Sanierung von Fachwerkbauten auch auf folgendes zu achten:

- Der Feuchteintrag beim Ausfachen oder beim Applizieren raumseitiger Putze und Bekleidungen soll so gering sein, dass die Baufeuchte innerhalb von sechs Monaten austrocknet.
- Luftkonvektion führt zu erheblichen Feuchteschäden sowie unnötig hohen Lüftungswärmeverlusten. Es ist daher unbedingt auf eine luftdichte Ausführung aller Bauteile und Anschlussbereiche zu achten. Hohlräume im Bereich der Dämmung sind zu vermeiden. Dabei ist zu bedenken, dass beidseitig fachwerksichtige Wände in der Regel nicht ausreichend luftdicht auszuführen sind.
- Besonders günstig ist eine Ausfachung mit ähnlichem Wärmedurchlasswiderstand wie das Holzfachwerk, da dies zum einen zu einer gleichmäßigen Temperaturverteilung auf der Innenoberfläche führt und damit ein Abzeichnen der Ausfachung durch Verschmutzung verhindert. Wesentlicher ist aber, dass damit eine deutlich geringere Feuchtebelastung des Holzes erreicht wird.

## **5. Literatur**

- [1] DIN 4108 – Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden. Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz (2001 - 03).
- [2] DIN 4108 – Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden. Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung (2001 - 07).
- [3] WTA-Merkblatt 8-1-96: Bauphysikalische Anforderungen an Fachwerkfassaden. Oktober 1997.
- [4] Künzel, H.M.: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Dissertation Universität Stuttgart, 1994.
- [5] Künzel, H.: Der Feuchtehaushalt von Holz-Fachwerkwänden. Bauforschung für die Praxis, Band 23. IRB-Verlag Stuttgart, 1996.
- [6] Künzel, H.M.: Fachwerksanierung ohne Feuchteschäden. WTA-Kompendium I, Fachwerkinstandsetzung nach WTA, Band 2; Fraunhofer-IRB Verlag, 2002, S. 43 - 49.
- [7] Künzel, H.M.: Raumlufffeuchteverhältnisse in Wohnräumen. IBP-Mitteilung 24 (1997), Nr. 314.
- [8] WTA-Merkblatt 8-3-98: Fachwerkinstandsetzung nach WTA, Beschichtungen auf Fachwerkwänden und Holz. November 1998.
- [9] Zillig, W.; Fitz, C.; Sedlbauer, K.: Austrocknungsverhalten einer Fachwerkwand im Schadensfall. IBP-Mitteilungen 29 (2002), Nr. 410.
- [10] DIN 68800 Teil 2, Holzschutz im Hochbau, Ausgabe Mai 1996.
- [11] Künzel, H.M. und Kasper, F.-J.: Von der Idee einer feuchteadaptiven Dampfbremse bis zur Markteinführung. Bauphysik 20 (1998), H. 6, S. 257-260.
- [12] Künzel, H.M.: Feuchtesichere Altbausanierung mit neuartiger Dampfbremse. Bundesbaublatt 45 (1996), H. 10, S. 798-801.
- [13] Künzel, H.M.: Feuchtetechnische Anforderungen an Wärmeschutzmaßnahmen bei Fachwerkaußenwänden. 2. Intern. Kongress zur Bauwerkserhaltung, Berlin 9.-11. Februar 1994 S. 209-214.
- [14] Häupl, P. et al.: Energetische Verbesserung der Bausubstanz mittels kapillaraktiver Innendämmung. Bauphysik 21 (1999), H. 4, S. 145-154.