Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 115 (1997)
Heft: 36

Artikel: Eine wasserdurchlässige Dampfbremse als Hygrodiode
Autor: Sagelsdorff, Ralph / Rode, Carsten
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-79300

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Ralph Sagelsdorff, Grüt, und Carsten Rode, Lyngby

Eine wasserdurchlässige Dampfbremse als Hygrodiode

Hohe Feuchtigkeit und freies Wasser in Baukonstruktionen können zu bauphysikalischen Problemen und Schäden führen. Vor allem während der Bauphase eingebrachtes oder durch Risse eindringendes Wasser, das bei ungünstigen Konstruktionen nur schlecht austrocknet, wird in der Winterperiode durch Diffusionsprozesse noch erhöht. Eine wasserdurchlässige Dampfbremse als Hygrodiode erlaubt die sichere kapillare Rückführung des Wassers zur Raumseite, wo es verdunsten kann.

Höhere Anforderungen wie sie heute aufgrund gesteigerter Komfortansprüche der Bewohner und ständig verschärfter Energiegesetze an die Elemente der Gebäudehülle gestellt werden, führen oft zu aufwendigeren und komplizierteren Konstruktionen. Dies ist für die Baupraxis unerwünscht, da unbeabsichtigte und oft auch fast unvermeidliche Mängel bei der Ausführung auf der Baustelle zu Bauschäden und zu einer verminderten Lebensdauer der Bauteile führen können. «Baustellensichere» Konstruktionen und Details sollten deshalb eine erste Priorität für den Planer haben. Mit innovativen Ideen und praxisorientierter Forschung können neue sicherere Lösungen für solche baupraktische Probleme entwickelt werden.

Mit einer «Hygrodiode» können die sich in den letzten Jahren häufenden Feuchteschäden in Leichtdächern sicher verhindert werden. Durch Versuche im Labor und mittels Computerberechnungen unter Berücksichtigung des effektiven Klimas ist die Wirkungsweise einer wasserdurchlässigen Dampfbremse nachgewiesen.

Feuchtprobleme bei Leichtdächern

Bilder 1 bis 3 zeigen drei Dachkonstruktionen, die als «Stand der Technik» mit hohem Wärmedämmwert gelten können; sie sind den bei den Bildern angegebenen Quellen entnommen. Alle drei Beispiele sind Warmdächer, d.h., die Wärmedämmung inklusive einem lastübertragenden Holzrost ist zwischen zwei Schichten (meistens als Folien) eingeschlossen:

- warmseitig einer Luftdichtigkeits- und Dampfsperrschicht und
- kaltseitig einer Unterdachbahn.

Obwohl das Warmdach grundsätzlich eine bewährte Konstruktion darstellt und Vorteile bei der Planung und Ausführung gegenüber der Kaltdach-Variante (mit einer Belüftung zwischen Wärmedämmung und Unterdach) ergibt, können Feuchteprobleme auftreten [4]. Ihre Ursachen sind a) zu hoher Feuchtegehalt der Holzkonstruktion (und evtl. der Wärmedämmung) infolge

- ungenügender Holztrocknung vor dem Einbau,
- Durchnässung während der Bauphase (Regen/Schnee) bei mangelhaftem Wetterschutz,
- Leckstellen in der Bedachung;

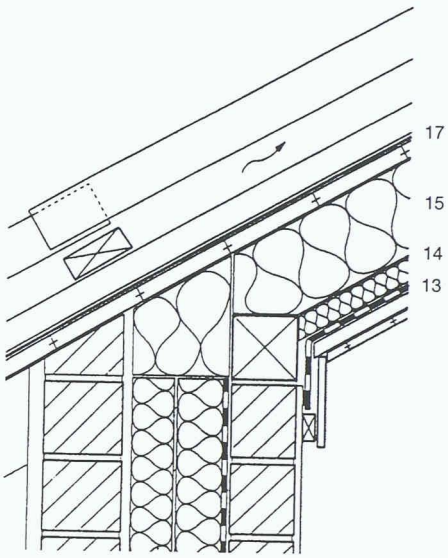
und b) luftdurchlässige Stellen in der Wind- und Dampfsperrschicht infolge

- kaum lösbarer dauerhafter Anschlüsse bei Durchdringungen (Kamine, Oberlichter, Sanitärleitungen, z.B. Bild 4),
- Verletzungen durch Nachfolgearbeiten, z.B. beim Verlegen von Elektroleitungen,
- auf der Baustelle bei Überkopfarbeiten auszuführenden Verklebungen von Folien auf weicher Unterlage oder bei den bei Umbiegungen unvermeidlichen Wülsten.

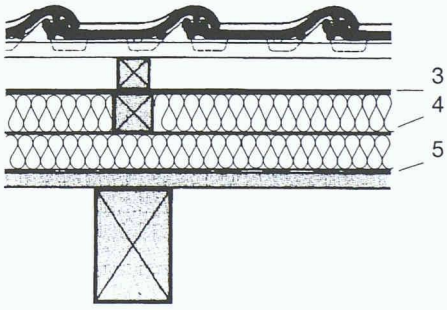
Solche Schwachstellen konnten schon in vielen Fällen nachgewiesen werden (Bild 5). Nur bei äusserst sorgfältiger Ausführung und entsprechender Überwachung und Kontrolle, also kaum im Normalfall, kann eine genügende Luftdichtigkeit gewährleistet werden.

Die Folge einer grösseren Luftdurchlässigkeit ist nicht nur ein grösserer Heizenergiebedarf in der Heizperiode oder ein unbehagliches Raumklima bei starken kalten Winden, sondern auch eine mögliche Durchfeuchtung im Bereich der Wärmedämmung durch den konvektiven Feuchtetransport: die Feuchtigkeit der warmen Raumluft kondensiert im kalten Bereich der Dachkonstruktion.

Das infolge der Ursachen a) oder b) in die Konstruktion eingeführte und dort eingeschlossene Wasser wird nur sehr langsam durch reine Diffusionsvorgänge, die nur sehr geringe Wassermengen transportieren, austrocknen können, woraus sich die folgenden Nachteile ergeben:

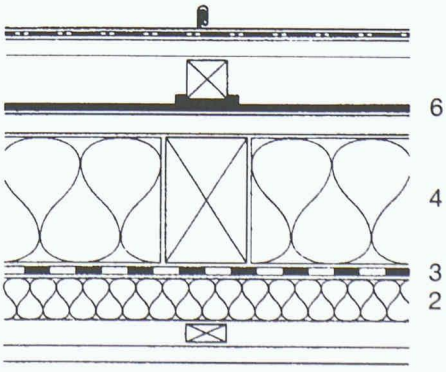


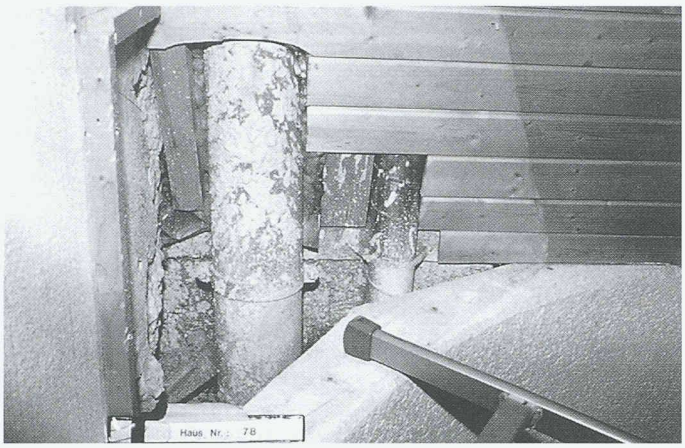
1
Bauteilübergang Aussenwand/Steildach. Steildach mit durchlaufenden Sparren, Quelle [2]
13 Dampfbremse/Winddichtung
14, 15 Mineralwollplatten, 40 bzw. 160 mm
17 Unterdachbahn diffusionsoffen, Stösse verklebt



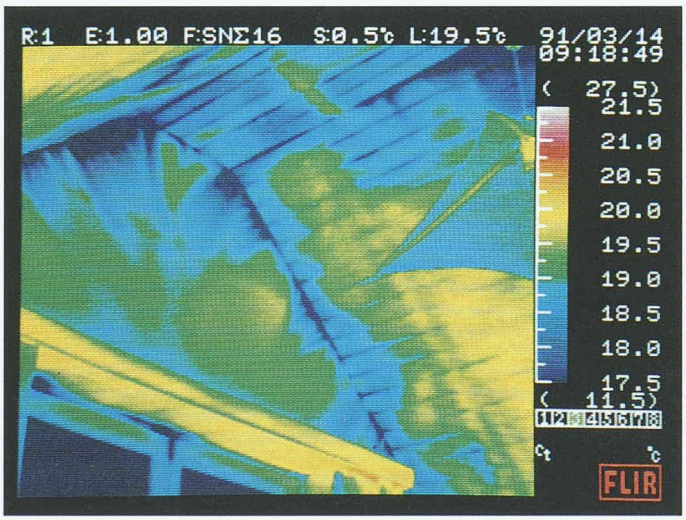
2
Warmdachkonstruktion mit sichtbaren Sparren, Quelle [1]
3 Unterdach: PVC-Kunststoffbahn oder Polymerbitumendichtungsbahn
4 Wärmedämmschicht: anorganische Faserstoffplatten oder organische Schaumstoffplatten
5 Luftdichtigkeits- und Dampfsperrschicht: PE-Kunststoffolie oder Polymerbitumenbahn

3
Schichtaufbau des Dachs Schulhaus Tellenmatt, Stans NW als Tonnendach, Quelle [3]
2 akustische Hinterlage zwischen Lattenrost
3 Dampfbremse und Luftdichtigkeitsschicht
4 Wärmedämmschicht zwischen Holztragsystem
6 Unterdachbahn



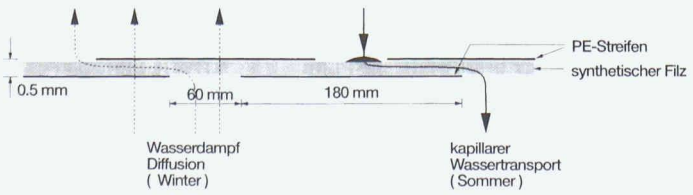


4
Durchdringung von Sanitärleitungen bei einem Schrägdach mit praktisch kaum lösbarer Wind- und Dampfsperre, Quelle [4]



5
Thermografischer Nachweis von Luftleckstellen in einem Schrägdach, Quelle: Empa. Bei Unterdruck im Rauminnern werden die Leckstellen durch kalte einströmende Luft abgekühlt, was im Thermografiebild als dunkle Stellen sichtbar wird

6
Schema der wasserdurchlässigen Dampfbremse. Die dampfbremsende Wirkung wird durch die überlappenden PE-Streifen sichergestellt, während tropfbares Wasser auf der Oberfläche durch die Kapillarität des Nylon-Faservlies-Kerns auf die Unterseite gelangt und dort in die Raumluft verdunstet



- erhöhte Wärmeströme, besonders bei instationären Vorgängen mit stark schwankender Aussentemperatur und Sonneneinstrahlung,
- Gefahr von Schimmelpilzbildung und Fäulnis der eingeschlossenen Holzkonstruktion (Beispiele dazu sind in [4] aufgeführt),
- unkontrolliertes Zurücktropfen von Wasser aus der Konstruktion, primär bei Wetterwechseln.

Wasserdurchlässige Dampfbremse

Die Idee einer solchen Hygrodiode hatte Professor Vagn Korsgaard von der Technischen Universität Dänemark in Lyngby, der sie auch bis zum fertigen Produkt für den Einsatz im Hochbau entwickelte [5].

Der Einsatz einer wasserdurchlässigen Dampfbremse ermöglicht eine problemlose Austrocknung der in der Dachkonstrukion eingeschlossenen Feuchtigkeit.

Bild 6 zeigt den schematischen Aufbau und die Wirkungsweise einer solchen Hygrodiode. Sie besitzt die folgenden Eigenschaften:

- Dicke d: 0,3 mm
- Diffusionswiderstand im Trockenbereich μd: 16 m (Empa-Bericht Nr. 161783 vom 19.3.1996)
- Brandkennziffer 5.2 (Empa-Bericht Nr. 164395 vom 10.7.1996)

Ihre Wirkung ist im Laboratorium und im Feldversuch nachgewiesen [5], [6]. Mit dem von Carsten Rode entwickelten Rechenprogramm für den instationären gleichzeitigen Wärme- und Feuchtedurchgang [8] können objektspezifische Nachweise in der Planungsphase erbracht werden.

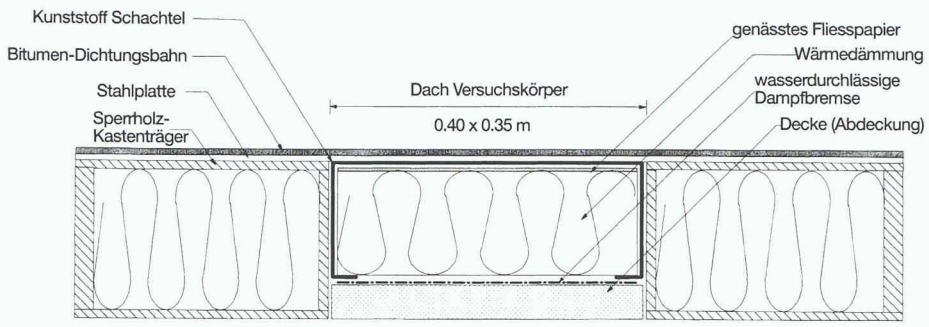
Versuchsresultate

An der technischen Universität von Dänemark wurden unterschiedliche Versuchskörper von Flachdachkonstruktionen mit der wasserdurchlässigen Dampfbremse «Hygrodiode» einem Feldversuch unterworfen.

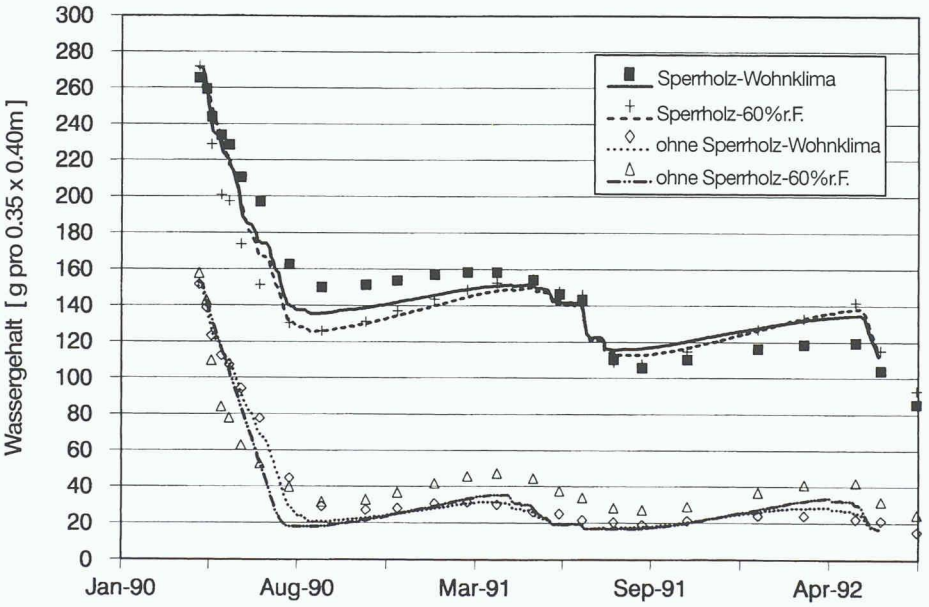
Versuchsanordnung

Das Flachdach der verwendeten Versuchskabine bestand aus Sperrholz-Kastenträgern, die komplett mit etwa 150 mm Steinwolle-Wärmedämmung ausgefüllt waren. Diese Kastenträger bildeten den Rahmen für 16 kleinere Versuchskörper gemäss Bild 7.

Einige dieser Prüfkörper besassen 12,5 mm dicke Sperrholzplatten kaltseitig der Wärmedämmung. Alle Prüfkörper enthielten zudem über der Wärmedäm-



7
Querschnitt des Dachaufbaus der Versuchskabine mit einem Versuchskörper



8
Messresultate (Symbole) und berechneter Verlauf (Linienzüge) des Gesamtfeuchtegehalts in den Versuchskörpern während der zweijährigen Versuchsdauer

mung ein Fliessblatt, das bei Versuchsbeginn mit 140 g Wasser (entspricht 1 kg/m^2) zur Simulierung einer Baufeuchte befeuchtet wurde. Warmseitig der Wärmedämmung wurden Dampfbremsen angebracht, in der Mehrzahl der Prüfkörper wasserdurchlässige Dampfbremsen. Als Referenz wurden jedoch einige Boxen auch mit Polyethylen-Dampfsperren (eher diffusionsdicht) bzw. mit Unterdachbahnen (eher diffusionsoffen) versehen.

Diese Prüfkörper konnten aus dem Flachdach entfernt werden und waren klein genug für eine genaue Wägung (ohne die raumseitigen Abdeckungen). Letztere erfolgte periodisch etwa alle Monate, um den Feuchtegehalt zu verfolgen. Die Versuchsdauer betrug zwei Jahre.

Innenraumklima

Die Versuchskabine war in zwei Innenräume geteilt. Ein Innenraum wurde entsprechend der relativen Feuchte einer typischen Wohnung kontrolliert befeuchtet. Die relative Luftfeuchte des anderen Innenraums wurde ganzjährig als «feuchter Raum» auf konstant 60% relativer Luftfeuchtigkeit geregelt. Beide Räume wurden während der Winterperiode auf konstant 20 °C beheizt, im Sommer waren höhere Temperaturen zugelassen.

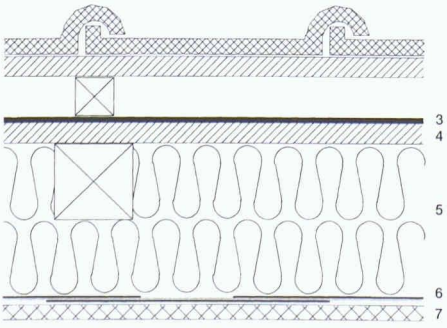
Resultate

Bild 8 zeigt die Messergebnisse für vier Versuchskörper. Sie betreffen Versuchskörper mit und ohne Sperrholzplatte kaltseitig der Wärmedämmung je in den beiden Innenräumen. Alle enthielten eine Mineralwolle-Wärmedämmung und eine wasserdurchlässige Dampfbremse. Die eingesetzten Baustoffe enthielten vor dem Zufügen der 140 g Baufeuchte zu Versuchsbeginn und, wie alle porösen Materialien, hygroskopische Feuchtigkeit. Sie betrug 125 g in der kaltseitigen Sperrholzplatte bzw. 10–20 g bei den anderen Versuchskörpern.

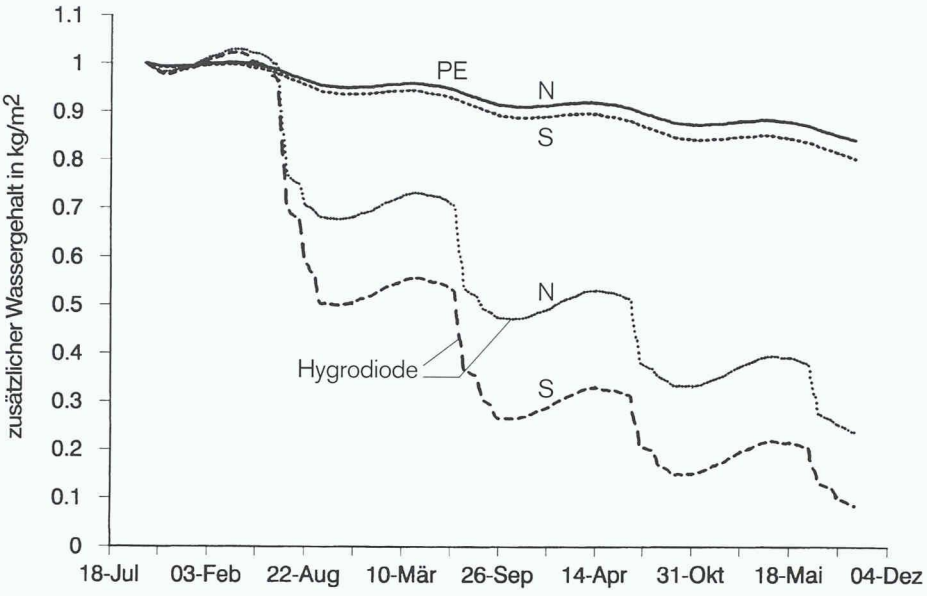
Die 140 g eingeführte Baufeuchte trocknete fast vollständig im ersten Sommer aus. Die verbleibende Restmenge liegt jedoch im hygroskopischen Bereich und wird im gewissen Umfang ständig in den porösen Baustoffen vorhanden bleiben. Dies zeigt sich besonders deutlich beim Vergleich der Versuchskörper mit und ohne kaltseitige Sperrholzplatte. Sperrholz trocknet kaum unter 10 Gewichtsprozent aus, was 65 g Feuchte der Versuchskörper entspricht. Im Versuch wurde dieser Zustand (bei absoluter Dampfsperre auf der kalten Seite!) etwa in der dritten Sommerperiode erreicht; die für eine Fäulnis kritische Grenze von 15–20 Gewichtsprozent, entprechend 100–130 g für einen Versuchskörper, wurde schon im ersten Sommer unterschritten.

Die Austrocknung im Sommer erfolgte offenbar im feuchten Raum etwas schneller. Dies lässt sich damit begründen, dass die relative Luftfeuchte im Sommer in den beiden Innenräumen etwa gleich hoch lag, der feuchte Raum auf der Nordseite jedoch kühler war. Diese Bedingung erleichterte eine häufigere Kondensation auf der wasserdurchlässigen Dampfbremse und damit schnellere anschliessende Austrocknung. Während der Winterperiode erfolgte die Feuchtigkeitszunahme der Versuchskörper im feuchten Raum leicht schneller gegenüber denjenigen im normalem Wohnklima, wie dies zu erwarten war.

Die Messresultate derjenigen Versuchkörper, die nicht im Bild 8 wiedergegeben sind, zeigen ebenfalls eine Austrocknung der Baufeuchte, jedoch nicht so schnell wie bei der Verwendung von Mi-



9
Anwendungsbeispiel für eine Hygrodiode in einem Schrägdach
3 Bitumendichtungsbahn
4 Holzschalung (Fichte), 19 mm
5 Mineralwollplatten, 2×80 mm, λ = 0,035 W/mK
6 Hygrodiode als wasserdurchlässige Dampfbremse
7 Verlegeunterlage



10

Resultate der Berechnung für das Beispiel gemäss Bild 9. Verlauf der zusätzlichen Feuchte für das Klima Kloten für ein unter 45° geneigtes Schrägdach, N.- bzw. S-orientiert, als Dampfbremse eine Hygrodiode bzw. eine PE-Folie

neralwolle-Wärmedämmung. Der Einsatz von expandiertem Polystyrol mit höherem Diffusionswiderstand reduzierte die Austrocknungsgeschwindigkeit um den Faktor 2 infolge des geringeren Transports von Feuchte zur wasserdurchlässigen Dampfbremse unter sommerlichen Verhältnissen.

Versuchskörper mit Polyethylen-Dampfbremsen trockneten nur sehr langsam aus, während Versuchskörper mit einer eher diffusionsoffenen Dampfbremse zu grosse saisonale Schwankungen aufwiesen.

Computerberechnungen

Der Feuchteverlauf in den Versuchskörpern wurde mit einem Programm [9], das den instationären Wärme- und Feuchttransport simuliert, nachgerechnet. Als Randbedingungen wurden die im Versuch gemessenen Innenraumbedingungen und Oberflächentemperaturen des Flachdachs eingesetzt, während die Materialeigenschaften aus der Literatur entnommen bzw. die von früheren Versuchen mit der wasserdurchlässigen Dampfbremse bekannten Werte benützt wurden. Die Resultate sind in Bild 8 als Linienzüge eingetragen. Sie belegen, dass mit dem Programm der Verlauf der Gesamtfeuchte sehr gut simuliert werden kann.

Praktischer Einsatz einer Hygrodiode

Eine sehr gutes konstruktives Beispiel für ein leichtes Schrägdach ist in Bild 9 dargestellt. Mit einem k-Wert von 0,2 W/m²K erfüllt es strenge Vorschriften an den Wärmeschutz. Mit der Hygrodiode auf der Verlegeunterlage werden eine gute Luftdichtigkeit und ein sicheres Austrocknen von in der Konstruktion vorhandener oder eingeführter Feuchte gewährleistet. Dieser Nachweis wurde für das Klima der Station Kloten und das Jahr 1987, das als strenges Aussenklima für das schweizerische Mittelland betrachtet werden kann, unter Benutzung des Programms geführt. Die Berechnungen wurden für das unter 45° geneigte Schrägdach sowohl für eine Nord- wie für eine Süd-Orientierung durchgeführt. Für das Innenklima im Winter wurden die in der Norm SIA 180 vorgeschriebenen Bedingungen (20 °C und 50% r.F.) eingesetzt. Zum Vergleich ist der Feuchteverlauf dargestellt, wenn anstelle der Hygrodiode eine Polyethylenfolie als Dampfsperre eingesetzt wird. Das Resultat ist in Bild 10 dargestellt, wobei als Baufeuchte zu Beginn der Berechnung ein Wert von 1 kg/m² angenommen wurde.

Es ist deutlich ersichtlich, dass beim Einsatz einer Hygrodiode die zusätzliche Feuchte in der Konstruktion viel schneller austrocknet.

Zusammenfassung

Durch den Einsatz einer wasserdurchlässigen Dampfbremse können Feuchteschäden in Warmdächern infolge Mängeln bei der Ausführung weitgehend kompensiert werden. Auch bei einem höheren Diffusionswiderstand des kaltseitigen Unterdachs von Warmdächern besteht durch die Kapillarwirkung einer solchen Dampfbremse die Möglichkeit einer schnelleren Austrockung ins Rauminnere. Damit wird die bauphysikalische Sicherheit von leichten Warmdächern erhöht. Dies gilt für Flach- und Steildächer. Eine Anwendung für analoge Wandkonstruktionen ist ebenfalls möglich. Das gleiche Prinzip einer kapillaren Rückführung von kaltseitigem Kondensat zur warmen Seite, wo es austrocknen kann, ist auch bei gefährdeten Kühlwasser-Rohrleitungen möglich [10].

Adresse der Verfasser:
Ralph Sagelsdorff, Bauphysik, Rebrainstrasse 63, 8624 Grüt, und *Carsten Rode*, Assoc. Professor, MSc, PhD, Technical University of Denmark, DK-2800 Lyngby

Literatur

[1]
Preisig, H.: Ziegeldach: Planung, Ausführung. element 27, Schweiz. Ziegelindustrie, 1987

[2]
Bertschinger, H. et al.: Hochwärmedämmende Wand- und Dachkonstruktionen. Forschungsbericht Empa, Dübendorf 1994

[3]
Lehmann, I.: Konstruktion des Tonnendachs. Schweizer Ingenieur und Architekt Nr. 6/94, S. 72 ff.

[4]
Blaich, J.: Bauschäden erkennen - vermeiden - beheben. Der Schweizer Hauseigentümer und Empa, 1991

[5]
Korsgaard, V.: Hygro Diode Membrane, a New Vapour Barrier. Proceedings of the Conference on Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings III, 1985

[6]
Korsgaard, V., Rode, C.: Laboratory and practical experience with a novel water-permeable vapor retarder. Proceedings of the ASHRAE/DOE/BTECC Conference, Florida 1992

[7]
Korsgaard, V., Rode, C., Bunck-Nielsen, T.: The Self-Drying Roof Concept for Flat Roofs. IWA Congress Amsterdam 1995

[8]
Rode, C., et al.: Moisture conditions of non-ventilated, wood-based, membrane-roof components. Proceedings of the ASHRAE/DOE/BTECC Conference, Florida 1992

[9]
Pedersen, C.R.: Combined heat and moisture transfer in building constructions. Ph.D thesis, Report 214, Technical University of Denmark, Thermal Insulation Laboratory 1990

[10]
Korsgaard, V.: Innovative Self-Drying Concept for Thermal Insulation of Cold Piping. Insulation Materials: Testing and Application, ASTM STP 1320, 1997