

Helmut Künzel

# Dachdeckung und Dachbelüftung



Fraunhofer IRB Verlag

Helmut Künzel

Dachdeckung und Dachbelüftung

# Dachdeckung und Dachbelüftung

Untersuchungsergebnisse  
und Folgerungen für die Praxis

Von  
Dr.-Ing. Helmut Künzel

Mit 58 Abbildungen und 6 Tabellen

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Künzel, Helmut:

Dachdeckung und Dachbelüftung : Untersuchungsergebnisse und Folgerungen für die Praxis / Helmut Künzel. [Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau]. - Stuttgart : Fraunhofer-IRB-Verl., 1996

ISBN 3-8167-4682-9

Umschlaggestaltung und Satz: Satz- und Druckcenter des Fraunhofer-Informationszentrums Raum und Bau, Stuttgart

Druck: Druckerei Hoffmann, Inh. M. Wetzstein, Kornwestheim

Für den Druck des Buches wurde chlor- und säurefreies Papier verwendet.

Alle Rechte vorbehalten.

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, daß solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften.

Soweit in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden ist, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen.

© Copyright by Fraunhofer IRB Verlag, 1996

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau  
Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

e-mail irb@irb.fhg.de

URL <http://www.irb.fhg.de>

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort	7
<b>Teil I: Wärme gedämmte Dächer mit Deckungen</b>	<b>9</b>
1 Einleitung und Übersicht	11
2 Physikalische Grundlagen	15
2.1 Wasserdampf-Diffusion	15
2.2 Wasserdampf-Konvektion	17
2.3 Sommerkondensation	17
3 Durchführung der Untersuchungen	21
3.1 Geprüfte Dachkonstruktionen	21
3.2 Versuchsdurchführung und Meßtechnik	26
4 Ergebnisse der Untersuchungen	27
4.1 Regeneintrag und Flugschnee	27
4.2 Auswirkungen einer Unterspannbahn	30
4.3 Sparrenfeuchte / untere Belüftungsschicht	32
4.3.1 Austrocknung (Baufeuchte)	32
4.3.2 Feuchteintrag durch Belüftung	35
4.3.3 Wohnfeuchte	41
4.4 Lattenfeuchte / obere Belüftungsschicht	43
4.4.1 Einfluß der Konterlattung	43
4.4.2 Weitere Einflüsse	43
4.5 Folgerungen	48
4.5.1 Untere Belüftungsschicht	48
4.5.2 Obere Belüftungsschicht	49
<b>Teil II: Zur Frage des Feuchteverhaltens von Dachziegeln</b>	<b>51</b>
1 Einleitung und Übersicht	53
2 Durchführung und Ergebnisse der Untersuchungen	54
2.1 Sättigungsfeuchte	54
2.2 Wasserdampf-Durchlässigkeit	55

2.3	Kapillare Wasseraufnahme	56
2.4	Trocknung	56
2.5	Bewitterung	58
2.6	Änderung der Ziegeleigenschaften	65
2.6.1	Einfluß der Bewitterung	65
2.6.2	Einfluß der Herstellung	66
3	Folgerungen	68
<b>Zusammenfassung der Teile I und II und Gesamtbewertung</b>		<b>70</b>
<b>Literaturhinweise</b>		<b>73</b>
	Normen	73
	Veröffentlichungen	73
 <b>Anhang</b>		 <b>75</b>
<b>Hartwig M. Künzel</b>		<b>77</b>
	Kann bei gedämmten, nach außen diffusionsoffenen Steildachkonstruktionen auf eine Dampfsperre verzichtet werden?	77
	Vorsicht bei nachträglicher Steildachdämmung	85
	Tauwasserschäden im Dach aufgrund von Dampfdiffusion durch angrenzendes Mauerwerk	91
<b>Produktinformationen</b>		<b>99</b>
<b>Stichwortverzeichnis</b>		<b>109</b>

## Vorwort

In den vergangenen Jahren wurden in der Freilandversuchsstelle Holzkirchen des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik an wärmegeprägten Versuchsdächern unterschiedlicher Orientierung und Neigung mit Deckungen aus Ziegeln und Betondachsteinen Untersuchungen bei verschiedenen Konstruktionsvarianten durchgeführt. Die Untersuchungen erfolgten im Auftrag der einschlägigen Industrie, die an der Funktionsweise und Beurteilung ihrer Produkte unter praktischen Bedingungen interessiert ist. Die Ergebnisse der verschiedenen Detailuntersuchungen sind im folgenden unter zwei Hauptgesichtspunkten zusammengefaßt:

Teil I Wärmegeprägte Dächer mit Deckungen, wobei vor allem die Fragen der Dachbelüftung behandelt werden.

Teil II Untersuchungen zum Feuchteverhalten von Dachziegeln mit Blickrichtung auf die Frostbeständigkeit der Ziegel.

Für die Durchführung der Untersuchungen waren Dipl.-Ing.(FH) Th. Großkinsky (Freilanduntersuchungen) und Ing. P. Bernhardt (Laboruntersuchungen) verantwortlich. Ihnen gilt an dieser Stelle mein besonderer Dank. Auch der beteiligten Industrie ist zu danken, die durch ihre Aufgeschlossenheit für praxisnahe Forschung den Kenntnisstand auf dem aktuellen Fachgebiet erweitert hat.

Im Anhang werden drei Arbeiten von Hartwig M. Künzel nachgedruckt, durch welche aktuelle Fragestellungen aus Teil I vertieft bzw. ergänzt werden. Außerdem enthält der Anhang Informationen über Produkte, die im Rahmen der Untersuchungen verwendet worden sind.

Holzkirchen, im Oktober 1996

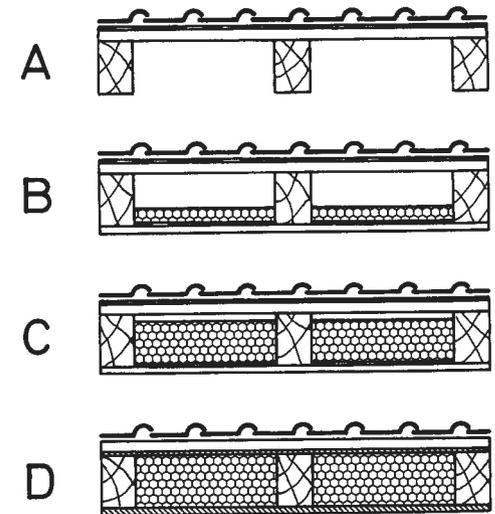
Helmut Künzel

Teil I

Wärmegeämmte Dächer  
mit Deckungen

# 1 Einleitung und Übersicht

Der Raum unterhalb von Dächern diente früher hauptsächlich als Speicher oder Lagerraum. Manchmal wurde unter dem Dach das Dienstpersonal einquartiert (Mansarde). In den letzten Jahrzehnten wurde aber das Wohnen unter dem Dach sehr aufgewertet, was aus den Bezeichnungen Wohnstudio oder Wohnatelier hervorgeht. Mit dieser Entwicklung haben sich die Anforderungen an Dächer mit Deckungen - insbesondere hinsichtlich der Wärmedämmung - geändert. In Bild 1 sind die verschiedenen „Entwicklungsstufen“ solcher Dächer dargestellt, die man etwa folgendermaßen skizzieren kann:



**Bild 1:** Entwicklung der Dachkonstruktionen vom Dach des Speicherraumes zum vollgedämmten Wohnungsabschluß:

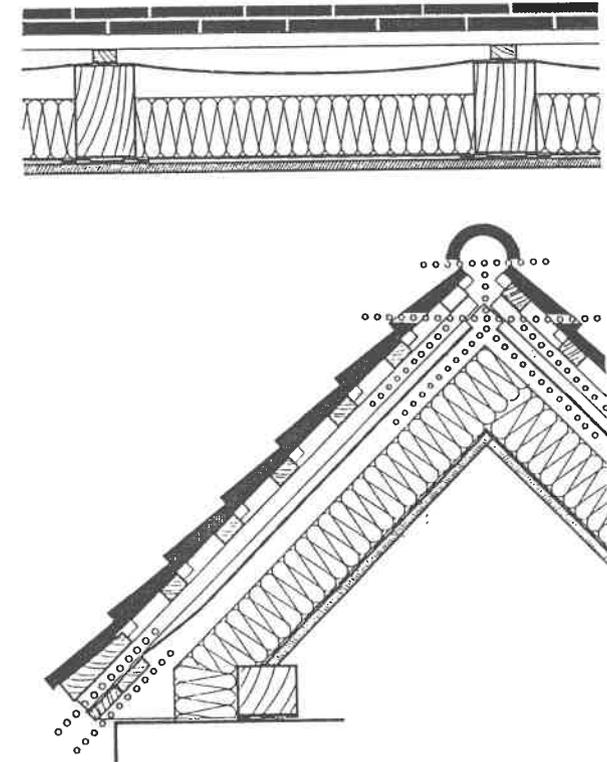
- A Nicht gedämmtes Dach mit Holzschalung und Dachpappe zur Vermeidung von Flugschnee- und Staubeintrag (Dachspeicher).
  - B Belüftetes Dach mit Dämmung vor der Energiekrise.
  - C Belüftetes Dach mit erhöhter Dämmung nach der Energiekrise.
  - D Nicht belüftetes Dach mit maximaler Dämmung und diffusionsoffener Unterspannbahn.
- Konstruktion B bis D für zum Wohnen ausgebaute Dachgeschosse

Zur Gewinnung eines hochwertigeren Lagerraumes, der frei von Flugschnee und Staubeintrag ist, hat man auf die Dachsparren eine Holzschalung mit Dachpappe aufgebracht, später auch kostengünstigere Unterspannbahnen. Wurde der Raum zu Wohnzwecken ausgebaut, dann hat man die Sparren raumseitig mit Leichtbauplatten beplankt oder mit Holzwolle-Leichtbauplatten und Putz versehen. Manchmal wurde auch eine Dämmung zwischen die Sparren eingebracht, die aber vor der Energiekrise nur wenige Zentimeter dick war. Der verbleibende Raum zwischen Innenbeplankung und Holzschalung bzw. Unterspannbahn war belüftet; dies war die einfachste Lösung und zur Trockenhaltung der Holzschalung zweckmäßig. Mit zunehmenden Dämmanforderungen wurde der Belüftungsquerschnitt kleiner und es wurde nach Wegen gesucht, die bei dem überkommenen Konstruktionsaufbau notwendige Belüftung zu erzielen.

In der 1981 erschienenen Fassung der Wärmeschutznorm DIN 4108, die wesentlich ausführlicher ist als ihre Vorgänger und insbesondere auch Fragen des Feuchteschutzes behandelt, sind in Teil 3 Angaben über die raumseitige Dampfsperre bzw. die notwendigen Belüftungsquerschnitte und Belüftungsöffnungen enthalten, abhängig von der Neigung und den Abmessungen des Daches. Wird von den dort geforderten Konstruktionsmaßnahmen abgewichen, dann ist ein rechnerischer Nachweis nach DIN 4108, Teil 5 über die Funktionsfähigkeit der Konstruktion zu führen. Diese Alternative hat verständlicherweise dazu geführt, daß meist die „Regelkonstruktionen“ ohne erforderlichem Nachweis gewählt worden sind und zwar insbesondere die belüfteten. Dies hatte - wiederum verständlich - zur Folge, daß eine Vielzahl von Belüftungselementen für das Dach entwickelt worden und auf den Markt gekommen sind. Dadurch wurde der Eindruck erweckt, daß die Belüftung von Dächern eine gewichtige Maßnahme ist. Die Konstruktions-schemata in der Norm oder - etwas anschaulicher - in den Dachdecker-Richtlinien [1] (Bild 2) bestärken dies und lassen ein wärmegeädämmtes, belüftetes Dach als eine relativ komplizierte Konstruktion erscheinen. Dies trifft auch zu, wenn man die verschiedenen Belüftungsschichten und deren Funktionen betrachtet.

Die untere Belüftungsschicht zwischen Dämmung und Unterspannbahn\* soll ermöglichen, daß Feuchtigkeit aus der „Dämmebene“ - z.B. erhöhte Anfangsfeuchte der Holzkonstruktion oder eindiffundierte Wohnfeuchte - möglichst direkt an die Außenluft abgeführt wird (Unterlüftung der Unterspannbahn). Die obere Belüftungsschicht zwischen Unterspannbahn und

\*Unterspannbahn steht im folgenden - wenn nicht ausdrücklich anders erwähnt - für alle Möglichkeiten von Vordeckung oder Unterdach, also auch für Holzschalung mit Pappe, Faserplatten oder anderem.



**Bild 2:** Schematische Darstellung eines belüfteten wärmegeädämmten Daches mit Unterspannbahn und Konterlatung nach den Dachdeckerrichtlinien [1]. Es ist zwischen zwei Belüftungsschichten zu unterscheiden:

- Untere Belüftungsschicht: Zwischen Dämmung und Unterspannbahn
- Obere Belüftungsschicht: Zwischen Unterspannbahn und Dachdeckung

Beide Luftschichten sollen im Firstbereich miteinander und mit den Luftschichten der anderen Dachhälfte in Verbindung sein. Am First müssen die Unterspannbahnen ca. 50 mm (Vordeckungen und Schalung mindestens 30 mm) unterhalb des Firstscheitelpunktes enden.

Dachdeckung soll als durchgehende Schicht dazu dienen, den ungehinderten Ablauf eingedrungenen Regenwassers zu ermöglichen und die Trocknung der Dachdeckung aus Ziegeln oder Betondachsteinen zu unterstützen. Letzteres wird oft als zusätzliche Maßnahme zur Vermeidung von Frostschäden an Dachziegeln angesehen.

Mit der Herstellung und Verwendung von wesentlich dampfdurchlässigeren Unterspannbahnen mit Dampfsperrwerten unter etwa  $s_d = 0,3$  m ist es möglich geworden, auf die untere Belüftungsschicht zu verzichten und den Sparrenzwischenraum voll mit einem Dämmstoff auszufüllen. Diese Konstruktionsart ist inzwischen allgemein anerkannt, was u.a. daraus hervorgeht, daß die Dachdecker-Richtlinien entsprechend erweitert bzw. ergänzt worden sind [2]. Für die dafür geeigneten Unterspannbahnen bzw. Vordeckungen hat sich die Bezeichnung „diffusionsoffen“ eingebürgert.

Über die obere Belüftungsschicht bestehen bisher noch unterschiedliche Meinungen. In Kreisen der Ziegelindustrie wird die Unterlüftung der Ziegeldeckung durch Anordnung einer Konterlattung oft als notwendig bezeichnet [3], während andere dies eher nur als eine zweckmäßige Maßnahme ansehen. Mit diesen Ausführungen wird der Themenkreis umrissen, der in Teil 1 behandelt wird. Zunächst werden aber einleitend die physikalischen Grundlagen zu den Problemstellungen behandelt.

## 2 Physikalische Grundlagen

### 2.1 Wasserdampf-Diffusion

Die Beurteilung der Tauwasserbildung in einem Bauteil, die auf Grund eines Dampfdruckgefälles und der Diffusionswiderstände der einzelnen Bauteilschichten auftreten kann, ist nach dem Verfahren von Glaser möglich [4]. Es wurde erstmals zur Beurteilung von Holzfertigwänden in Tafelbauart im Zusammenhang mit einem vom Wohnungsbauministerium veranlaßten „Fertighaus-Verzeichnis“ angewandt [5] und hat sich dabei bewährt: Bei Wandkonstruktionen, die nach diesem Verfahren und vereinbarten Randbedingungen als geeignet einzustufen waren, sind auch in der Praxis keine Feuchteprobleme aufgetreten. Deshalb wurde diese Beurteilungsmethode in Verbindung mit den für die Holzfertigwände bewährten Randbedingungen in die DIN 4108 aufgenommen. Die bekannten und in Teil 3 der erwähnten Norm enthaltenen Randbedingungen stammen noch aus der Zeit, da „mit Hand“ und nicht mit einem Personal Computer gerechnet worden ist. So ist es zu verstehen, daß man nur einen „normierten Winter“ und einen „normierten Sommer“ gewählt hat und zwar jedesmal auf der sicheren Seite. So sind die folgenden Blockrandbedingungen entstanden:

#### Tauperiode (Winter)

Außenklima: -10 °C, 80 % rel. Luftfeuchte  
Innenklima: 20 °C, 50 % rel. Luftfeuchte  
Dauer: 60 Tage (1440 Stunden)

#### Verdunstungsperiode (Sommer)

Außenklima: 12 °C, 70 % rel. Luftfeuchte  
Innenklima: 12 °C, 70 % rel. Luftfeuchte  
Dauer: 90 Tage (2160 Stunden)

Die auf diese Weise für die Tauperiode ermittelte Tauwassermenge muß in der Verdunstungsperiode wieder abgegeben werden können. Außerdem darf die Gesamtmenge des Tauwassers 1 kg/m<sup>2</sup> bzw. 0,5 kg/m<sup>2</sup> nicht überschreiten. Die erstgenannte Mengenangabe gilt allgemein; dadurch soll eine

zu starke Minderung der Wärmedämmung vermieden werden. Die zweite Mengenangabe gilt für den Fall, daß das Tauwasser an Trennflächen mit kapillar nicht saugfähigen Schichten auftritt und soll ein Abtropfen oder Ablaufen von Tauwasser vermeiden.

Das genormte Rechenverfahren eignet sich für Konstruktionen, bei denen ein Feuchte-transport vorwiegend durch Dampfdiffusion erfolgt und nicht oder wenig sorptionsfähige Bau- und Dämmstoffe verwendet werden. Bei Anwendung auf sehr diffusionsoffene Dachkonstruktionen kann der auf 60 Tage mit  $-10\text{ °C}$  „komprimierte“ Winter zu großen Feuchtezunahmen führen, obwohl sich die Konstruktionen in der Praxis bewähren [6]. Hier ist ein neues Rechenverfahren besser geeignet, bei dem statt der Blockrandbedingungen die realen Klimaverhältnisse zugrundegelegt werden [7]. Dabei wird berücksichtigt, daß bereits unter winterlichen Verhältnissen Trocknungsperioden auftreten können und es deshalb nicht zu einer so starken Feuchteakkumulation kommt wie unter Zugrundelegung der Blockrandbedingungen. Um aber auch ungünstige Bedingungen zu berücksichtigen - z.B. ständig verschattetes Dach - ist die Normberechnung mit den Blockrandbedingungen angebracht [8].

In der Regel wurden jedoch die in Teil 3, Abschnitt 3.2.3 der DIN 4108 aufgeführten Konstruktionskriterien für wärmegeämmte Dächer herangezogen. Für nicht belüftete Dächer ist danach allgemein - also für Steildächer mit Holzkonstruktionen wie auch für Flachdächer mit massiver Tragschicht - eine Dampfspererschicht mit  $s_d > 100\text{ m}$  unter der Wärmedämmschicht anzuordnen. Da dies bei Steildächern mit zwischen den Sparren eingebrachter Wärmedämmschicht nicht so einfach und fehlerstellenfrei auszuführen ist wie z.B. bei Betonflachdächern, wird meist die andere Möglichkeit einer Regelausführung nach der genannten Norm realisiert, nämlich eine belüftete Konstruktion mit den vorgeschriebenen Randbedingungen (Abschnitt 3.2.3.3 in Teil 3). Diese allein aus diffusionstechnischen Gesichtspunkten in der DIN 4108 enthaltenen Anforderungen und Hinweise entsprechen nicht mehr dem heutigen Kenntnisstand und sind daher überholungsbedürftig.

Der Begriff „Dampfsperre“ erscheint bei Schichten geringerer Sperrwirkung oft nicht angebracht und wird dann durch „Dampfbremse“ ersetzt. Es gibt aber keine objektiv festlegbare Grenze zwischen diesen beiden Begriffen. Es ist eine Ermessenssache, ab welchem Sperrwert ( $s_d$ -Wert) eine Schicht als Bremse oder als Sperre bezeichnet wird.

## 2.2 Wasserdampf-Konvektion

Was in der geltenden Wärmeschutznorm nicht berücksichtigt ist, aber bei Holzkonstruktionen besonders beachtet werden muß, ist der Feuchteeintrag, der mit Luftdurchströmungen verbunden sein kann. Undichtheiten in einer Konstruktion haben unter dem Einfluß von Druckdifferenzen (Windanfall) oder Temperaturdifferenzen zwischen Raumluft und Außenluft (Thermik) Luftströmungen zur Folge. Dies führt zu erhöhten Wärmeverlusten, aber auch zu Tauwasserbildung an den Stellen in der Konstruktion, wo der Taupunkt der einströmenden Warmluft unterschritten wird. Durch die mit dem Luftdurchgang bedingte Wasserdampf-Konvektion kann wesentlich mehr Feuchtigkeit in eine Konstruktion eingebracht werden als durch Diffusion. Deshalb müssen Leckstellen und Undichtheiten in Außenbauteilen vermieden werden. Man spricht in diesem Zusammenhang von der Notwendigkeit einer „Windsperre“ oder „Konvektionssperre“ die erforderlich ist, falls die Konstruktion nicht von sich aus gegenüber Luftströmungen dicht ist (z.B. verputztes Mauerwerk, Betonflächen). Eine solche Sperre kann an der Außen- oder Innenseite einer Konstruktion angebracht sein, da in beiden Fällen ein Durchströmen von Luft und damit eine Mitführung von Wasserdampf vermieden wird. In der Regel wird sie in Verbindung mit der Dampfsperre - also auf der Innenseite - angebracht.

Im folgenden wird der Begriff „Windsperre“ bevorzugt, da man Undichtheiten in einer Konstruktion am besten bei Wind spüren und orten kann. Das durch Thermik bedingte Ausströmen von Warmluft an Leckstellen empfindet man nicht, wohl aber das Einströmen von Kaltluft bei Wind, das in extremen Fällen Zugerscheinungen zur Folge haben kann. „Winddicht“ ist auch die zutreffendere Bezeichnung als „luftdicht“; Luftdichtheit ist im strengen physikalischen Sinne nicht erreichbar und auch nicht notwendig.

## 2.3 Sommerkondensation

Tauwasser- oder Kondensatbildung tritt in Wohnungen oder Baukonstruktionen hauptsächlich im Winter auf, wenn warm-feuchte Raumluft mit kalten Flächen in Berührung kommt. Es ist dann der Wassergehalt oder die Taupunkttemperatur der Raumluft, welche die Tauwasserbildung verursacht. Wenn hingegen der Wassergehalt der Außenluft für Tauwasserbildungen an

Oberflächen oder im Innern einer Konstruktion die Ursache ist, dann spricht man von „Sommerkondensation“. Beispiele hierfür sind die Tauwasserbildung infolge nächtlicher Unterkühlung auf Wiesen („taunasses Gras“) oder auf dem Autodach. In niederschlagsarmen Bereichen ist die nächtliche Taubildung die Voraussetzung für die Landwirtschaft in diesen Gebieten. Auf den Kanarischen Inseln ist z.B. der sog. Trockenfeldanbau (Enarenado) nur durch sinnreiches Nutzen der nächtlichen Taubildung möglich.\* Die „Sommerkondensation“ kann natürlich auch an unterkühlten Flächen im Winter auftreten (Reifbildung). Trotzdem erscheint dieser Begriff zur Abgrenzung gegenüber der mit der Raumluft zusammenhängenden Tauwasserbildung (gewissermaßen „Winterkondensation“) zweckmäßig.

Die beschriebene Sommerkondensation hat bei belüfteten Dächern einen nicht zu vernachlässigenden Einfluß auf den Feuchtehaushalt, der bisher zu wenig berücksichtigt wird. Solche Dächer stehen in stärkerem Strahlungsaustausch mit dem Weltraum als Wände. Daher unterkühlen sie infolge

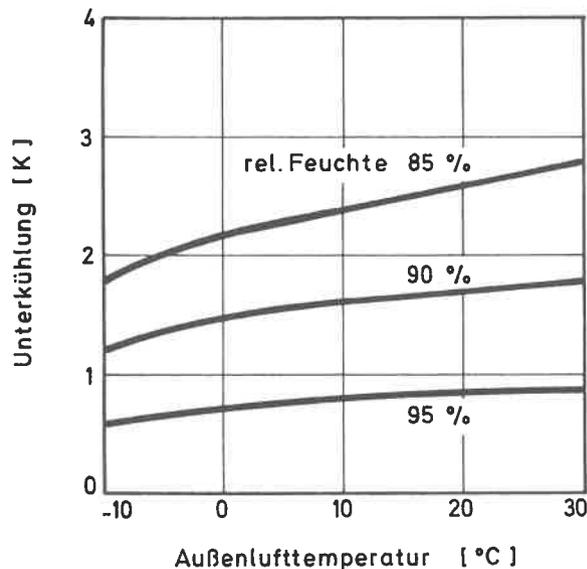


Bild 3: Notwendige Unterkühlung von Oberflächen bis zum Auftreten von Tauwasser bei 85 %, 90 % und 95 % rel. Luftfeuchte in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur.

\*Auf den Mutterboden wird eine 15 bis 30 cm dicke Schicht dunklen Vulkangestein-Granulats („Lapilli“) aufgebracht. Die Granulatschicht wirkt dämmend und nimmt selbst praktisch kein Wasser auf. Durch die dunkle Farbe und die Dämmung tritt in der Nacht verstärkt Unterkühlung und damit Tauwasser auf, das durch die Granulatschicht durchsickert und so den Mutterboden befeuchtet. Ohne diese Maßnahme wäre dort kein Wein- oder anderer Agrarbau möglich.

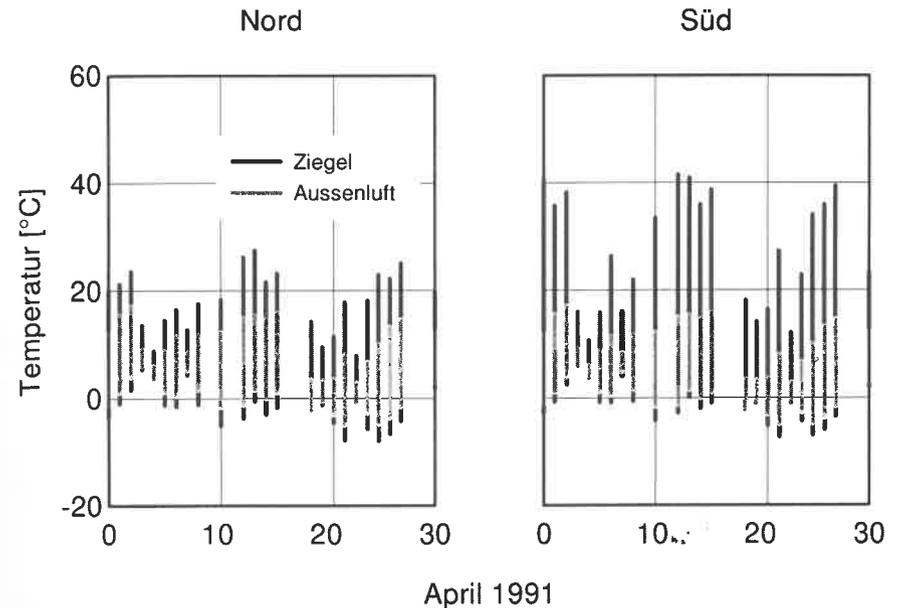
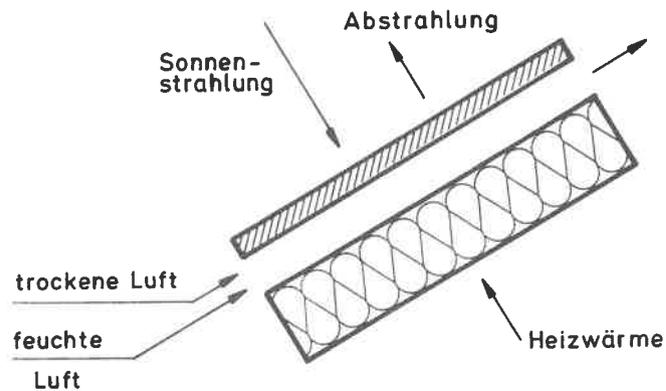


Bild 4: Tagesschwankungen der Außenlufttemperatur (grau) und der Ziegeltemperatur (schwarz), gemessen auf der Rückseite der Ziegel (Flachdachpfannen) auf nach Nord und Süd geneigten Dachflächen (28°) während des Monats April. Auf der Nordseite ist die nächtliche Unterkühlung stärker, auf der Südseite die Erwärmung tagsüber.

nächtlicher Abstrahlung stärker und Tauwasserbildung kann nicht nur an der Dachoberfläche, sondern auch in den äußeren Konstruktionsschichten auftreten, je intensiver die Belüftung und damit die Heranführung von Außenluft in diese Schichten ist. Wie aus Bild 3 zu ersehen ist, genügt eine Unterkühlung von 1 bis 2 Kelvin, damit sich unter nächtlichen Bedingungen der Außenluftfeuchte Tauwasser bildet und zwar weitgehend unabhängig von der Außenlufttemperatur. Das heißt, diese Tauwasserbildung kann im Sommer wie im Winter in etwa gleicher Weise auftreten. Bestätigt wird dies durch Temperaturmessungen an Ziegeln im Vergleich zur Außenluft in Bild 4. Die Unterkühlung der Dachziegel kann hiernach in klaren Nächten bis zu etwa 3 K betragen.

Daß der Effekt der Sommerkondensation bei belüfteten Dächern erst jetzt evident geworden ist, hängt mit der heute üblichen höheren Wärmedämmung zusammen. Bei der früheren geringeren Dämmung wurde die Unterkühlung durch die größere Wärmezufuhr aus den angrenzenden beheizten Räumen kompensiert. Über die Einwirkungen der Wärme und der Belüftung unter heutigen Bedingungen gibt Bild 5 eine schematische Darstellung.



**Bild 5:** Schematische Darstellung der temperaturbedingten Feuchteinwirkungen bei einem wärmegeämmten, belüfteten Dach. Durch Besonnung erwärmt sich der äußere Dachbereich; die Belüftung führt dann zu einer Trocknung. Bei Unterkühlung infolge nächtlicher Abstrahlung hat die Belüftung einen Feuchteintrag zur Folge. Tauwasser schlägt sich an der Unterseite der Dachdeckung und ggf. unterhalb der Unterspannbahn nieder, abhängig von der Luftführung. Bei hoher Wärmedämmung ist die Heizwärmezufuhr gering, so daß die Feuchteverhältnisse in erster Linie durch die atmosphärischen Einwirkungen bestimmt werden.

## 3 Durchführung der Untersuchungen

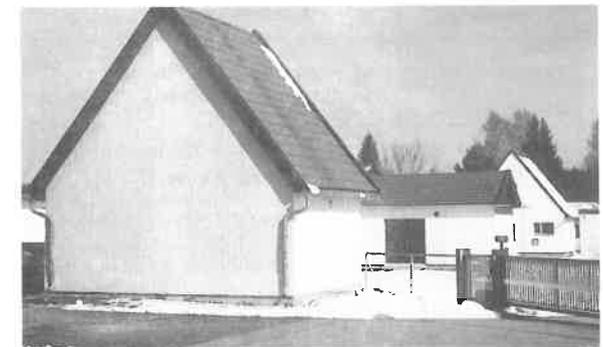
### 3.1 Geprüfte Dachkonstruktionen

Für die Untersuchungen wurden die Dächer bestehender Versuchshäuser auf dem Freiland-Versuchsgelände Holzkirchen des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, die für andere Untersuchungszwecke erstellt worden waren, entsprechend umgebaut. Deshalb waren die Dachabmessungen z.T. unterschiedlich (3,2 m, 4 m bzw. 6 m von der Traufe bis zum First). Auch unterschiedliche Dachneigungen waren gegeben, nämlich 23°, 28°, 30° und 50°. Die Dachflächen waren bei zwei Häusern nach Süden und Norden orientiert und

**Bild 6:** Ansicht des Versuchsbäudes mit flachgeneigten Dachflächen (28°), nach Süden und Norden orientiert, hier gedeckt mit unterschiedlichen Dachziegeln bei unterschiedlichem Dachaufbau (rote Ziegel ohne und mit Silikonbehandlung, engobierte Ziegel, Flachdachpfannen und Biberschwanz-Deckung).



**Bild 7:** Ansicht des Versuchsbäudes mit steilgeneigten Dachflächen (50°), nach Osten und Westen orientiert, hier mit Betondachsteinen ohne und mit Unterlüftung gedeckt.



bei zweien nach Westen und Osten. Durch diese von den zufälligen Gegebenheiten bestimmten Unterschiede war andererseits eine größere Vielfalt

Tabelle 1: Geprüfte Varianten hinsichtlich Belüftung und Dachdeckung

Untere Belüftungsschicht			
Variante	Luftschicht zwischen Dämmung und Unterspannbahn	Belüftungsart	Bildhinweis
a	4 cm	nur über First (im Traufbereich geschlossen)	-
b	4 cm	über Traufe und First (im Traufbereich Lüftungsgitter)	Bild 2
c	0 cm (voll ausgefüllt)	nicht belüftet	Bild 8

Obere Belüftungsschicht			
Variante	Luftschicht zwischen Traglatten und Deckung	Belüftungsart	Bildhinweis
1	24 mm (Konterlatten)	1.1 Nur über First 1.2 Über First und Lüftersteine im Traufbereich	Bild 9 Bild 2
2	10 mm	Nur über First	-
3	0 mm (ohne Konterlatten)	nicht belüftet	-

Dachdeckung		Bildhinweis
"Lüfterfirst"	Firstziegel bzw. Firststeine mit untergesetzten Lüfterelementen	Bild 9 Bild 10 Bild 11
"Getrennter First"	Lüfterfirst mit für die Untersuchungen mittig eingebauter Trennplatte	Bild 11
Betondachsteine, dunkel		-
Ziegel-Flachdachpfannen, rot		Bild 12
Biberschwanzziegel (Doppeldeckung) rot und dunkel engobiert		Bild 12

und Repräsentanz der Aussagen zu erzielen. Zum großen Teil wurden die vorhandenen Dachstühle verwendet; in einigen Fällen wurden diese neu errichtet, so daß auch die Trocknung des frischen Holzes unter verschiedenen Randbedingungen erfaßt werden konnte. Fotos von zwei der vier unterschiedlichen Versuchsbauten - jeweils eines mit einem flach- und einem steilgeneigten Dach - zeigen die Bilder 6 und 7.

Bild 8: Schematische Darstellung eines nicht belüfteten, voll gedämmten Daches mit Konterlattung, diffusionsoffener Unterspannbahn oder Vordeckung (z.B. Faserplatte) und darauf abgestimmter raumseitiger Dampfbremse.

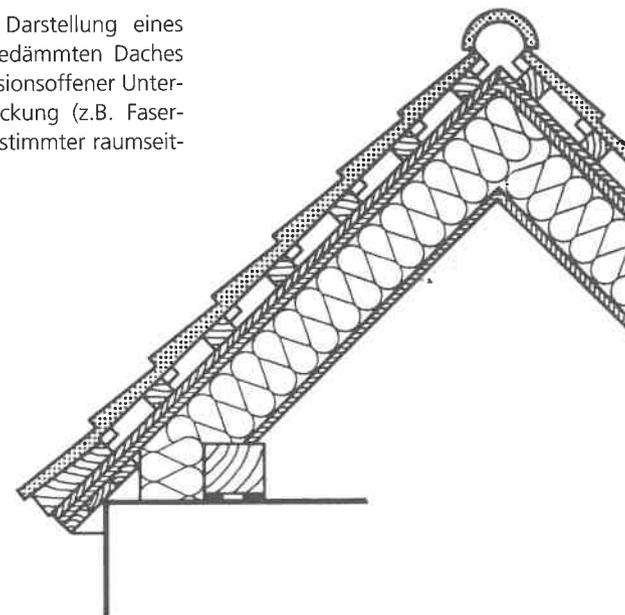


Bild 9 a: Firstausbildung bei Dachdeckungen mit Betondachsteinen.

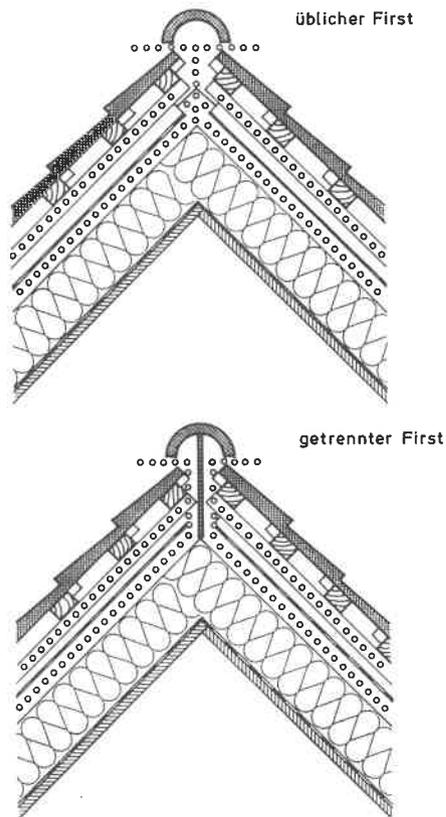


Bild 9 b: Firstausbildung bei Dachdeckungen mit Ziegeln.

Entsprechend den Fragestellungen der verschiedenen Auftraggeber aus der Industrie kamen als Varianten belüftete und nicht belüftete Dachkonstruktionen mit unterschiedlichen Unterspannbahnen, Vordeckungen und Dampf-



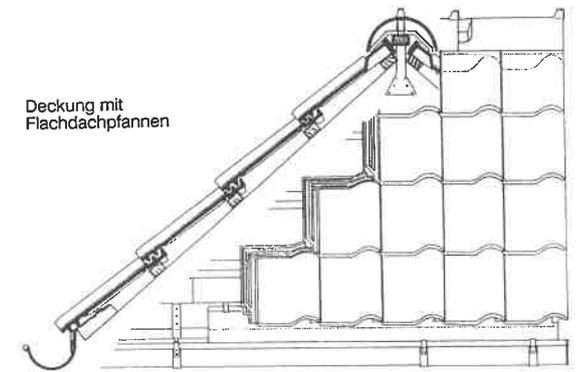
**Bild 10:** Zur Verstärkung der Belüftung der oberen Luftschicht im Traufbereich eingesetzte Lüftersteine (Untersuchungsperiode 1988).



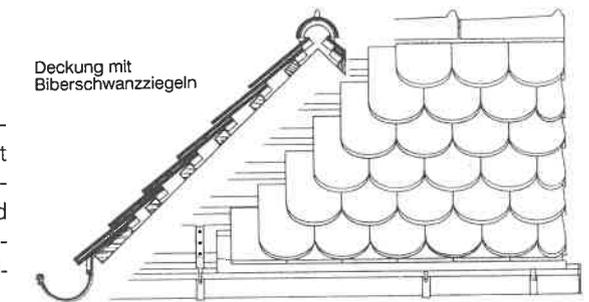
**Bild 11:** Schematische Darstellung der Firstausbildung nach den Dachdeckerrichtlinien [1] (oben) und modifizierte Firstausbildung durch Einbau einer Spanplatte zwischen Firstpfette und Firstziegelunterseite ("getrennter First"), die bei den Untersuchungen zur Anwendung kam. Durch die eingesetzte Spanplatte war ein Luftaustausch zwischen den unterschiedlich orientierten Dachhälften - sowohl unterhalb der Dachdeckung als auch unterhalb der Unterspannbahn - weitgehend unterbunden.

sperren zur Anwendung. Auch die Dachdeckung wurde variiert (Dachziegel unterschiedlicher Art und Farbe sowie Betondachsteine). Es wird darauf verzichtet, die einzelnen geprüften Konstruktionen im Detail zu beschreiben. Vielmehr werden die generellen Unterschiede der Varianten in Tabelle 1 dargestellt mit Hinweisen auf die Bilder 8 bis 12 mit Erläuterungen zu den Konstruktionen.

Zur Firstdeckung wurden zwei verschiedene, gebräuchliche Firstziegel bzw. -steine mit untergelegten Lüfterelementen verwendet (Bild 9), die einen Luftaustausch gemäß Bild 2 (Dachdeckerrichtlinien) ermöglichen („Lüfterfirst“). Da sich dieser Luftaustausch von der einen zur anderen Dachseite als nachteilig erwies, wurde bei einigen Versuchsreihen dieser Luftaustausch durch eine Trennplatte unterbunden („getrennter First“ als Gegensatz zum „Lüfterfirst“, Bild 11). Dies war lediglich eine versuchsmäßige Variante. Wie noch dargelegt wird, erübrigt sich eine solche Trennung bei Dachkonstruktionen ohne untere Belüftungsschicht.



Deckung mit Flachdachpfannen



Deckung mit Biberschwanzziegeln

**Bild 12:** Schematische Darstellung von Dachdeckungen mit Flachdachpfannen und Biberschwanzziegeln (Schnitte und Draufsichten aus den Fachregeln des Dachdeckerhandwerks, [1]).

Ausführungsdetails, die keinen Einfluß auf die Ergebnisse haben, werden nicht erwähnt. Bei der Beschreibung der Ergebnisse werden die Bezeichnungen und die Nomenklatur in Tabelle 1 verwendet.

### 3.2 Versuchsdurchführung und Meßtechnik

Die Beheizung der Dachgeschosse erfolgte durch elektrische Heizkabel, die auf den wärmegeämmten Dachgeschoßböden so ausgelegt waren, daß eine gleichmäßige Raumerwärmung auf 20 °C Lufttemperatur möglich war. Die Raumluftfeuchte wurde mit Hilfe von regelbaren Verdunstern auf 45 % bis 50 % r.F. eingestellt.

Temperaturen wurden mit Hilfe von Thermoelementen gemessen und die Werte auf einer Datenerfassungsanlage als Stundenmittelwerte abgespeichert. Zur Messung der Holzfeuchte wurden an repräsentativen Stellen von Sparren und Latten Schraubelektroden installiert. Die Schrauben wurden an den Sparrenseiten etwa 2 cm von der äußeren Sparrenkante entfernt 2 cm tief eingesetzt. Sie liefern somit eine Aussage über die Oberflächenfeuchte des Sparrenholzes, die auf klimatische Einwirkungen aus der Umgebung reagiert und daher für die Fragestellung maßgebend ist. In einigen Fällen wurde die elektrische Leitfähigkeit durch Elektroden zwischen den gegenüberliegenden seitlichen Sparrenflächen gemessen, wodurch die mittlere Feuchte über den Sparrenquerschnitt erfaßt wird. Die Unterschiede zwischen der Oberflächenfeuchte und der Querschnittsfeuchte sind aus den Bildern 17 und 22 ersichtlich. Zur Ermittlung der Dachlattenfeuchte wurden die Elektroden an der zur Traufe weisenden unteren Lattenfläche eingesetzt. Die Meßwerte wurden über einen Umschalter mit Hilfe eines elektrischen Holzfeuchtemeßgeräts nach Bedarf täglich oder wöchentlich erfaßt.

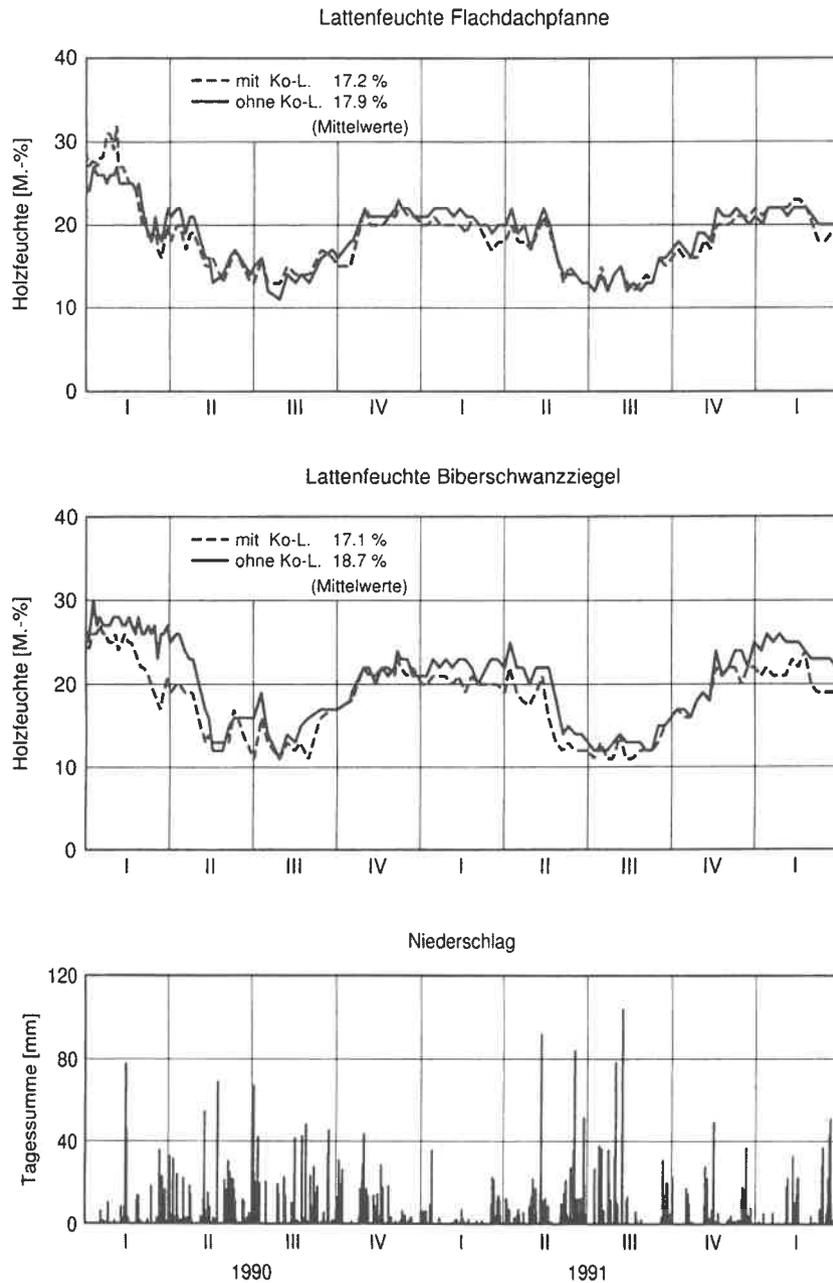
## 4 Ergebnisse der Untersuchungen

### 4.1 Regeneintrag und Flugschnee

Unterspannbahnen bzw. Schalungen mit Vordeckungen oder Unterdächer sollen eine Art Notdeckung bewirken und im übrigen dazu dienen, die Dachdeckung regensicherer zu machen und das Eindringen von Flugschnee in die Dämmung abzuhalten. Im Rahmen der Untersuchungen wurden auch hierzu Ergebnisse gewonnen, über die vorab berichtet werden soll.

Bei den unterschiedlichen Dachdeckungen, Dachneigungen und Dachorientierungen sind während der mehrjährigen Untersuchungen in keinem Fall regenbedingt erhöhte Feuchtegehalte der Dachlatten gemessen worden. Beispielhaft hierfür sind in Bild 13 die Zeitverläufe der Dachlattenfeuchte über zwei Jahre bei Deckung mit Flachdachpfannen und Biberschwanzziegeln aufgezeichnet. Wie zu erkennen ist, sind die Feuchtegehalte in den regenreichen Sommerperioden stets niedriger als in den Winterperioden. Der höhere Feuchtegehalt im Winter ist durch Tauwasserbildung bedingt, wie in Abschnitt 4.4.1 erläutert wird. Wenn Regenwasser in nennenswertem Maße durch die Dachdeckung eingedrungen wäre, hätte sich dies im Feuchtegehalt der Dachlatten bemerkbar machen müssen. Der bloße Kontakt der Dachlatten mit nassen Ziegeln führt nicht zu einer erhöhten Holzfeuchte. Wie in Teil II dargelegt wird, werden Dachziegel bei Beregnung bis zur Sättigung naß. Dies hat aber offensichtlich keinen merklichen Feuchteübergang vom Ziegel zum Holz zur Folge. Hierzu fehlt eine kapillare Verbindung zwischen diesen beiden Stoffen. Die im Rahmen der Untersuchungen verwendeten Dachziegel (Flachdachpfannen und Biberschwanzziegel) und Betondachsteine sind somit in der ungestörten Fläche, d.h. ohne Durchdringungen und dachfremde Anschlüsse zuverlässig regensicher. Zu bedenken ist dabei, daß die Regen- und Windbelastung auf dem Freiland-Versuchsgelände überdurchschnittlich stark ist.

Die Möglichkeit des Eindringens von Flugschnee durch das Dach ist bei ausgebauten Dachgeschossen viel geringer, als aus den Erfahrungen mit nicht ausgebauten Dachspeicherräumen ohne Unterspannbahn vermutet wird. In



**Bild 13:** Zeitliche Verläufe der Lattenfeuchte bei Deckung mit Flachdachpfannen und Biberschwanzziegeln (Variante a) bei nach Norden orientierten Dachflächen (28°) mit Angabe der Niederschlagsmenge in mm.



**Bild 14:** Blick auf die nach Westen geneigte Dachfläche eines unbeheizten Versuchsraumes ohne Dachdämmung. Bei starkem Wind und infolge Durchströmung des nichtausgebauten Dachraumes reicherte sich in einer wind- und schneereichen Periode Flugschnee im Raum an.

solchen Dachräumen treten ganz andere Luftströmungen zwischen der Luv- und Leeseite auf, die Flugschnee mitführen können, als dies der Fall ist, wenn der Strömungswiderstand durch den Dachausbau wesentlich erhöht und in der Richtung verändert wird. Dies wird durch Beobachtungen in einem Dachraum mit nach Westen und Osten geneigten Dachflächen belegt, der versuchsmäßig nur zur Hälfte - ohne Unterspannbahn - ausgebaut worden ist. Im nicht ausgebauten Teil sammelte sich Flugschnee auf dem Boden an, der über die Ziegeldeckung eingedrungen ist, wie durch Bild 14 dokumentiert wird. Bei Tauwetter wurden dadurch Latten und Sparren feucht, trockneten aber schnell wieder. Im ausgebauten Dachbereich war bei den gleichen Wetterbedingungen nur an der Randzone ein „Anflug“ (keine Bedeckung) von Schnee auf der Dämmung erkennbar. Im allerungünstigsten Fall kann sich bei voller Dämmung zwischen den Dachsparren nur der Zwischenraum zwischen der Dämmung und der Dachdeckung mit Flugschnee füllen. Diese Schneemenge ist somit nicht vergleichbar mit dem Flugschneeeintrag bei nicht ausgebauten, frei durchströmbaren Dachräumen.

Mit diesen Ausführungen soll dargelegt werden, daß man in bestimmten Fällen von der generellen Zweckmäßigkeit der Anordnung einer Unterspannbahn abweichen kann. Wenn der nachträgliche Ausbau eines Dachraumes

unterhalb eines intakten Daches ansteht, bei dem bisher keine Mängel hinsichtlich Regen- und Flugschnee-Eintrag festgestellt worden sind - sei es aus Gründen der Qualität der Dachdeckung oder des Standorts und örtlichen Klimas - dann kann auf den nachträglichen Einbau einer Unterspannbahn oder eines Unterdaches verzichtet werden. Man muß dann nur sorgfältiger als sonst Beschädigungen der Dachdeckung beachten und beheben.

## 4.2 Auswirkungen einer Unterspannbahn

„Holz muß Luft haben“ ist eine alte Regel der Bauleute und manchen ist es daher nicht wohl bei dem Gedanken, Holzdachstühle nicht in irgend einer Weise zu belüften. Hier muß man sich aber vergegenwärtigen, daß eine diffusionsoffene Unterspannbahn so gut wie keine Trocknungsbehinderung darstellt und damit das Holz quasi belüftet ist. Dies wird aus einem einfachen Versuch deutlich: Proben von ein und demselben schnittfrischen Holzriegel werden ohne und mit einer diffusionsoffenen Unterspannbahn umhüllt in einem Klimaraum bei 23 °C und 50 % r.F. gelagert. Aus Bild 15 ist zu erkennen, daß die Trocknung durch die Unterspannbahn nur unbedeutend verzögert wird. Es handelt sich hier um einen stationären Vorgang der Trocknung, bei dem der  $s_d$ -Wert allein maßgebend ist. Bei instationären, nicht isothermen Bedingungen ist dies aber anders, wie im folgenden erläutert wird.

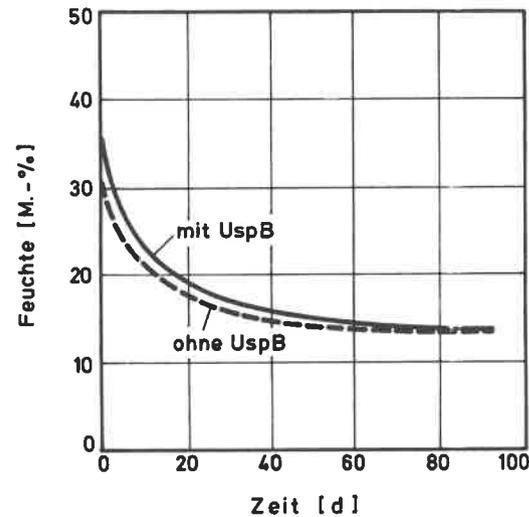


Bild 15: Zeitliche Verläufe der Feuchteabnahme der Probekörper mit und ohne diffusionsoffener Unterspannbahn (UspB) mit  $s_d = 0,1$  m.

Wenn die Temperatur einer Unterspannbahn infolge nächtlicher Wärmeabstrahlung die Taupunkttemperatur der Außenluft unterschreitet und die Außenluft infolge der Belüftung mit der Unterspannbahn in Kontakt kommt, dann bildet sich - unabhängig vom  $s_d$ -Wert - Tauwasser an der Unterspannbahn. Dieses Tauwasser kann von deren Unterseite auf die Dämmung abtropfen und die Sparren befeuchten, wie aus den Fotos Bilder 16 a und b ersichtlich. Bei diffusionsoffenen Unterspannbahnen ist dies aber unbedenklich, da das Tauwasser rasch wieder verdunsten kann, abhängig vom  $s_d$ -Wert

Bild 16 a

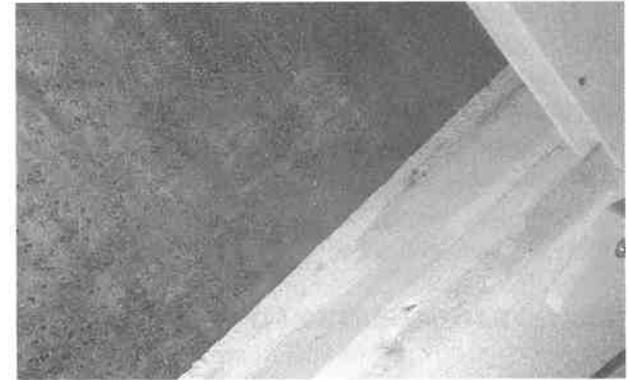


Bild 16 b

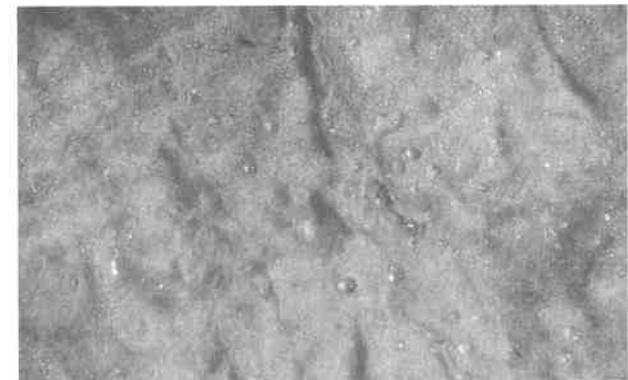


Bild 16 a und 16 b: Tauwassertropfen auf der Unterseite einer Unterspannbahn und sichtbare Oberflächenfeuchte an der Seite eines Dachsparrens, fotografiert nach Abnahme der raumseitigen Beplankung und der Wärmedämmschicht (Bild 16a). Auf der Oberseite der Wärmedämmschicht ist abgetropftes Tauwasser zu erkennen (Bild 16b). Zwischen der Glaswollämmung und der Unterspannbahn befand sich eine 4 cm dicke, belüftete Luftschicht.

der Unterspannbahn. Zeitlich überwiegen die Trocknungsperioden im Vergleich zu den Tauperioden. Nur bei schlechter Trocknungsmöglichkeit wegen dichter Unterspannbahn kann sich die Feuchtigkeit im Sparren anreichern. Die Sparrenholzfeuchte wird daher in den folgenden Ausführungen - nicht zuletzt auch wegen der leichten Meßbarkeit - als Indikator für die Bewertung der feuchtetechnischen Verhältnisse in der Dachkonstruktion herangezogen. Dabei kann man davon ausgehen, daß bei erhöhter Sparrenfeuchte vorübergehend auch Tauwasser auf der Mineralwolle dämmung vorhanden ist. Diese wird aber von der Mineralwolle nicht aufgesaugt und verdunstet rasch wieder.

Wenn keine Unterspannbahn vorhanden ist, dann entfällt auch die Tauwasserbildung und das Abtropfen. Der Tau bildet sich dann nur an der Unterseite der Dachdeckung und wird von den Platten aufgesaugt. Bei verschiedenen Vergleichsuntersuchungen mit und ohne Unterspannbahn war die Sparrenfeuchte ohne Unterspannbahn stets geringfügig niedriger.

## 4.3 Sparrenfeuchte / untere Belüftungsschicht

### 4.3.1 Austrocknung (Baufeuchte)

Die Austrocknung des Sparrenholzes wurde an einem neu errichteten Dachstuhl mit einer Anfangsfeuchte des Holzes von etwa 30 Masse-% bei verschiedenen, nicht belüfteten Dachvarianten verfolgt. Folgende Varianten wurden verglichen (Aufbau von oben nach unten):

#### Variante I: Konventionelle Ausführung

Betondachsteine  
Dachlatten und Konterlatten  
Unterspannbahn  $s_d = 2,5$  m  
Mineralfaserdämmung  
0,2 mm PE-Folie als Dampfsperre  
Gipskartonplatten auf Traglatten als Windsperre

#### Variante II: Diffusionsoffene Ausführung

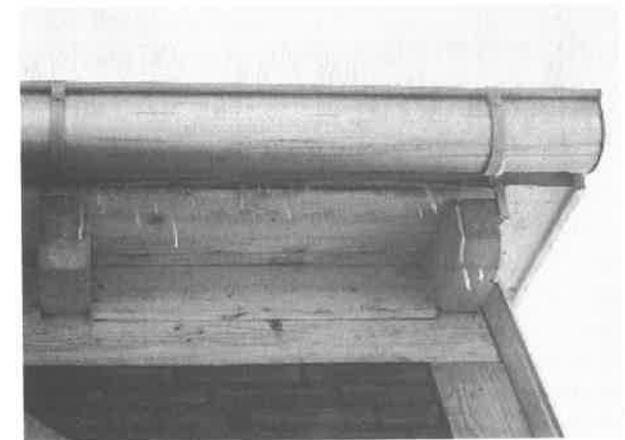
Betondachsteine  
Dachlatten und Konterlatten  
Unterspannbahn  $s_d = 0,02$  m

Mineralfaserdämmung  
keine Dampfsperre  
Gipskartonplatten auf Traglatten als Windsperre

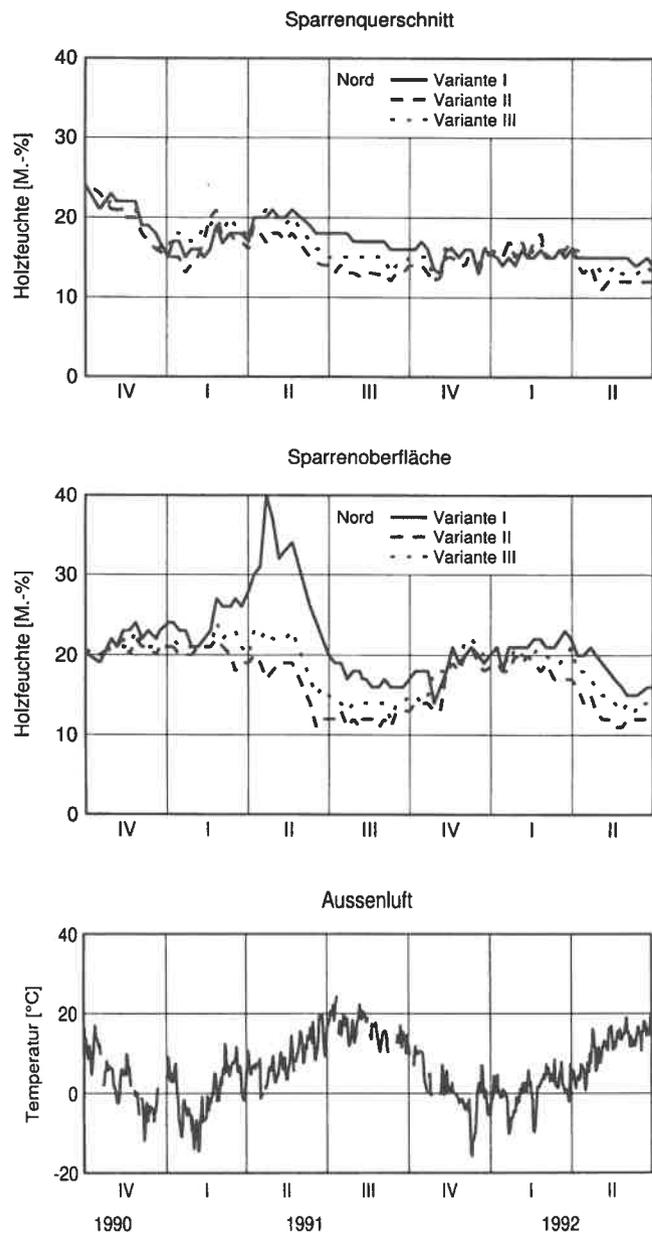
#### Variante III: Diffusionsoffene Ausführung mit Holzschalung

Wie Variante 2, jedoch Unterspannbahn mit  $s_d = 0,02$  m auf Holzschalung

Die Trocknungsverläufe von Sparrenoberfläche und Sparrenquerschnitt auf der Nordseite des 30° geneigten Daches sind für die drei Varianten in Bild 17 (siehe nächste Seite) aufgezeichnet. Die langsamste Trocknung bzw. die höchsten Feuchtegehalte sind bei der konventionellen Ausführung zu verzeichnen, danach folgt die Ausführung mit Holzschalung und am günstigsten stellen sich die Verhältnisse bei der Ausführung mit diffusionsoffener Unterspannbahn ohne Holzschalung dar. Bei der konventionellen Variante ist im Verlauf der ersten Winterperiode eine deutliche Feuchtezunahme an der Sparrenaußenkante festzustellen. Die erhöhte Anfangsfeuchte des Holzes kann wegen der höheren Diffusionswiderstände der Dampfsperre und der Unterspannbahn nur langsam ausdiffundieren und führt deshalb zu stärkerer Tauwasserbildung an der Unterspannbahn und zur Feuchteerhöhung des Sparrenholzes, wie in Bild 16 erläutert. Außer der Feuchteabgabe durch Diffusion tritt bei nicht saugfähigen Unterspannbahnen dann noch eine zusätzliche Feuchteabfuhr auf, wenn das an der Unterseite ablaufende Tauwasser an der Traufe abtropfen kann. Dies war im vorliegenden Fall bei beiden Unterspannbahnen möglich, wie aus Bild 18 zu erkennen ist. Dieser zusätzliche Effekt des Ablaufens von Tauwasser entfällt bei der Ausführung mit



**Bild 18:** Eiszapfenbildung im Traufbereich infolge von ablaufendem Tauwasser, das sich an der Unterseite der Unterspannbahn niedergeschlagen hat. Dies trat sowohl bei der durchlässigen als auch bei der dichteren Unterspannbahn in kalten Winterperioden auf



**Bild 17:** Zeitliche Verläufe der Sparrenfeuchte über den Querschnitt und an deren seitlichen Oberflächen bei vollgedämmten Dachflächen (Variante a, 1.1, Betondachsteine) und den weiteren Varianten I bis III (siehe Text) bei nach Norden orientierten Dachflächen (30°) mit Angabe der Außenlufttemperatur.

Holzschalung, da das Holz das anfallende Tauwasser aufnimmt und vorübergehend speichert. Dadurch erklärt sich das langsamere Trocknen der Sparren bei der Variante III mit Holzschalung.

In einer anderen Untersuchungsreihe erfolgte ein Vergleich des Zeitverlaufs der Sparrenholzfeuchte bei vorgefertigten Dachelementen für den Fertighausbau, wobei im einen Fall auf 18 % vorgetrocknetes Sparrenholz und im anderen schnittfrisches mit ca. 30 % verwendet worden ist. Bei der Variante mit vorgetrocknetem Holz erfolgte der Dachaufbau - wie bisher üblich - in konventioneller Weise mit Dampfsperre und dichter Unterspannbahn, beim schnittfrischen Holz ohne Dampfsperre und mit diffusionsoffener Unterspannbahn. Im letztgenannten Fall hat sich unter winterlichen Bedingungen nach drei bis fünf Monaten eine Sparrenholzfeuchte unter 20 % eingestellt, auf der Südseite früher als auf der Nordseite des Steildaches [6].

#### 4.3.2 Feuchteeintrag durch Belüftung

Untersuchungen im Jahre 1988 an mit 28° nach Nord und Süd geneigten Dachflächen (Bild 2) bei Ausführungsvariante b gemäß Tabelle 1 sowie mit und ohne Konterlattung bzw. zusätzlicher Belüftung durch Lüftersteine im Traufbereich (Varianten 1.1, 1.2 und 3) zeigten auf der Südseite keine großen Unterschiede im Trocknungsverlauf der Sparren des etwa ein halbes Jahr vor Meßbeginn neu errichteten Dachstuhls. Hingegen war auf der Nordseite mit abnehmender winterlicher Außenlufttemperatur eine um so größere Zunahme der Sparrenholzfeuchte festzustellen, je stärker ein Luftaustausch von der Süd- zur Nordseite möglich war (Bild 19). Nur bei der Dachvariante ohne Konterlattung ist eine stetige Trocknung - ähnlich wie auf der Südseite - zu erkennen. Je ungehinderter die feuchtwarme Luft aus dem Dachbereich unterhalb der zeitweilig besonnten und meist schneenassen Deckung auf der Südseite in den kälteren Dachbereich auf der Nordseite gelangen kann, desto mehr besteht dort die Möglichkeit der Tauwasserbildung an der Unterspannbahn und der Befeuchtung des Sparrenholzes. Daß ein solcher Luftaustausch stattfindet, wird durch Registrierungen der Lufttemperatur im Zwischenraum zwischen der Dachdeckung und der Unterspannbahn an einem strahlungsreichen Wintertag bei den Varianten ohne und mit Konterlattung bestätigt. Aus Bild 20 ist zu entnehmen, daß sich ohne Konterlattung an dem betreffenden Tag eine Temperaturdifferenz von maximal 35 K zwischen den beiden Dachhälften aufbaut, während mit

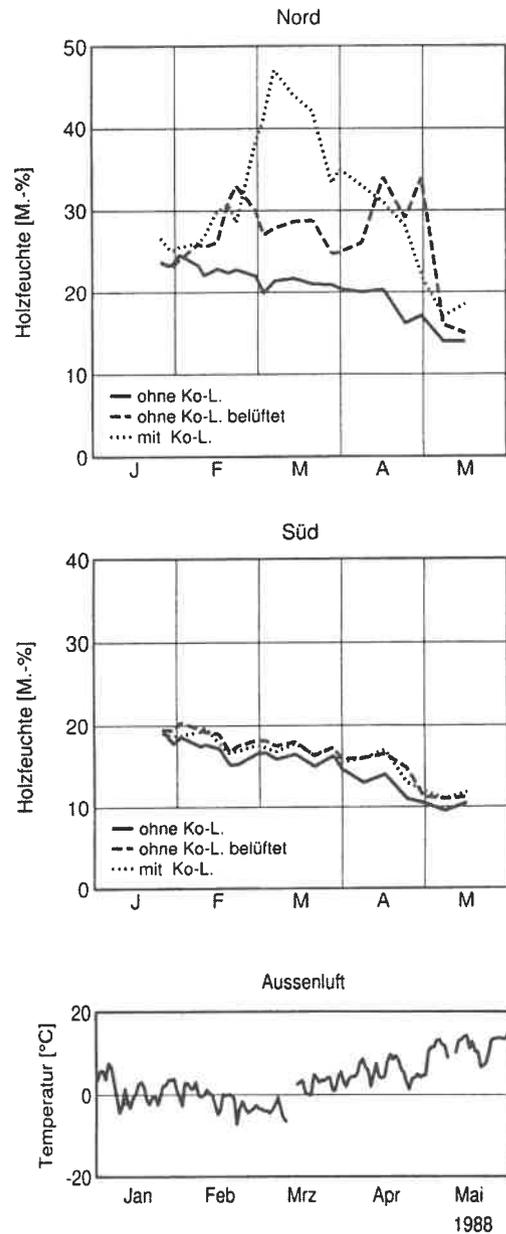


Bild 19: Zeitliche Verläufe der Sparrenfeuchte (seitliche Oberflächen) ohne und mit Konterlatten (Variante a) und zusätzlicher Belüftung der oberen Belüftungsschicht (Variante 1.2) bei nach Süd und Nord orientierten Dachflächen (28°) mit Angabe der Außenlufttemperatur.

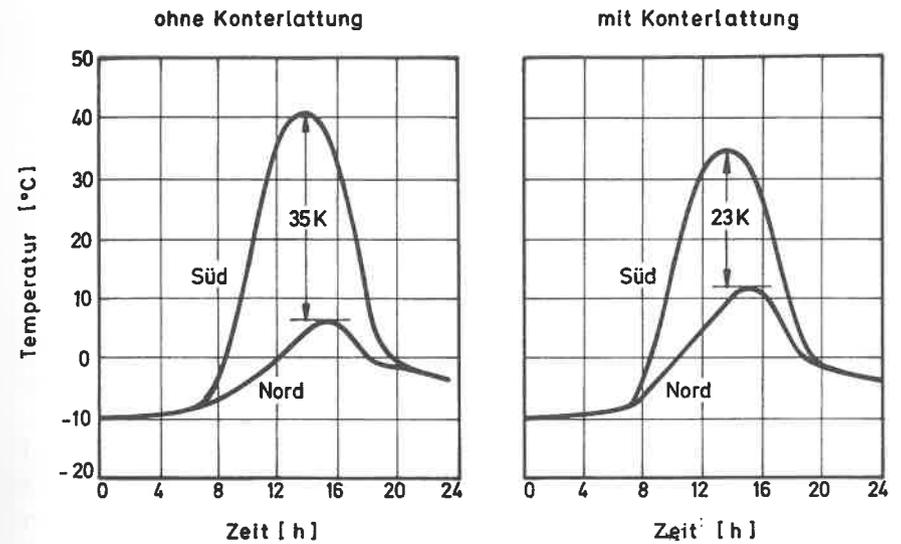


Bild 20: Tagesverläufe der Lufttemperaturen im Zwischenraum zwischen Dachdeckung und Unterspannfolie bei den Dachausführungen ohne und mit Konterlattung jeweils in beiden Dachhälften (Nord und Süd). Wegen des größeren Strömungsraumes kann bei Konterlattung ein Austausch zwischen der Luft im Spalt und der Außenluft bzw. zwischen den beiden Dachhälften über die Firstverbindung besser erfolgen als ohne Konterlattung. Daher mit Konterlattung kleinere Temperaturdifferenzen zwischen Nord- und Süd als ohne Konterlattung.

Konterlattung die Temperatur auf der Südseite niedriger, auf der Nordseite höher und die Differenz um 12 K geringer ist als ohne Konterlattung. Dies ist nur durch den Luftaustausch zu erklären.

Wie die deutlichen Unterschiede in der Sparrenholzfeuchte allein mit Variationen in der oberen Belüftungsschicht zusammenhängen, bedarf noch einer Erläuterung. Offensichtlich funktioniert der Luftaustausch im First zwischen den beiden Dachhälften und den beiden Belüftungsschichten gut. Der First wirkt gewissermaßen als „Drehscheibe“, wie in Bild 2 dargestellt. Hinzu kommt, daß - wie beobachtet worden ist - über die horizontalen Überlappungen der leicht durchhängenden Unterspannbahnen infolge von „Flatterbewegungen“ bei Wind zusätzlich ein Ausgleich zwischen der oberen und unteren Belüftungsschicht auftritt. Dieses Flattern wird beim Fehlen von Konterlatten verhindert, da dann die Traglatten direkt auf den Sparren aufgebracht sind und damit die Unterspannbahn fixieren. Deshalb sind in Bild 19 ohne Konterlatten die niedrigsten Feuchtegehalte der Sparren auf der Nordseite festgestellt worden. Etwas höhere Feuchtegehalte sind ohne

Konterlatten aber mit zusätzlicher Belüftung der oberen Luftschicht durch Lüfterziegel im Traufbereich aufgetreten und die höchsten Werte bei weitgehend ungehindertem Luftaustausch zwischen Süd und Nord durch die infolge der Konterlatten vorhandene durchgehende Belüftungsschicht. Es ist verständlich, daß bei zusätzlichen Öffnungen im Traufbereich der unteren Belüftungsschicht, eine Variante, die im darauffolgenden Jahr bei etwas anderen Klimabedingungen verifiziert worden ist, noch größere Feuchtezunahmen auftreten als bei Variante 1.2, Bild 19 (hier nicht dargestellt, siehe [9]).

Bei nach West und Ost geneigten Dachhälften ist der durch unterschiedliche Besonnung verursachte Temperaturunterschied nicht in gleichem Maße gegeben wie bei den eben dargestellten Ergebnissen von Süd/Nord-Dächern. Doch macht sich hier ein Luftaustausch in der unteren Belüftungsschicht auf Grund der Windeinwirkung bemerkbar. Infolge verstärktem Westwindanfall findet ein Lufttransport in der unteren Belüftungsschicht hauptsächlich von der Westseite zur Ostseite statt mit verstärkter Tauwasserbildung auf der Ostseite. Aus Bild 21 ist zu entnehmen, daß dieser Effekt hauptsächlich beim steilgeneigten Dach auftritt. Das flachgeneigte Dach war in der Untersuchungsperiode häufig mit Schnee bedeckt und damit weniger windanfällig. Deshalb können diese Ergebnisse nicht im Hinblick auf die Dachneigung verallgemeinert werden.

Diese Ergebnisse zeigen eindeutig, daß ein Luft- und damit Feuchteaus-tausch zwischen Belüftungsschichten von klimatisch unterschiedlich beanspruchten Dachflächen eines Gebäudes - besonnt / beschattet, Luv- / Lee-seite - verhindert werden muß, um nachteilige Feuchteeinwirkungen durch die Außenluft (Sommerkondensation) zu vermeiden. Im Rahmen der Untersuchungen wurde dies - wie bereits erwähnt - durch Einsetzen einer Trennplatte im Firstbereich in einfacher Weise verifiziert (Bild 11), mit dem Ergebnis, daß dann - wie zu erwarten - die nachteiligen Feuchteerhöhungen auf den Nordseiten nicht mehr aufgetreten sind. Noch einfacher ist es aber, auf die untere Belüftungsschicht zu verzichten, den Sparrenzwischenraum vollständig mit Dämmstoff zu füllen und die Unterspannbahn ohne Unterbrechung über den First herüberzuziehen. Dann ist ein Feuchteaus-tausch zwischen unterschiedlich beanspruchten Dachflächen nicht mehr möglich und man erzielt eine der Sparrenhöhe entsprechende, maximale Wärmedämmung. Auch die Auswirkung der Konterlattung auf nachteilige Feuchteumlagerungen von der einen zur anderen Dachhälfte entfällt dann. Darüber hinaus ist schließlich diese Konstruktion wesentlich einfacher als die nach der geltenden Norm und den Dachdeckerrichtlinien (vergleiche Bild 8 mit Bild 2). Bei dieser in jeder Hinsicht optimierten Konstruktion stellt sich praktisch

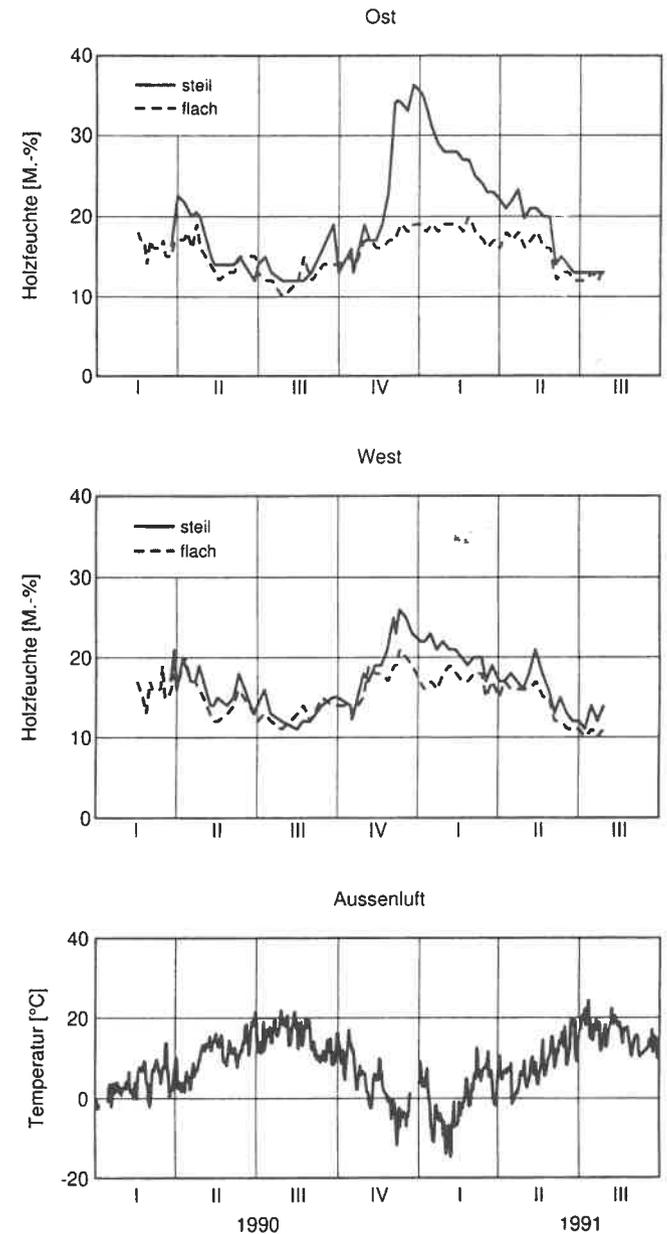


Bild 21: Zeitliche Verläufe der Sparrenfeuchte (seitliche Oberflächen) bei steil- und flachgeneigten Dächern (50°, 23°) mit Konterlatten (Variante a, Betondachsteine) bei nach West und Ost orientierten Dachflächen mit Angabe der Außenlufttemperatur.

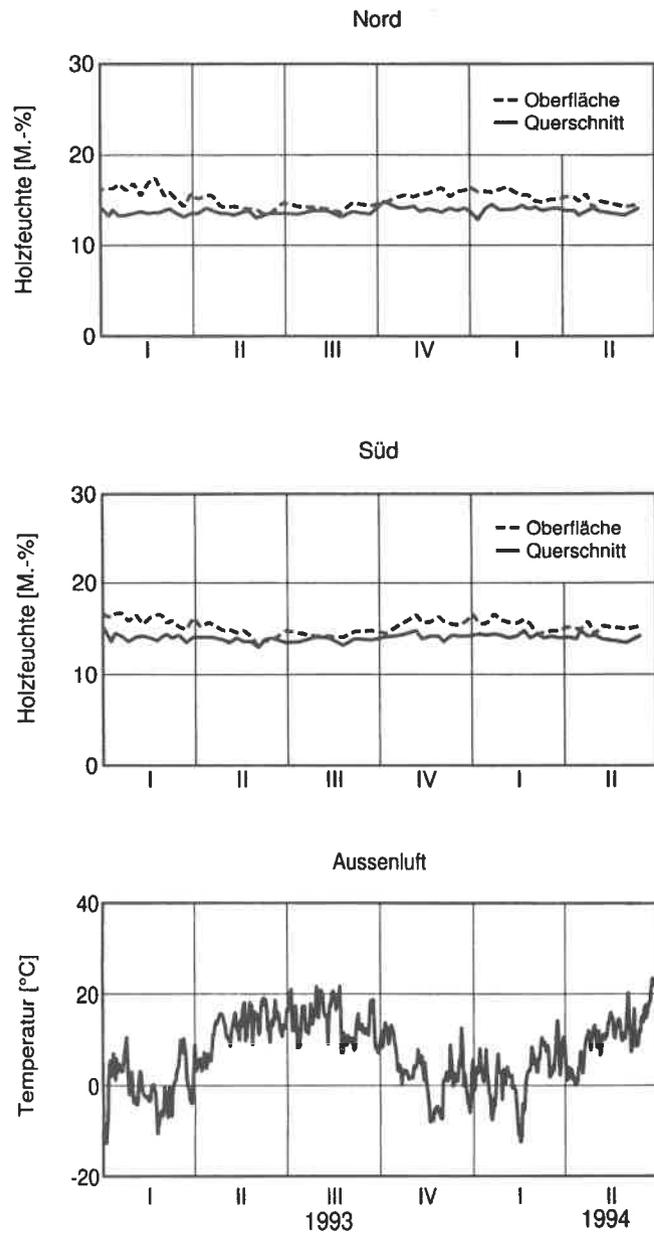


Bild 22: Zeitliche Verläufe der Sparrenfeuchte über den Querschnitt und an der seitlichen Oberfläche bei Dachvariante c (voll gedämmt, diffusionsoffene Unterspannbahn) mit Flachdachpfannen bei nach Nord und Süd geneigten Dachflächen (28°) mit Angabe der Außenlufttemperatur.

unabhängig von der Dachorientierung und von den Jahreszeiten ein gleichbleibender Feuchtegehalt im Sparrenholz ein, wie durch die Meßergebnisse in Bild 22 bestätigt wird.

### 4.3.3 Wohnfeuchte

Unter Ziffer 4.3.1 wurde ausgeführt, daß ohne raumseitige Dampfsperre und bei diffusionsoffenen Unterspannbahnen eine rasche Trocknung schnittfrisch eingebrachten Konstruktionsholzes möglich ist. Es zeichnet sich auch nach erfolgter Bauaustrocknung bei den gegebenen Versuchsbedingungen keine nennenswerte Feuchtezunahme des Sparrenholzes im Winter infolge eindiffundierender Raumluftfeuchte ab (Bild 17). Dies ist in Verbindung mit der großen Wasserdampfdurchlässigkeit der Unterspannbahn zu sehen. Aber auch bei Untersuchungen an Dachkonstruktionen mit absichtlich perforierten Dampfsperren (Reduzierung des  $s_d$ -Wertes von ca. 100 m auf ca. 0,5 m zur Simulation von Fehlstellen in der Dampfsperre) zeigte sich keine nachteilige Auswirkung auf die Sparrenholzfeuchte [9]. Trotzdem ist eine generelle Klärung erforderlich, wie groß der Sperrwert der raumseitigen Dampfbremse mindestens sein muß, damit es auch unter ungünstigen Bedingungen nicht zu einer unzulässigen, diffusionsbedingten Feuchteanreicherung in der Dachkonstruktion kommt. Solche ungünstigen Bedingungen sind z.B. nach Norden orientierte, oder durch die umgebende Bebauung ständig beschattete Dachflächen oder langandauernde kalte Winterperioden, in denen sich größere Tauwassermengen als Eisschicht akkumulieren und bei Wärmeeinbruch plötzlich tauen können.

Diesen Fragen wurde mit Hilfe des bereits erwähnten neuen Rechenverfahrens [7] im Vergleich zu dem genormten Glaserverfahren nachgegangen. Dabei wurde festgestellt, daß die nach dem neuen Rechenverfahren „WUFI“ erzielten Ergebnisse für nicht besonnte, ständig beschattete Dachflächen gut mit der Normberechnung nach Glaser übereinstimmen [8]. Nach den in Bild 23 dargestellten Ergebnissen nimmt die zu erwartende Tauwassermenge mit zunehmendem  $s_d$ -Wert der Innenbekleidung bzw. Dampfbremse und abhängig vom  $s_d$ -Wert der Unterspannbahn stark ab. Bei zeitweiliger Besonnung des Daches, abhängig von dessen Orientierung und Neigung, ist mit deutlich geringeren Tauwassermengen zu rechnen, so daß sich mit ausreichender Sicherheit die im Merkblatt des Dachdeckerhandwerks [2] aufgeführten Randbedingungen als Richtwerte für die Bemessung der raumseitigen Dampfbremse bei diffusionsoffenen Unterspannbahnen bestätigen:

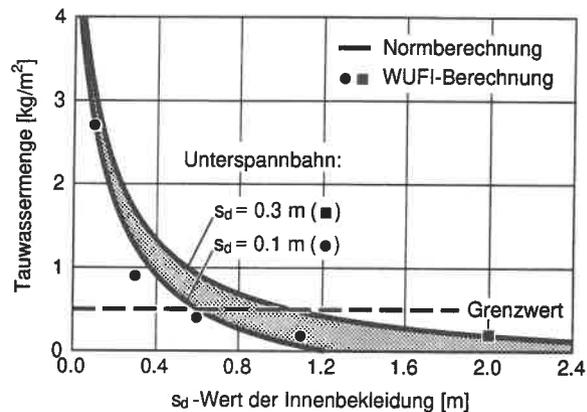


Bild 23: Abhängigkeit der während der Heizperiode auftretenden Tauwassermenge in einer diffusionsoffenen Dachkonstruktion vom  $s_d$ -Wert der Innenbekleidung. Der mit dem Normverfahren (DIN 4108 Teil 5 bzw. Teil 3) berechnete Bereich für dampfdurchlässige Unterspannbahnen ( $s_d$ -Wert: 0,1 bis 0,3) ist schraffiert eingezeichnet. Die Ergebnisse der WUFI-Berechnungen ohne Strahlungseinflüsse sind durch Vollkreise ( $s_d = 0,1$ ) bzw. Quadrate ( $s_d = 0,3$ ) markiert. Der zulässige Grenzwert nach Norm ( $0,5 \text{ kg/m}^2$ ) ist eingezeichnet [9].

$s_d$ -Wert Dampfbremse:  $\geq 2 \text{ m}$  /  $s_d$ -Wert Unterspannbahn:  $\leq 0,3 \text{ m}$

Bei sehr diffusionsoffenen Konstruktionen können folgende Richtwerte gelten:

$s_d$ -Wert Dampfbremse:  $\geq 1 \text{ m}$  /  $s_d$ -Wert Unterspannbahn:  $\leq 0,1 \text{ m}$

Eine noch weitere Aufspaltung und Differenzierung ist nicht sinnvoll. Ein  $s_d$ -Wert von 0,1 m für eine Unterspannbahn ist ein so kleiner Wert, daß sich Meßwertstreuungen und Produktschwankungen bereits deutlich auswirken können. Deshalb wird in [8] vorgeschlagen, auch in Fällen kleinerer, gemessener  $s_d$ -Werte sicherheitshalber von einem  $s_d$ -Wert von 0,1 m auszugehen und generell eine Dampfbremse mit mindestens  $s_d = 1 \text{ m}$  vorzusehen. Siehe hierzu die Ausführungen im Anhang, Seite 77 ff.

Bei nachträglichem Ausbau von Dachgeschossen zu Wohnzwecken und bereits vorhandener dichter Vordeckung oder Unterspannbahn muß sorgfältig geprüft werden, ob eine vollständige Ausfüllung des Sparrenzwischenraums zulässig ist oder eine Belüftung vorzusehen ist [10], siehe Anhang, Seite 85 ff. Daß voll gedämmte Steildachkonstruktionen konventioneller Ausführung gerade bei sorgfältiger Abdichtung problematisch sein können, wird durch einen im Anhang, Seite 91 ff. beschriebenen und analysierten Schadensfall dokumentiert.

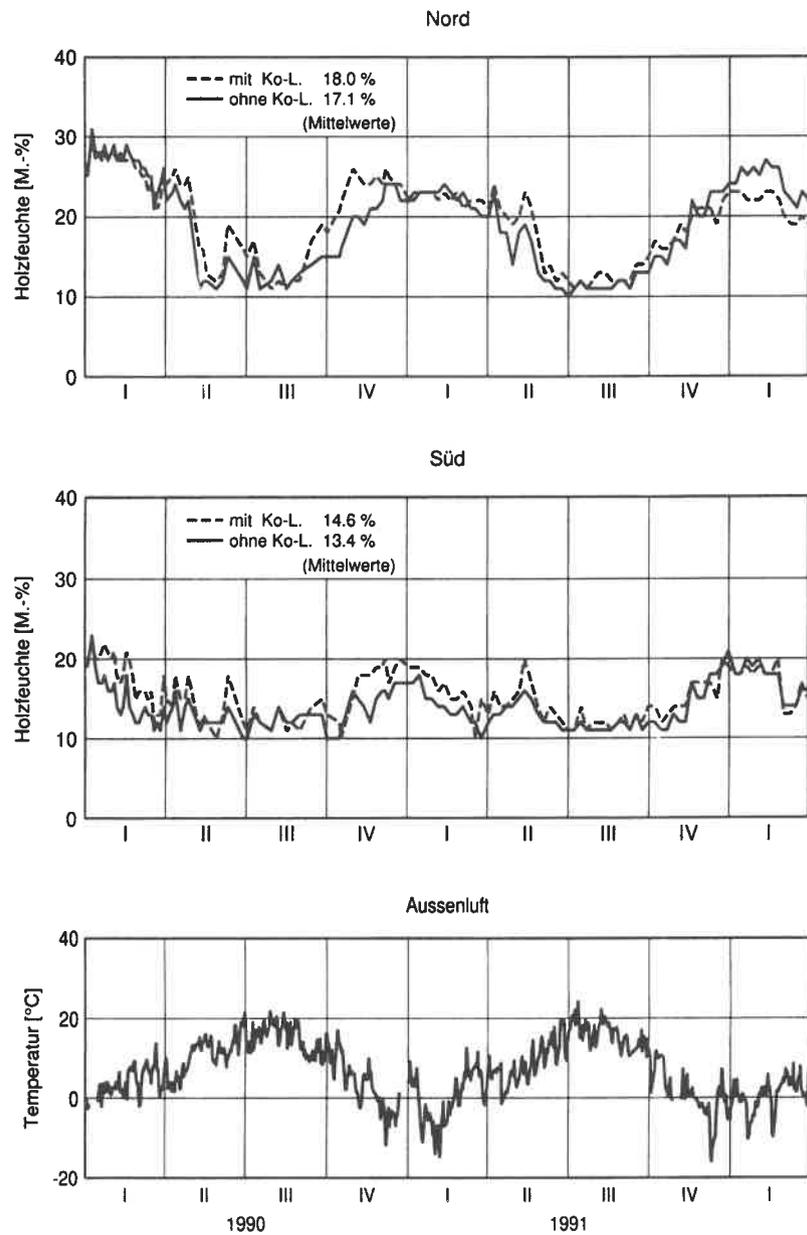
## 4.4 Lattenfeuchte / obere Belüftungsschicht

### 4.4.1 Einfluß der Konterlattung

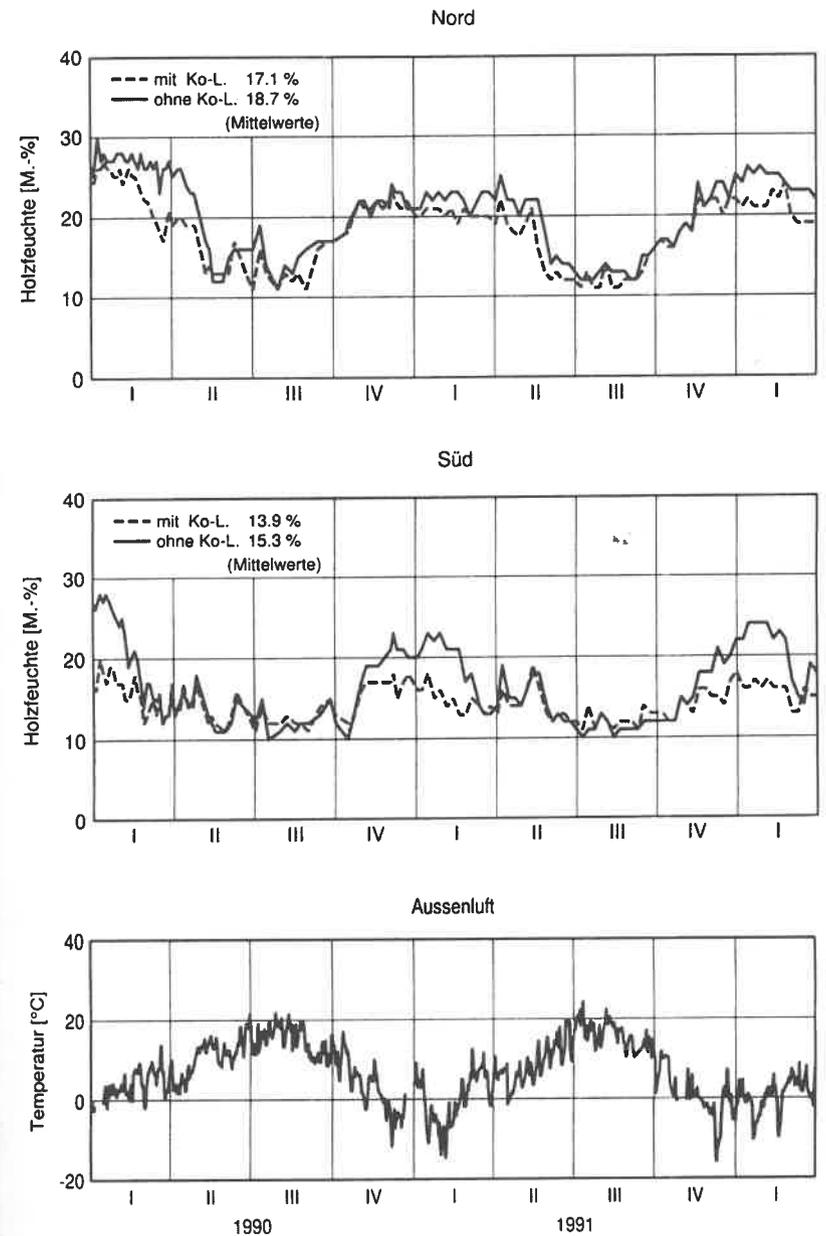
Durch die Anordnung von Konterlatten wird eine durchgehende Belüftungsschicht unterhalb der Dachdeckung bewirkt, die eine verstärkte Unterlüftung der Dachdeckung sowie das ungehinderte Abfließen von eventuell eingedrungenem Regenwasser ermöglicht. Daß letzteres im Rahmen der Untersuchungen bei den verwendeten unterschiedlichen Dachdeckungen in keinem Fall festgestellt worden ist, wurde bereits in Abschnitt 4.1 erwähnt und durch Bild 13 dokumentiert. Auch die Bilder 24 und 25 zeigen, daß die Dachlattenfeuchte im wesentlichen von der Jahreszeit und nicht von Regenerereignissen abhängt: im Sommer ist sie niedriger als im Winter. Bei genauer Betrachtung der Bilder ist festzustellen, daß bei Deckung mit engobierten Biberschwanzziegeln die Anordnung von Konterlatten mehrheitlich eine etwas höhere Lattenfeuchte zur Folge hat (Bild 24) im Gegensatz zu den Verhältnissen bei roten Biberschwanzziegeln (Bild 25), bei denen sich durch die Konterlatten eine etwas niedrigere Lattenfeuchte einstellt. Das gleiche gilt für rote Flachdachpfannen (Bild 13). Die Unterschiede sind zwar gering; sie deuten aber darauf hin, daß die Feuchteverhältnisse in der oberen Belüftungsschicht und damit auch die Lattenfeuchte offensichtlich noch von weiteren Einflüssen abhängen, die genauer zu analysieren sind.

### 4.4.2 Weitere Einflüsse

Eine Gegenüberstellung der mittleren Dachlattenfeuchte und der mittleren Temperatur der Dachziegel - jeweils gemessen an der Unterseite der Ziegel - ergibt innerhalb gewisser Streuungen eine lineare Abhängigkeit zwischen diesen Meßgrößen: Je niedriger die Ziegeltemperatur ist, desto größer ist die Lattenfeuchte. Dies ist aus Tabelle 2 und Bild 26 ersichtlich. Insbesondere aus der grafischen Darstellung wird deutlich, daß es praktisch einen nahtlosen Übergang zwischen Meßwerten von nord- und südorientierten Dachflächen gibt und daß andere Varianten - wie Firstausbildung oder Farbe der Ziegel - sich entsprechend deren Auswirkung auf die mittlere Ziegeltemperatur in die lineare Abhängigkeit einordnen. Diese Temperaturabhängigkeit der Lattenfeuchte bedeutet, daß in erster Linie Vorgänge der Wasserdampfsorption und der Tauwasserbildung für die Lattenfeuchte bestimmend sind.



**Bild 24:** Zeitliche Verläufe der Lattenfeuchte bei Deckung mit dunkel engobierten Biberschwanzziegeln mit und ohne Konterlatten bei getrenntem First (Variante a) bei nach Nord und Süd geneigten Dachflächen (28°) mit Angabe der Außenlufttemperatur.



**Bild 25:** Zeitliche Verläufe der Lattenfeuchte bei Deckung mit roten Biberschwanzziegeln mit und ohne Konterlatten bei getrenntem First (Variante a) bei nach Nord und Süd geneigten Dachflächen (28°) mit Angabe der Außenlufttemperatur.

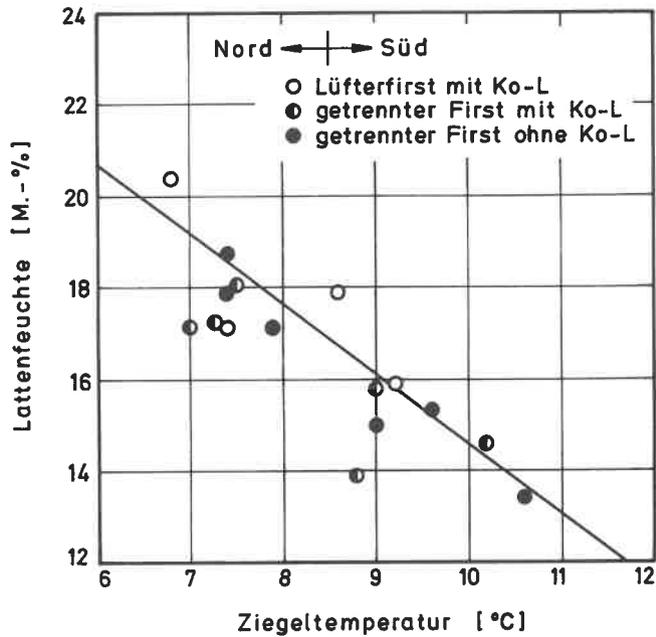


Bild 26: Gegenüberstellung von Lattenfeuchte und Ziegeltemperatur (Flachdachpfannen und Biberschwanzziegel) bei nach Nord und Süd geneigten Dachflächen (28°) mit und ohne Konterlatten und bei unterschiedlicher Firstausbildung, Jahresmittelwerte gemäß Tabelle 2. Die Lattenfeuchte nimmt im allgemeinen mit abnehmender Ziegeltemperatur zu.

Tabelle 2: Jahresmittelwerte der Ziegeltemperaturen und Lattenfeuchten bei den geprüften Dachvarianten und Dachorientierungen (1991).

Dachvariante		Ziegeltemperatur [°C] / Lattenfeuchte [M-%]			
		Flachdachpfanne		Biberschwanzziegel	
		Nord	Süd	Nord	Süd
Lüfterfirst mit Konterlattung	rot engob.	7,4°C/17,1% -/-	9,2°C/15,9% -/-	6,8°C/20,4% -/-	8,6°C/17,9% -/-
Getrennter First mit Konterlattung	rot engob.	7,3°C/17,2% -/-	9,0/15,8% -/-	7,0°C/17,1% 7,5°C/18,0%	8,8°C/13,9% 10,2°C/14,6%
Getrennter First ohne Konterlattung	rot engob.	7,4°C/17,9% -/-	9,0°C/15,0% -/-	7,4°C/18,7% 7,9°C/17,1%	9,6°C/15,3% 10,6°C/13,4%
Schwankungsbereich Lattenfeuchte (rote Ziegel)		15,0 - 17,9 = 2,9 %		13,9 - 20,4 = 6,5 %	

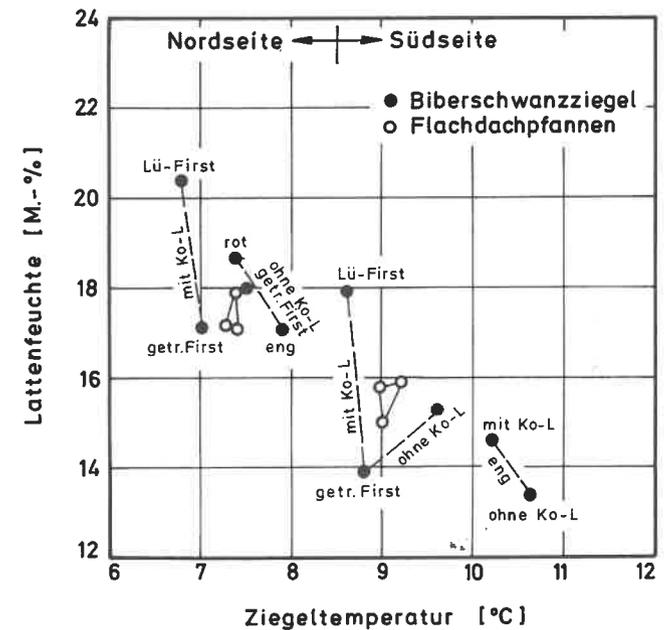


Bild 27: Gegenüberstellung von Lattenfeuchte und Ziegeltemperatur wie Bild 26, jedoch mit Kennzeichnung von Ziegelart, Firstausbildung und Konterlattenanwendung. Bei Flachdachpfannen ist der Haupteinfluß die Temperatur, die Biberschwanzziegel dagegen zusätzlich noch auf die anderen Einflüsse. (Lü-First: Lüfterfirst, getr. First: getrennter First, Ko-L: Konterlattung).

Die Intensität der Belüftung und damit z.B. die Auswirkung einer Konterlattung ist nur insoweit von Einfluß, als sie sich auf die Temperaturverhältnisse auswirkt. Der gegensätzliche Einfluß der Konterlatten bei dunkel engobierten und roten Biberschwanzziegeln (Bilder 24 und 25) ist dadurch zu erklären, daß offensichtlich die Wirkung der nächtlichen Unterkühlung und Tauwasserbildung bei den dunkleren Ziegeln gegenüber der Wirkung der stärkeren Strahlungserwärmung und Trocknung überwiegt. Dies führt im Endeffekt zu einer etwas größeren Lattenfeuchte, je intensiver die Unterlüftung der Dachdeckung ist, wofür nicht nur die Konterlattung, sondern auch die Art der Firstausbildung von Einfluß ist.

Es zeigt sich, daß die dichtere Biberschwanzziegel-Doppeldeckung auf solche sekundär erscheinenden Einflüsse stärker reagiert als die „durchlässigere“ Deckung mit Flachdachpfannen. Dies ist aus Bild 27 ersichtlich, in dem die gleichen Meßpunkte wie in Bild 26 enthalten sind, jedoch mit erläuternden Bezeichnungen, welche dies deutlich machen: Bei Deckung mit Flachdach-

pfannen zeigt sich praktisch kein Einfluß der Konterlattung oder der Firstausbildung auf die Lattenfeuchte, lediglich die Dachorientierung wirkt sich durch die unterschiedliche Besonnung und damit Temperatur aus. Bei der Biberschwanz-Deckung ist hingegen ein deutlicher Einfluß der Konterlattung in Verbindung mit der Firstausbildung zu erkennen (Lüfterfirst - getrennter First), sowie der Farbe, die nur bei den Biberschwanzziegeln als Variante auftritt. Vergleicht man nur die roten Ziegel (ohne Engobe), dann ist die Schwankungsbreite der Ziegelfeuchte im Jahresmittel unter den geprüften Varianten bei den Biberschwanzziegeln mit 6,5 % mehr als doppelt so groß wie bei den Flachdachpfannen mit 2,9 % (Tabelle 2). Die Firstausbildung mit stärkerer Belüftungsmöglichkeit („Lüfterfirst“ mit Konterlatten) wirkt sich dabei eher nachteilig aus.

## 4.5 Folgerungen

### 4.5.1 Untere Belüftungsschicht

Aus den Untersuchungen geht hervor, daß bei diffusionsoffenen Dachkonstruktionen mit dampfdurchlässiger Unterspannbahn und raumseitiger Dampfbremse der Sparrenzwischenraum ohne Belüftung vollständig mit einem Dämmstoff ausgefüllt werden kann. Dies hat wesentliche Vorteile gegenüber belüfteten Dachkonstruktionen:

- Die Konstruktionsausführung ist einfacher. Bei gegliederten Dächern oder im Zusammenhang mit Dachgauben oder Dachflächenfenstern entfallen Maßnahmen zur Gewährleistung einer durchgehenden Belüftung. Die Unterspannbahn kann ohne Unterbrechung über den First geführt werden.
- Eine erhöhte Anfangsfeuchte des Holzes kann rascher zum Raum hin und nach außen abgegeben werden als bei belüfteten Konstruktionen mit raumseitiger Dampfsperre. Ein chemischer Holzschutz kann dadurch entfallen.
- Ein zusätzlicher Feuchteintrag von außen und eine dadurch bedingte Feuchteerhöhung des Holzes (Sommerkondensation), die bei belüfteten Dächern nicht auszuschließen ist, wird vermieden.
- Keine nachteilige Feuchtebeeinflussung der Dämmung und des Holzes infolge eindiffundierender oder konvektiv eingebrachter Wohnfeuchte bei

einer raumseitigen Dampfbremse, die auf den  $s_d$ -Wert der Unterspannbahn abgestimmt ist und wenn eine ausreichende Windsperre vorhanden ist.

### 4.5.2 Obere Belüftungsschicht

Die Dachlattenfeuchte, die als kennzeichnend für die Feuchtesituation unterhalb der Dachdeckung gelten kann, wurde zusammenfassend unter folgenden verschiedenen Randbedingungen überprüft:

- First mit Ausgleichsmöglichkeit von der einen zur anderen Dachhälfte („Lüfterfirst“)
- First ohne eine solche Ausgleichsmöglichkeit („getrennter First“)
- Mit und ohne Konterlatten
- Biberschwanz-Doppeldeckung und Deckung mit Flachdachpfannen
- Rote und dunkel engobierte Ziegel
- Süd- und Nordorientierung der Dachflächen

Dabei hat sich ergeben, daß in erster Linie die Temperatur der Dachdeckung für den langzeitigen Mittelwert der Lattenfeuchte maßgebend ist, die wesentlich von der Besonnung und der Farbe (Strahlungsabsorption) der Dachdeckung abhängt. Als untergeordneter Einfluß hat sich der Grad der Belüftung erwiesen, abhängig von der Anordnung von Konterlatten und der Firstausbildung. Auf diesen Einfluß reagiert eine Deckung mit Flachdachpfannen im Vergleich zur Biberschwanz-Doppeldeckung kaum, da offensichtlich die gegebene Luftdurchlässigkeit der Deckung mit Flachdachpfannen einen ausreichenden Ausgleich zwischen der Außenluft und der Luft unterhalb der Deckung ermöglicht. Im Falle der Biberschwanzdeckung haben solche Maßnahmen der Belüftung etwa die gleichen Auswirkungen wie die Dachorientierung oder die Farbe der Dachdeckung.

Bei den Untersuchungen wurden in keinem Fall Feuchteerhöhungen der Dachlatten infolge Regeneinwirkungen festgestellt. Der lose Kontakt nasser Ziegel mit den Dachlatten führt nicht zu einer erhöhten Holzfeuchte. Dabei ist aber zu berücksichtigen, daß bei den Versuchsdachflächen keine Durchdringungen, Einbauten (Fenster, Gauben) oder Anschlüsse vorhanden sind, durch die beim Versagen von Abdichtungsmaßnahmen Regenwasser eindringen kann. Ein ungehindertes Abfließen solchen Wassers auf der Unterspannbahn bzw. Vordeckung ermöglicht die Anordnung von Konterlatten.

Somit ist zusammenfassend zur Frage der oberen Belüftungsschicht festzustellen:

Bei ungestörten Dachflächen wird der mögliche Feuchteintrag durch temperaturabhängige Feuchteinwirkungen - wie Sorption und Tauwasserbildung - bestimmt. Durch Konterlatten und zusätzliche Belüftungsmaßnahmen kann dieser Feuchteintrag unter Umständen erhöht werden. Die Anordnung von Konterlatten und zusätzliche Belüftungsmaßnahmen sind daher in diesem Fall physikalisch nicht zu begründen.

Aus praktischen Erwägungen, nämlich um möglichen Regeneinwirkungen durch unbeabsichtigte Undichtheiten im Dach zu begegnen, sind jedoch Konterlatten zweckmäßig. Zusätzliche Belüftungsmaßnahmen - im wesentlichen durch die Firstausbildung - können bei relativ dichten Deckungen - wie z.B. Biberschwanz-Doppeldeckung - zur rascheren Trocknung eingedrungener Regenfeuchte hilfreich sein. Im allgemeinen ist aber über die konstruktiv gegebene Luftdurchlässigkeit der Dachdeckung ein ausreichender Feuchteausgleich möglich.

## Teil II

### Zur Frage des Feuchteverhaltens von Dachziegeln

# 1 Einleitung und Übersicht

Zur Erfüllung ihrer Schutzfunktion müssen Ziegeldächer dauerhaft regensicher sein. Die Regensicherheit hängt von der Dachneigung, der Dachziegelbildung und der Deckungsart ab, die Dauerhaftigkeit im wesentlichen von der Festigkeit und Frostbeständigkeit der Dachziegel. Die Frostbeständigkeit wiederum wird maßgeblich durch die Wasseraufnahme und die Geschwindigkeit der Wasserabgabe (Trocknung) bestimmt. Bei nicht ausgebauten, durchlüfteten Dachgeschossen bestehen an den Rückseiten der Dachdeckung zweifellos andere Temperatur- und Feuchteverhältnisse als im Falle ausgebauter Dachgeschosse mit Wärmedämmung unterhalb der Deckung. Auch der Einfluß der Konterlattung wird in diesem Zusammenhang zur Diskussion gestellt. Die nicht ausreichende Durchlüftung bzw. Unterlüftung der Dachdeckung wird oft als Ursache von Frostschäden an Dachziegeln bewertet, zu deren Vermeidung Maßnahmen einer verstärkten Belüftung vorgeschlagen werden.

Im Zusammenhang mit den Untersuchungen an wärmedämmten Dächern und Deckungen (Teil I) wurden auch Untersuchungen über die feuchtetechnischen Eigenschaften der verwendeten Dachziegel vorgenommen, über die im folgenden berichtet wird. Dabei handelt es sich um Laboruntersuchungen über die Wasseraufnahme bei Normaldruck und Unterdruck, um Messungen der kapillaren Wasseraufnahme, der Wasserdampf-Durchlässigkeit und der Austrocknung sowie um Untersuchungen über Feuchteänderungen von Dachziegeln unter dem Einfluß natürlicher Bewitterung.

## 2 Durchführung und Ergebnisse der Untersuchungen

### 2.1 Sättigungsfeuchte

Zur Ermittlung der Wassersättigung bei Normaldruck und Unterdruck wurden die Ziegel senkrecht in eine wassergefüllte, luftdichte Wanne gestellt, so daß das obere Ende noch etwa 10 cm von Wasser überdeckt war. Die Wasseraufnahme wurde durch Wiegen der zuvor getrockneten Ziegel nach 72-stündiger Unterwasserlagerung bei offener Wanne ermittelt. Anschließend wurde die Wanne luftdicht verschlossen und die Wasseraufnahme bei einem Unterdruck von 550 mbar ermittelt. In dieser Weise wurden je drei Biberschwanzziegel mit folgender unterschiedlicher Behandlung bei der Herstellung untersucht:

- rot
- engobiert (dunkel)
- rot, silikonisiert
- engobiert, silikonisiert.

Die Ergebnisse der Einzel- und Mittelwerte sind in Tabelle 3 enthalten. Die Unterschiede der Wasseraufnahme sind - sowohl der Einzel- als auch der Mittelwert - bei beiden Prüfmodalitäten gering und lassen insbesondere

**Tabelle 3:** Rohdichte, Sättigungsfeuchte, diffusionsäquivalente Luftschichtdicke und Wasseraufnahmekoeffizient von Biberschwanzziegeln unterschiedlicher Art (Mittelwerte aus je 3 Einzelmessungen).

Ziegelart (Biberschwanzziegel)	Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Sättigungsfeuchte [Masse-%]		diffusions- äquivalente Luftschichtdicke $s_d$ [m]	Wasser- aufnahme- koeffizient [kg/m <sup>2</sup> h <sup>0,5</sup> ]
		72 h Unterwasserl.	Unterdruck		
rot	2060	6,7	8,8	1,3	2,8
engobiert	2040	7,1	8,4	1,6	2,8
rot, silikonisiert	2060	6,1	9,4	1,4	0,11
engobiert, silikonisiert	2030	–	9,7	–	0,04

keine signifikanten Einflüsse der unterschiedlichen Oberflächenbehandlung erkennen. Bei Unterdruck sind jedoch deutlich höhere Sättigungswerte zu verzeichnen als bei "Normaldruck", bei dem allerdings ein gewisser Überdruck entsprechend der unterschiedlichen Eindringtiefe der Ziegel gegeben ist.

Das Verhältnis zwischen der freien Wassersättigung bei Unterwasserlagerung und der Wassersättigung bei Unterdruck wird als Sättigungsgrad  $S$  (oder  $S$ -Wert) bezeichnet. Dieser Wert gibt an, welcher Anteil des Porenvolumens bei freier Sättigung mit Wasser gefüllt ist, wenn man den bei Unterdruck ermittelten Sättigungsgehalt mit dem gesamten für Wasser zugänglichen Porenvolumen gleichsetzt. Je kleiner der  $S$ -Wert ist, um so geringer ist die Frostgefährdung einzuschätzen. Die  $S$ -Werte der untersuchten Dachziegel sind in Tabelle 4 zusammengestellt. An den unbewitterten Ziegeln wurden Werte zwischen 0,65 und 0,85 ermittelt.

**Tabelle 4:**  $S$ -Werte (Sättigungsgrade) der untersuchten Biberschwanzziegel, ermittelt an unbewitterten Proben. Die angewandte Methode entspricht nicht DIN 52 251, Teil 3, sondern wurde nur zum Vergleich der verwendeten Ziegel gewählt.

Ziegelart (Biberschwanzziegel)	$S$ -Wert
rot	0,76
engobiert	0,85
rot, silikonisiert	0,65
engobiert, silikonisiert	0,70

### 2.2 Wasserdampf-Durchlässigkeit

Von Biberschwanzziegeln mit unterschiedlicher Oberflächenbehandlung wurden Proben der Größe 20 cm x 10 cm herausgeschnitten und daran die Wasserdampfdurchlässigkeit nach DIN 52 615 (Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke  $s_d$ , Trockenbereichverfahren) gemessen. Es sind Unterschiede je nach Oberflächenbehandlung festzustellen, wie aus Tabelle 3 hervorgeht. Im Mittel über alle geprüften Proben ergibt sich eine Diffusionswiderstandszahl  $\mu = 100$  für den Ziegelscherben.

## 2.3 Kapillare Wasseraufnahme

Die nach der Durchführung der Diffusionsmessungen an den gleichen Proben ermittelten Werte der kapillaren Wasseraufnahme nach DIN 52 617 sind ebenfalls als Mittelwerte in Tabelle 3 enthalten. Bei den hydrophobierten Ziegeln wurde die engobierte Oberfläche als Saugfläche gewählt. Es zeigt sich ein deutlicher wasserabweisender Einfluß der Silikonisierung, während sich die Engobe allein nach diesen Messungen nicht auf die Saugfähigkeit des Ziegels auswirkt.

## 2.4 Trocknung

Im Anschluß an die Messung der Sättigungsfuchte bei Unterdruck wurden die Dachziegel in einem Klimaraum bei 20 °C und 65 % r.F. gelagert und die Wasserabgabe (Trocknung) gravimetrisch ermittelt. Die Ergebnisse sind als Mittelwertkurven von jeweils drei Proben in den Bildern 28 bis 30 dargestellt. Sowohl durch die einseitige Engobe als auch zusätzlich durch die Silikonbehandlung wird hiernach die Trocknung reduziert. Dies geht zahlenmäßig auch aus einem Vergleich der Halbwertszeiten der Trocknungsverläufe in

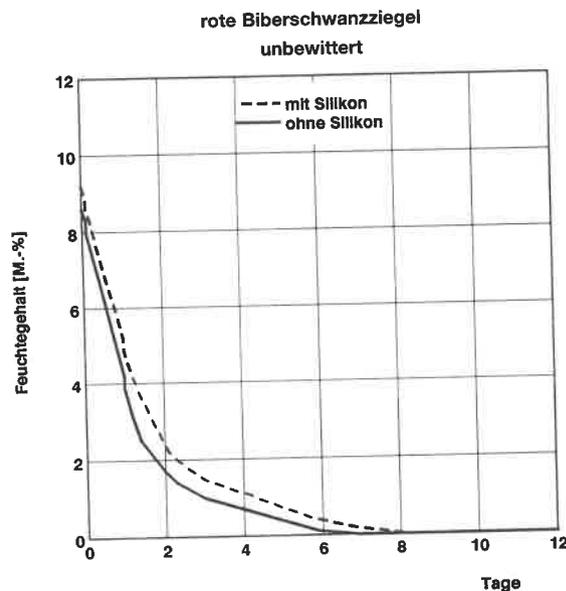


Bild 28: Feuchtegehalt in Abhängigkeit von der Zeit von wassergesättigten roten Biberschwanzziegeln mit und ohne Silikonbehandlung bei Lagerung im Klima 20 °C, 65 % r.F.

Bild 29: Feuchtegehalt in Abhängigkeit von der Zeit von wassergesättigten, engobierten Biberschwanzziegeln mit und ohne Silikonbehandlung bei Lagerung im Klima 20 °C, 65 % r.F.

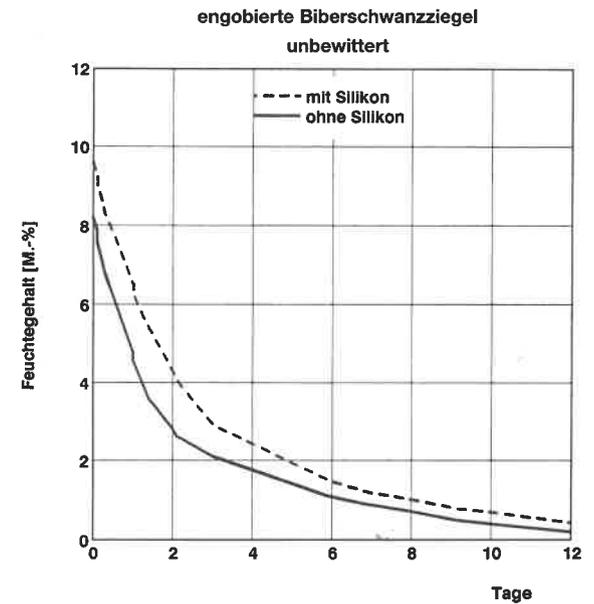


Bild 30: Feuchtegehalt in Abhängigkeit von der Zeit von wassergesättigten roten und dunkel engobierten Biberschwanzziegeln bei Lagerung im Klima 20 °C, 65 % r.F. (Gegenüberstellung von Kurven aus den Bildern 28 und 29).

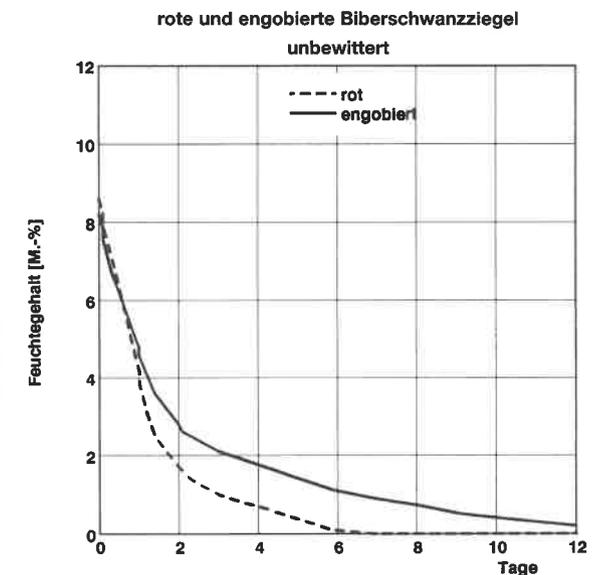


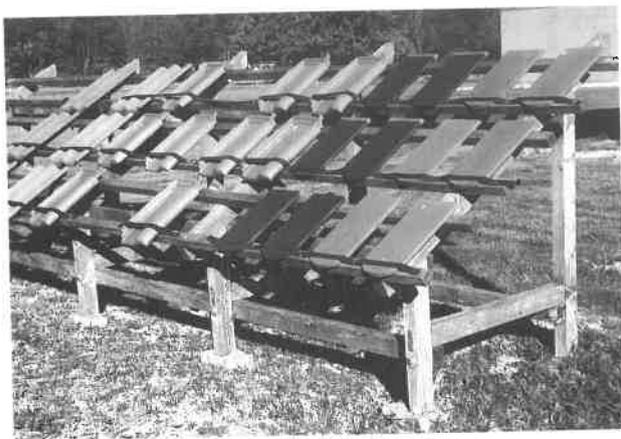
Tabelle 5 hervor (unbewitterte Ziegel). Als Halbwertszeit gilt die Zeitdauer, die erforderlich ist, bis die Hälfte des aufgenommenen Wassers nach Sättigung bei Unterdruck wieder abgegeben worden ist.

**Tabelle 5:** Mittelwerte von Wasseraufnahmekoeffizienten, Sättigungsfeuchten bei Unterdruck und Halbwertszeiten bei anschließender Trocknung von unbewitterten und zwei Jahre bewitterten Biberschwanzziegeln (Mittelwerte von je drei Ziegeln).

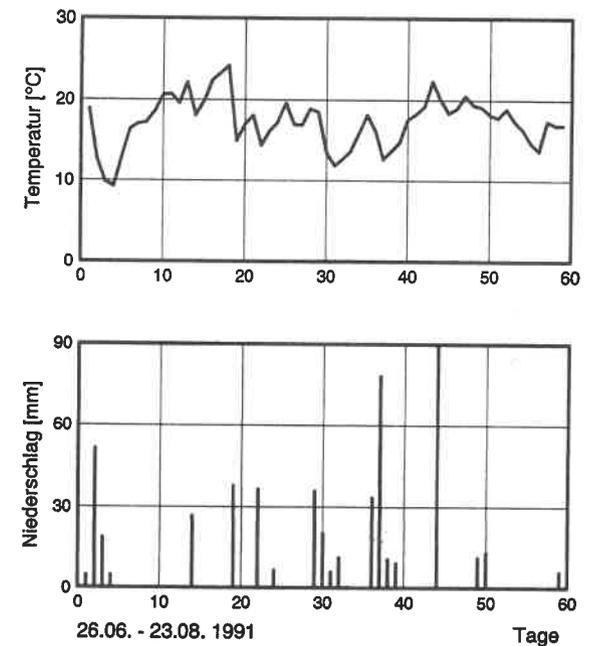
Ziegelart (Biberschwanzziegel)	Wasseraufnahmekoeffizient [kg/m <sup>2</sup> h <sup>0,5</sup> ]		Sättigungsfeuchte bei Unterdruck [Masse-%]		Halbwertszeit Trocknung 20 °C / 65% [Tage]	
	unbewittert	bewittert	unbewittert	bewittert	unbewittert	bewittert
rot	2,8	1,9	8,8	7,0	0,95	1,3
engobiert	2,8	0,7	8,4	6,9	1,2	3,4
rot, silikonisiert	0,11	0,02	9,4	8,9	1,15	1,0
engobiert, silikonisiert	0,06	0,08	9,7	9,5	1,75	2,35

## 2.5 Bewitterung

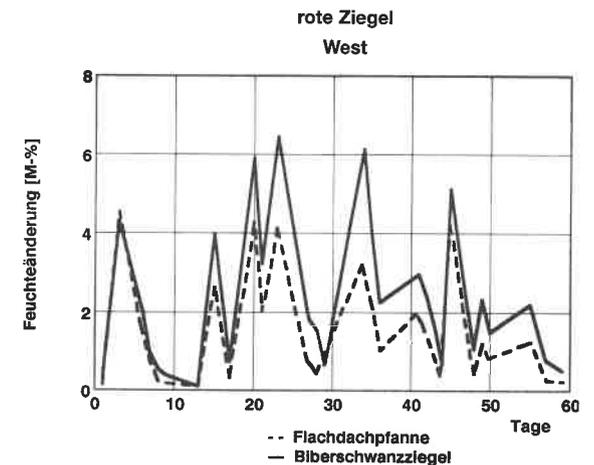
Von den Biberschwanzziegeln mit unterschiedlicher Oberflächenbehandlung wurden je drei auf ein 30° geneigtes, nach Westen orientiertes Dachgestell zur natürlichen Bewitterung ausgelegt. Die Rückseite der Ziegel war „offen“, d.h. von Außenluft umspült, so daß rückseitig keine Trocknungsbehinderung gegeben war (Bild 31). Zum Vergleich wurden auch Flachdachpfannen mit



**Bild 31:** Dachgestell zur Bewitterung von Dachziegeln mit 30° Neigung, orientiert nach Westen.

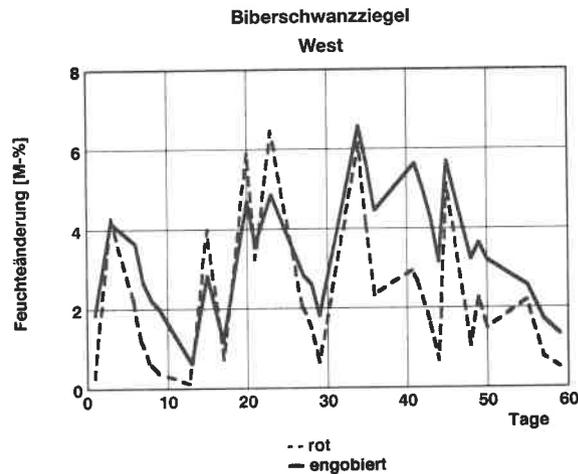


**Bild 32:** Verläufe der Tagesmittelwerte der Außenlufttemperatur und der Tagessummen der Niederschläge im Zeitraum vom 26. Juni bis 23. August 1991, in dem gravimetrisch an von den Versuchsdächern entnommenen Ziegeln der Feuchtegehalt bestimmt worden ist.

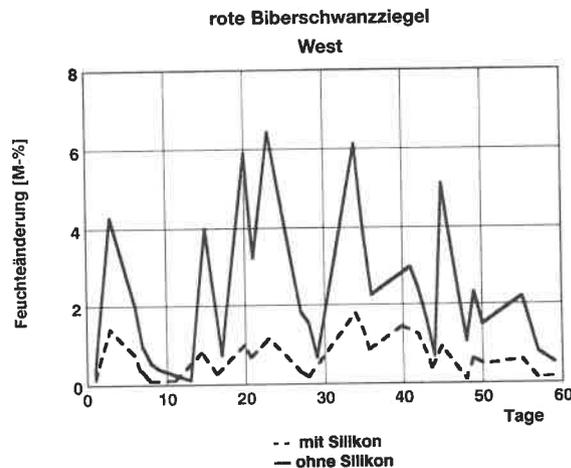


**Bild 33:** Zeitliche Verläufe der Feuchteänderungen von roten Flachdachpfannen und roten Biberschwanzziegeln im Zeitraum 26. Juni bis 23. August 1991. Mittelwerte von je drei Ziegeln, auf einem Bewitterungsgestell rückseitig belüftet, orientiert nach Westen.

unterschiedlicher Oberflächenbehandlung in gleicher Weise geprüft. Durch zeitweiliges Wiegen der Ziegel wurde die Feuchteänderung ermittelt. Im Zeitraum vom 26. Juni bis 23. August 1991 wurden über 60 Tage häufigere Wägungen durchgeführt. Außenlufttemperatur und Niederschlagsmengen



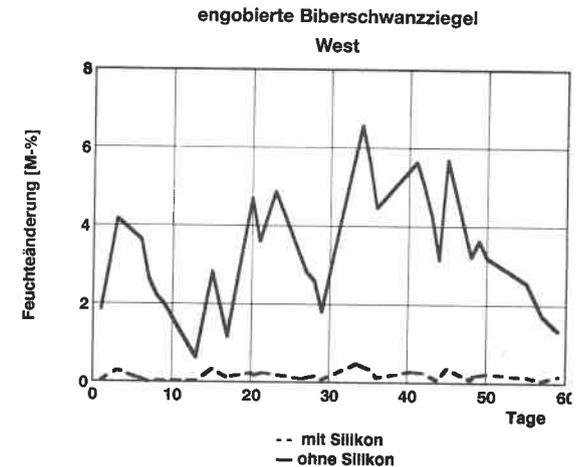
**Bild 34:** Zeitliche Verläufe der Feuchteänderungen von roten und engobierten Biberschwanzziegeln im Zeitraum 26. Juni bis 23. August 1991. Mittelwerte von je drei Ziegeln, auf einem Bewitterungsgestell rückseitig belüftet, nach Westen orientiert.



**Bild 35:** Zeitliche Verläufe der Feuchteänderungen von roten Biberschwanzziegeln mit und ohne Silikonisierung im Zeitraum 26. Juni bis 23. August 1991. Mittelwerte von je drei Ziegeln, auf einem Bewitterungsgestell rückseitig belüftet, nach Westen orientiert.

in diesem Zeitraum sind in Bild 32 aufgezeichnet. Die gravimetrisch bestimmten Feuchteänderungen sind in den Bildern 33 bis 36 dargestellt. Daraus ist folgendes zu erkennen:

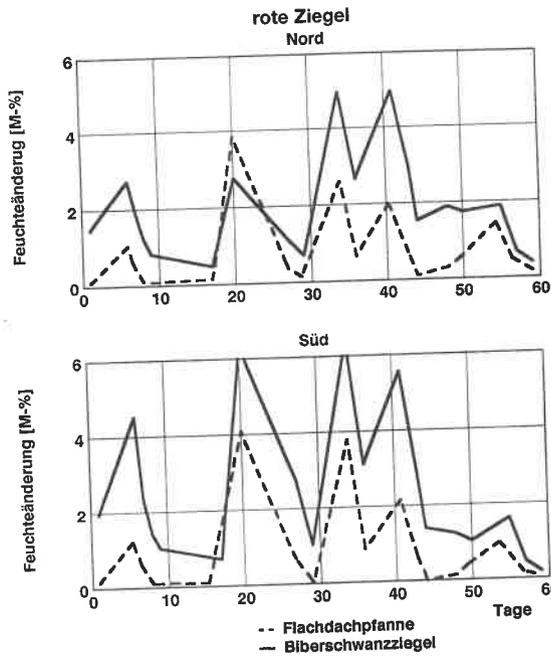
- Bei Beregnung nehmen Biberschwanzziegel mehr Wasser auf als Flachdachpfannen. Sie haben daher im langfristigen Mittel einen größeren Wassergehalt. Dies dürfte auf die größere Masse und die andere Deckungsart (Doppeldeckung) zurückzuführen sein (Bild 33).
- Die roten Ziegel trocknen rascher und nehmen dadurch im Langzeitmittel einen kleineren mittleren Feuchtegehalt an als die engobierten (Bild 34).



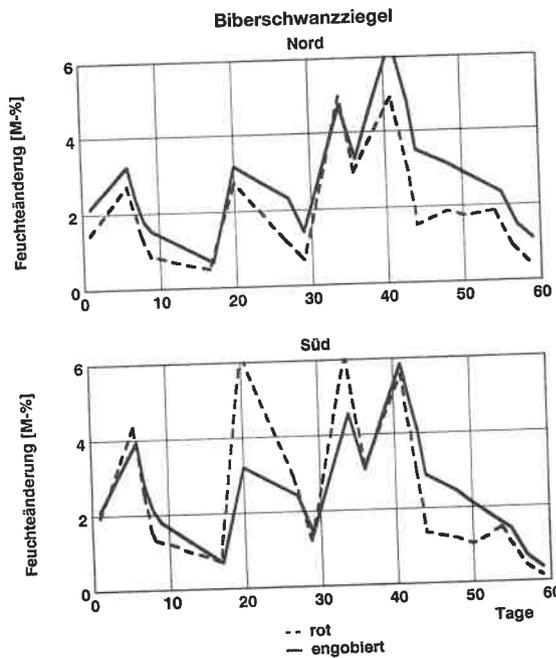
**Bild 36:** Zeitliche Verläufe der Feuchteänderungen von engobierten Biberschwanzziegeln mit und ohne Silikonisierung im Zeitraum 26. Juni bis 23. August 1991. Mittelwerte von je drei Ziegeln, auf einem Bewitterungsgestell rückseitig belüftet, nach Westen orientiert.

- Durch die Silikonisierung werden die Ziegel hydrophob. Die Wirkung ist bei den engobierten Ziegeln etwas stärker als bei den roten Ziegeln (Bilder 35 und 36).

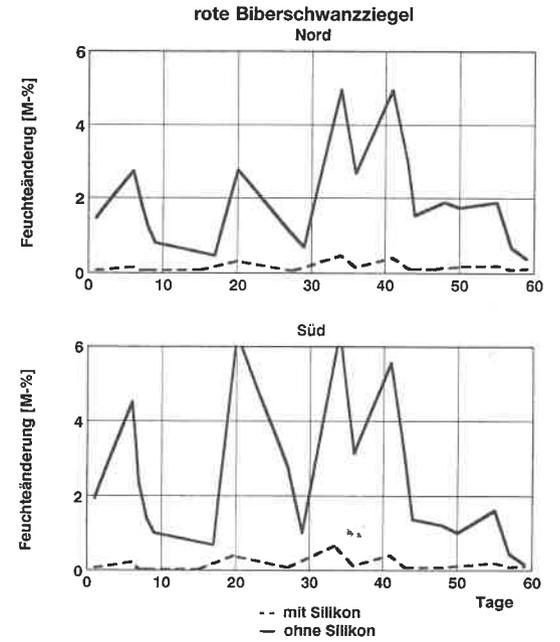
Meßergebnisse der Feuchteänderungen, die im gleichen Zeitraum und an den gleichen Ziegelarten, aber auf nach Nord und Süd geneigten Dachflächen eines wärme gedämmten Daches aufgelegt worden sind (Bild 6), enthalten die Bilder 37 bis 40. Neben der anderen Orientierung (West beim freien Bewitterungsgestell und Nord/Süd beim wärme gedämmten Dach) ist in beiden Fällen eine unterschiedliche "Unterlüftung" der Ziegel gegeben. Bei den Ziegeln auf dem Bewitterungsgestell hat die Außenluft auch auf der Rückseite der Ziegel freien Zugang während sie bei den Ziegeln auf dem Dach nur über die durch Lattung und Konterlattung vorgegebene Luftschicht an die Ziegelrückseite gelangen kann. Aber auch unter diesen Bedingungen ergeben sich die gleichen, oben aufgeführten grundsätzlichen Aussagen. Ein Vergleich der Bilder 37 bis 40 mit den Bildern 33 bis 36 gibt keine Hinweise dafür, daß die unterschiedliche Belüftung bzw. Unterströmung einen gravierenden oder überhaupt erkennbaren Einfluß auf die Ziegelfeuchte hat. Daß gewisse Unterschiede auftreten, ist durch die unterschiedliche Orientierung verständlich. Diese Ergebnisse sind so zu interpretieren, daß die Ziegelfeuchte hauptsächlich einerseits durch die Beregnung und zum anderen durch die Trocknung nach außen bestimmt wird. Eine rückseitige Feuchteabgabe ist von sehr untergeordnetem Einfluß, wie durch spätere Darlegungen noch bestätigt wird.



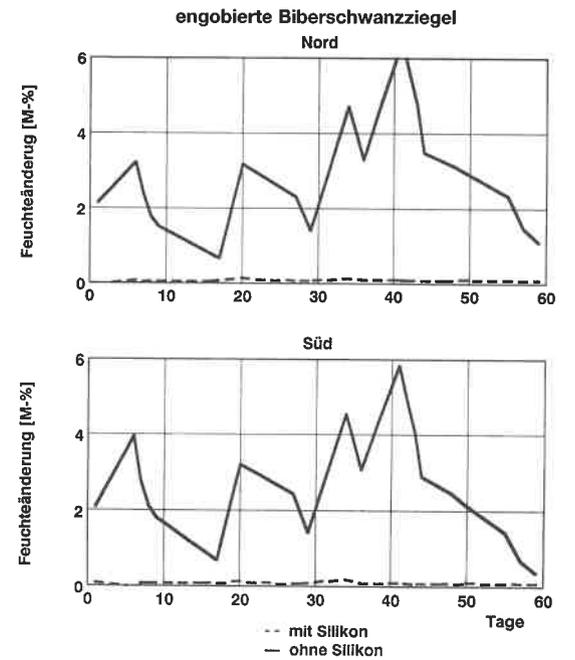
**Bild 37:** Zeitliche Verläufe der Feuchteänderungen von roten Flachdachpfannen und Biberschwanzziegeln im Zeitraum 26. Juni bis 23. August 1991. Mittelwerte von je 3 Ziegeln auf der Nord- und Südseite eines Versuchsdaches auf Lattung und Konterlattung über der Unterspannbahn.



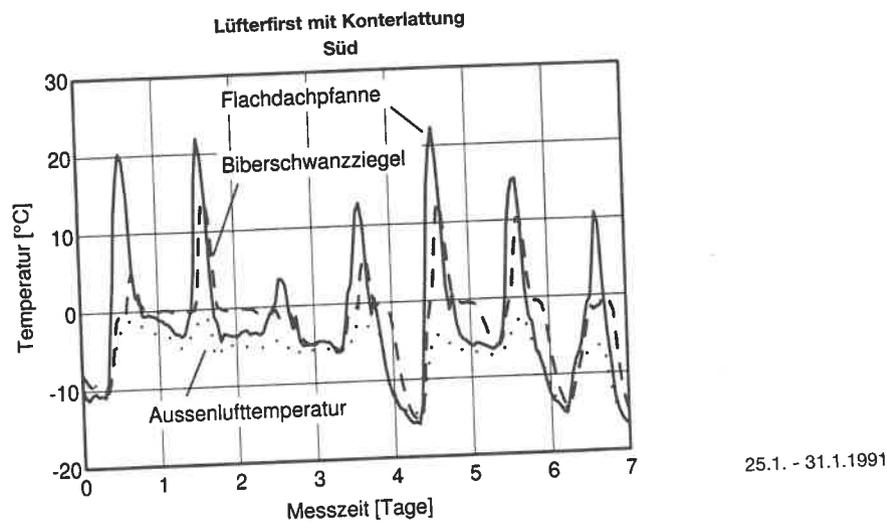
**Bild 38:** Zeitliche Verläufe der Feuchteänderungen von roten und engobierten Biberschwanzziegeln im Zeitraum 26. Juni bis 23. August 1991. Mittelwerte von je 3 Ziegeln auf der Nord- und Südseite eines Versuchsdaches auf Lattung und Konterlattung über der Unterspannbahn.



**Bild 39:** Zeitliche Verläufe der Feuchteänderungen von roten Biberschwanzziegeln ohne und mit Silikonbehandlung im Zeitraum 26. Juni bis 23. August 1991. Mittelwerte von je 3 Ziegeln auf der Nord- und Südseite eines Versuchsdaches auf Lattung und Konterlattung über der Unterspannbahn.



**Bild 40:** Zeitliche Verläufe der Feuchteänderungen von engobierten Biberschwanzziegeln ohne und mit Silikonbehandlung im Zeitraum 26. Juni bis 23. August 1991. Mittelwerte von je 3 Ziegeln auf der Nord- und Südseite eines Versuchsdaches auf Lattung und Konterlattung über der Unterspannbahn.



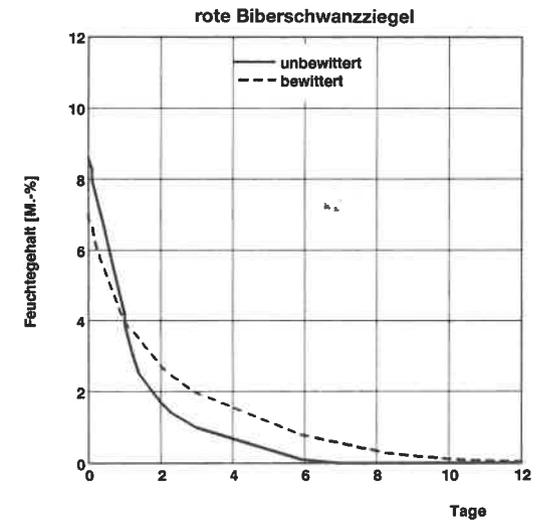
**Bild 41:** Zeitliche Verläufe der Dachziegeltemperaturen (Flachdachpfanne und Biberschwanzziegel, Südorientierung) und der Außenlufttemperatur in einer winterlichen Untersuchungsperiode. Beim Biberschwanzziegel treten Unstetigkeiten im Temperaturverlauf jeweils beim Überschreiten des Null-Grad-Bereiches in beiden Richtungen auf, die durch das Gefrieren bzw. Tauen des Wassers im Ziegel hervorgerufen werden. Bei der Flachdachpfanne ist dies nicht der Fall; sie war in diesem Meßzeitraum trocken.

An den Versuchsdächern ständig durchgeführte Registrierungen der Ziegeltemperaturen haben ergeben, daß die Flachdachpfannen bei Besonnung höhere Temperaturen annehmen als die Biberschwanzziegel. Dies ist auf die unterschiedlichen Massen bzw. Wärmekapazitäten zurückzuführen (Flachdachpfanne ca. 46 kg/m<sup>2</sup>, Biberschwanz-Doppeldeckung ca. 61 kg/m<sup>2</sup>). Die Temperaturverläufe sind beispielhaft in Bild 41 für eine strahlungsreiche Winterperiode dargestellt. Daraus ist zu erkennen, daß bei den Flachdachpfannen höhere tägliche Maximaltemperaturen auftreten als bei den Biberschwanzziegeln. Bei den letztgenannten sind außerdem jeweils beim Überschreiten des Null-Grad-Bereiches in beiden Richtungen Unstetigkeiten im Temperaturverlauf festzustellen, die durch das Gefrieren bzw. Tauen des im Ziegel vorhandenen Wassers hervorgerufen werden (Latentwärme). Bei den Flachdachpfannen ist dies nicht der Fall; sie waren im gewählten Meßzeitraum praktisch trocken. Dieser Effekt wurde bei der Biberschwanz-Doppeldeckung öfter festgestellt und hängt wohl - neben der größeren Wasseraufnahme bei Beregnung wegen der größeren Masse - mit der Überdeckung zweier Platten zusammen (siehe Bild 12). Hierdurch wird die Trocknungsmöglichkeit der unteren Platte nach außen behindert.

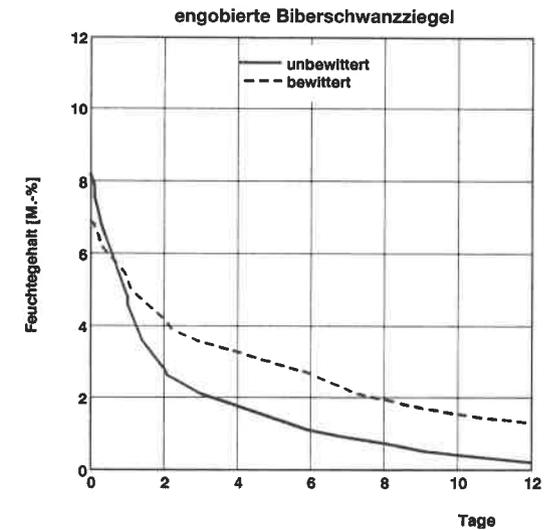
## 2.6 Änderung der Ziegeleigenschaften

### 2.6.1 Einfluß der Bewitterung

Von den auf dem Bewitterungsgestell nach Westen ausgelegten Biberschwanzziegeln wurden nach ca. zweijähriger Freilandbewitterung die kapillare Wasseraufnahme nach DIN 52 617, die Sättigungsfuchte bei Unter-



**Bild 42:** Feuchtegehalt in Abhängigkeit von der Zeit von wassergesättigten roten Biberschwanzziegeln bei Lagerung im Klimaraum 20 °C, 65 % r.F. vor und nach 2-jähriger Freilandbewitterung.



**Bild 43:** Feuchtegehalt in Abhängigkeit von der Zeit von wassergesättigten, dunkel engobierten Biberschwanzziegeln bei Lagerung im Klimaraum 20 °C, 65 % r.F. vor und nach 2-jähriger Freilandbewitterung.

druck und der anschließende Trocknungsverlauf bei Lagerung im Klima 20 °C, 65 % r.F. - wie oben beschrieben - erneut ermittelt. Dadurch sollte festgestellt werden, ob und welche Änderungen der feuchtetechnischen Eigenschaften sich unter dem Einfluß der Bewitterung ergeben haben.

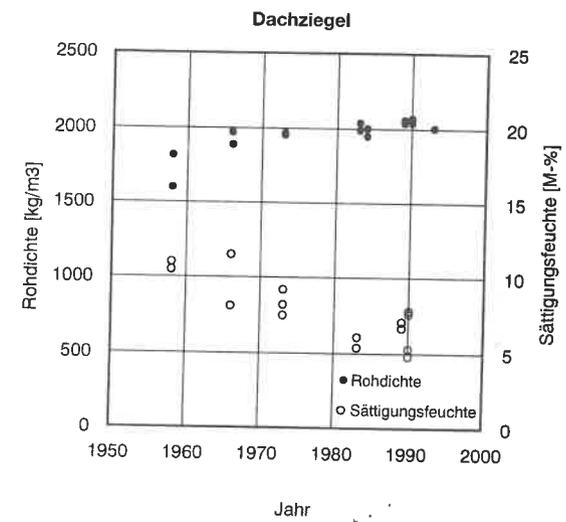
Eine Gegenüberstellung der Trocknungsverläufe nach Wassersättigung von roten und engobierten Ziegeln in den Bildern 42 und 43 läßt erkennen, daß sich in beiden Fällen sowohl die Sättigungsfeuchten als auch die Trocknungsgeschwindigkeiten reduziert haben. Das gleiche trifft für die silikonisierten Ziegel zu, jedoch in abgeschwächtem Maße (Tabelle 5). Auch die Saugfähigkeit der Ziegel (Wasseraufnahmekoeffizient) wurde durch die Bewitterung geringer, wie die Gegenüberstellung der Meßwerte in Tabelle 5 erkennen läßt. Bei den silikonisierten Ziegeln liegen die Unterschiede im Bereich der Meßgenauigkeit.

Diese Ergebnisse lassen sich durch eine Veränderung des Porensystems der Ziegel im Verlauf des ständigen Wechsels zwischen Wasseraufnahme und Trocknung bei der Bewitterung erklären, die sowohl durch chemische Veränderungen als auch durch Schmutzablagerungen und damit Porenverdichtungen hervorgerufen sein kann. Verständlich auch, daß die hydrophobierten Ziegel hiervon weniger betroffen sind.

### 2.6.2 Einfluß der Herstellung

In welchem Maße sich die Eigenschaften von Tonziegeln durch veränderte Herstellungsbedingungen und Tonaufbereitung im Laufe der Zeit geändert haben, wurde durch Messung der Sättigungsfeuchte von Dachziegeln vom gleichen Ziegelwerk aber unterschiedlichen Alters ermittelt. Aus Bild 44 ist zu entnehmen, daß bei nur geringer Erhöhung der Rohdichte im Zeitraum von 1958 bis 1990 eine deutliche Reduzierung der Sättigungsfeuchte zu verzeichnen ist. Die Sättigungsfeuchte hat sich in dem betrachteten Zeitraum etwa halbiert. Dies kann nicht mehr allein auf die Einwirkung der Bewitterung zurückzuführen sein, wie im vorangegangenen Abschnitt ausgeführt, sondern dürfte seine Ursache in einer veränderten Produktionstechnologie haben.

Noch größer sind die Unterschiede, wenn man die Eigenschaften heutiger Ziegel mit solchen aus dem letzten Jahrhundert vergleicht. Wenn die Messungen an nur einer alten Ziegelart - dargestellt in Tabelle 6 - auch nicht als repräsentativ angesehen werden kann, sondern nur Stichprobencharak-



**Bild 44:** Rohdichte und Sättigungsfeuchte bei 72 Stunden Unterwasserlagerung von Dachziegeln unterschiedlichen Herstellungsalters. Die Ziegel aus dem Jahr 1990 stammen aus der Produktion eines niederbayerischen Ziegelwerks, die älteren wurden von Dächern entnommen.

**Tabelle 6:** Gegenüberstellung von Stoffkennwerten (Mittelwerte) von roten Biberschwanzziegeln unterschiedlicher Herstellungsart bzw. -zeit. Die Werte in der ersten Spalte wurden an Ziegeln ermittelt, die von einem alten Bauernhaus in Niederbayern unbekannter Herstellungszeit stammen (vermutlich letztes Jahrhundert). Die Werte in der zweiten Spalte entsprechen denen aus Tabelle 1, Teil I.

Eigenschaft	rote Biberschwanzziegel unterschiedlicher Herstellung	
	19. Jahrhundert	heutige Produktion
Rohdichte	1560	2060
Diffusionswiderstandszahl $\mu$ [-]	14	80
Wasseraufnahmekoeffizient [kg/m <sup>2</sup> h <sup>0,5</sup> ]	11	1,8
Wassersättigung [Masse-%]	20	6,7
	31	15

ter hat, so ist doch festzustellen, daß heutige Dachziegel der hier untersuchten Art nichts mehr gemeinsam haben mit den Dachziegeln früherer Zeiten. Die kennzeichnenden Eigenschaften der alten Dachziegel und auch der heutigen Mauerziegel, nämlich eine große Saugfähigkeit und Wasseraufnahmefähigkeit, treffen für die heutigen Dachziegel nicht mehr zu. Dies gilt zumindest für die im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen geprüften Ziegelarten.

### 3 Folgerungen

Die begleitend zu den Untersuchungen an wärmegeprägten Dächern durchgeführten Prüfungen an den verwendeten Dachziegeln unterschiedlicher Art, aber von ein und demselben Herstellerwerk aus Niederbayern, haben interessante Hinweise zum Feuchteverhalten dieses Materials geliefert. Inwieweit die Ergebnisse verallgemeinert werden können, wäre noch zu klären.

Ein hervorstechendes Ergebnis ist, daß die geprüften Dachziegel eine geringe kapillare Saugfähigkeit und eine geringe Wassersättigung bei hohem Diffusionswiderstand aufweisen. Die Trocknung feuchter Ziegel erfolgt hauptsächlich durch Dampfdiffusion. Dies wird deutlich, wenn man die Meßwerte der Halbwertszeiten (Tabelle 3) als kennzeichnend für die Trocknung und der Diffusionswiderstände ( $s_d$ -Wert) einander gegenüberstellt (Bild 45). Es ergibt sich ein nahezu linearer Zusammenhang: Je größer der  $s_d$ -Wert, desto länger ist die Halbwertszeit, also desto langsamer die Trocknung. Dadurch erklärt sich die langsamere Trocknung und im Mittel höhere Feuchte der engobier-

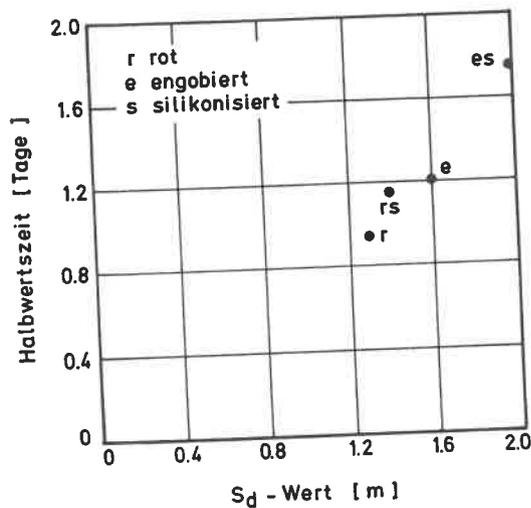


Bild 45: Zusammenhang zwischen der Halbwertszeit des Trocknungsverlaufs wassergesättigter Biberschwanzziegel und dem  $s_d$ -Wert (diffusionsäquivalente Luftschichtdicke der Ziegel), gemessen an unbewitterten Proben.

ten Ziegel mit mehr als doppelt so langer Halbwertszeit wie der roten Ziegel. Dadurch erklärt sich auch, warum die unterschiedliche Unterlüftung der Dachziegel (Vergleich wärmegeprägtes Dach - Bewitterungsgestell) keinen nennenswerten Einfluß auf die Trocknungsverhältnisse bzw. die Ziegelfeuchte hat. Für Diffusionsvorgänge sind - den unmittelbaren Anfangsverlauf wassergesättigter Ziegel ausgenommen - nur Temperatur und Feuchte der Umgebungsluft und nicht die Luftbewegung und -strömung maßgebend. Bei ausreichendem Luftaustausch zwischen der Außenluft und der Luftschicht unterhalb der Ziegel - wie bei den Flachdachpfannen - sind daher zusätzliche Belüftungsmaßnahmen praktisch ohne Einfluß auf die Trocknung, sondern eher von Nachteil (verstärkter Feuchteeintrag von außen).

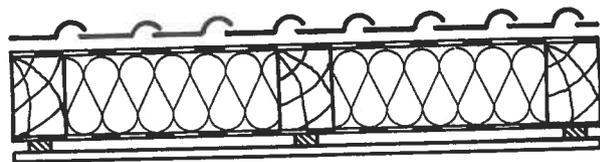
Frostschäden und Algen- bzw. Moosbefall an Dachziegeln hängen unmittelbar mit den Eigenschaften der Wasseraufnahme und der Zeitdauer erhöhter Ziegelfeuchte zusammen. Bei Frostschäden sind noch zusätzlich die Festigkeitseigenschaften des Ziegelscherbens maßgebend. Je größer die Festigkeit, desto geringer ist die Gefahr von Frostschäden. Algen- und Moosbewuchs sind dann möglich, wenn die Ziegel längerfristig überhygroskopisch feucht sind. Dies kann bei wenig besonnten Dächern (Nordseite) oder sonstwie beschatteten Dächern der Fall sein. Da nach den vorliegenden Ergebnissen kein erkennbarer Zusammenhang zwischen der Unterlüftung der Dachziegel und der Ziegelfeuchte besteht, kann das Auftreten von Frostschäden oder Moosbildung nicht mit dem Fehlen einer Konterlattung oder zusätzlicher Lüfterziegel in Zusammenhang gebracht werden.

Eine weitere Konsequenz aus dieser Betrachtung ergibt sich hinsichtlich der Beurteilung der Engobe. Diese ist nicht nur optisch zu bewerten, sondern behindert auch die Trocknung durch die Beeinflussung der Dampfdiffusion. Darauf sind die bei engobierten Ziegeln häufiger auftretenden Frostschäden zurückzuführen und nicht - wie oft dargestellt wird (z.B. [12]) - auf das Fehlen einer Konterlattung oder auf andere Einflüsse.

Zwischen den Wasseraufnahmekoeffizienten und den Sättigungsfuchten bei Unterwasserlagerung und Unterdruck bestehen keine Zusammenhänge. Die Silikonisierung wurde nur andeutungsweise erkennbar bei den Sättigungswerten ohne Unterdruck. Vermutlich wird der hydrophobierende Effekt durch den Wasserüberdruck beim völligen Eintauchen der Ziegel in Wasser praktisch aufgehoben.

## Zusammenfassung der Teile I und II und Gesamtbewertung

Eingehende Untersuchungen an Versuchsdächern unterschiedlicher Konstruktion in der Freilandversuchsstelle Holzkirchen des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik haben eindeutig ergeben, daß nicht belüftete Dächer mit kleinformatischen Deckungen (Dachziegel, Betondachsteine) unter den heutigen Gegebenheiten eine richtige und zweckmäßige Ausführungsart sind. In Bild 46 ist diese Konstruktion nochmals schematisch dargestellt mit Angabe der einzuhaltenden Randbedingungen. Andersartige Darstellungen gehen von nicht zutreffenden Voraussetzungen aus (z.B. [13]). Die oft geäußerten Meinungen nach der Art „Belüftung muß sein“ stammen aus der Zeit der Entwicklung des wärmegeämmten Steildaches: Zur Gewährleistung ausreichender Tragfähigkeit müssen Dachsparren im allgemeinen 15 bis 20 cm hoch sein. Die erforderliche Dämmschicht wurde vor der Energiekrise in den siebziger Jahren mit 4 bis 6 cm als ausreichend erachtet. Die verbleibende Luftschicht war ohne besondere Maßnahmen belüftet. Heute ist eine große Wärmedämmung wichtig, die in Verbindung mit diffusionsoffenen Unterspannbahnen durch vollständiges Ausfüllen des Sparrenzwischenraumes mit Dämmstoffen möglich ist. Darüber hinaus ist diese Konstruktion einfacher



### Aufbau von oben nach unten:

Dachdeckung auf Lattung und ggf. Konterlattung  
oder Distanzhalter  
diffusionsoffene Unterspannbahn  
Wärmedämmung  
Dampfbremse / Windsperre  
ggf. Installationsraum  
Beplankung / Innenputz

Bild 46: Grundsätzlicher Aufbau einer diffusionsoffenen Dachkonstruktion mit Zwischensparrendämmung. Gegebenenfalls sind zusätzliche Dämmschichten unter oder auf den Sparren anzuordnen.

und fehlerfreier auszuführen als belüftete Konstruktionen, bei denen auf eine „Durchgängigkeit“ der verschiedenen Belüftungsschichten zu achten ist. Man denke in diesem Zusammenhang nur an heutige Wohnhäuser mit Dachgauben im ausgebauten Dachgeschoß.

Ein wesentlicher Vorteil des nicht belüfteten Daches mit diffusionsoffener Unterspannbahn liegt darin, daß nur ein relativ kleiner Sperrwert der raumseitigen Dampfbremse erforderlich ist ( $s_d \geq 2 \text{ m}$ ). Damit können die erhöhte Anfangsfeuchte und eventuell später über Leckstellen eingedrungene Feuchte rascher trocknen. Es ist deshalb verständlich, daß sich das nicht belüftete Dach immer mehr durchsetzt (z.B. [14, 15, 16]). Eine Übernahme früherer Konstruktionselemente in das neue Konzept muß aber vermieden werden. Leider sieht man oft bei Rohbauten heute noch Holzschalungen mit Dachpappe; diese Ausführung sollte eigentlich der Vergangenheit angehören.

Was die Unterlüftung der Dachdeckung anbetrifft (obere Belüftungsschicht), d.h. die Frage der Notwendigkeit von Konterlatten und Lüfterziegeln, so sind hier die Einflüsse auf die Feuchteverhältnisse im Dach sehr klein. Die Unterschiede sind in der gleichen Größenordnung wie die durch die Dachorientierung, Dachneigung und Farbe der Dachdeckung bedingten Unterschiede, über die niemand spricht, weil sie als gegeben hingenommen werden. Konterlatten sind aus praktischen Erwägungen zweckmäßig, um einen Stau von über Undichtheiten eingedrungener Regenfeuchte zu vermeiden. Das Fehlen von Konterlatten kann aber nicht z.B. als Ursache von Frostschäden oder Algen- und Moosbildung bei Dachziegeln bewertet werden. Die heute verwendeten, trocken verlegten Firstziegel und Firststeine ermöglichen eine ausreichende Unterlüftung der Dachdeckung. Im Firstbereich bewirken quer zum First gerichtete Windkomponenten immer einen Unterdruck, der eine Luftströmung über den First nach außen zur Folge hat, wenn die Firstziegel oder Firststeine nicht vermörtelt oder sonstwie dicht verlegt sind. Die Anordnung zusätzlicher Lüfterziegel oder Lüftersteine, die das Bild des Daches eher stören, ist im allgemeinen nicht erforderlich.

Untersuchungen, die an den verwendeten Dachziegeln durchgeführt worden sind, führten zu dem Ergebnis, daß deren Feuchteverhalten deutlich von dem früherer Ziegelproduktionen abweicht. Geringe Saugfähigkeit und Sättigungsfeuchte bei großem Diffusionswiderstand sind die kennzeichnenden Eigenschaften. Damit sind Fragen des Feuchtetransports und der Frostsicherheit anders zu beurteilen als dies bei Ziegeln „alter Art“ der Fall ist. Oberflächenbeschichtungen (z.B. Engobe) sind nicht nur aus optischem Gesichtspunkt zu betrachten, sondern können den Feuchtehaushalt beeinträchtigen.

Bleibt am Schluß noch zu erwähnen, daß die Überlegungen zum diffusions-offenen, nicht belüfteten Dach sich auf Deckungen mit kleinformatischen Dachelementen beziehen und z.B. nicht unmittelbar auf metallgedeckte Dächer zu übertragen sind. Hier zeichnet sich aber mit der Verwendung einer sog. „feuchteadaptiven Dampfbremse“ eine interessante Entwicklung ab [17]. Diese Dampfbremse mit variablem, von der Umgebungsfeuchte abhängigem  $s_d$ -Wert reduziert das Eindiffundieren von Raumluftfeuchte im Winter, ohne in gleicher Weise die Trocknung im Sommer zu beeinträchtigen. Diese in der Erprobung befindliche Dampfbremse kann in Zukunft auch zur Vereinfachung der Dachkonstruktionen mit dichten Deckungen führen.

## Literaturhinweise

### Normen

DIN 4108, Wärmeschutz im Hochbau, August 1981

Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz

Teil 5: Berechnungsverfahren

DIN 52 615 Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit von Bau- und Dämmstoffen. November 1987

DIN 52 617 Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten von Baustoffen. Mai 1987

### Veröffentlichungen

- [1] Regeln für Dachdeckungen mit Dachziegeln und Dachsteinen. Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks. Verlag R. Müller, Köln (1985)
- [2] Merkblatt für Wärmedämmung zwischen den Sparren. Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks, Ausgabe Dezember 1991. Das Dachdecker-Handwerk 112 (1991), H. 24, S. 17 - 20
- [3] Becker, K.: Hinterlüftung muß sein. Bautenschutz und Bausanierung (1993), H.8, S. 56-57
- [4] Glaser, H.: Ein grafisches Verfahren zur Untersuchung von Diffusionsvorgängen. Kältetechnik 11 (1959), H. 10, S. 345 - 349
- [5] "Fertighausverzeichnis" zur technischen Beurteilung von Fertighäusern. Als einzelne Hefte herausgegeben von der Rationalisierungsgemeinschaft Bauwesen im RKW im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung, bearbeitet vom Institut für Bauforschung, e.V., Hannover. Bauverlag Wiesbaden - Berlin

- [6] Künzel, H.; Großkinsky, Th.: Vorteile diffusionsoffener, unbelüfteter Satteldachkonstruktionen. *Das Dachdecker-Handwerk* 113 (1992), H. 14, S. 32 - 38
- [7] Künzel, H.M.: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Diss. Universität Stuttgart 1994
- [8] Künzel, H.M.: Kann bei gedämmten, nach außen diffusionsoffenen Steildachkonstruktionen auf eine Dampfsperre verzichtet werden? *Bauphysik* 18 (1996), H. 1, S. 7 - 20.
- [9] Künzel, H.; Großkinsky, Th.: Nicht belüftet, voll gedämmt. Die beste Lösung für das Satteldach. *Das Dachdecker-Handwerk* 110 (1989), H. 24, S. 24 - 30
- [10] Künzel, H.M.: Vorsicht bei nachträglicher Steildachdämmung. *IBP-Mitteilung* 22 (1995), Nr. 269
- [11] Künzel, H.M.: Tauwasserschäden im Dach aufgrund von Dampfdiffusion durch angrenzendes Mauerwerk. *Zeitschrift für Wärmeschutz, Kälteschutz, Schallschutz, Brandschutz: wksb* (1996) H. 37, S. 34-36
- [12] Küllmer, M.: Dachdeckung mit Flachdachpfannen, Frostschäden an Dachziegeln infolge ungenügender Unterlüftung. *Bauschäden. Deutsches Architektenblatt* 23 (1991), H. 10, S. 1643
- [13] Durst, F.: Betrachtungen zur praktischen Anwendung des existierenden bauphysikalischen Wissens bei der Dachhinterlüftung. *LSTM-Bericht* 411/TE/94
- [14] Kern, A.: Steildachdämmung ohne Hinterlüftung. *Deutsche Bauzeitschrift* 1991, H. 1, S. 93 - 95
- [15] Winter, S.: Belüftete oder unbelüftete Steildächer? *Zeitschrift für Wärmeschutz, Kälteschutz, Schallschutz, Brandschutz* 30 (1992), S. 4 - 12
- [16] Wernecke, K.: *Das geneigte Dach als Wohnraumaußenfläche*. Bauverlag Wiesbaden und Berlin 1992.
- [17] Künzel, H.M.; Kaufmann, A.: Feuchteadaptive Dampfbremse für Gebäudedämmungen. *IBP-Mitteilung* 22 (1995), Nr. 268

## Anhang

# Kann bei voll gedämmten, nach außen diffusionsoffenen Steildachkonstruktionen auf eine Dampfsperre verzichtet werden?\*

## 1 Problemstellung

Bei der Zwischensparrendämmung von geneigten Dächern setzt sich die vollgedämmte diffusionsoffene Variante in der Praxis immer mehr durch. Nach einem Merkblatt des Dachdeckerhandwerks [1] gilt eine unbelüftete Dachkonstruktion als feuchtetechnisch unbedenklich, wenn das Unterdach eine diffusionsäquivalente Luftschichtdicke ( $s_d$ -Wert) von weniger als 0,3 m besitzt und gleichzeitig die raumseitige Dampfsperre einen  $s_d$ -Wert von mindestens 2 m aufweist. Werden diese Grenzwerte eingehalten, dann kann bei nicht klimatisierten Wohn- und Bürogebäuden auf einen rechnerischen Nachweis gemäß [2] verzichtet werden. Gestützt auf Freilanduntersuchungen wird in [3] dargelegt, daß bei Unterspannbahnen mit  $s_d < 0,15$  m eine Dampfsperre mit  $s_d = 1$  m ausreicht. Nach dem Gelbdruck der neuen Holzschutznorm [4] ist eine Dampfsperre dann nicht erforderlich, wenn die Unterspannbahn extrem diffusionsoffen ist, d.h. einen  $s_d$ -Wert von höchstens 0,02 m hat. Diese Tendenz in Richtung einer immer größeren Wasserdampfdurchlässigkeit von Unterdächern hat unter den Herstellern von Unterspannbahnen zu einer  $s_d$ -Wert-Olympiade geführt, deren Sinn aus bauphysikalischer Sicht zweifelhaft ist.

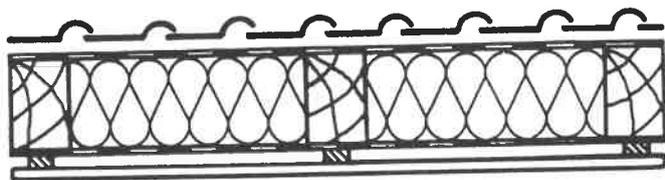
Da Freilanduntersuchungen immer nur für mehr oder weniger repräsentative Einzelfälle Aussagen zulassen, wurde in [5] ein Zusammenhang zwischen den Diffusionswiderständen von Dampfsperre und Unterdach auf der Grundlage des Normberechnungsverfahrens in [2] hergestellt, um eine allgemeingültige Abschätzung des Tauwasserrisikos einer Dachkonstruktion zu erhalten. Es stellt sich jedoch die Frage, ob diese Rechenergebnisse eine

\*Nachdruck aus Bauphysik 18 (1996), H. 1, S. 7 - 10; mit freundlicher Genehmigung des Verlags Ernst & Sohn.

genügend sichere Bewertung der wahren Verhältnisse zulassen. Durch den Vergleich mit Ergebnissen eines modernen Rechenverfahrens, das die Berücksichtigung realer Klimaverhältnisse erlaubt, sollen in dieser Arbeit Aussagen, die auf dem Normberechnungsverfahren beruhen, überprüft und die Konsequenzen für die Praxis erörtert werden.

## 2 Durchführung der Untersuchung

Als Beispiel für die rechnerische Vergleichsuntersuchung dient der in Bild 1 dargestellte typische Aufbau für eine vollgedämmte Steildachkonstruktion. Unter der Eindeckung auf Dachlattung und evtl. Konterlattung befindet sich eine Unterspannbahn, deren  $s_d$ -Wert für die Berechnung zwischen 0,02 m und 0,3 m variiert wird. Die Unterspannbahn liegt ohne Luftschicht direkt auf der 16 cm dicken Mineralfaserdämmung bzw. auf den Sparren auf. Den raumseitigen Abschluß bildet eine Dampfsperre, deren  $s_d$ -Wert zwischen 0 und 2 m variiert und Gipskartonplatten, die einen  $s_d$ -Wert von 0,1 m besitzen. Es wird ausschließlich der eindimensionale Wärme- und Wasserdampftransport im Regelquerschnitt betrachtet, wobei nur Standardstoffkennwerte benutzt werden. Als Alternative zum Normberechnungsverfahren [2] wird ein am Fraunhofer-Institut für Bauphysik entwickeltes und bereits mehrfach experimentell verifiziertes Verfahren zur Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit der Bezeichnung „WUFI“ [6] eingesetzt.



**Bild 1:** Aufbau einer typischen Steildachkonstruktion mit Zwischen-sparrendämmung. Von oben nach unten ist folgende Schichtenfolge anzutreffen:

- Dachdeckung auf Lattung und evtl. Konterlattung
- Unterspannbahn
- Mineralfaserdämmung (160 mm)
- Dampfsperre
- Gipskartonplatten

Im Gegensatz zum Normrechenverfahren, für das die in [2] festgelegten Blockrandbedingungen und Oberflächenübergangsbedingungen verwendet werden, werden bei der vergleichenden Simulationsrechnung gemessene Stundenmittelwerte von Außenlufttemperatur, Luftfeuchte und kurzwelliger Strahlung eines für das bayerische Alpenvorland repräsentativen Jahres eingesetzt. Das Raumklima variiert sinusförmig zwischen 24 °C bzw. 70 % r.F. im Hochsommer (15. Juli) und 20 °C bzw. 50 % r.F. im Winter. Die Oberflächenübergangsbedingungen entsprechen mit Ausnahme des äußeren Wärmeübergangskoeffizienten ( $\alpha = 19 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) den in [6] vorgeschlagenen Werten. Die kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl der Ziegeleindeckung beträgt 0,6, wenn die Strahlungsgewinne einer 28° geneigten, nach Süden orientierten Dachfläche berücksichtigt werden sollen bzw. Null, wenn der Extremfall eines völlig verschatteten oder mit einer geschlossenen Schneedecke bedeckten Daches betrachtet wird.

## 3 Ergebnisse

Am Beispiel eines verschatteten Steildaches ohne Dampfsperre ist der Jahresverlauf des Tauwassergehaltes im Dach für zwei unterschiedlich dampfdurchlässige Unterspannbahnen in Bild 2 unten dargestellt. Im gleichen Bild darüber ist der Verlauf der Außenlufttemperatur in Form von gemessenen Dekadenmittelwerten zu sehen. Ein Vergleich zwischen Temperatur und Tauwassergehalt zeigt, daß Außenlufttemperaturen, die im Mittel unter dem Gefrierpunkt liegen, bei einem  $s_d$ -Wert der Unterspannbahn von 0,1 m immer Tauwasserbildung zur Folge haben, während bei einem  $s_d$ -Wert der Unterspannbahn von 0,05 m - je nach den Feuchteverhältnissen - über -5 °C bereits Trocknungsphasen einsetzen können. Diese zwischenzeitliche Trocknung führt zu einer deutlich geringeren maximalen Tauwassermenge in der diffusionsoffenen Dachkonstruktion während der Heizperiode. Der maximal auftretende Tauwassergehalt wird im folgenden mit den Ergebnissen der Tauwassermenge aus den Normberechnungen verglichen.

In Bild 3 ist die mit Hilfe des Normberechnungsverfahren [2] bestimmte in der Tauperiode anfallende Tauwassermenge in der Dachkonstruktion (Bild 1) ohne Dampfsperre in Abhängigkeit vom  $s_d$ -Wert der Unterspannbahn als durchgezogene Linie dargestellt. Die Ergebnisse der WUFI-Berechnungen sind im gleichen Bild als Kreise dargestellt, wobei die Vollkreise die maximal auftretende Tauwassermenge in der Heizperiode ohne Strahlung und die

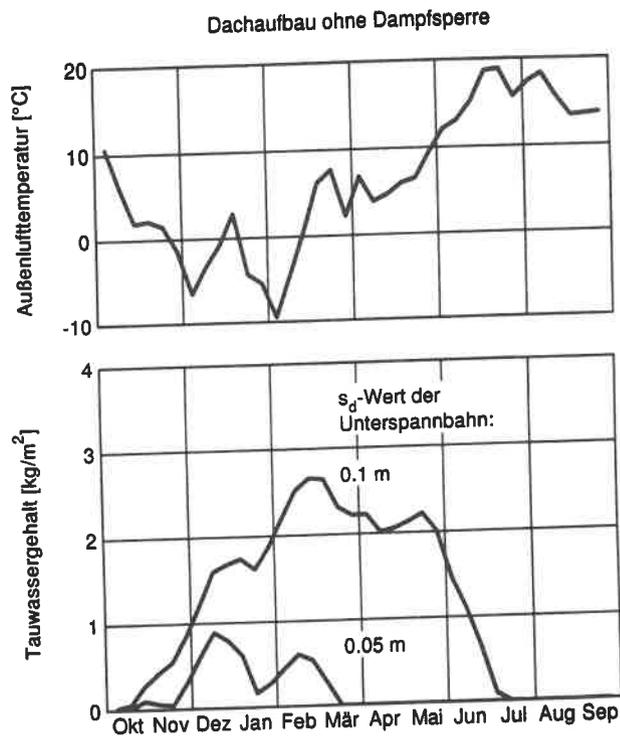


Bild 2: Berechnete Jahresverläufe der Tauwassermenge in einem Dach ohne Dampfsperre bei einem  $s_d$ -Wert der Unterspannbahn von 0,1 und 0,05 m mit Angabe der zugrundegelegten Außenlufttemperatur (oben). In der Darstellung wurden Dekadenmittelwerte zur besseren Anschauung verwendet. Die Berechnung wurde mit Stundenmittelwerten ohne Berücksichtigung der kurzwelligen Strahlung durchgeführt.

Hohlkreise die Verhältnisse unter Berücksichtigung von Strahlungsgewinnen einer nach Süden orientierten, nicht schneebedeckten Dachfläche bezeichnen. Der Vergleich der Ergebnisse beider Berechnungsmethoden ohne Strahlungseinflüsse - beim Normberechnungsverfahren werden eventuelle Strahlungsgewinne des Daches in der Tauperiode aus Sicherheitsgründen nicht berücksichtigt - zeigt eine recht gute Übereinstimmung, wenn man von der Tauwassermenge bei  $s_d = 0,05$  m absieht, die in den WUFI-Ergebnissen durch zwischenzeitliche Trocknung (Bild 2) deutlich reduziert ist. Diese Übereinstimmung ist bei Leichtkonstruktionen, wie der hier betrachteten, für die das Normberechnungsverfahren, das auf Glaser [7] zurückgeht, ursprünglich entwickelt wurde, zu erwarten, wenn die verwendeten Randbedingungen eine vergleichbare Wirkung auf die Dampfdiffusion im Bauteil haben. Legt

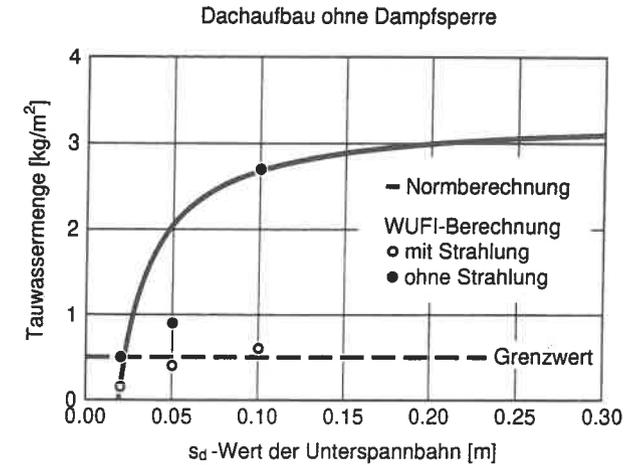
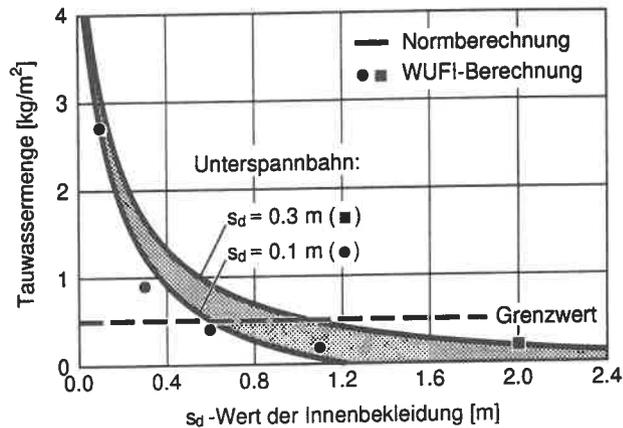


Bild 3: Abhängigkeit der maximalen Tauwassermenge in einem vollgedämmten Steildach ohne Dampfsperre vom  $s_d$ -Wert des Unterdaches. Die durchgezogene Linie beruht auf Ergebnissen des Normverfahrens in [2]. Die Vollkreise und Hohlkreise bezeichnen Ergebnisse der WUFI-Berechnungen mit und ohne kurzwelligen Strahlungseinfluß.

man den Grenzwert für die zulässige Tauwassermenge für kapillar nicht leitende Schichten in [2] von  $0,5 \text{ kg/m}^2$  (in Bild 3 als gestrichelte Linie eingezeichnet) zugrunde, zeigt sich in Übereinstimmung beider Rechenverfahren, daß der  $s_d$ -Wert der Unterspannbahn einen Wert von  $0,02$  m nicht überschreiten darf. Anders sieht es aus, wenn man die kurzwellige Strahlung berücksichtigt. Für ein südorientiertes, nicht schneebedecktes Dach entstehen erst bei einem  $s_d$ -Wert von knapp  $0,1$  m kritische Feuchtezustände. Diese günstigen Voraussetzungen für besonnte Dachflächen können jedoch nicht für eine allgemeine Bewertung herangezogen werden. Deshalb wird hier nur das völlig verschattete Dach, das den ungünstigsten in der Praxis möglichen Fall darstellt, weiterverfolgt.

Das so ermittelte Maximum für den  $s_d$ -Wert eines Unterdaches bei einem Dachaufbau ohne Dampfsperre von  $0,02$  m (2 cm!) deckt sich mit den Vorgaben in [4]. Dabei wurde jedoch davon ausgegangen, daß zwischen der Unterspannbahn und der Eindeckung Außenluftverhältnisse herrschen, d.h. die Eindeckung ist so gut hinterlüftet, daß sie keinen Dampfdiffusionswiderstand darstellt. Dies ist aber bei einem vereisten oder schneebedeckten Dach zumindest zweifelhaft. Da außerdem die Oberflächenübergangswiderstände für den Wasserdampf in einer ähnlichen Größenordnung wie der geforderte  $s_d$ -Wert liegen, wurde für die weiteren Untersuchungen davon



**Bild 4:** Abhängigkeit der höchsten, während der Heizperiode auftretenden Tauwassermenge in einer diffusionsoffenen Dachkonstruktion vom  $s_d$ -Wert der Innenbekleidung. Der mit dem Normverfahren berechnete Bereich für dampfdurchlässige Unterspannbahnen ( $s_d$ -Wert: 0,1 bis 0,3 m) ist schraffiert eingezeichnet. Die Ergebnisse der WUFI-Berechnungen ohne Strahlungseinflüsse sind durch Vollkreise ( $s_d = 0,1$ ) bzw. Quadrate ( $s_d = 0,3$ ) je nach Diffusionswiderstand der Unterspannbahn markiert.

ausgegangen, daß der äußere  $s_d$ -Wert der Dachkonstruktion bei Verwendung einer diffusionsoffenen Unterspannbahn bei 0,1 m liegt. Dann muß aber, wie Bild 3 zeigt, eine dichtere Innenbekleidung als dies Gipskartonplatten darstellen, verwendet werden. In Bild 4 ist die Abhängigkeit der Tauwassermenge nach der Tauperiode vom  $s_d$ -Wert der Innenbekleidung für Dachkonstruktionen mit äußeren Dampfdiffusionswiderständen zwischen  $s_d = 0,1$  und  $s_d = 0,3$  m (schraffierter Bereich) dargestellt. Die markierten Ergebnisse der WUFI-Berechnungen stimmen wiederum gut mit den als durchgezogenen Linien eingezeichneten Ergebnissen des Normverfahrens überein. Um den Grenzwert von  $0,5 \text{ kg/m}^2$  Tauwasser während der Heizperiode nicht zu überschreiten, müssen demnach die Innenbekleidungen einen  $s_d$ -Wert von mindestens 0,6 m bei einem extrem diffusionsoffenen Unterdach ( $s_d < 0,1$  m) bzw. von mindestens 1,0 m bei einem diffusionsoffenen Unterdach ( $s_d < 0,3$  m) aufweisen.

## 4 Diskussion der Ergebnisse und Schlußfolgerung

Die gute Übereinstimmung der Ergebnisse des Normberechnungsverfahrens mit den Ergebnissen der experimentell verifizierten Simulationsrechnung zeigt, daß das Normverfahren eine realistische Bewertung des Tauwasserrisikos von leichten Dachkonstruktionen ermöglicht. Dies gilt allerdings nicht für die Berechnung der Austrocknung während der Verdunstungsperiode, wie in [8] nachgewiesen wurde. Die Verdunstung stellt bei den hier betrachteten diffusionsoffenen Konstruktionen jedoch kein Problem dar und wurde deswegen auch nicht eingehender untersucht. Der Grenzwert für die zulässige Tauwassermenge von  $0,5 \text{ kg/m}^2$  bei nicht kapillarleitenden Schichten hat sich bislang bewährt und kann als ausreichend sicher in bezug auf das Feuchteschadensrisiko angesehen werden.

Daraus ergeben sich für die Praxis folgende Schlußfolgerungen: Ein Dachaufbau ohne Dampfsperre setzt voraus, daß die außen an die Dämmschicht anschließenden Schichten einen  $s_d$ -Wert von höchstens 2 cm haben. Dies kann jedoch nicht gewährleistet werden. Selbst eine extrem diffusionsoffene Unterspannbahn kann ihre mit den bisherigen Meßverfahren nur ungenau bestimmbare Dampfdurchlässigkeit durch Alterung oder Verschmutzung im Laufe der Zeit verändern. Außerdem kann nicht mit Sicherheit davon ausgegangen werden, daß die Eindeckung keinen Dampfdiffusionswiderstand aufweist. Wenn beispielsweise Eis oder Schnee die Luftkonvektion durch die Fugen zwischen den einzelnen Dachplatten behindern, wird der Austausch der Luftschicht zwischen Eindeckung und Unterdach mit der Außenluft eingeschränkt, so daß die Eindeckung bis zu einem gewissen Grad wie ein Diffusionswiderstand wirken kann. Deshalb wird im Gegensatz zum Entwurf der Holzschutznorm [4] vorgeschlagen, für extrem dampfdurchlässige Unterdächer, deren  $s_d$ -Wert kleiner als 0,1 m ist, für die Bewertung generell 0,1 m anzunehmen und darunter keine weitere Differenzierung vorzunehmen, da sie für die Praxis keine Bedeutung hat. Das bedeutet gleichzeitig, daß bei einer Dachkonstruktion ohne Dampfsperre und dampfdurchlässiger Innenbekleidung, wie z.B. Gipskarton, Feuchteprobleme nicht auszuschließen sind. Aus diesem Grund ist im Einklang mit dem Merkblatt des Dachdeckerhandwerks [1] raumseitig eine dampfbremsende Schicht zu fordern, die einen  $s_d$ -Wert von etwa 2 m haben sollte. Im Fall von extrem diffusionsoffenen Unterdächern ( $s_d < 0,1$  m) erscheint sogar eine Dampfbremse von  $s_d = 1$  m ausreichend. Dampfbremsende Schichten, die z.B. als Folien oder Papierbahnen auch in den Anschlußbereichen dauerhaft abgedichtet werden können, sind bei fachgerechter Ausführung ein guter Schutz gegen das konvektive Eindringen von Raumluftfeuchte ins Dach. Dieser Punkt erscheint

für die Praxis besonders wichtig, da durch Luftströmungen, wie z.B. in [9] experimentell nachgewiesen, wesentlich größere Feuchtemengen als durch Dampfdiffusion ins Dach gelangen können.

## 5 Literatur

- [1] Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks: Merkblatt für Wärmedämmung zwischen den Sparren. Das Dachdecker-Handwerk 112 (1991), H. 24, S. 17-20.
- [2] DIN 4108, Teil 3: Wärmeschutz im Hochbau; klimabedingter Feuchteschutz. August 1981.
- [3] Künzel, H. und Großkinsky, T.: Neue Erkenntnisse; Vorteile diffusionsoffener, unbelüfteter Satteldachkonstruktionen. Das Dachdecker-Handwerk 113 (1992), H. 14, S. 32-38.
- [4] DIN 68 800, Teil 2: Holzschutz; vorbeugende bauliche Maßnahmen. Entwurf Dezember 1994.
- [5] Schulze, H.: Geneigte Dächer ohne chemischen Holzschutz auch ohne Dampfsperre? Bauen mit Holz (1992), H. 8, S. 646-659.
- [6] Künzel, H.M.: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Diss. Universität Stuttgart 1994.
- [7] Glaser, H.: Vereinfachte Berechnung der Dampfdiffusion durch geschichtete Wände bei Ausscheidung von Wasser und Eis. Kältetechnik 10 (1958), H. 11, S. 358-364 und H. 12, S. 386-390.
- [8] Künzel, H.M.: Vorsicht bei nachträglicher Steildachdämmung. IBP-Mitteilung 22 (1995), Nr. 269.
- [9] Hens, H.: Luft-Winddichtigkeit von geneigten Dächern. Wie sie sich wirklich verhalten. Bauphysik 14 (1992), H. 6, S. 161-174.

Hartwig M. Künzel

## Vorsicht bei nachträglicher Steildachdämmung\*

### Problemstellung

Als Regelkonstruktion von geneigten Dächern mit Zwischensparrendämmung kann in Zukunft und zum Teil schon heute das unbelüftete, diffusionsoffene Steildach angesehen werden [1]. Die Betonung liegt dabei nicht nur auf „unbelüftet“, sondern in gleichem Maße auch auf „diffusionsoffen“. Das heißt, daß das an die Dämmung anschließende Unterdach nicht dampfdicht sein darf, sondern ausreichend diffusionsoffen sein muß [2]. Als ausreichend diffusionsoffen gilt gemäß eines Merkblattes des Dachdeckerhandwerks [3] eine diffusionsäquivalente Luftschichtdicke ( $s_d$ -Wert) des Unterdachs von höchstens 0,3 m, wenn raumseitig ein  $s_d$ -Wert von mindestens 2,0 m erreicht wird.

Bei bereits vorhandenen Dächern, die nachträglich möglichst kostengünstig gedämmt werden sollen, ist das Unterdach jedoch häufig relativ dampfdicht (z.B. Bitumenpappe auf Holzschalung). Da die Entfernung des Unterdaches aufwendig ist, gleichzeitig aber eine möglichst dicke Dämmschicht (nach der neuen Wärmeschutzverordnung ca. 16 cm bei ausschließlicher Zwischensparrendämmung) erforderlich ist, wird z.B. in [4] vorgeschlagen, bei außen dampfdichten, unbelüfteten Steildächern raumseitig eine Dampfbremse anzubringen, deren  $s_d$ -Wert bei etwa 2 m liegt. Dadurch soll erreicht werden, daß im Winter eindiffundierende Raumluftheuchte bzw. durch kleine Fehlstellen einströmende feuchte Luft im Sommer wieder zur Raumseite hin austrocknen kann. Tatsächlich kann mit Hilfe des Normverfahrens nach Glaser in DIN 4108 [5] gezeigt werden, daß für Zwischensparrendämmungen mit dampfdurchlässigen Dämmschichten zwischen 10 cm und 20 cm eine raumseitige Dampfbremse mit einem  $s_d$ -Wert von 2 m ausreichend bemessen ist. Die normierten Randbedingungen wurden jedoch für Flachdächer mit entsprechend hohen Strahlungsgewinnen konzipiert und deshalb stellt sich die Frage, ob sie beispielsweise auch für die Nordhälfte eines Satteldaches eine

\*Nachdruck IBP-Mitteilung 22 (1995) Nr. 269

geeignete Bewertungsgrundlage darstellen. Durch die Ergebnisse realitätsnaher rechnerischer Untersuchungen, die zum Teil auch experimentell verifiziert wurden, wird im folgenden versucht, Klarheit in dieser Frage zu schaffen.

## Konstruktionsbeispiele

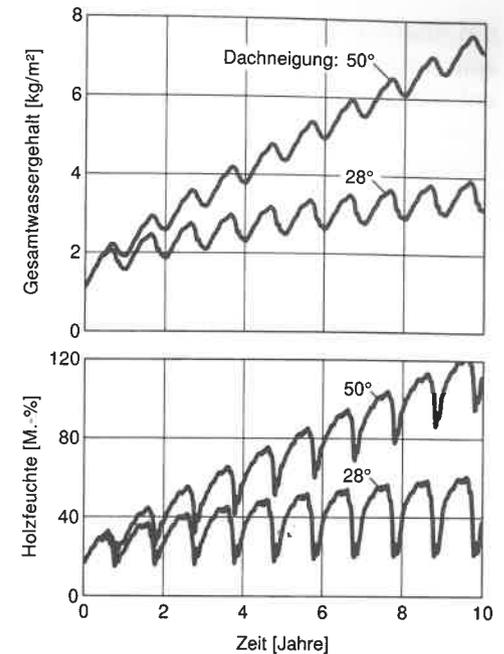
Aufgrund geringerer Strahlungsenergiegewinne sind die Nordhälften von Satteldächern in bezug auf ihr Austrocknungsverhalten im Vergleich zu anderen Orientierungen als ungünstig einzustufen, wobei sich die Situation mit zunehmendem Neigungswinkel verschlechtert. Als Beispiel werden deshalb zwei nordorientierte Ziegeldachhälften mit einer Neigung von 28° und 50°, und einer 10 cm bzw. 20 cm dicken unbelüfteten Mineralfaserzwischen-sparrendämmung betrachtet. Das Unterdach bestehe aus Holzschalung mit dampfdichter Bitumenpappe. Raumseitig sei die Dämmung durch Gipskartonplatten kaschirt, deren  $s_d$ -Wert durch das Aufbringen von entsprechenden dampfbremsenden Schichten eingestellt werden kann.

Das Feuchteverhalten dieser Dachkonstruktionen wird mit Hilfe eines bereits mehrfach experimentell validierten Verfahrens zur Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen [6] auf der Basis von Holzkirchner Klimaverhältnissen untersucht. Die Raumluftbedingungen variieren sinusförmig zwischen 20 °C bzw. 50 % relative Feuchte im Januar und 24 °C bzw. 70 % relative Feuchte im Juli. Die kurzzeitige Strahlungsabsorptionszahl der Ziegeldeckung beträgt 0,6.

## Ergebnisse

Ausgehend von der hygroskopischen Feuchte eines lufttrockenen Daches sind in Bild 1 die Verläufe des Gesamtwassergehalts im Dach (oben) und der Feuchte der Holzschalung (unten) nach Einbau einer 10 cm dicken Zwischensparrendämmung mit einem raumseitigen  $s_d$ -Wert von 2 m über einen Zeitraum von 10 Jahren dargestellt. Für beide Dachneigungen ergibt sich eine langfristige Feuchteakkumulation im Dach, die zur Fäulnis der Holzbauteile (Holzfeuchte dauerhaft über 20 M.-%) führen muß, wobei das 50° geneigte Dach noch deutlich schlechter abschneidet als das mit 28° Neigung. Auch

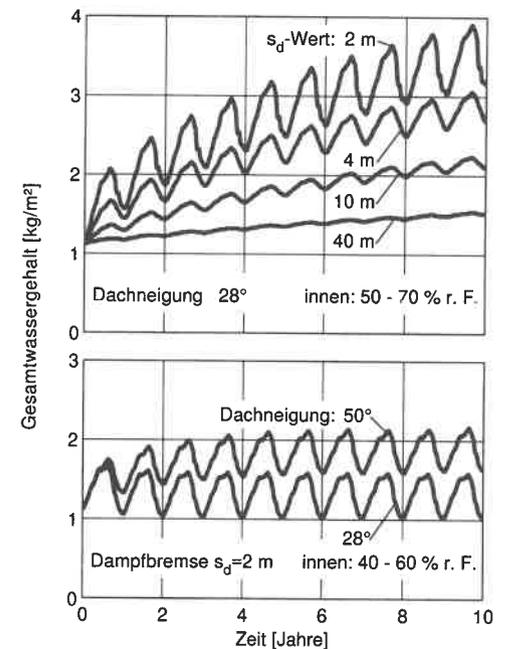
**Bild 1:** Verläufe des Gesamtwassergehalts (oben) und der Holzfeuchte der Schalungsbretter (unten) in einer vollgedämmten Norddachhälfte mit 28° und 50° Neigung.



**Bild 2:** Verläufe des Wassergehalts in einer nordorientierten Satteldachhälfte mit dichtem Unterdach nach Einbau einer 10 cm dicken Mineralfaserdämmung.

Oben: Einfluß des  $s_d$ -Wertes der raumseitigen Dampfsperre bei Raumluftfeuchten zwischen 50 % und 70 % r.F.

Unten: Einfluß der Dachneigung bei Raumluftfeuchten zwischen 40 % und 60 % r.F.



das Anbringen von raumseitigen Dampfsperren mit höheren  $s_d$ -Werten kann eine langfristige Feuchtezunahme im Dach nicht verhindern, sie verläuft nur entsprechend langsamer, wie Bild 2 oben zeigt. Helfen kann nur eine geringere Raumluftfeuchte, wie im gleichen Bild unten zu sehen. Liegt diese Feuchte 10 % unter den oben angenommenen Bedingungen (d.h. 40 % r.F. im Januar und 60 % im Juli), dann findet nur noch bei dem 50° geneigten Norddach eine geringe Feuchteakkumulation statt, während das 28° geneigte Dach langfristig ausreichend trocken bleibt. Der Einfluß der Dämmschichtdicke auf das Feuchteverhalten - die Untersuchungen wurden auch mit 20 cm Dämmung durchgeführt - ist bei diesen Beispielen vernachlässigbar und wird deshalb hier nicht dargestellt.

## Praktische Konsequenzen

Die betrachteten Beispiele für die nachträgliche Zwischensparrenvollämmung von Steildächern mit dampfdichtem Unterdach stellen aus feuchte-technischer Sicht ungünstige Situationen dar, die jedoch in der Praxis nicht auszuschließen sind. Aus diesem Grund ist von unbelüfteten Dachkonstruktionen, die außen dampfdicht und innen mehr oder weniger dampfdurchlässig sind, ohne genaue Prüfung der jeweiligen Verhältnisse abzuraten. Theoretisch kann die Feuchteaufnahme eines solchen Daches durch eine raumseitige Dampfsperre mit hohem  $s_d$ -Wert ( $> 100 \text{ m}$ ) so gering gehalten werden, daß bei einer perfekten Ausführung keine Gefahr besteht. In der Praxis ist jedoch immer mit kleinen Fehlstellen zu rechnen, durch die Wasserdampf konvektiv ins Dach gelangen kann und dort gefangen bleibt, so daß auch in diesem Fall ein Schadensrisiko besteht.

## Literatur

- [1] Werneke, K.: Das geneigte Dach als Wohnraumaußenfläche. Bauverlag GmbH., Wiesbaden 1992.
- [2] Künzel, H. und Großkinsky, T.: Nicht belüftet, voll gedämmt: Die beste Lösung für das Steildach! Zeitschrift für Wärmeschutz, Kälteschutz, Schallschutz, Brandschutz 34 (1989), H. 27, S. 1-7.

- [3] Merkblatt des Zentralverbandes des Deutschen Dachdeckerhandwerks: Wärmedämmung bei Dachdeckungen. Das Dachdecker-Handwerk 112 (1991), H. 24, S. 17-20.
- [4] Schulze, H.: Geneigte Dächer ohne chemischen Holzschutz auch ohne Dampfsperre? Bauen mit Holz 8 (1992), S. 646-659.
- [5] DIN 4108, Teil 3: Wärmeschutz im Hochbau, klimabedingter Feuchteschutz. August 1981.
- [6] Künzel, H.M.: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Dissertation Universität Stuttgart 1994.

Die vorliegenden Untersuchungen wurden mit Unterstützung des Bundesforschungsministeriums und der Projektpartner aus der Wirtschaft im Vorhaben Annex 24 der Internationalen Energie-Agentur durchgeführt.

# Tauwasserschäden im Dach aufgrund von Dampfdiffusion durch angrenzendes Mauerwerk\*

## 1 Problemstellung

Nichtbelüftete, vollgedämmte Schrägdächer setzen sich in der Praxis immer mehr durch. Im Vergleich zu belüfteten Konstruktionen ist die Feuchtebelastung ohne Belüftungsebene über der Zwischensparrendämmung sogar geringer, solange das Unterdach entsprechend dampfdurchlässig ist [1]. Als Richtwert für die Dampfdurchlässigkeit des Unterdaches kann gemäß [2] eine diffusionsäquivalente Luftschichtdicke ( $s_d$ -Wert) von maximal 0,3 m angesehen werden, wenn die raumseitige Dampfbremse gleichzeitig einen  $s_d$ -Wert von über 2 m aufweist. Normgerecht [3] sind aber auch unbelüftete Dächer, die außen einen relativ dampfdichten Abschluß besitzen, wie beispielsweise eine Vordeckung mit Dachpappe, wenn eine Dampfsperre vorhanden ist und sie ausreichend dicht gegenüber einströmender Raumluft ausgeführt sind.

Trotz mutmaßlich normgerechter Ausführung können jedoch bei unbelüfteten Schrägdächern Feuchteschäden auftreten, wie kürzlich in der Bauschäden-Sammlung des Deutschen Architektenblattes dargestellt [4]. Als Erklärung für diese Feuchteschäden, die sich durch raumseitigen Wasseraustritt im Sommer sowie völlig durchfeuchtete Holzschalung darstellen, wird dort die Dampfdiffusion über das angrenzende Ziegelmauerwerk ins Dach angenommen. Da bei dem in [4] behandelten Schadensfall jedoch beträchtliche Feuchtemengen im Dach angefallen sind, erschien diese Erklärung als alleinige Ursache für den Feuchteschaden nicht überzeugend. Aus diesem Grund werden im folgenden die Dampfdiffusionsvorgänge im Anschlußbereich von Mauerwerk und Schrägdach mit Hilfe von zweidimensionalen Wärme- und Feuchtetransportberechnungen untersucht.

\*Nachdruck aus Zeitschrift für Wärmeschutz, Kälteschutz, Schallschutz, Brandschutz, (1996) H. 37, S. 34-36; mit freundlicher Genehmigung der Grünzweig + Hartmann AG.

## 2 Durchführung der Untersuchung

Grundlage für die rechnerische Untersuchung ist der Dachaufbau in [4], dargestellt in Bild 1. Beim Ziegelmauerwerk wird von einer Innenwand ausgegangen, so daß in ihrer Mitte eine vertikale Symmetrieebene vorausgesetzt werden kann. Die gleiche Symmetriebedingung gilt bei entsprechend großem Ausschnitt (ca. 5 m) auch am rechten Bildrand, wobei der Einfluß der Sparren vernachlässigt wird. Als Außenluftbedingungen werden Monatsmittelwerte von Temperatur und relativer Feuchte eines für Holzkirchen typischen Jahres verwendet. Kurzwellige Strahlungseinflüsse und nächtliche langwellige Abstrahlung werden nicht berücksichtigt. Raumseitig werden Temperatur und Feuchte sinusförmig zwischen 22 °C bzw. 50 % r.F. im

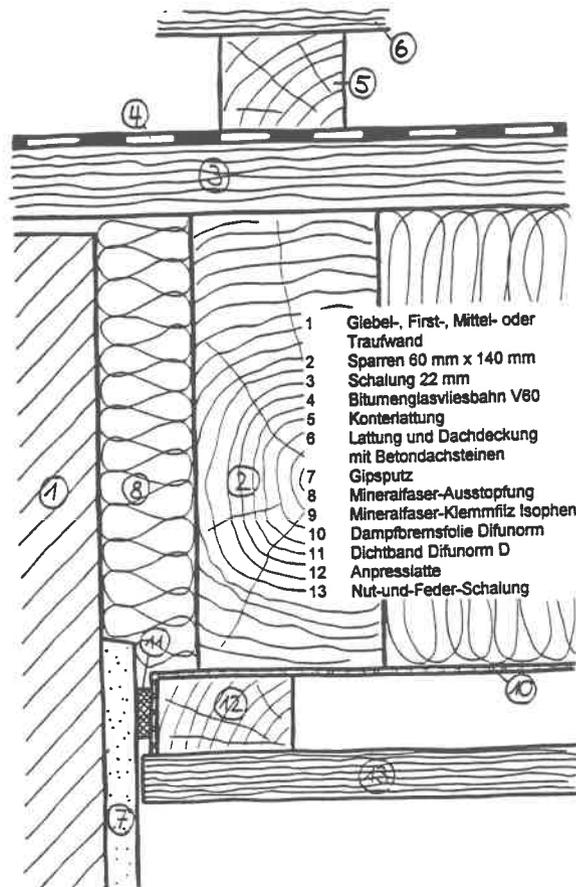


Bild 1: Konstruktionszeichnung des Anschlußbereiches von Ziegelwand und Dachaufbau [4].

Winter und 26 °C bzw. 70 % r.F. im Sommer im Standardfall variiert. Die zugrunde gelegten Stoffkennwerte für die Ziegelwand, die Holzschalung und die Mineralfaserdämmung sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Die diffusionsäquivalente Luftschichtdicke der Bitumenglasvliesbahn beträgt im Standardfall  $s_d = 300$  m und die der raumseitigen Dampfsperre  $s_d = 50$  m. Der Einfluß des Gipsputzes wird durch  $s_d = 0,1$  m berücksichtigt. Die Oberflächenübergangsbedingungen entsprechen den in [5] vorgeschlagenen Werten.

Die Berechnungen werden mit dem am Fraunhofer-Institut für Bauphysik entwickelten und experimentell verifizierten zweidimensionalen EDV-Programm WUFIZ [5] durchgeführt. Ausgehend von einem lufttrockenen Anfangszustand im Dach, d.h. alle Materialien haben zu Beginn eine Ausgleichsfeuchte entsprechend 70 % relativer Luftfeuchte, wird das Feuchteverhalten des betrachteten Dach/Wandausschnittes über einen Zeitraum von fünf Jahren untersucht. Die Berechnungen beginnen jeweils im Oktober und werden mit Zeitschritten von ca. 70 Stunden durchgeführt, wobei die Randbedingungen jeweils einen Monat lang konstant bleiben.

## 3 Ergebnisse

Die Feuchteverteilungen in einem 100 cm breiten und 30 cm hohen Ausschnitt des Dach/Wand-Anschlußbereiches nach dem ersten, dritten und fünften Winter (jeweils Ende März) sind für den Standardfall in Bild 2 dargestellt. Während die Dämmung und auch das Ziegelmauerwerk selbst nach fünf Jahren relativ trocken bleiben, übersteigt der Wassergehalt in der Holzschalung bereits im ersten Winter über der Ziegelmauer 100 kg/m<sup>3</sup> (10 Vol.-%). Im fünften Winter erreicht die Feuchte der Schalungsbretter in einem Bereich bis ca. einem halben Meter neben der Ziegelwand einen Wassergehalt von etwa 200 kg/m<sup>3</sup>. Mittelt man die Feuchte der Holzschalung über die Breite von einem Meter im Bereich der Ziegelwand und stellt diesen Mittelwert über den Berechnungszeitraum von 5 Jahren dar, erhält man die Verläufe in Bild 3.

Zur besseren Beurteilung des Schadensrisikos durch Holzfäule ist die Feuchte dort in Masse-% dargestellt. Die Verläufe für den Standardfall sind in beiden Bildteilen mit durchgezogenen Linien gekennzeichnet. Die stetige Feuchteakkumulation führt bereits nach einem Jahr zu einem örtlich kritischen

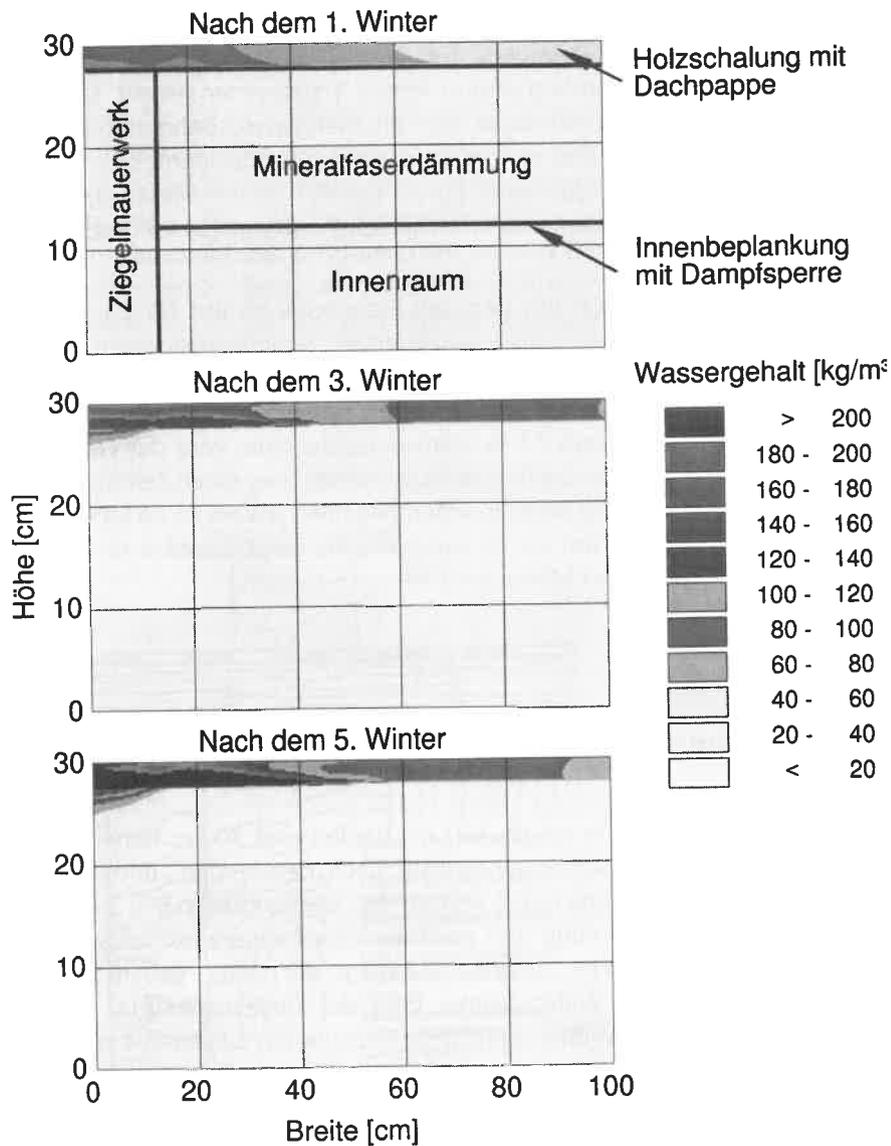


Bild 2: Durch Isoflächen dargestellte Feuchteverteilung im Anschlußbereich Dach/Wand nach dem ersten, dritten und fünften Winter.

Wassergehalt in den Schalungsbrettern. Eine insgesamt geringere Raumluftfeuchte (in Bild 3 oben gestrichelt eingezeichnet) bzw. ein höherer Diffusionswiderstand des Ziegelmauerwerks (in Bild 3 unten gestrichelt eingezeichnet)

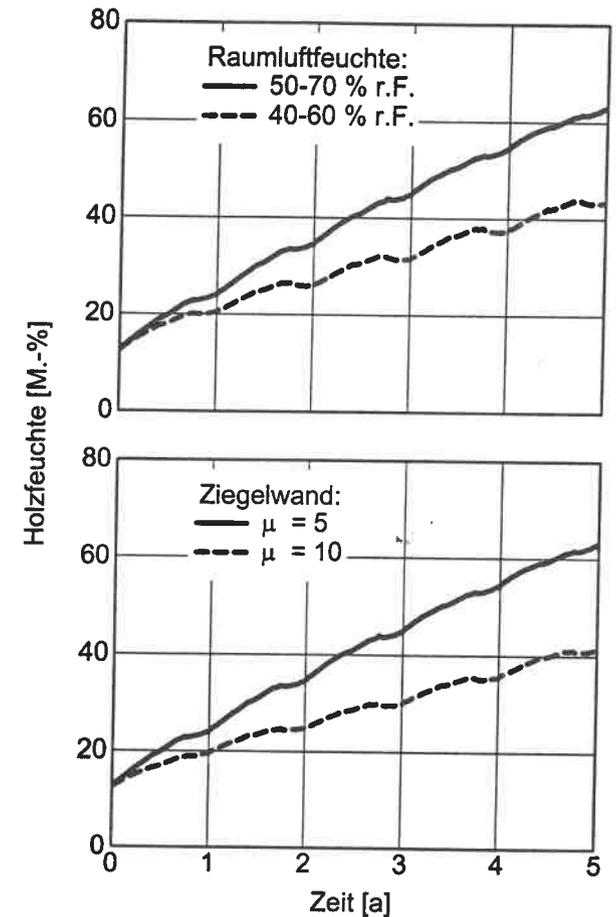
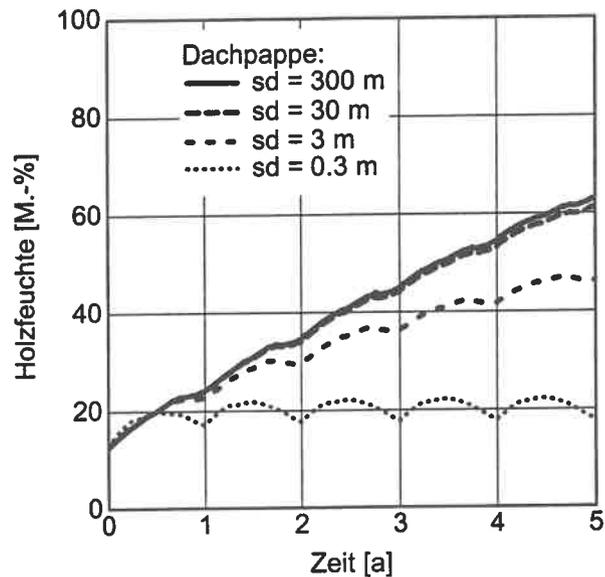


Bild 3: Verlauf der mittleren Schalungsfeuchte im Bereich von einem Meter ab Wandmitte (siehe Bild 2) über einen Zeitraum von 5 Jahren. Eine gegenüber dem Standardfall (jeweils durchgezogene Linie) reduzierte Raumluftfeuchte (oben) oder ein höherer  $\mu$ -Wert des Ziegelmauerwerks (unten) bringt nur eine graduelle Verbesserung der Feuchtesituation.

net) führen zwar zu einem geringeren Anstieg der Holzfeuchte, das Feuchteschadensrisiko wird dadurch aber nur unwesentlich entschärft. Ebenfalls vom durchgezogenen eingezeichneten Standardfall ausgehend sind die Verläufe der Holzfeuchte für verschieden dampfdichte Dachpappen auf der Schalung in Bild 4 dargestellt. Während eine Reduktion des  $s_d$ -Wertes der Dachpappe von 300 m auf 30 m so gut wie keinen Einfluß hat und eine weitere Reduktion auf  $s_d = 3$  m etwa soviel Verbesserung bringt wie eine Reduktion der mittleren Raumluftfeuchte um 10 % r.F., bewirkt eine Dachpappe



**Bild 4:** Verlauf der mittleren Schalungsfeuchte im Bereich von einem Meter ab Wandmitte (siehe Bild 2) über einen Zeitraum von 5 Jahren. Erst bei einem gegenüber dem Standardfall (durchgezogene Linie) erheblich reduzierten Wasserdampfdiffusionswiderstand der Dachpappe ( $s_d = 0,3$  m) treten keine kritischen Feuchtesituationen in der Holzschalung mehr auf.

mit einem  $s_d$ -Wert von 0,3 m (Maximalwert nach [2]), daß keine langfristige Feuchteakkumulation und keine kritischen Feuchtesituationen in der Holzschalung auftreten.

#### 4 Diskussion der Ergebnisse und Schlußfolgerung

Die Randbedingungen und Stoffkennwerte für den Standardfall wurden so gewählt, daß diffusionstechnisch von ungünstigen Verhältnissen für die Konstruktion gesprochen werden kann. Berücksichtigt man die Sonnenstrahlung auf das Dach, wird die Feuchteaufnahme der Schalungsbretter in den Übergangszeiten sicherlich deutlich reduziert und im Sommer ist sogar eine kurz-

fristige Austrocknung der Schalungsbretter möglich. Da das Dach jedoch insgesamt relativ dicht ist, kann diese Feuchte dann durch Fehlstellen auf der Innenseite austreten und, wie in [4] beschrieben, abtropfen. Die Frage, ob in diesem Fall die durch die Wand eindiffundierende Feuchte allein für das Schadensbild verantwortlich ist, kann mit dem hier gezeigten extremen Beispiel nicht beantwortet werden. Sicher ist jedoch, daß dampfdichte Dachkonstruktionen, wie bereits in [6] gezeigt, als problematisch anzusehen sind. Aus diesem Grund ist von dampfdichten Dachpappen auf der Holzschalung bei unbelüfteten Schrägdächern dringend abzuraten. Werden die Richtlinien in [2] eingehalten, die diffusionsoffene Bahnen mit  $s_d$ -Wert  $< 0,3$  m auf der Holzschalung empfehlen, dann stellt auch die Dampfdiffusion über die Wände kein Feuchteschadensrisiko dar.

#### 5 Literatur

- [1] Künzel, H. und Großkinsky, Th.: Nicht belüftet, voll gedämmt: die beste Lösung für das Steildach! Zeitschrift für Wärmeschutz, Kälteschutz, Schallschutz, Brandschutz 34 (1989), H. 27, S. 1-7.
- [2] Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks: Merkblatt für Wärmedämmung zwischen den Sparren. Das Dachdecker-Handwerk 112 (1991), H. 24, S. 17-20.
- [3] DIN 4108, Teil 3: Wärmeschutz im Hochbau; klimabedingter Feuchteschutz. August 1981.
- [4] Ruhe, C.: Nichtbelüftetes geneigtes Dach mit Sparrenvollämmung. Wasserabtropfungen von der Decke im Sommer. Deutsches Architektenblatt 27 (1995), H. 8, S. 1479-1481.
- [5] Künzel, H.M.: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnungen des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Diss. Universität Stuttgart 1994.
- [6] Künzel, H.M.: Vorsicht bei nachträglicher Steildachdämmung. IBP-Mitteilung 22 (1995), Nr. 269.

Technische Informationen  
über Produkte, die im Rahmen  
der Untersuchungen verwendet  
worden sind

## TYVEK - Diffusionsfolien als Unterspannbahn

TYVEK-Diffusionsfolie ist ein Polyethylen-Spinnvlies mit einer speziellen Mikrofaserstruktur, sie ist hoch dampfdurchlässig, reißfest und wasserdicht.

TYVEK-Diffusionsfolie wird in drei Ausführungen angeboten:

TYVEK HD - Soft für direkte Auflage auf dem Dämmstoff  
»antireflex«

TYVEK HD - Dry für vollgeschalte Dächer mit Harteindeckung

TYVEK HD - Plus die Universalbahn

### TYVEK - Technische Daten

	HD - Soft	HD - Dry	HD - Plus
Flächengewicht	60 g/m <sup>2</sup>	60 g/m <sup>2</sup>	140 g/m <sup>2</sup>
Wasserdampfdurchlässigkeit*)	s <sub>d</sub> = 0,03 (± 0,01) m		
Wasserdichtigkeit (ISO 811)	> 1000 mm Wassersäule		
Brandverhalten (DIN 4102)	normalentflammbar B 2		
Temperatureinsatzbereich	- 40 °C bis + 100 °C		
Nagelausreißfestigkeit	> 70 N	> 70 N	> 150 N
Liefermaße			
Bahnenlänge	100 m	100 m	50 m
Bahnenbreite	1,5 und 2,8 m	1,5 m	1,5 m
Rollengewicht	10/17 kg	10 kg	10 kg

\*Bei der hohen Dampfdurchlässigkeit des Materials ist innerhalb der Meßgenauigkeit kein Unterschied zwischen den verschiedenen Produkten feststellbar, deshalb ist der Schwankungsbereich angegeben.

Weiter wird geliefert: Klebeband, Kontaktkleber, Anschlußband und Hilfsmittel.

### Klöber GmbH & Co KG

Scharpenberger Straße 72 - 90, 58256 Ennepetal  
Telefon 0 23 33 - 98 77 - 0, Fax 0 23 33 - 9 87 71 99

## Diffusionsoffene Dachkonstruktionen mit DIFUTEK (außen) und DIFULINT (innen)

Die DIFUTEK-Unterspannbahn wurde speziell für wärmegeämmte, geneigte Dächer vor mehr als 10 Jahren entwickelt. Die PUR-Deckfolie ( $d = 40 \mu\text{m}$ ) ist UV-stabilisiert, wasser- und winddicht, sie schützt Konstruktion und Wärmedämmung vor Feuchtigkeit und Durchlüftung von außen. Die nach DIN 18 338 reißfeste, elastische Armierung durch Polyestergewebe stabilisiert die Bahn dauerhaft, ermöglicht eine straffe Verlegung und verhindert Flattern und Durchhängen.

Die Trägerschicht aus Polyether-Weichschaum ( $d = 4 \text{ mm}$ ) schützt vor mechanischer Beschädigung und speichert Kondensatfeuchte (etwa  $1,8 \text{ l/m}^2$ ). Dadurch wird das Abtropfen von Kondensatfeuchte verhindert.

### DIFUTEK - Technische Daten

Flächengewicht	200 g/m <sup>2</sup>
Wasserdampfdurchlässigkeit (DIN 52 615, Feuchtbereich)	$s_d = 0,14 (\pm 0,03) \text{ m}$
Wasserdichtigkeit (DIN 53 886)	$> 165 \text{ mbar}$ ( $< 1500 \text{ mm WS}$ )
Brandverhalten (DIN 4102)	normalentflammbar, B 2
Temperatureinsatzbereich	$-40 \text{ °C}$ bis $+130 \text{ °C}$
Liefermaße	Bahnenlänge 50 m Bahnenbreite 1,5 m
Rolle	Gewicht ca. 18 kg, Durchmesser 50 cm

Die DIFULINT- Luft- und Dampfsperre eignet sich für diffusionsoffene, wärmegeämmte Dachkonstruktionen. DIFULINT besteht aus Natronkraftpapier (zweilagig) mit reißfester Glasfaserarmierung, ist ökologisch unbedenklich und voll recyclebar. DIFULINT-Bahnen werden parallel zu den Sparren verlegt und innenseitig auf dem Sparrenholz aufgetackert. Überdeckungen und Anschlüsse von DIFULINT-Bahnen dürfen nur auf dem Sparrenholz ausgeführt werden mit zwischenliegendem Doppelklebeband (5 cm breit) und zweimaliger Tackering.

### DIFULINT - Technische Daten

Flächengewicht	150 g/m <sup>2</sup>
Dicke	0,2 mm
Wasserdampfdurchlässigkeit (DIN 52 615, Feuchtbereich)	$s_d = 2,9 \text{ m}$
Brandverhalten (DIN 4102)	normalentflammbar, B 2
Liefermaße	Bahnenlänge 100 m Bahnenbreite 1,65 m
Rolle	Gewicht ca. 25 kg

DIFUTEK und DIFULINT sind aufeinander abgestimmt und erfüllen die Anforderungen des Zentralverbandes des Deutschen Dachdeckerhandwerks - Merkblatt XII/91:

Dampfsperre	$s_d \geq 2,0 \text{ m}$
Unterspannbahn	$s_d \leq 0,3 \text{ m}$

Diffusions- und Trocknungsvorgänge können dadurch in beiden Richtungen ablaufen.

### Metzeler Schaum GmbH

Vertriebsbereich Bauprodukte

Postfach 16 02 37, 40565 Düsseldorf  
Telefon 02 11 - 74 30 83, Fax 02 11 - 7 48 88 62

## Produktinformationen zu den G+H ISOVER Mineralwolle-Dämmstoffen für die Wärmedämmung im Steildach

Als Produzent von sowohl Glas- als auch Steinwolle-Dämmstoffen ist G+H ISOVER in der Lage, für die Wärmedämmung im Steildach geeignete Lösungen anzubieten.

### G+H ISOVER Klemmfilz Isophen

Der Klemmfilz Isophen ist ein Glaswolle-Dämmstoff und besonders gut geeignet für die Wärmedämmung zwischen den Sparren. Bereits bei Transport und Lagerung erweist sich die gerollte, komprimierte Verpackung, die das Volumen um 50 % reduziert, als Vorteil. Vor Ort ausgerollt, werden entsprechend der Sparrenabstände unter Zugabe von 1 cm, Platten aus der Rolle geschnitten und zwischen die Sparren geklemmt. Wärmebrücken werden durch die Verfilzung der einzelnen Platten verhindert. Die Verlegung ist so gut wie verschnittfrei, da das Reststück einer Rolle mit dem Anfang der nächsten Rolle zu einer Platte kombiniert werden kann und zwischen die Sparren eingeklemmt wird. Besonders bei ungleichen Sparrenabständen erweist sich der Zuschnitt einer Platte aus der Rolle als Vorteil. Auch im Altbau kann der Klemmfilz Isophen zur nachträglichen Wärmedämmung eingesetzt werden. Hier erweist sich die Flexibilität der Glaswolle als Vorteil, weil Unebenheiten an den Sparren ausgeglichen werden. Auch unregelmäßige Sparrenabstände stellen kein Problem dar, da der Klemmfilz Isophen jeweils passend zugeschnitten werden kann.

Die Funktionstüchtigkeit der Konstruktion wird gewährleistet durch die Anbringung einer Dampfbremsfolie. Hier bietet G+H ISOVER ein **Winddichtpaket** an, welches aus der Dampfbremsfolie Difunorm, dem Dichtband Difunorm-D und dem Klebeband Difunorm-K besteht.

### G+H ISOVER Untersparrenklemmfilz Isophen Plus

Mit Hilfe des G+H ISOVER Untersparrenklemmfilzes Isophen Plus können geringe Sparrenhöhen, die keine ausreichende Wärmedämmung zulassen, ausgeglichen werden. Der Untersparrenklemmfilz Isophen Plus wird unterhalb der Wärmedämmung und der Dampfbremsfolie auf der Rauminnen-seite zwischen der Ausgleichslattung verlegt. Ein entscheidender Vorteil des Untersparrenklemmfilzes Isophen Plus ist hierbei der Schutz der Dampfbremsfolie, da eine Installationsebene geschaffen wird, die die Verletzungs-

gefahr der Dampfbremsfolie erheblich reduziert und somit die Funktionstüchtigkeit der Konstruktion gewährleistet.

### G+H ISOVER Übersparrenklemmfilz Unitop

Ein Übersparrendämmsystem bietet sich an, wenn auf der Rauminnen-seite eine sichtbare Holzdecke und Sparren gewünscht werden. Das Übersparrendämmsystem Unitop vereint die Vorzüge von Glas- und Steinwolle-Dämmstoffen. Unitop besteht aus 3 Komponenten: einem elastischen Rollfilz, druckfesten Steinwollestreifen und einer patentierten Schraube twin-UD.

Die Unitop-Streifen werden in einem lichten Abstand von 59 cm am Sparren angeagelt. Zwischen den Steinwollestreifen wird dann der Rollfilz ausgerollt. Eine gute Paßgenauigkeit und fugenfreie Wärmedämmung wird gewährleistet, indem der Rollfilz mit 1 - 2 cm Übermaß an die Bauteile zugeschnitten wird. Die Kombination von Stein- und Glaswolle verhindert effektiv die Bildung von Wärmebrücken. Nach dem Ausrollen der Untersparrenbahn erfolgt die Befestigung der Grundlattung mit den twin-UD Schrauben, die - und das ist das Besondere bei dem Übersparrendämmsystem Unitop - auch die statische Lastabtragung übernehmen, so daß aufwendige Befestigungsmaßnahmen an der Traufe entfallen.

Selbstverständlich bieten die Mineralwolle-Dämmstoffe von G+H ISOVER neben den guten Wärmedämmeigenschaften auch Vorteile hinsichtlich des **Schall- und Brandschutzes** eines Gebäudes.

Darüber hinaus sind alle Produkte von G+H ISOVER in **Ki40** erhältlich. Der Ki40 bezeichnet einen Kanzerogenitätsindex, welcher in der Technischen Regel für Gefahrstoffe 905 festgeschrieben ist, und durch den Ausschuß für Gefahrstoffe als Bewertungsregel empfohlen wird. Die Einstufung in Ki40 bedeutet, daß die Mineralwolle-Dämmstoffe von G+H ISOVER als nicht krebserregend eingestuft sind.

### Grünzweig + Hartmann AG

Dr.-Albert-Reimann-Straße 20, 68526 Ladenburg  
Telefon 06 21/47 01 - 0, Fax 06 21/47 01 - 606

## Produktinformationen zu ROCKWOOL-Dämmstoffen aus Steinwolle für die Steildachdämmung

Steinwolle ist ein natürlicher mineralischer Dämmstoff, der aufgrund seiner Eigenschaften für die Wärmedämmung im Hausbau gut geeignet ist. Die Dämmstoffe der neuen Produktlinie **DIE NEUE ROCKWOOL** besitzen eine nachgewiesene hohe Biolöslichkeit und sind gesundheitlich unbedenklich. In Platten oder Mattenform erlauben sie u. a. eine effektive Wärmedämmung im Dachbereich. Abgestellt auf die jeweiligen örtlichen Gegebenheiten bietet ROCKWOOL verschiedene Produkte an.

### ROCKWOOL-Dämmkeil

Die Dämmung zwischen den Sparren eignet sich sowohl für die nachträgliche Wärmedämmung älterer Dächer als auch für den Neubau. Mit dem **ROCKWOOL-Dämmkeil** - einer dreieckigen Steinwolle-Platte - kann auch bei stark variierendem Sparrenabstand mit einem Produkt eine funktionsgerechte Wärmedämmung erreicht werden. Die Keile werden gemäß dem Sparrenabstand (plus 1 cm bis 2 cm) mit einem scharfen Messer zugeschnitten und zwischen die Sparren eingeklemmt. Danach muß noch eine Dampfsperre aufgetackert und luftdicht verklebt werden. Die Vollsparrendämmung mit dem **ROCKWOOL-Dämmkeil VS** ohne Luftschicht trägt dem Konzept des Niedrigenergiehauses Rechnung, da die verfügbare Sparrentiefe vollständig für die Dämmung genutzt werden kann.

### ROCKWOOL-Flexirock

Die ROCKWOOL-Flexirock ist eine patentierte Steinwolle-Dämmplatte, die auf einer Seite so behandelt ist, daß sich eine flexible, federnde Zone von etwa 10 cm Breite ergibt. Durch diese Komprimierzone ist ROCKWOOL-Flexirock in der Lage, Variationen der Sparrenabstände bis zu 5 cm auszugleichen. Flexirock braucht deshalb nicht mehr zugeschnitten zu werden. ROCKWOOL-Flexirock wird in den Breiten 500 mm bis 900 mm in 50 mm Abstufungen geliefert, so daß für jeden Sparrenabstand die richtige Plattenbreite zur Verfügung steht.

ROCKWOOL-Flexirock wird aus dem Paket entnommen und direkt zwischen die Sparren eingebaut. Dabei wird zuerst die elastifizierte Seite (diese ist farblich gekennzeichnet) am Sparren angelegt. Die Platte kann jetzt mühelos zwischen die Sparren eingesetzt werden. Durch die federnde Wirkung wird - ohne zusätzliche Befestigungsmittel - ein perfekter und dauerhafter Sitz erreicht.

ROCKWOOL macht mit diesem Produkt den Dachgeschoßausbau noch einfacher. ROCKWOOL-Flexirock weist alle Vorzüge auf, die formstabile nichtbrennbare Steinwolle bietet.

### ROCKWOOL-Supermatte

Wer eine Rolle vorzieht, verwendet die ROCKWOOL-Supermatte. Sie wird entsprechend der vorhandenen Sparrenabstände gekauft, gegebenenfalls zugeschnitten und lediglich an den Sparren angetackert. Dazu ist das Produkt an beiden Längsseiten mit verstärkten Randleisten ausgestattet. Der winddichte Abschluß erfolgt durch Verkleben der Randleisten bzw. Stoßstellen mit Folienstreifen.

Unabhängig davon, für welches Produkt man sich entscheidet; Dämmung mit Steinwolle-Dämmstoffen von ROCKWOOL bringt eine Reihe entscheidender Vorteile.

**Die wesentlichen Produkteigenschaften von ROCKWOOL-Dämmstoffen sind:**

- Hohe Biolöslichkeit: ROCKWOOL-Dämmstoffe der neuen Produktlinie **DIE NEUE ROCKWOOL** sind aufgrund dieser hohen Biolöslichkeit als nicht krebs-erzeugend - frei von Krebsverdacht - einzustufen.
- Niedrige Wärmeleitfähigkeit: Bei Dämmdicken von 140 mm bis 160 mm werden die Forderungen der Wärmeschutzverordnung für den Neubau erfüllt.
- Steinwolle brennt nicht (Baustoffklasse A1 nach DIN 4102, Teil 1): Damit werden u. a. Feuerwiderstandszeiten im Schrägdach von 30 Minuten ohne jegliche innenseitige Bekleidung erreicht.
- Wärmeausdehnung annähernd null: Dicht gestoßen und fachgerecht eingebaut verändert Steinwolle ihre Form nicht. Dadurch wird die Dämmwirkung dauerhaft sichergestellt.
- Wasserdampfdiffusion: Der Dämmstoff behindert nur unwesentlich den Wasserdampftransport und mindert dadurch die Gefahr von Durchfeuchtungen.
- Schalldämmung: Durch die offene Struktur absorbieren ROCKWOOL-Dämmstoffe in hohem Maße auftretenden Schall und leisten einen wirkungsvollen Beitrag zur Schalldämmung.
- Mechanische Eigenschaften: Die Dämmstoffe sind elastisch, dennoch formstabil, so daß eine gleichmäßig wirksame Dämmstoffdicke dauerhaft gegeben ist. Auch große Flächen lassen sich lückenlos ohne Wärmebrücken verlegen.
- Weitere Eigenschaften: ROCKWOOL-Dämmstoffe aus Steinwolle sind durchgehend wasserabweisend, verrotten nicht und können leicht bearbeitet werden. Steinwolle-Dämmstoffe von ROCKWOOL werden ständig kontrolliert und sind amtlich güteüberwacht.

### Deutsche Rockwool

Bottroper Straße 241, 45964 Gladbeck  
Telefon 0 20 43 / 408 - 0, Fax 0 20 43 / 408 - 478

# Stichwortverzeichnis

Abstrahlung	18	Moosbildung	69
Algenbildung	69	Nicht belüftetes Dach	16
Alterung Ziegel	65	Regeneintrag	27, 50
Baufeuchte	32, 96	S-Wert	55
Belüftetes Dach	12	Sättigungsfeuchte Ziegel	54
Belüftung		Sättigungsgrad	55
untere Belüftungsschicht	12, 32	$s_d$ -Wert Ziegel	54
obere Belüftungsschicht	14, 43	Silikonisierung	61, 69
First	71	Sommerkondensation	17, 19
Feuchteintrag	35	Taubildung	18, 43
Berechnungsmethoden		Trocknung Ziegel	56
Glaser	15, 78	Unterkühlung	18, 19
WUFI	78, 93	Unterlüftung Unterspannbahn	35, 48, 70
Dachdecker-Richtlinien		Unterlüftung Ziegel	49, 61, 69, 71
belüftetes Dach	12	Unterspannbahn	
diffusionsoffenes Dach	14	Auswirkung	30
Dachorientierung	35, 38, 48	diffusionsoffen	33, 70
Dachplattenfeuchte	27, 43, 49	dicht	32
Diffusion	15	Abstimmung auf Dampfbremse	42, 83
Diffusionsoffenes Dach	14	w-Wert Ziegel	54, 56
Engobe	60, 69	Wasserdampf-Diffusion	15
Firstausbildung	13, 23, 24	Wasserdampf-Durchlässigkeit	
Flugschnee	27	Ziegel	55
Frostbeständigkeit	53	Wasserdampf-Konvektion	17
Frostschäden	69	Windsperr	17
Glaserverfahren	15	Wohnfeuchte	41
Halbwertszeit	56	Ziegeltemperatur	43, 47
Holzschalung	33		
Konterlatten	35, 43, 47, 50		

# Die »Bauschäden-Sammlung«

Herausgegeben von Professor Günter Zimmermann



**Eine einmalige,  
umfassende Darstellung  
von Bauschäden  
in zehn Bänden!**

Die »Bauschäden-Sammlung« leistet einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Bau- und Planungsleistungen. Die Reihe wird durch ein Themen- und Sachregister erschlossen. Der Nutzer kann so auf Anhieb feststellen,

- ob ein gleicher oder ähnlicher Schaden dokumentiert ist,
- welche Schäden für ein bestimmtes Bauteil typisch sind,
- wie diese Schäden vermieden werden können oder welche Maßnahmen zu ihrer Behebung in Frage kommen.

Seit 25 Jahren ist die »Bauschäden-Sammlung« eine ständige Einrichtung des »Deutschen Architektenblattes«. Die Buchausgabe erscheint im IRB Verlag.

**»Die Bauschäden-Sammlung zeigt in Anlage, Form und Inhalt die Handschrift des begabten Hochschullehrers, verbunden mit der jahrzehntelangen Erfahrung eines öbuv. Sachverständigen. Hervorzuheben ist die bewußt geglückte Selektion typischer Schadensfälle...«**

Dr.-Ing. H.E. Aurnhammer, in: DS - Der Sachverständige

Die Bände 1 bis 10 enthalten 466 Schadensberichte, verfaßt von vielen Sachverständigen und Hochschullehrern.

Alle Bände im Format A 5 quer mit zahlreichen Abbildungen, festem Einband und Fadenheftung.

Fraunhofer IRB Verlag

Postfach 80 04 69, D-70504 Stuttgart, Telefon (0711) 970-2500, Telefax (0711) 970-2508

# Fachbuchreihe Schadenfreies Bauen

Herausgegeben von Professor Günter Zimmermann

Ziel und Programm dieser Fachbuchreihe ist das schadenfreie Bauen. Erfahrene Bausachverständige beschreiben die häufigsten Bauschäden und stellen den Stand der Technik zu bestimmten Problemstellungen oder Konstruktionsteilen dar.

Band 16  
Richard Jenisch  
**Tauwasserschäden**  
1996. 124 Seiten, 66 Abb., 6 Tab.

Band 15  
Klaus G. Aurnhammer  
**Schäden an Estrichen**  
1996. 196 Seiten, 39 Abb., 15 Tab.

Band 14  
Bernhard Brand/Gerhard Glatz  
**Schäden an Tragwerken aus Stahlbeton**  
1996. 217 Seiten, 124 Abb., 24 Tab.

Band 13  
Helmut Klaas/Erich Schulz  
**Schäden an Außenwänden aus Ziegel- und Kalksandstein-Verblendmauerwerk**  
1995. 224 Seiten, 164 Abb., 13 Tab.

Band 12  
Franz Lubinski/Uwe Nagel/Hans Pfeifer/  
Fritz Röbbert/Klaus Ziegenbein  
**Schäden an Metallfassaden**  
1995. 220 Seiten, 150 Abb., 15 Tab.

Band 11  
Marin Sauder/Renate Schloenbach  
**Schäden an Außenmauerwerk aus Naturstein**  
1995. 274 Seiten, 95 Abb., 31 Tab.

Band 10  
Klaus W. Liersch  
**Schäden an Außenwänden mit Asbestzement-, Faserzement- und Schieferplatten**  
1995. 144 Seiten, 86 Abb., 20 Tab.

Band 9  
Helmut Künzel  
**Schäden an Fassadenputzen**  
1994. 120 Seiten, 72 Abb., 3 Tab.

Band 8  
Erich Cziesielski/Michael Bonk  
**Schäden an Abdichtungen in Innenräumen**  
1994. 112 Seiten, 55 Abb., 4 Tab.

Band 7  
Werner Pfefferkorn  
**Rißschäden an Mauerwerk**  
2. durchges. Aufl. 1996. 296 S., 290 Abb., 17 Tab.

Band 6  
Wolfgang Klein  
**Schäden an Fenstern**  
1994. 160 Seiten, 92 Abb., 2 Tab.

Band 5  
Horst Schulze  
**Schäden an Wänden und Decken in Holzbauart**  
1993. 160 Seiten, 140 Abb.

Band 4  
Erich Cziesielski/Thomas Schrepfer  
**Schäden an Industrieböden**  
1993. 128 Seiten, 32 Abb.

Band 3  
Heinz Klopfer  
**Schäden an Sichtbetonflächen**  
1993. 128 Seiten, 77 Abb., 9 Tab.

Band 2  
Gottfried C.O. Lohmeyer  
**Schäden an Flachdächern und Wannern aus wasserundurchlässigem Beton**  
1993. 224 Seiten, 127 Abb., 25 Tab.

Band 1  
Ralf Ruhnau  
**Schäden an Außenwandfugen im Beton- und Mauerwerksbau**  
1992. 136 Seiten, 87 Abb.

Alle Bände fester Einband mit Fadenheftung

Fraunhofer IRB Verlag

Postfach 80 04 69, D-70504 Stuttgart, Telefon (0711) 970-2500, Telefax (07 11) 970-2508

Helmut Künzel

## **Dachdeckung und Dachbelüftung**

Untersuchungsergebnisse und Folgerungen für die Praxis

Seit der Ausgabe der letzten DIN 4108, Teil 3, die erstmals Anforderungen und Hinweise zum Feuchteschutz enthält, haben sich z.T. wesentliche Änderungen ergeben: Die Erhöhung der Wärmedämmanforderungen und die Entwicklung spezieller Dachlüftungssysteme führten dazu, daß bisher bevorzugt zur Ausführung gekommene belüftete Steildach-Konstruktionen Nachteile aufweisen und Ausführungen nach Norm nicht mehr dem heutigen Wissensstand entsprechen.

Eingehende Freiland-Untersuchungen weisen nach, daß durch intensive Belüftung mehr Feuchtigkeit von außen in eine Dachkonstruktion eingebracht werden kann, als Wohnfeuchte abgeführt wird. Deshalb sind nicht belüftete, vollgedämmte und "diffusionsoffene" Steildach-Konstruktionen die bauphysikalisch richtige Lösung. Zudem sind sie einfacher im Aufbau und problemloser in der Ausführung, was zur Schadensvermeidung erheblich beiträgt.

Auch zum Einfluß der Belüftung auf die Dachdeckung durch Ziegel, den Einfluß der Konterlattung und die feuchtetechnischen Eigenschaften der Ziegel werden Aussagen gemacht.



### **Der Autor:**

Dr.-Ing. Helmut Künzel war nach dem Studium der Physik im Fraunhofer-Institut für Bauphysik tätig und leitete die Außenstelle Holzkirchen seit dem Beginn der dortigen Untersuchungen im Jahr 1952 bis 1991. Er hat somit über Jahrzehnte die Entwicklungen und Änderungen des Wärme- und Feuchteschutzes im Bauwesen durch Freiland-Untersuchungen begleitet und hat dabei Erfahrungen und Kenntnisse gewonnen, die unmittelbar in die Praxis umzusetzen sind. In die letzten Jahre seiner Tätigkeit im Institut fielen insbesondere aktuelle Fragen im Zusammenhang mit erhöhter Wärmedämmung, Regenschutz und Denkmalpflege.

ISBN 3-8167-4682-9