

# Feuchtesicherheit unbelüfteter Blechdächer; auf die Dampfbremse kommt es an!

Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. mult. Dr. E. h. mult. Karl Gertis zu seinem 60. Geburtstag gewidmet  
Hartwig M. Künzel, Theo Großkinsky

## 1. Einleitung

Unbelüftete Dachkonstruktionen haben viele Vorteile. Neben konstruktiven und wirtschaftlichen Aspekten sprechen auch eine Reihe von bauphysikalischen Gründen gegen eine Dachbelüftung [1]. Da die Blecheindeckung jedoch einen sehr hohen Dampfdiffusionswiderstand aufweist, so dass nach außen so gut wie keine Feuchte entweichen kann, wird in den Richtlinien des Klempnerhandwerks [2] auf folgende Sicherheitsmaßnahmen verwiesen: Besonders sorgfältige und dichte Ausführung, Verwendung einer Dampfsperre mit  $s_d > 100$  m sowie trockene Lagerung der Wärmedämmung. Die dichte Dampfsperre soll verhindern, dass Raumluftfeuchte in das trockene Dach eindringen kann. Diese Maßgabe hat zur Folge, dass auch keine Feuchte aus dem Dach austrocknen kann. Dabei wird übersehen, dass Holz und Holzwerkstoffe selbst im lufttrockenen Zustand beträchtliche Wassermengen enthalten können. Beispielsweise wird eine Holzschalung mit einer Feuchte von 15 M.-% als trocken angesehen. Unter der Blecheindeckung kann sie jedoch im Sommer bis unter 8 M.-% austrocknen. Dies bedeutet, dass bei einer 30 mm dicken Schalung etwa  $1000 \text{ g/m}^2$  Feuchte im Dach vagabundieren und sich an kühlen Stellen meist auf der Innenseite niederschlagen können. Da außerdem kleine Fehlstellen nie ganz auszuschließen sind, sollte immer eine gewisse Austrocknungsmöglichkeit zur Raumseite hin bestehen. Deshalb werden für die im folgenden beschriebenen Freilanduntersuchungen an einem unbelüfteten Blechdach im Gegensatz zu den Empfehlungen in [2] ausschließlich Dampfsperren mit Sperrwerten deutlich unter 100 m verwendet.

## 2. Aufbau des Versuchsdaches

Auf einem Versuchshaus von 6,7 m Länge und 4,7 m Breite auf dem Freilandversuchsgelände des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik ist ein Satteldach mit  $50^\circ$  Neigung und Blecheindeckung errichtet worden. Der First des Gebäudes hat eine Ost/West-Orientierung, d. h. es ergeben sich nach Norden und Süden geneigte Dachflächen. Der Dachraum ist über eine außen angebrachte Treppe zugänglich. Bild 1 oben zeigt eine Aufnahme des Gebäudes aus Südosten und eine Innenansicht der gedämmten Dachflächen (unten). Die Abmessung der gesamten Versuchsdachfläche beträgt ca. 4 m vom First bis zur Traufe, bei insgesamt 7,5 m Breite. Der grundsätzliche Aufbau der Versuchsdachflächen entspricht der schematischen Darstellung in Bild 2 (oben) mit folgenden Ausführungen: Zwischen den Sparren war durchgehend Mineralwolle von der Dicke der Sparrenhöhe (18cm) und der Wärmeleitfähigkeitsgruppe 040 eingebracht worden, so dass keine Luftschicht zwischen der Dämmung und der rohen Holzschalung ( $d = 30 \text{ mm}$ ) gegeben ist.



**Bild 1:** Fotografische Aufnahmen des Versuchshauses.  
**Oben:** Ansicht des Versuchsgebäudes aus Südosten.  
**Unten:** Innenansicht der Versuchsdachhälfte mit den verschiedenen Dampfbremsen

Für Sparren und Holzschalung wurde feuchtes Holz mit einem Wassergehalt von mindestens 30 M.-% verwendet, das zusätzlich mit einem Wasserschlauch vorgehäst wurde. Dadurch wurde eine unzulässig hohe Anfangsfeuchte der Holzbauteile erreicht, die jedoch in der Praxis in ungünstigen Fällen vorkommen kann. Auf die gesamte Dachfläche ist Zinkblech ( $d = 0,7 \text{ mm}$ ) in Doppelfalzdeckung verlegt. In der ersten Versuchsperiode sind raumseitig auf jeweils zwei Sparrenfeldern drei verschiedene Dampfbremsen und eine Traglattung aufgebracht worden (siehe Bild 1 unten). An jedem Ortgang befindet sich ein Sparrenfeld als Randzone, an der keine Messung durchgeführt wurde. Bei den Dampfbremsen handelt es sich um eine Dampfbremspappe aus Natronkraftpapier mit einem  $s_d$ -Wert von ca. 3 m, einer Polyethylenfolie mit  $s_d \approx 50$  m und der feuchteadaptiven Dampfbremsfolie auf Polyamidbasis [3] mit einem  $s_d$ -Wert, der je nach Umgebungsfeuchte zwischen 0,1 m und 5 m liegt. Für eine zweite Versuchsreihe wurde nach Demontage der Traglatten und Dampfbremsen die Mineralwollendämmung wieder entfernt, die Dachschalung zwischen den einzelnen Versuchsfeldern durchtrennt und die Trennfuge mit Dichtmasse verfüllt. Diese Maßnahme soll verhindern, dass die Schalungsfeuchte kapillar von einem Sparrenfeld in das nächste trans-

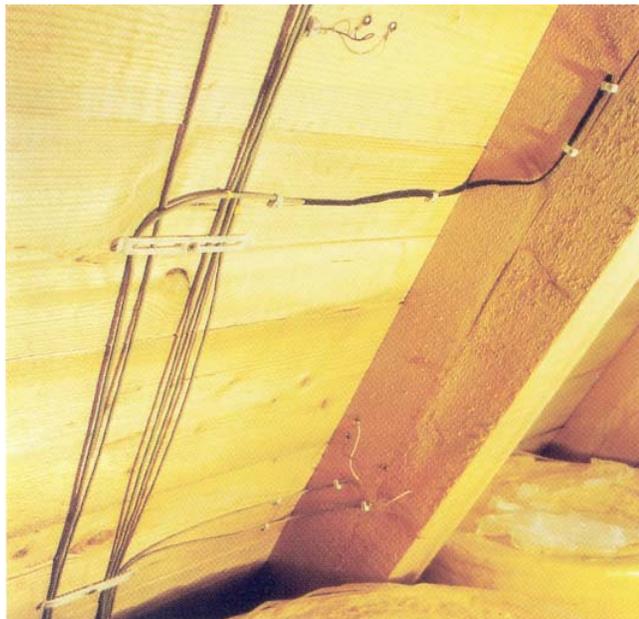
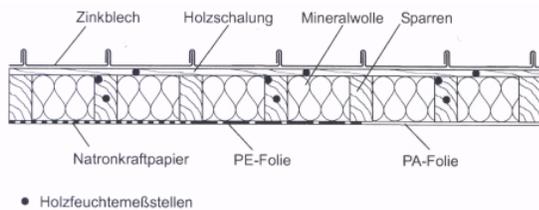


Bild 2: Schematische Darstellung des Aufbaus der Versuchsdachfelder im ersten Untersuchungsabschnitt (oben) und Aufnahme eines Messfeldes mit Holzfeuchte- und Temperaturmessstelle vor dem Einbau der Dämmung (unten)

portiert wird. Anschließend wurden die Schalungsbretter und Sparren durch das Verdampfen von Wasser im Dachraum und direktes Besprühen nachgefeuchtet, der Zwischensparrenraum mit neuem Glaswolle-Klemmfilz ausgefüllt und jeweils zwei der drei nach Norden und Süden orientierten Versuchsfelder mit der feuchteadaptiven Dampfbremssfolie raumseitig abgedichtet. Als Innenbeplankung wurden zu Vergleichszwecken 12,5 mm dicke Gipskartonplatten bzw. 16 mm dicke Spanplatten (V100) auf Traglattung aufgebracht.

### 3. Messinstallationen und Durchführung der Untersuchungen

Die Errichtung des Dachstuhls, Innenausbau und Messinstallation erfolgten im Juli 1996, anschließend wurden die Untersuchungen gestartet. Mit Einsetzen der kühlen Witterung im Herbst wurde der Dachraum mit Elektrokonvektoren beheizt und die Raumluftfeuchte mit Hilfe von regelbaren Verdunstern eingestellt. Bild 3 zeigt die gemessenen Verläufe der Raumlufttemperatur und -feuchte während der ersten Versuchsperiode vom August 1996 bis September 1997. Die anfänglich hohe relative Feuchte ist auf die Austrocknung eines frisch eingebrachten Fußbodenstrichs zurückzuführen. Im zweiten Versuchsabschnitt vom Dezember 1997 bis August 1998 wurde die Temperatur im Dachraum während der Heizperiode auf 21 °C gehalten und die relative Feuchte auf Werte zwischen 45 % und 55 % geregelt. Um die Wirkung der jeweiligen Dampfbremse auf die Trocknung des feucht verbauten Holzes zu erfassen, waren in den „Messsparren“ - der jeweils mittlere Sparren in den Feldern - ca. 60 cm von Sparrenmitte Richtung First bzw.

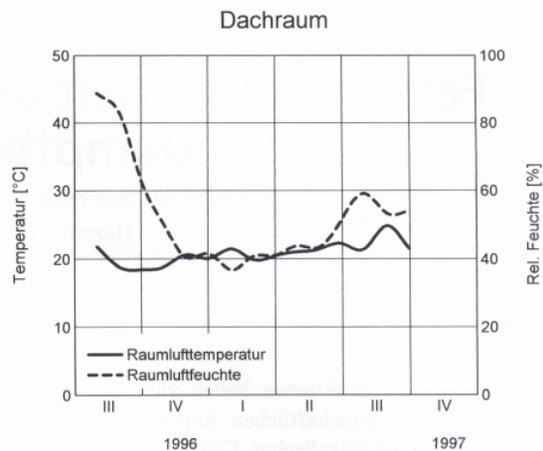


Bild 3: Zeitliche Verläufe der Tagesmittelwerte von Raumlufttemperatur und relativer Luftfeuchte im Dachraum während der ersten Messperiode.

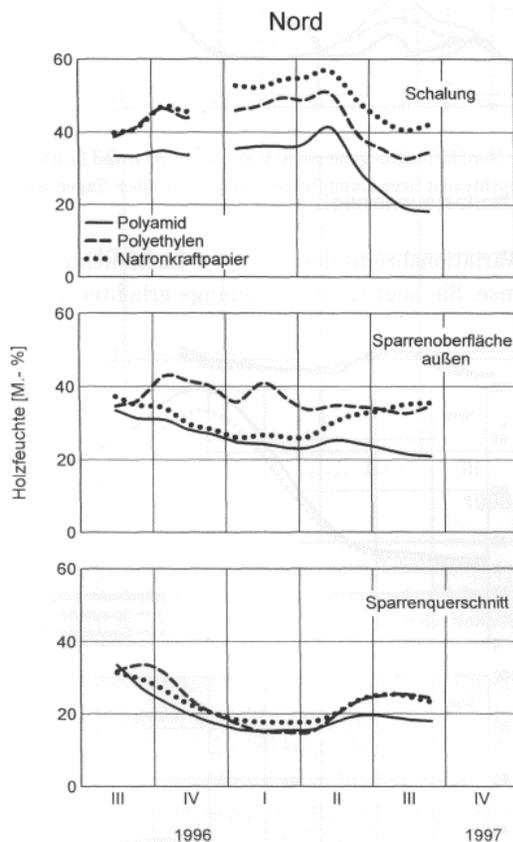
Traufe 20 mm lange Schraubelektroden installiert. Auf der Schalung waren die Elektroden zusätzlich noch in Feldmitte angebracht. Bild 2 (unten) zeigt ein Messfeld mit Holzfeuchte- und Temperaturmessstelle vor dem Einbau der Dämmung. Die Werte konnten mit Hilfe eines elektrischen Holzfeuchtemessgerätes über Umschalter nach Bedarf - in der Regel wöchentlich - gemessen werden. Hierbei wurde bei den Sparren durch Einschrauben nebeneinander liegender Elektroden ca. 2 cm von der Außenseite des Balkens entfernt und durch zwei gegenüber angeordnete Elektroden in der Mitte der Balkenseiten über den Holzquerschnitt gemessen. Die Messung des elektrischen Widerstandes an ca. 20 mm tief ins Holz eingeschraubten Elektroden im Bereich der Außenseite des Sparrens erlaubt die Bestimmung der Oberflächenfeuchtigkeit des Balkens an dieser Stelle. Die gegenüberliegenden Elektroden im Sparren messen den elektrischen Widerstand über den Holzquerschnitt hinweg und gestatten so eine Abschätzung der mittleren Feuchte über den Sparrenquerschnitt in diesem Bereich. Bei der Holzschalung sind die Elektrodenpaare in einzelne Bretter eingeschraubt. Sie ermöglichen eine Aussage über den Feuchtezustand der Brettabschnitte. Im ersten Versuchsabschnitt wurden in jedem Versuchsfeld jeweils an zwei Stellen die Oberflächenfeuchte im Außenbereich des Sparrens sowie die Feuchte des Sparrenquerschnitts und an drei Stellen die Holzschalung gemessen. Für den zweiten Versuchsabschnitt wurden die Elektroden zur Messung der Oberflächenfeuchte der Sparren statt an der Außenseite des Sparrens 2 cm von der Innenseite des Sparrens entfernt installiert, während alle anderen Holzfeuchtefühler unverändert blieben. Zusätzlich wurden zwischen dem Klemmfilz und der Dampfbremse kapazitive Luftfeuchtefühler angebracht, die eine kontinuierliche Erfassung der Feuchte-situation an der Außenseite der Dampfbremsen erlauben. Die Oberflächentemperaturfühler direkt unter der Blecheindeckung auf der Nord- und Südseite des Daches waren während der zweiten Versuchsperiode ebenfalls an die kontinuierliche Datenerfassungsanlage angeschlossen. In der ersten Versuchsperiode dienten sie wie die anderen Temperaturmessstellen lediglich zur Korrektur der Holzfeuchtemessung.

### 4. Messergebnisse

#### 4.1 Erster Versuchsabschnitt

Die von August 1996 bis September 1997 in der Nordhälfte des Daches gemessene Holzfeuchte in den Sparren sowie in der

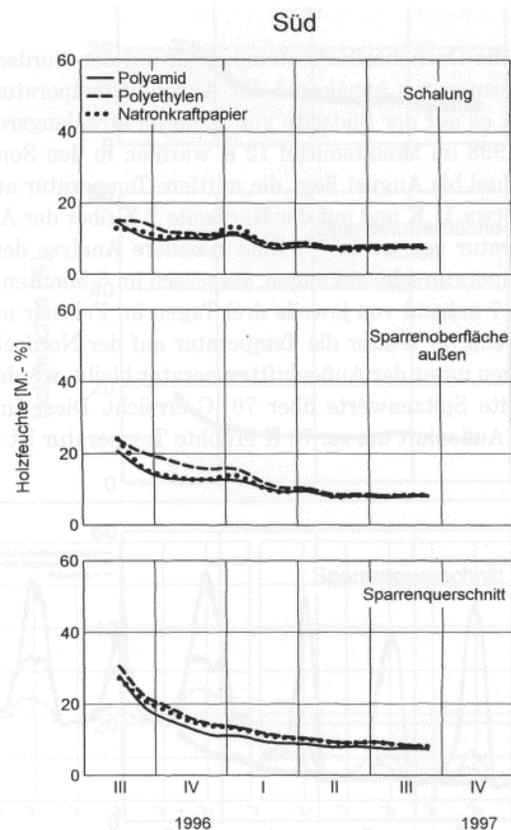
Schalung ist für die drei Sparrenfelder mit den unterschiedlichen Dampfbremsen in Bild 4 dargestellt. Während die Sparren zunächst langsam austrocknen, nimmt die Feuchte in der Schalung in den ersten Monaten kontinuierlich zu, wobei die Unterbrechung der Holzfeuchteverläufe im Winter auf Eisbildung in der Schalung zurückzuführen ist, die die elektrische Widerstandsmessung verfälscht. Es zeigt sich, dass im Winter eine Umverlagerung der Feuchte von den Sparren in die Schalung stattfindet, die sich im Sommer wieder umkehrt, so dass das Dach erst als ausgetrocknet gelten kann, wenn die Holzfeuchte sowohl in den Sparren als auch in der Schalung unter 20 M.-% fällt. Dies ist bis zum Ende des Untersuchungszeitraumes, etwa ein Jahr nach Herstellung des Daches, nur im Sparrenfeld mit der Polyamidfolie als Dampfbremse der Fall. In den anderen Schalung ist für die drei Sparrenfelder mit den unterschiedlichen Sparrenfeldern bleiben Sparren und Schalung über 20 M.-% und damit im kritischen Bereich. Für die Standsicherheit des Daches ist vor allem die Feuchte in den Sparren ausschlaggebend. Sie sollte gemäß DIN 68 800-2 [4] innerhalb von höchstens 6 Monaten unter 20 M.-% fallen. Das ist zwar zunächst in allen Sparrenfeldern gegeben, in den Feldern ohne feuchteadaptive Dampfbremisfolie steigt sie jedoch im nächsten Sommer wieder über diesen Wert, so dass Feuchteschäden nicht ausgeschlossen werden können. Auffällig ist die Tatsache, dass die Holzfeuchte hinter der Natronkraftpapierdampfbremse trotz des in [5] beschriebenen irreversiblen Einbruchs ihres  $s_d$ -Wertes auf 0,9 m etwas höher ist als hinter der deutlich dichteren PE-Folie. Offensichtlich hat hier ein Kapillartransport der Holzfeuchte in den Schalungsbrettern von dem Versuchsfeld mit der PE-Folie in das trockenere Feld mit der Polyamidfolie stattgefunden. Diese Umverteilung der Feuchte wurde von dem zweiten Versuchs-



**Bild 4:** Zeitliche Verläufe der durchschnittlichen Holzfeuchten der Konstruktionen für die Messpunkte an Schalung, Sparrenoberfläche und Sparrenquerschnitt im ersten Untersuchungsabschnitt für die Nordseite des Daches. Die Messwerte der Schalungsfuchte im Winter sind wegen der Verfälschung der elektrischen Leitfähigkeit durch Eisbildung im Holz nicht angegeben.

abschnitt durch das Einbringen abgedichteter Trennfugen in der Schalung unterbunden.

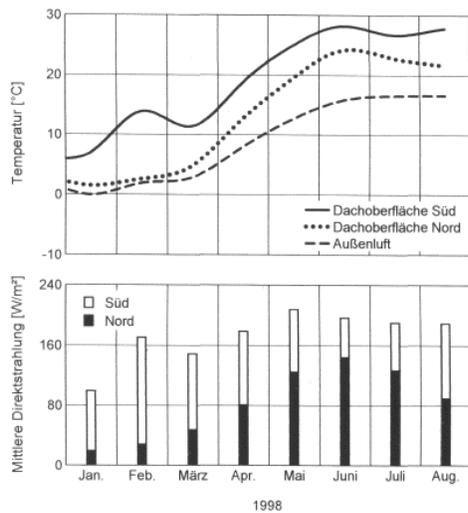
Die Südhälfte des Daches ist, wie in Bild 5 zu sehen, nahezu unabhängig von der eingesetzten Dampfbremse innerhalb von wenigen Monaten vollständig ausgetrocknet. Die Schalung hatte zu Beginn der Messung trotz Vornässung der Bretter nur noch eine geringe Feuchte, da sie bei hochsommerlicher Witterung während der Eindeckarbeiten bereits austrocknete. Die in den Sparren verbliebene Feuchte ist bei direkter Besonnung des Daches als Tauwasser auf der Außenseite der Dampfbremsen ausgefallen und bis zur Fußfette abgelaufen, die dadurch entsprechend feucht wurde. Dies hat zu leichter Bläuebildung auf der Pfette in den Sparrenfeldern mit der PE-Folie und der Natronkraftpapierdampfbremse geführt. Beim Abnehmen der Dampfbremsen am Ende des ersten Versuchsabschnittes zeigten sich in beiden Dachhälften auf der Außenseite des Natronkraftpapiers flächendeckende Stockflecken, während auf den Dampfbremsen aus Polyethylen und Polyamid keine Schimmelbildung feststellbar war.



**Bild 5:** Zeitliche Verläufe der durchschnittlichen Holzfeuchten der Konstruktionen für die Messpunkte an Schalung, Sparrenoberfläche und Sparrenquerschnitt im ersten Untersuchungsabschnitt auf der Südseite des Daches.

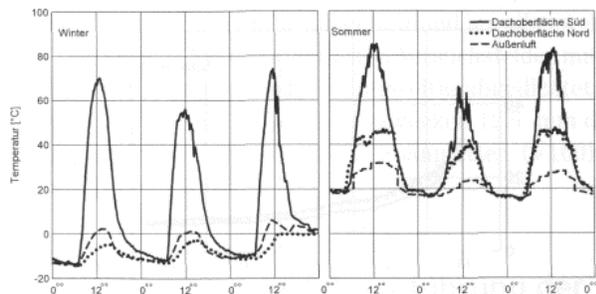
## 4.2 Zweiter Versuchsabschnitt

Aufgrund der Erfahrungen mit sommerlichem Tauwasser und Schimmelbildung aus dem ersten Versuchsabschnitt wurde bei den folgenden Untersuchungen die Dachoberflächentemperatur und die relative Luftfeuchte hinter der Dampfbremse kontinuierlich erfasst. Außerdem wurde jetzt bei allen Sparrenfeldern eine Innenbeplankung aufgebracht. Bild 6 zeigt den Verlauf der gemittelten Temperaturen unter der Blecheindeckung auf der Nord- und Südseite im Vergleich zur Außenlufttemperatur sowie die aus Messungen von Global- und Diffusstrahlung nach [6] bestimmten Strahlungsanteile senkrecht zu den Dachflächen.



**Bild 6:** Gemittelte Verläufe der Dachoberflächentemperaturen und der Außenlufttemperatur (oben) und Monatssummen der kurzwelligen Direktstrahlung auf die Dachflächen (unten).

Während die Dachoberflächentemperatur auf der Nordseite in den Wintermonaten annähernd der Außenlufttemperatur entspricht, ist es auf der Südseite vor allem im strahlungsreichen Februar 1998 im Monatsmittel 12 K wärmer. In den Sommermonaten Juni bis August liegt die mittlere Temperatur auf der Südseite etwa 11 K und auf der Nordseite 7 K über der Außenlufttemperatur von ca. 16 °C. Eine genauere Analyse der täglichen Temperaturschwankungen, gemessen im 5-Minuten-Takt, zeigt Bild 7 anhand von jeweils drei Tagen im Februar und im Juli. Während im Winter die Temperatur auf der Nordseite an klaren Tagen unter der Außenlufttemperatur bleibt, werden auf der Südseite Spitzenwerte über 70 °C erreicht. Diese im Vergleich zur Außenluft um ca. 70 K erhöhte Temperatur ist durch

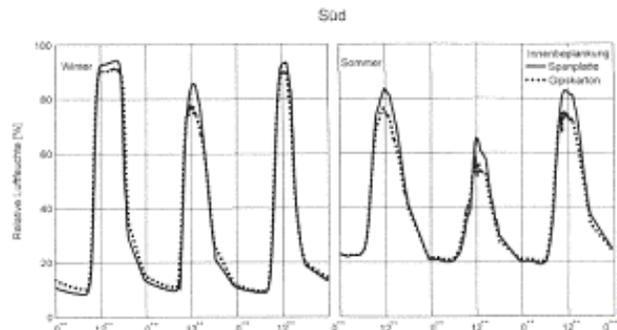


**Bild 7:** Im 5-Minuten-Takt gemessene Temperaturverläufe der Dachoberflächen und der Außenluft an drei Tagen im Februar und im Juli 1998.

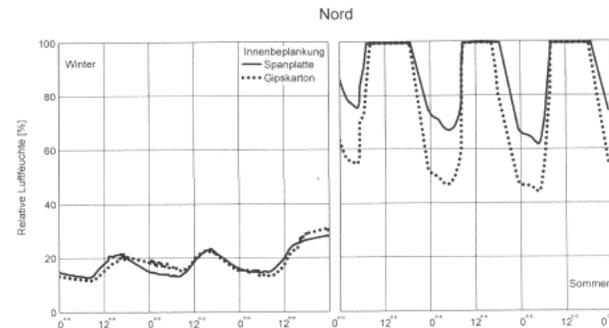
strahlung der Zinkblechoberfläche zu erklären. Im Sommer treten auf der Südseite Maximalwerte um 85 °C und auf der Nordseite um 45 °C auf. Der Sättigungsdampfdruck von Wasser beträgt bei diesen Temperaturen 580 mbar (85 °C) bzw. 96 mbar (45 °C). Dieser Unterschied vom Faktor 6 erklärt die im Vergleich zur Norddachhälfte rasche Austrocknung der Schalungsbretter auf der Südseite in der ersten Versuchsperiode.

Die großen Temperaturschwankungen an den Dachoberflächen wirken sich aufgrund der exponentiellen Abhängigkeit des Sättigungsdampfdruckes von der Temperatur stark auf die Feuchteverhältnisse im Dach aus. Bild 8 und 9 zeigen für dieselben Tage wie in Bild 7 die Verläufe der relativen Luftfeuchte hinter der Dampfbremse in den Sparrenfeldern der Süddachhälfte bzw. der Norddachhälfte. Diese Verläufe sind im

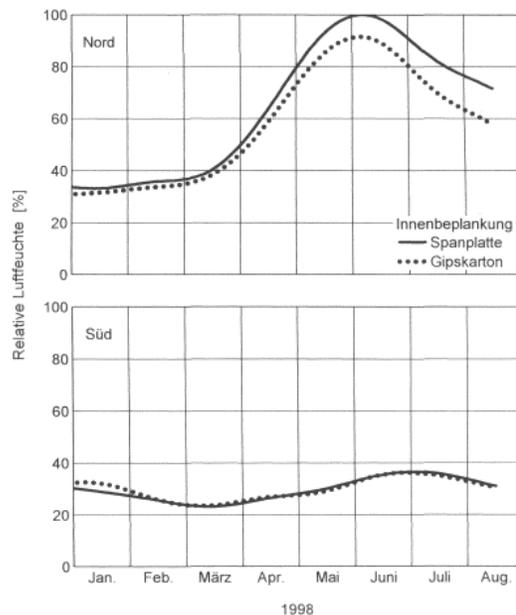
Vergleich zu den Oberflächentemperaturen zu betrachten. Auf der Südseite schwankt die relative Luftfeuchte analog zur Dachoberflächentemperatur im Winter etwa zwischen 10 % und 95 % und im Sommer zwischen 20 % und 80 %, wobei die dampfdichtere Beplankung mit der Spanplatte die etwas höheren Werte verursacht. Auf der Nordseite führen die geringen Oberflächentemperaturschwankungen im Winter zu einer entsprechend kleineren Variationsbreite der relativen Luftfeuchte hinter der Dampfbremse. Sie liegt trotz der anfangs erhöhten Holzfeuchte im Dach zwischen 15% und 30%.



**Bild 8:** In der Süddachhälfte gemessene Verläufe der relativen Luftfeuchte hinter der feuchteadaptiven Dampfbremsfolie an den selben Tagen wie in Bild 7.



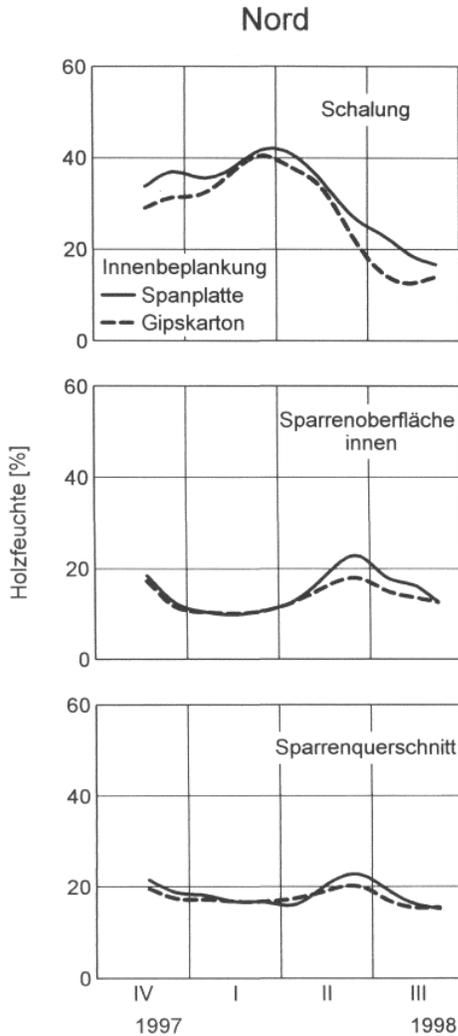
**Bild 9:** In der Norddachhälfte gemessene Verläufe der relativen Luftfeuchte unter der feuchteadaptiven Dampfbremsfolie an denselben Tagen wie in Bild 7.



**Bild 10:** Gemittelte Verläufe der relativen Luftfeuchte hinter der Dampfbremse in den Sparrenfeldern der Süddachhälfte bzw. der Norddachhälfte. Diese Verläufe sind im Vergleich zu den Oberflächentemperaturen zu betrachten.

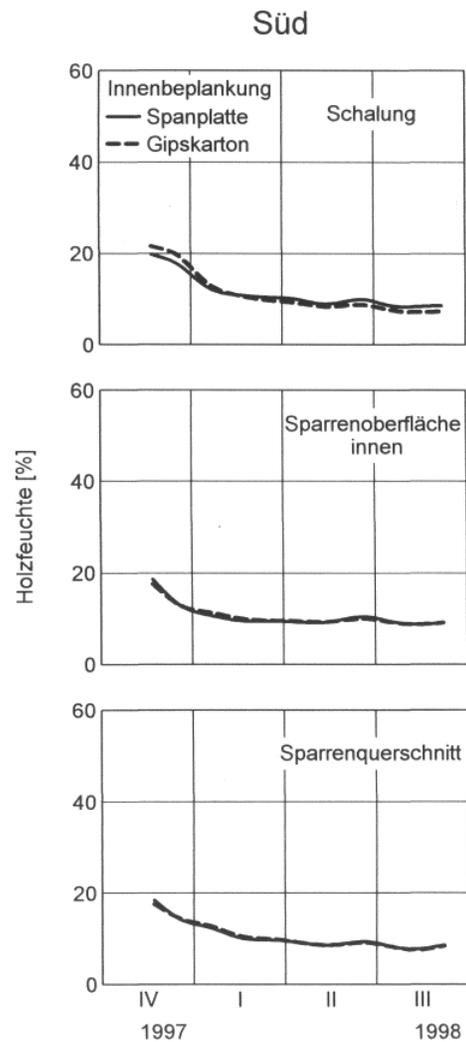
Im Sommer werden dort während der Austrocknungsphase jedoch deutlich höhere Luftfeuchten bis zu 100 % erreicht. Die Tatsache, dass die Luftfeuchte jede Nacht je nach Beplankungsart wieder auf Werte zwischen 50 % und 70 % r. E zurückgeht, bedeutet jedoch, dass es sich hierbei nicht um einen längerfristigen Tauwasserausfall handelt, da die Polyamidfolie unter diesen Feuchtebedingungen sehr dampf-durchlässig wird, so dass das Tauwasser rasch zur Raumseite hin austrocknet. Das zeigt auch die Entwicklung der gemittelten relativen Feuchte in den Sparrenfeldern in Bild 10. Nur während des Höhepunkts der Trocknungsphase Anfang Juni kommt es auf der Nordseite zu mehrtägiger Tauwasserbildung im Bereich der Dampfbremse

20 M.-%, wobei sich die diffusions-offene Innenbeplankung aus Gipskarton günstiger auswirkt. Das ist auch bei der Betrachtung der Holzfeuchte an der Innenkante der Sparrenoberfläche festzustellen. Das Austrocknen der Schalungsbretter führt dort im Versuchsfeld mit der Span-platte zu einem kurzfristigen Überschreiten der 20 M.-%-Marke, während dies im Versuchsfeld mit Gipskartonbeplankung nicht der Fall ist. Insgesamt trocknet das Dach jedoch mit beiden Beplankungsarten durch die günstigen Eigenschaften der feuchteadaptive Dampfbremse so weit aus, dass die Holzfeuchte am Ende des Sommers überall unter 20 M.-% liegt. Die Verläufe der Holzfeuchte in Schalung und Sparren



**Bild 11:** Zeitliche Verläufe der durchschnittlichen Holzfeuchten der Konstruktionen für die Messpunkte an Schalung, Sparrenoberfläche und Sparrenquerschnitt im zweiten Untersuchungsabschnitt für die Nordseite des Daches.

bei Spanplattenbeplankung. Beim Einsatz von Gipskarton wird genügend Feuchte abgeführt, so dass dieses Phänomen nicht auftritt. Auf der Südseite bleibt die mittlere relative Feuchte hinter der Dampfbremse in beiden Fällen unter 40 %. Der Verlauf der Holzfeuchte in den Sparrenfeldern der Norddachhälfte ist für den Versuchszeitraum November 1997 bis August 1998 in Bild 11 dargestellt. Während die Feuchte im Sparrenquerschnitt mit geringen Schwankungen tendenziell abnimmt, trocknen die inneren Sparrenoberflächen zunächst auf Kosten der Schalung, deren Feuchte zunimmt, aus. Beim Einsetzen der warmen Jahreszeit gibt die Holzschalung ihre Feuchte rasch nach innen ab und erreicht gegen Ende des Sommers Werte deutlich unter



**Bild 12:** Zeitliche Verläufe der durchschnittlichen Holzfeuchten der Konstruktionen für die Messpunkte an Schalung, Sparrenoberfläche und Sparrenquerschnitt im ersten Untersuchungsabschnitt für die Südseite des Daches.

auf der Südseite in Bild 12 zeigen, dass dort die Feuchte bereits im tiefen Winter austrocknet. Aufgrund der in Bild 7 dargestellten hohen Dachoberflächentemperaturen im Winter entstehen zeitweise so hohe Dampfdrücke, dass eine Trocknung durch Dampfdiffusion zum Raum hin stattfindet, die auch durch Dampfkongvektion wegen des entstehenden Überdruckes im Dach (bei 75 °C beträgt der Wasserdampf-sättigungsdruck 385 mbar und damit fast 40 % des Luftdrucks) unterstützt wird. Die hohen Temperaturen führen auch dazu, dass trotz moderater Anfangsfeuchte (ca. 20 M.-%) das Holz rasch auf Werte unter 10 M.-% trocknet und große Schwindfugen in der Holzschalung entstehen lässt.

## 5. Zusammenfassung und Schlussfolgerung

An einem unbelüfteten Blechdach mit 50° geneigten Dachflächen in Nord- und Südrichtung wurde das Austrocknungsverhalten der anfänglich feuchten Sparren und Schalungsbretter bei unterschiedlichem Innenausbau messtechnisch untersucht. Dabei zeigte sich, dass nur durch den Einsatz der feuchteadaptiven Dampfbremsfolie auf Polyamidbasis eine zufriedenstellende Austrocknung des Daches erreicht wird. Dies gilt sowohl in Verbindung mit einer Innenbeplankung aus Gipskarton als auch mit einer Spanplattenbeplankung. Obwohl letztere durch ihren höheren Dampfdiffusionswiderstand die Trocknungsgeschwindigkeit etwas reduziert, werden auch hier am Ende des Sommers unkritische Feuchtezustände im Dach erreicht.

Im Gegensatz zu den Richtlinien des Klempnerhandwerks [2] können aufgrund dieser Untersuchung Dampfsperren mit hohem  $s_d$ -Wert nicht empfohlen werden, da sie die Feuchte langfristig im Dach gefangen halten. Ebenso ungeeignet sind Dampfbremsen aus Natronkraftpapier, da die hohe Feuchtebelastung in solchen Dächern ihren Sperrwert irreversibel verändern und Stockflecken entstehen lassen kann. Wie rechnerische Untersuchungen in [7] gezeigt haben, sind Dampfbremsen mit einem  $s_d$ -Wert von ca. 2 m grundsätzlich für außen dampfdichte Dächer geeignet, wenn nicht besonders ungünstige Verhältnisse vorliegen. Das setzt jedoch voraus, dass sie dauerhaft ihre Diffusionseigenschaften behalten und keinen Nährboden für Schimmelpilze bilden.

Die größte Feuchtesicherheit wird mit Hilfe einer feuchte-adaptiven Dampfbremse erreicht. Diese Entwicklung wird dazu führen, dass belüftete Dächer, selbst wenn sie außen dampfdicht sind wie bei Blecheindeckungen, langfristig der Vergangenheit angehören. Weitere Untersuchungen müssen zeigen, ob bei richtig konzipierten unbelüfteten Blechdächern auch auf einen chemischen Holzschutz generell verzichtet werden kann.

## 6. Literatur

- [1] Künzel, H.: Dachdeckung und Dachbelüftung. IRB-Verlag, Stuttgart 1996.
- [2] Merkblatt des Zentralverbandes Sanitär - Heizung - Klima: Unbelüftete wärmegeämmte Metall-Dächer in Klempner-Technik. St. Augustin, September 1994.
- [3] Künzel, H. M.: Die Folie denkt mit. Stuck - Putz - Trockenbau 55 (1997), H. 2, S. 34-37.
- [4] DIN 68 800, Teil 2: Holzschutz, vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau, Mai 1996.
- [5] Künzel, H. M.; Großkinsky, Th.: Feuchtebelastungen beeinträchtigen die Wirkung von Dampfbremsen. IBP-Mitteilung 24 (1997), Nr. 309.
- [6] VDI 3789: Umweltmeteorologie, Blatt 2: Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre und Oberflächen; Berechnung der kurz- und der langwelligen Strahlung. Entwurf, Dezember 1992.
- [7] Künzel, H. M.: Außen dampfdicht, vollgedämmt? Die rechnerische Simulation gibt Hinweise zu dem Feuchteverhalten außen dampfdichter Steildächer. bauen mit holz 100 (1998), H 8, S. 36-41.