

# Bauschäden-Sammlung

Redaktion GÜNTER ZIMMERMANN

## Nichtbelüftetes geneigtes Dach mit Sparrenvoldämmung

### Wasserabtropfungen von der Decke im Sommer 8/95

In einem 1989 errichteten Wohnhaus wurde das Satteldach mit einer Mineralfaser-Zwischensparrendämmung als Voldämmung hergestellt. Die zunächst unerklärlichen Wasserabtropfungen im Sommer, die im Laufe der Jahre zunahmen und besonders auffällig im sehr heißen Sommer 1994 auftraten, konnten auf eine Umgehung der Dampfsperre im Bereich der einbindenden Wände (im Winter) und auf eine Wasserumlagerung unter Temperaturgefälle (im Sommer) zurückgeführt werden.

Schadensverursachend sind hierbei die zu hohe Dampfdiffusion durch das Mauerwerk und eine zu dampfdichte Abdichtung oberhalb der Dämmschicht.

#### Sachverhalt

Im Jahre 1989 wurde im Hochsauerland in Hanglage ein zweigeschossiges Einfamilienhaus errichtet. Die Außenwände bestehen aus porositärem Ziegelmauerwerk. Die Abb. 1 zeigt als Fotografie aus der Bauzeit den späteren Küchen- und Wohnzimmerbereich sowie die mittig unter der Firstpfette verlaufende Innenwand zwischen diesen beiden Räumen und dem Flur.

Über dem Flur, dem Wohnzimmer und der Küche befindet sich ein Satteldach, das im Küchenbereich abgewalmt ist. Hierzu wurden über der Wand zwischen dem Flur und dem Wohnzimmer eine Firstpfette sowie umlaufend an den Traufen Fußpfetten angeordnet. Zusätzlich ist in einem Teilbereich des Wohnzimmers noch eine Mittelpfette vorhanden. Auf diesen Pfetten liegen gemäß Abb. 2 Dachsparren mit Querschnitten von 60 mm x 140 mm. Darauf wurde vollflächig eine 22 mm dicke Holzschalung eingebaut und mit einer Lage Bitumenglasvliesbahn V60 („Vordeckung“) abgedeckt.

Planungsgemäß sollte hier nach den Vorgaben des Dämmstoffherstellers eine Bitumenglasvliesbahn des Typs V13 zum Einbau kommen. Wegen der Angrenzung an einen Flachdachbereich hat der Dachdecker jedoch den Typ V60 verwendet und zum Teil auch mehrlagig eingebaut. Darüber folgen Konterlattung

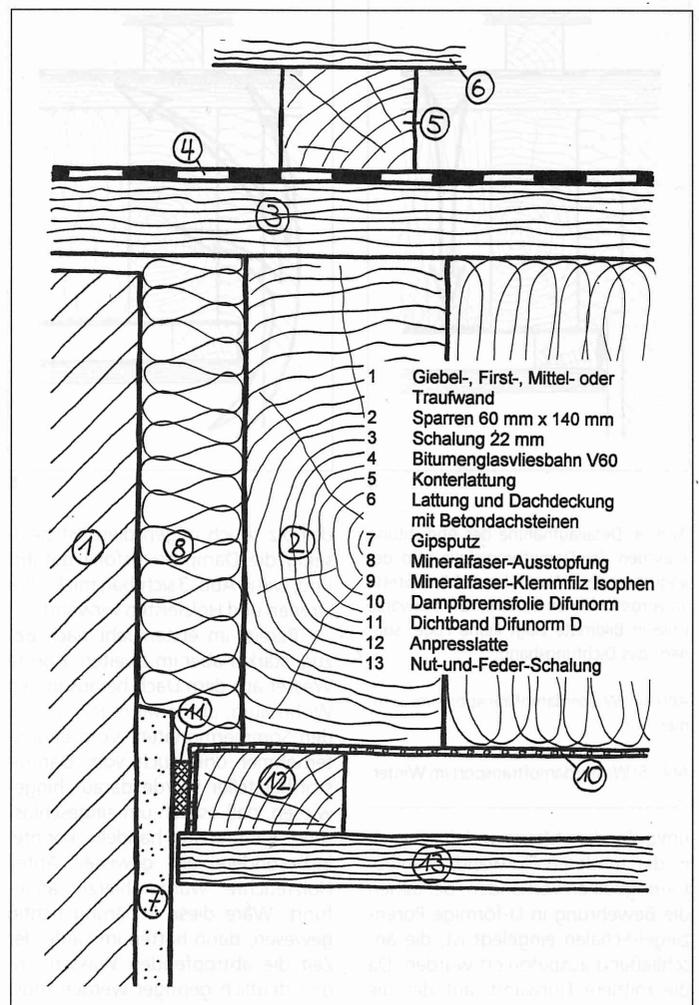
und Lattung sowie die Dachdeckung mit Betondachsteinen „Frankfurter Pfanne“.

Nach Abschluß der Dachdeckungsarbeiten wurden von der Unterseite her Mineralfaserklemmfilze sowie die vom Dämmstoffhersteller gelieferte PE-Dampfbremsfolie mit einer wasserdampfdiffusionsäquivalenten Luftschichtdicke  $s_{d1} \geq 50$  m eingebaut und umlaufend an den Wänden bzw. an der Mittelpfette mit den zugehörigen Klebebändern befestigt und mit Holzleisten verahrt (Abb. 3).

Die Küche und das Wohnzimmer sind bis zum Dach offen, so daß sich ein pultförmiger Deckenverlauf ergibt. Die sichtseitige Verkleidung erfolgte mit einer Nut- und Feder-Schalung.

Durchdringungen sind in dem zu beurteilenden Dachbereich nicht vorhanden. Die Unterlüftung der Dachdeckung oberhalb der bituminösen Abdichtungsbahn erfolgt durch traufseitige Zuluftgitter, Abluftöffnungen im Trockenfirst sowie einige zusätzliche in Firstnähe angeordnete Lüftersteine.

Die Dampfbremse ist an allen Stößen lückenlos und auch an den angrenzenden Bauteilen sehr sorgfältig abgedichtet. Da diese Maßnahmen vom Bauherrn selbst, einem Ingenieur, in Eigenhilfe vorgenommen wurden, ist man seinerzeit auch an besonders verwinkelten Stellen extrem sorgfältig vorgegangen.



Das Mauerwerk des Gebäudes besteht aus Porenziegeln, die aus Gründen des Wärmeschutzes nicht nur im Scherben hochporosiert, sondern darüber hinaus auch noch von zahlreichen vertikalen Luftröhren durchzogen sind. Die Außenwände sind raumseitig und die Innenwände beidseitig mit Gipsputz verputzt.

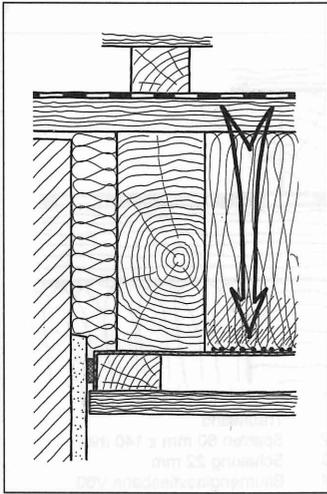
Etwa auf Höhe der Traufe sind

Abb. 1: Bauzustand mit noch unverputztem Porenziegel-Mauerwerk; der Ringbalken auf Höhe der Traufe und die darüber hinausführende mittlere Wandscheibe sind zu erkennen.

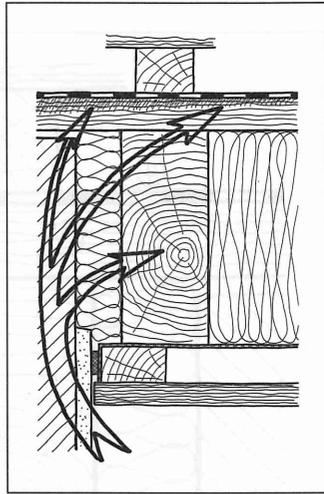
Abb. 2: Vorgefundener Dachaufbau.



3



4



5

Abb. 3: Detailaufnahme der Abdichtung zwischen der Dampfbremsschicht und der angrenzenden Wand bzw. Mittelpfette im vorgefundenen Zustand. Die schwarze Linie in Bildmitte zeigt keine Fuge, sondern das Dichtungsband.

Abb. 4: Wasserdampftransport im Sommer.

Abb. 5: Wasserdampftransport im Winter.

umlaufend im Mauerwerk (und auch in der mittleren Flurwand) Stahlbetonringbalken vorhanden, bei denen die Bewehrung in U-förmige Porenziegel-Schalen eingelegt ist, die anschließend ausbetoniert wurden. Da die mittlere Flurwand, auf der die Firstpfette aufliegt, deutlich höher ist als die Außenwände, ist dort über dem Ringbalken nochmals ein Porenziegel-Mauerwerk vorhanden. Dies ist in Abb. 1 deutlich zu erkennen. Somit erfolgte die Abdichtung der Dampfbremsschicht an den Wänden überall gegen verputzte Porenziegel (zum Teil mit dahinterliegendem Stahlbetonringbalken).

Die Mittelpfette besteht aus Na-

delholz. Auch gegen diese ist beidseitig die Dampfbremsschicht geführt und, wie in Abb. 3 sichtbar, mit Klebestreifen und Holzleisten verwahrt.

Bereits im ersten Jahr nach Bezug, stärker aber im zweiten, tropfte Wasser aus dem Dach heraus in den Wohnraum, und zwar regelmäßig in den Sommermonaten. Vom Bauunternehmer und auch vom Dämmstoffhersteller wurde darauf hingewiesen, daß es sich um eingeschlossene Baufeuchte handeln könnte. Insbesondere ein gewisser Anteil Holzfeuchte wurde hierzu angeführt. Wäre diese Erklärung richtig gewesen, dann hätten im Laufe der Zeit die abtropfenden Wassermengen deutlich geringer werden müssen. Das Gegenteil war aber der Fall. Insbesondere in dem sehr trockenen Juli 1994 sind große Mengen Wassers abgetropft. Ein Zusammenhang mit Regenschauern, also mit von außen eindringendem Wasser, war auszuschließen. Zur Überprüfung der Winddichtigkeit des Daches wurde mit einem Strömungsprüfröhrchen Rauchschwaden erzeugt. Diese Rauchschwaden standen praktisch

unbeweglich in der Raumluft. Daraus ist abzuleiten, daß Luftströmungen, die durch Undichtigkeiten in der Dachfläche ermöglicht werden und die dann im allgemeinen zu wesentlich auffälligeren Feuchtigkeitsschäden führen als Diffusionsvorgänge, hier nicht vorlagen [1] [2] [3].

Zwischenzeitlich erfolgten auch Messungen mit 50 Pa Druckdifferenz (Blower-Door-Verfahren), die ebenfalls keine nennenswerten Undichtigkeiten erkennen ließen.

Anschließend wurden die Holzverkleidung und die Dampfsperre entfernt und auch die Wärmedämmschicht herausgenommen. Hierbei handelt es sich um ein hydrophobiertes Material, das von flüssigem Wasser nicht benetzt wird. Es kann demnach „eigentlich“ nicht durchfeuchten. Im vorliegenden Fall wurden die Mineralfaserklemmfilze aber tropfnaß vorgefunden. Hieraus wird abgeleitet, daß das Wasser nicht in flüssiger Form in die Mineralfaserplatten eingedrungen ist, sondern daß es zunächst dampfförmig vorhanden war und erst innerhalb der Platten bei Unterschreiten der Taupunkttemperatur kondensierte.

Die Annahme, es könnte sich bei dem im Wohnraum austretenden Wasser um Regenwasser handeln, trifft hier nicht zu, denn die äußere Dachebene mit einer Deckung aus Betondachsteinen (Frankfurter Pfanne) und einem Unterdach ist regendicht. Auch korreliert der Zeitpunkt des Auftretens von Wasser auf der Unterseite nicht mit Regenschauern außen, sondern eher mit schönem bis extrem heißem Wetter.

**Ursachen**

Sowohl das Auftreten von Wasser im Sommer als auch die Durchfeuchtung der hydrophobierten Mineralfaserplatten führen zu der Erkenntnis, daß es sich hier um ein Diffusionsproblem, verbunden mit anschließender Kondensation auf der „kalten Seite“ handelt, wobei sich die „kalte Seite“ im Sommer im Wohnraum befindet und nicht auf der Dachoberseite. Über derartige Wasserumlagerungen wurde schon in [4] berichtet.

Die Holzschalung, auf der oberseitig die bituminöse Abdichtung liegt, war zwar zum Zeitpunkt der Besichtigung im Herbst 1994 wieder trocken, Bläueverfärbungen des Holzes deuteten aber darauf hin, daß hier zeitweilig größere Wassermengen vorhanden waren. Hieraus wurde folgende Entstehungsgeschichte, die sich im Laufe der Jahre immer wiederholte, abgeleitet.

Im Winter wird bei relativ hoher Innenlufttemperatur (z. B. der Norm-Innentemperatur von 20°C) und einer

relativen Luftfeuchtigkeit von 50% ein Wassergehalt der Raumluft von etwa 9 g/m³ erzeugt. In Zeiten mit relativ niedriger Außenlufttemperatur bildet sich ein Dampfdruckgefälle von innen nach außen, bezogen auf das Dach also von unten nach oben, und Feuchtigkeit diffundiert auf einem zunächst noch unbekanntem Wege in Richtung des Dampfdruckgefälles in das Dach hinein.

Bei Unterschreitung der Taupunkttemperatur kondensiert der Wasserdampf entweder innerhalb der Mineralfaser-Wärmedämmschicht oder an der Holzschalung und dabei vorwiegend in der Grenzschicht zwischen der Holzschalung und der bituminösen Abdichtung. Da Holz Wasser saugen und speichern kann, können relativ große Wassermengen unbemerkt gespeichert werden, ohne abzutropfen. Es ist dies der Zustand und Zeitpunkt, in dem sich die Bläuefärbung des Schalungsholzes ausgebildet hat.

Da die bituminöse Abdichtung auf der Außenseite dampfdicht ist als im Verhältnis zum Feuchtigkeitseintrag in das Dach zulässig, können die eingedrungenen Wassermengen nicht nach außen entweichen. Dies ist der Grund, daß in neueren Veröffentlichungen zu vollgedämmten Dächern auf der Oberseite extrem dampfdurchlässige (aber gegen flüssiges Wasser dichte) Unterspannbahnen oder Schalungsbahnen gefordert werden. Lediglich in den technischen Unterlagen des Dämmstoffherstellers (auch in den neuesten vom August 1994) ist noch immer eine bituminöse Abdichtung V13 als zulässige Schalungsbahn aufgeführt.

Geht man davon aus, daß bei der hier vorgefundenen Konstruktion das eingedrungene Wasser nicht nach außen schadlos entweichen konnte, sondern sich unterhalb der Dachabdichtung gesammelt hat, so kann anschließend im Sommer der zweite Teil des Diffusionsvorganges in umgekehrter Richtung eintreten. Wenn zu diesem Zeitpunkt hohe Außentemperaturen herrschen und/oder die Sonne auf das Dach scheint, so kehrt sich das Temperaturgefälle um, die Temperaturen auf der Dachoberseite liegen dann bei etwa 45 bis 50 °C, im Wohnraum aber deutlich niedriger, so daß nunmehr die kalte Seite innen ist. Direkt unterhalb der Dachdichtungsbahn befindet sich flüssiges Wasser. Deshalb ist dort die Luft zu 100% mit Wasserdampf gesättigt und es liegt ein sehr starkes Dampfdruckgefälle von oben nach unten vor.

Die eingeschlossenen Wassermengen beginnen entsprechend Abb. 4 unter Einwirkung des Dampfdruckgefälles nach unten zu wan-

dern, durchfeuchten dabei (zunächst als Dampf) die Mineralfaserklemmfilze und kondensieren innerhalb der Wärmedämmung bzw. an der Unterseite. Das Wasser sammelt sich auf der nicht saugfähigen Dampfsperre zunächst in Tropfenform, um dann bei Erschütterungen dem Gefälle folgend hinunterzulaufen und abzutropfen. Mit dem letztbeschriebenen Vorgang ergibt sich der umgekehrte Fall der klassischen winterlichen Dampfdiffusion von unten nach oben und Kondensation unterhalb der Dachfläche, die aber offenbar zuvor während der vorangegangenen Winterperiode abgelaufen sein muß.

Bereits seit Beginn der ersten Abtropfungen wurde von den ausführenden Unternehmen vorgetragen, es müsse sich bei diesem Wasser um eingeschlossene Holzfeuchte handeln, die durch zu nasses Bauholz in den Dachaufbau eingebracht und dann zwischen den dampfdichten Schichten eingeschlossen wurde. Es könne, da es im Winter in der Schalungsebene gespeichert werde, nur im Sommer durch Abtropfen von der Dampfsperre nach unten entweichen. Dies bedeutet ein Eingeständnis des Unternehmers, daß Holz mit einer größeren Feuchte als 20 Masse-% nach DIN 1052 verwendet wurde. Nimmt man an, das Holz sei mit einer Holzfeuchte von etwa 30% eingebracht worden, so können bis zur Ausgleichsfeuchte je m<sup>3</sup> etwa 80 bis 90 kg Wasser freigesetzt werden. Damit wäre aber ein starker Wasserausfall im ersten Sommer, ein geringerer im zweiten usw. zu erwarten gewesen.

Tatsächlich hat aber die Stärke des Wasserausfalls in den vergangenen fünf Jahren immer zu- und nicht etwa abgenommen. Deshalb wurde – mit einigen Vorbehalten, die noch der weiteren Untersuchung (ggf. auch an ähnlichen Gebäuden) bedürfen – eine These über einen zusätzlichen Wassereintrag in das Dach während des Winters entwickelt, die nach Kenntnis des Autors bisher in keiner Fachveröffentlichung beschrieben wurde. Unter Berücksichtigung des sehr sorgfältigen und dichten Einbaus der Dampfbremsfolie kann die Dampfdiffusion nur an dieser vorbei durch die Giebel-, Innen- und Außenwände erfolgt sein, an die die Dampfsperre angepreßt wurde (Abb. 5). Im vorliegenden Fall könnte sogar für die Dampfmengen, die zunächst bis in die Porenziegel eingedrungen sind, eine Dampfströmung in den vertikalen Luftröhren überlagert sein. Dies ist davon abhängig, wie dicht die Mörtelbänder in den horizontalen Lagerfugen ausgeführt wurden.

Nach den Herstellerunterlagen hat die Dampfbremsfolie eine wasser-dampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke  $s_d \geq 50$  m. Für Porenziegel ist im Teil 4 der DIN 4108 dagegen lediglich eine Diffusions-Widerstandszahl  $\mu = 5$  angegeben. Dabei bezieht sich dieser Wert auf den Wasserdampftransport senkrecht zu den Luftröhren und nicht innerhalb von diesen. Multipliziert man diesen Wert mit der etwa notwendigen Diffusionsstrecke von 0,2 m, so ergibt sich im günstigsten Fall eine wasser-dampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke von  $s_d = 1$  m und damit ein um den Faktor 50 geringerer Wert als bei der Dampfbremsfolie.

Feuchtwarme Luft ist leichter als trockene und sie sammelt sich deshalb am höchsten Punkt des Wohnzimmers direkt unter der Firstpfette. Hier ist, wie in Abb. 1 zu sehen, oberhalb des Stahlbetonringbalkens ein relativ großer Bereich aus Porenziegel-Mauerwerk vorhanden, durch das der Wasserdampf in die Dachkonstruktion eindringen konnte.

Überschlägige Berechnungen wurden für eine mittlere Winter-Außentemperatur von +2°C (nicht -10°C nach DIN 4108) und für zwei verschiedene Innenklimabedingungen ausgeführt. Sie haben ergeben, daß durch die Dampfbremsfolie auf der gesamten Dachfläche von etwa 60 m<sup>2</sup> je nach Diffusionswiderstand der Dampfsperre nur zwischen 0,3 und 3 kg Wasser innerhalb einer Tauperiode in das Dach hineindiffundiert sein kann. Für die einbindenden Wände mit einem Flächenanteil von nur etwa 10 m<sup>2</sup> ergibt sich aber zwischen 4 und 15 kg Wasser/Tauperiode.

Bei einer Kondensation im obersten Teil des Daches kann man aufgrund des Gefälles für flüssiges Wasser eine relativ gleichmäßige Verteilung im gesamten Dachbereich annehmen. Die Abtropferscheinungen traten dann am jeweils tiefsten Punkt des Daches zutage.

**Sanierung**

Dem Bauherrn wurde in Abstimmung mit einem in der Nähe ansässigen Hersteller von Unterspann- und Schalungsbahnen vorgeschlagen, die zur Zeit vorhandene oberseitige bituminöse Abdichtung zu entfernen und auf der zu belassenden Holzschalung eine dampfdurchlässige Schalungsbahn mit einem Diffusionswiderstand  $s_d < 3$  m zu verlegen. Auch eine extrem durchlässige Unterspannbahn mit  $s_d = 0,02$  m wäre verwendbar. Von der Unterseite her ist das Dach mit der gleichen Sorgfalt wieder zu verschließen, mit der es seinerzeit ausgeführt wurde. Die Klemmfilze und das Holz des Dachstuhls werden dann nach

Flächen:	Wandanteil 10 m <sup>2</sup>	Dachanteil 60 m <sup>2</sup>	Verhältnis 1:6
Tauwasser-massen bei			
$s_d = 20$ m:	4 bis 15 kg	0,8 bis 3 kg	5:1
$s_d = 50$ m:	4 bis 15 kg	0,35 bis 0,8 kg	10:1

oben hin abtrocknen. Diese Maßnahmen wurden im Juni 1995 ausgeführt. Dabei zeigte sich ein starker Fäulnis-Zerfall des Schalholzes in den Bereichen oberhalb der einbindenden Wände. Hieraus ist eine Bestätigung der oben beschriebenen Annahme gegeben.

**Stellungnahme**

Sämtliche dem Autor bisher bekannten Veröffentlichungen gehen stillschweigend davon aus, daß bei den Berechnungen zur Dampfdiffusion im Steildach eine Diffusion durch das angrenzende Mauerwerk nicht betrachtet werden muß. Wenn dies bei ausreichend diffusionsoffener Dachoberseite – wie im Regelfall angenommen – tatsächlich stimmt, so zeigt sich, wie unkritisch der Dachaufbau im Normalfall ist. Selbst die Musterberechnung des Dämmstoffherstellers unter Annahme einer oberseitigen Lage aus Glasvlies-Bitumendachbahn V13 führt zu dem Ergebnis, daß der Dachquerschnitt diffusionstechnisch nach DIN 4108, Teil 3, in Ordnung sei.

Im hier zu beurteilenden Fall wurde mit der Bitumendachbahn aber, im Verhältnis zu den einbindenden Wänden, eine wesentlich zu dampfdichte oberseitige Abdichtung gewählt. Damit ist der Dampfübertragungsweg durch die Wände nicht mehr zu vernachlässigen. Die einseitige Betrachtung der Diffusionsvorgänge im Normalquerschnitt des Daches ist hier nicht ausreichend.

Erst in den letzten Jahren haben die Hersteller von Wärmedämmstoffen für das Dach und von Abdichtungsbahnen begonnen, in ihren Details nicht nur den Normalquerschnitt, sondern auch den Anschluß an die Giebel- und Außenwände zeichnerisch darzustellen. Die Wände selbst wurden aber bisher noch nicht betrachtet.

Ein Warnvermerk zu dieser Einbausituation ist in den Unterlagen des Dämmstoffherstellers nicht vorhanden. Möglicherweise ist dort ein entsprechender Schadensfall bisher nicht bekannt geworden, da die Bauweise des vollgedämmten Daches zwar theoretisch bereits länger untersucht wird, für die Anwendung in der handwerklichen Ausführungspraxis aber noch relativ neu ist. Auch die Kombination eines sehr dampfdichten Unterdaches (wie mit der

Abb. 6: Wand- und Dachflächenverhältnis sowie Abschätzung der ausfallenden Tauwasser-massen bei zwei verschiedenen Innenklima-Annahmen und für zwei verschiedene Diffusionswiderstände der Dampfsperre.

V13-Bahn vom Dämmstoffhersteller ausdrücklich zugelassen) mit einem sehr dampfdurchlässigen Porenziegel-Mauerwerk ist eine Bauweise, die in dieser Form wohl nicht sehr häufig vorkommt. Anderenfalls würde sich hier eine neue Generation von Bauschäden entwickeln. Analog zu Wärme- oder Schallbrücken könnte man hier von „Wasser-dampfdiffusionsbrücken“ sprechen.

Abschließend ist darauf hinzuweisen, daß sich der Hersteller des Dämmsystems bei einem Disput über die eingebaute obere Abdichtungslage sicher darauf versteifen wird, hier sei eine Dachdichtungsbahn V60 anstelle einer V13 eingebaut worden. Nach den Produktunterlagen verschiedener Hersteller sind deren wasser-dampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicken  $s_d$  aber nicht sehr unterschiedlich, so daß man sich dann lediglich um die Frage streiten würde, ob hier kein oder gar kein Wasser aus dem Dach nach draußen entweichen konnte, während durch die Dampfsperre wenig, durch das angrenzende Porenziegel-Mauerwerk aber viel hindiffundieren kann.

Carsten Ruhe

**Literatur**

- [1] Ruhe, C.: Warmdach mit Trapezblechdecke über Kühlhalle, Tauwasserbildung durch Wasserdampf-Konvektion. Bauschäden-Sammlung, Band 8, S. 16–17, Forum-Verlag, Stuttgart, 1991.
- [2] Ruhe, C.: Belüftetes Dach eines Rinderstalles, starker Schimmelbefall. Bauschäden-Sammlung, Band 9, S. 32–35, IRB Verlag, Stuttgart, 1993.
- [3] Ruhe, C.: Belüftetes Lagerhallendach mit Mineralfaser-Unterdecke, Tauwasserbildung infolge Luftströmung. DAB 1994, Heft 6, S. 997 f.; auch in Bauschäden-Sammlung, Band 10, IRB Verlag, Stuttgart, 1995.
- [4] Zimmermann, G.: Stahltrapezblechdecke mit „Warmdach“-Aufbau, Wasserabtropfungen von der Decke im Sommer. Bauschäden-Sammlung, Band 6, S. 56–59, Forum-Verlag, Stuttgart, 1986.