

## **Feuchteschutz unbelüfteter Steildächer - Vereinbarkeit von DIN 68800-2 und des Neuentwurfs der DIN 4108-3 aus bauphysikalischer Sicht**

Hartwig M. Künzel

Fraunhofer-Institut für Bauphysik

(Leiter: Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. mult. Dr. E.h. mult. Karl Gertis)

**Vortrag zum Holzbautag der DGfH in Friedrichshafen 5. Mai 2000**

### **Kurzfassung**

Unbelüftete Dachkonstruktionen setzen sich immer mehr durch. Dies ist u.a. auf die ökologischen Vorteile solcher Dächer gegenüber belüfteten Konstruktionen zurückzuführen. Entspricht ein Bauteil der Gefährdungsklasse 0 in der DIN 68800-2, dann kann auf einen chemischen Holzschutz verzichtet werden, da eine rasche Austrocknung eventuell vorhandener Feuchte gewährleistet ist. Bedauerlicherweise besteht eine Diskrepanz zwischen einigen Vorgaben der DIN 68800-2 und dem Neuentwurf der DIN 4108-3, was die Bewertung einer extrem diffusionsoffenen Schicht anbelangt. Zur Sicherheit gegenüber Tauwasser sollen Bauteilschichten bei der Dampfdiffusionsbetrachtung nach Glaser mit Sperrwerten nicht unter 0,1 m angesetzt werden. Das hat zur Folge, dass Dachaufbauten ohne raumseitige Dampfbremsen, wie in der DIN 68800-2 vorgeschlagen nach dem Neuentwurf der DIN 4108-3 nicht ausführbar sind. Auf der anderen Seite enthält auch die DIN 4108-3 in ihrer jetzt gültigen Form Angaben, wie z.B. im Fall dampfdichter Dächer, die aus Feuchteschutzgründen problematisch sind. Mit Hilfe von Ergebnissen aus Freilandversuchen und rechnerischen Simulationen wird gezeigt welche Konstruktionen günstig sind und welchen Einfluss die klimatischen Randbedingungen auf das Feuchteverhalten von unbelüfteten Dächern haben. Dabei wird auch auf das Problem der Sommerkondensation eingegangen, das vor allem bei relativ dampfdichten Dächern oder bei Gebäuden mit niedrigen Raumtemperaturen auftritt und zu Stockflecken auf cellulosehaltigen Bauteilschichten führen kann.

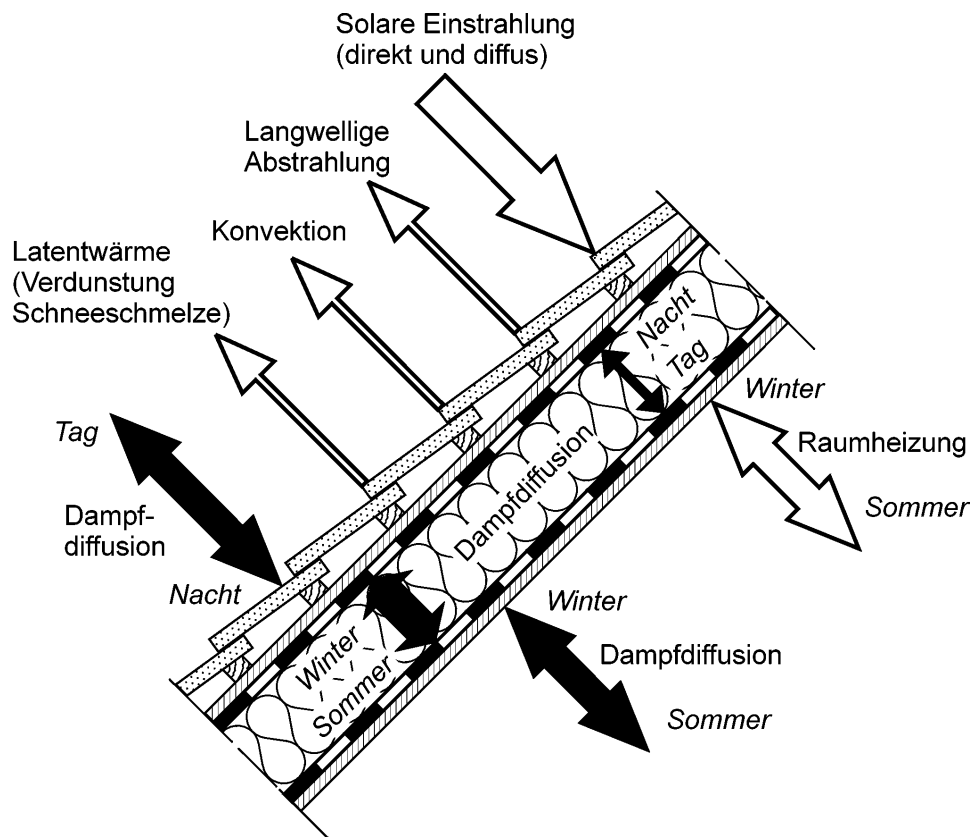
## 1. Einleitung

Genauso, wie bei den Schlagregenschutzvorgaben von Wänden, setzen sich auch bei Dächern zunehmend diffusionsoffene Konstruktionen durch. Ursache dafür ist die Erfahrung, daß eine dauerhafte hermetische Abdichtung gegen Wasser und Wasserdampf unter den Bedingungen am Bau nicht gewährleistet werden kann. Deshalb wird auf das Austrocknungspotential von unplanmäßig eingedrungener Feuchte zunehmend Wert gelegt. Die Feuchte kennt jedoch keine Einbahnstraße, d.h. auf den gleichen Wegen auf denen sie austrocknet kann sie auch in das Bauteil eindringen. Eine funktionstüchtige Konstruktion zeichnet sich deshalb durch eine unter den gegebenen Klimabedingungen ausgeglichene Feuchtebilanz aus. Das bedeutet, daß keine unzulässig hohen Feuchtezustände auftreten und das Austrocknungspotential innerhalb eines Jahres größer ist als das Befeuchtungspotential. Diese Erkenntnis liegt bereits dem Normberechnungsverfahren nach Glaser in der DIN 4108 [1] zugrunde. Was dort jedoch bislang fehlt, ist ein Hinweis darauf, daß das Austrocknungspotential nicht beliebig klein werden sollte. Die Holzschutznorm DIN 68 800 [2] ist dabei diese Lücke zu schließen, indem sie diffusionsoffene Konstruktionen zur Voraussetzung für den Verzicht auf chemischen Holzschutz macht. Allerdings können sich aus dem Streben in dieser Norm nach dem größtmöglichen Trocknungspotential (z.B. durch Verzicht auf die Dampfbremse) Tauwasserprobleme ergeben.

Zur richtigen Auslegung und Interpretation der derzeit gültigen Normen und Richtlinien ist das Verständnis des instationären klimabedingten Temperatur- und Feuchteverhaltens von Dächern unabdingbar. Im folgenden werden die unterschiedlichen Klimawirkungen bei Dächern genauer analysiert und konstruktionsabhängige Empfehlungen gegeben.

## 2. Klimawirkungen bei Dächern

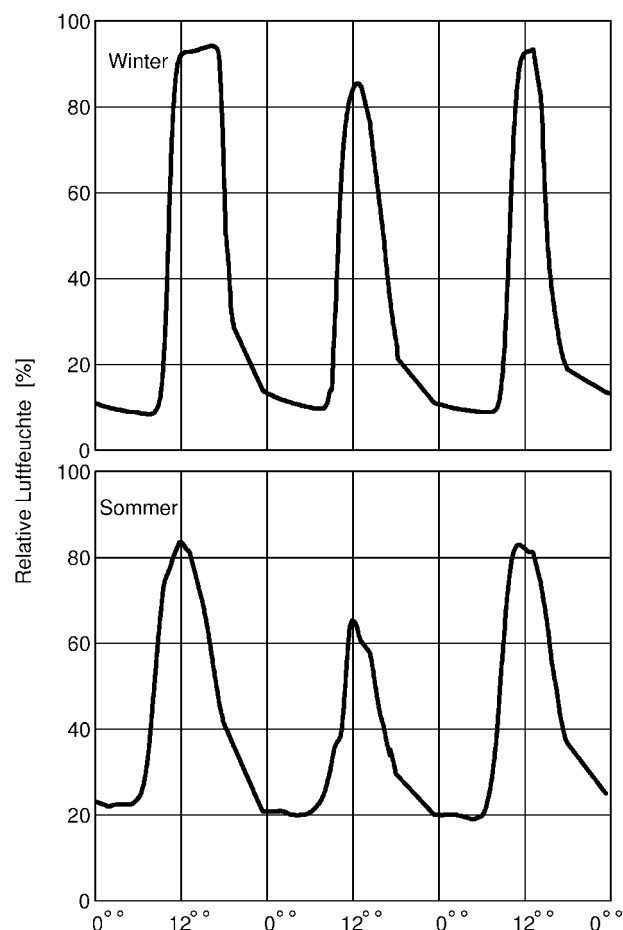
Die Hauptaufgabe eines Daches ist der Schutz vor Niederschlägen, deshalb wird dieser Funktion die größte Bedeutung beigemessen. Daneben wirken



**Bild 1** Schematische Darstellung der wärme- und feuchtetechnischen Einwirkungen und deren bevorzugte Richtungen bei einer Dachkonstruktion.

aber auch andere Klimafaktoren auf Dächer ein, die vom Fachmann meist nicht so bewußt wahrgenommen werden. In Bild 1 sind diese hygrothermischen Einflüsse und ihre bevorzugte Einwirkungsrichtungen schematisch dargestellt. Die meisten Einflußfaktoren unterliegen an der Außenoberfläche tageszeitlichen und raumseitig saisonalen Schwankungen oder sogar Richtungsänderungen. Tagsüber wird der Dacheindeckung durch Sonneneinstrahlung Wärme zugeführt, was zu einer Temperaturerhöhung führt bis sich ein Gleichgewicht mit der Wärmeabgabe nach innen durch Wärmeleitung und nach außen durch langwellige Abstrahlung, Konvektion und eventuell Latentwärmeeffekte bei Phasenumwandlungen einstellt. Die erhöhte Außenoberflächentemperatur bedingt eine Dampfdiffusion weg von der Oberfläche ins Innere des Daches bzw. eine Feuchteabgabe an die Außenluft. Bereits vor

Sonnenuntergang, wenn die solare Einstrahlung zurüchgeht kann die langwellige Abstrahlung vor allem an klaren Tagen zu einer deutlichen Unterkühlung und damit einer Betauung des Daches führen. Bei einer mittleren Betauungszeit von ca. 300 Stunden pro Monat werden der Außenoberfläche von gut gedämmten Dächern dadurch monatlich zwischen 2 kg/m<sup>2</sup> (Winter) und 8 kg/m<sup>2</sup> (Sommer) Tauwasser zugeführt. Bei Belüftung des Daches können entsprechende Tauwassermengen auch in der Belüftungsebene anfallen und zu einer deutlichen Befeuchtung der Sparren führen, wie in [3] anhand von Freilandmessungen gezeigt wurde.

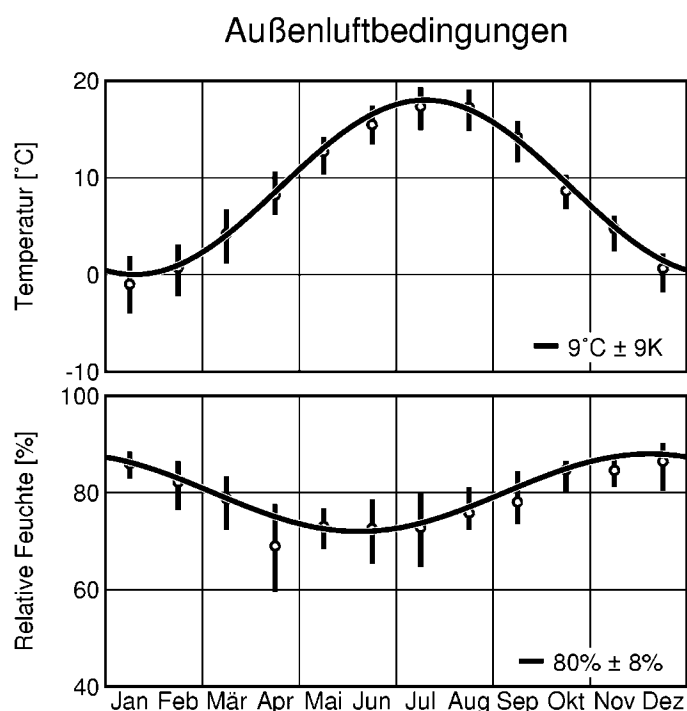


**Bild 2** In einer Süddachhälfte gemessene Verläufe der relativen Luftfeuchte zwischen Dampfbremse und Mineralwolledämmung an jeweils 3 Tagen im Februar und im Juli.

Gleichzeitig führt die Abkühlung der Dachoberfläche zu einer Umkehr der Dampfdiffusion im Inneren des Dachaufbaus, wie am Beispiel von Untersuchungen an einem südorientierten Blechdach in Bild 2 zu sehen. Dort sind die zwischen Dampfbremse und Mineralwollgedämmung gemessenen Verläufe der relative Luftfeuchte an jeweils drei Tagen im Sommer und im Winter aufgezeichnet [4]. Die größere Schwankungsbreite im Winter zwischen 10 % r.F. nachts und über 90 % r.F. am Tag ist durch die höheren tageszeitlichen Temperaturunterschiede (-10 °C bis 70 °C) an der Dachoberfläche im Winter zu erklären. Die Verläufe zeigen deutlich die starken Feuchteumverteilungen, die in einem Dach durch Dampfdiffusion auftreten können. In der Regel ist jedoch der nächtliche Diffusionsstrom im Winter größer als die sonnenbedingte Umkehrdiffusion, so daß in der Gesamtbilanz die Feuchte im Winter nach außen wandert. Im Sommer liegen die Verhältnisse bei normalen Raumklimabedingungen gerade umgekehrt, wie Bild 1 zu entnehmen ist.

## 2.1 Außenklima

Zur Quantifizierung der oben dargestellten Klimawirkungen sind örtlich repräsentative meteorologische Daten zu Temperatur, Strahlung, relativer Luftfeuchte und Niederschlag erforderlich. Solche Daten sind beispielsweise in den deutschen Test-Referenz-Jahren [5] in Form von Stundenmittelwerten enthalten. Die Temperatur und Feuchteverläufe entsprechen den langjährigen Monatsmittelwerten in den jeweiligen Regionen. Sie sind für alle bisher vorhandenen (ohne neue Bundesländer) Datensätze in Bild 3 dargestellt. Die Balken zeigen die regionalen Schwankungsbreite und die Kreise die über alle Datensätze gemittelten Monatswerte. Sowohl der mittlere Jahresgang der Temperatur, als auch der der Feuchte lassen sich gut durch Sinusfunktionen annähern. Die mittlere Temperatur für Deutschland beträgt demnach 9° C mit einer saisonalen Schwankungsbreite in gleicher Größenordnung ( $\pm 9$  K) und die relative Feuchte  $80 \% \pm 8 \%$ . Für die Oberfläche von Dächern sind allerdings wegen der solaren Einstrahlung Strahlung in der Regel höhere Temperaturen anzusetzen.

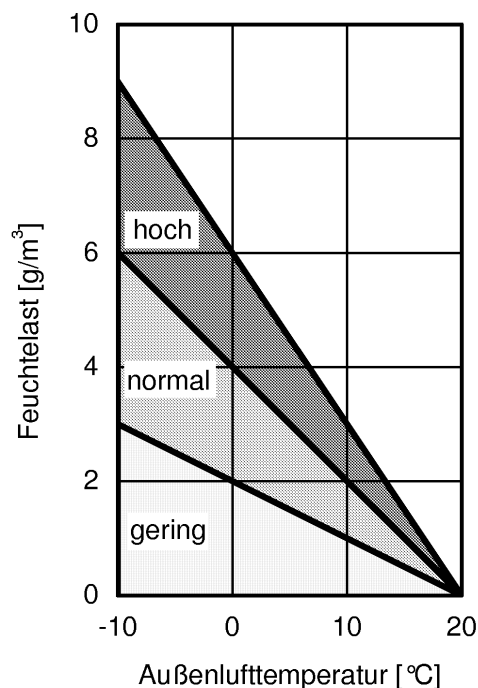


**Bild 3** Aus den deutschen Test-Referenz-Jahren [5] ermittelte Bereiche der Monatsmittelwerte von Temperatur und relativer Luftfeuchte für die unterschiedlichen Klimaregionen in den alten Bundesländern (Balken) und deren Durchschnittswerte (Hohlkreise). Diese Durchschnittswerte können durch die dargestellten Sinusfunktionen (durchgezogene Linien) approximiert werden.

## 2.2 Raumklima

Für das Raumklima gibt es bislang keine standardisierten Datensätze, die über die saisonal konstanten Randbedingungen in der DIN 4108 [1] hinausgehen. Deshalb wird hier auf eigene Untersuchungen [6] zurückgegriffen. Bei einer typischen Raumlufttemperatur von  $20^{\circ}\text{C}$  bis  $22^{\circ}\text{C}$  ist die relative Feuchte in Abhängigkeit von der standortbedingten Außenluftfeuchte sowie der Feuchtelast im Raum zu ermitteln. Die Feuchtelast, die sich aus dem Quotienten von Feuchteproduktion und Luftwechselzahl ergibt, ist die Differenz zwischen der Wasserdampfkonzentration im Raum und in der Außenluft. Wie in [6] gezeigt, besteht ein näherungsweise linearer Zusammenhang zwischen der Außenlufttemperatur und der Feuchtelast in Räumen, der sich vor allem dadurch erklärt, daß bei höheren Temperaturen

mehr gelüftet wird. Der Anstieg der Feuchtelast bei sinkenden Außentemperaturen ist abhängig von der Nutzung des betrachteten Raumes. Wie in Bild 4 anhand von 3 Bereichen dargestellt, kann zwischen einer geringen Feuchtelast (z.B. Nutzung als Büroraum), einer normalen Feuchtelast (Wohnraumnutzung) und einer hohen Feuchtelast (außergewöhnliche Feuchteproduktion) unterschieden werden. Zur Berechnung der Raumlufftfeuchte sollte für den jeweiligen Fall immer der obere Grenzwert (durchgezogene Linie) eines Bereiches genommen werden, wobei der Grenzwert des Normalbereiches alle in [6] gemessenen Feuchtelasten, auch die von "Feuchträumen" wie Küche und Bad, einschließt. Zur Vereinfachung werden die Raumlufftfeuchteverhältnisse zweckmäßigerweise durch Sinusfunktionen approximiert. Je nach Feuchtelast ergeben sich somit winterliche Minima von 30 %, 40 % und 50 % relativer Feuchte, während das sommerliche Maximum wegen der bei hohen Außenlufttemperaturen zu Null gehenden Feuchtelast in allen Fällen bei 60 % liegt.

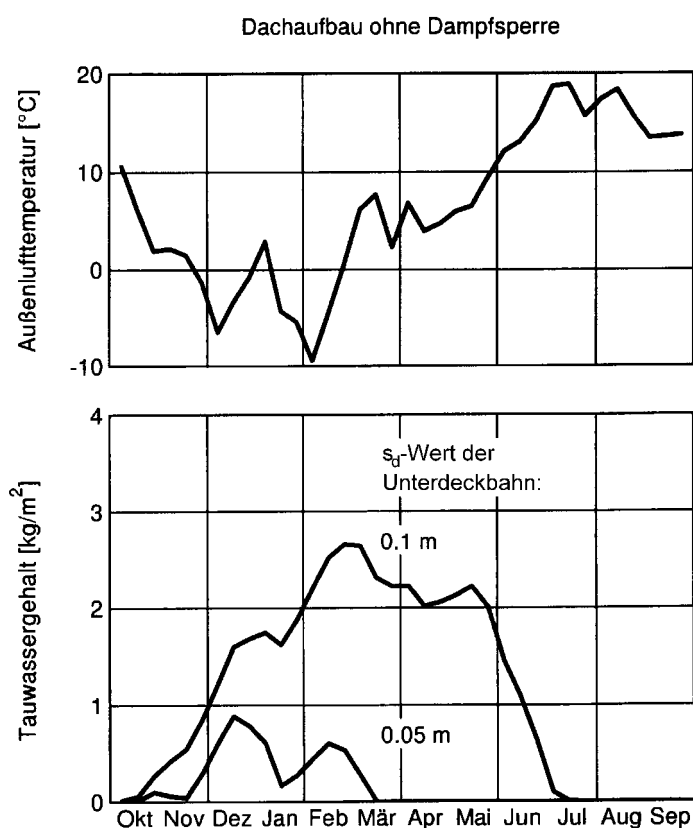


**Bild 4** Feuchtelastbereiche in beheizten, nicht klimatisierten Räumen in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur nach [6].

### 3. Diffusionsoffene Dächer

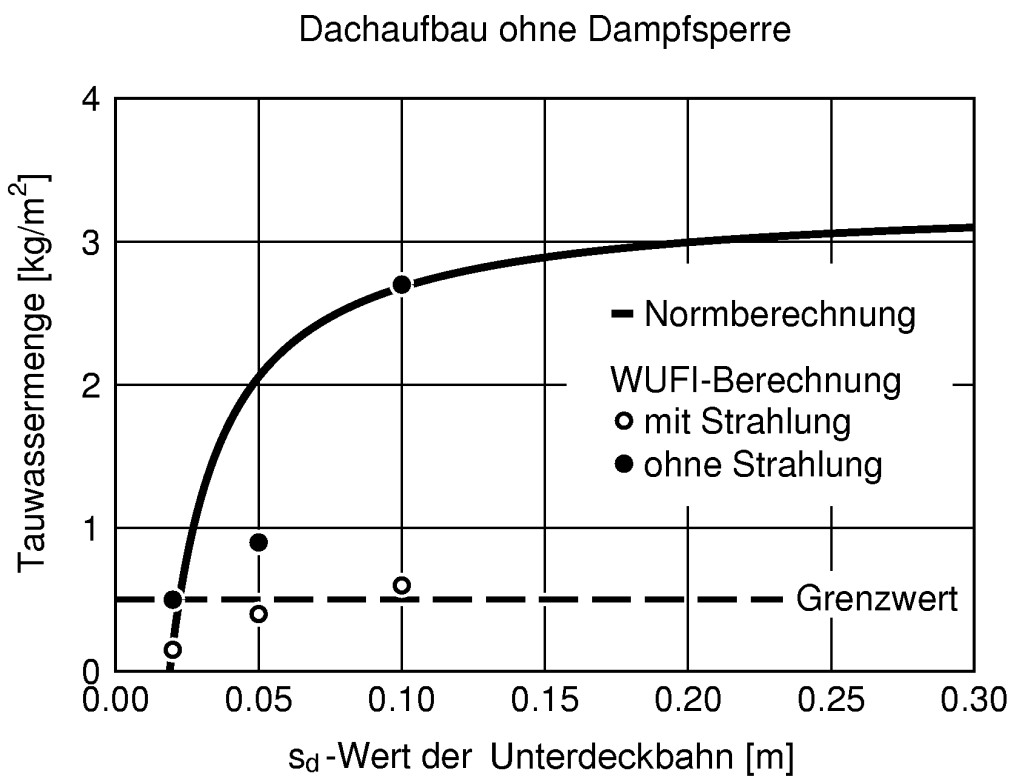
Unter diffusionsoffenen Dächern versteht man Schrägdächer mit kleinformatiger Eindeckung (Eindeckung ist luftumspült) und diffusionsoffenem Unterdach ( $s_d < 0,3$  m gemäß Dachdeckerrichtlinien [7] bzw.  $s_d < 0,2$  m nach DIN 68800-2 [2]) z.B. in Form einer Unterdeckbahn. Gleichzeitig sollte innen eine Dampfbremse mit einem  $s_d$ -Wert  $> 2$  m eingebaut sein. Solche Dächer haben sich in der Praxis nachweislich bewährt und gelten heute als Standardkonstruktionen. Bei einer sinnvollen Abstimmung der Diffusionsperrwerte ( $s_d$ -Werte) von Unterdach und Dampfbremse sind im Winter keine kritischen Tauwassersituationen zu befürchten, solange die Raumluftfeuchte nicht durch Konvektion in das Dach gelangt. Gemäß DIN 68800-2 [2] kann beim Einsatz einer extrem diffusionsoffener Unterdeckung ( $s_d < 0,02$  m) auch auf die Dampfsperre verzichtet werden. Diese Vorgabe basiert auf Glaser-Berechnungen in [8]. Mit Hilfe von WUFI-Berechnungen wurde überprüft, ob bei solche Konstruktionen auch unter Holzkirchner Verhältnissen die Tauwassermenge unkritisch bleibt [9]. Am Beispiel eines verschatteten Steildaches mit raumseitiger Gipskartonbeplankung ohne Dampfsperre ist der Jahresverlauf des Tauwassergehaltes im Dach in Bild 5 unten dargestellt. Der  $s_d$ -Wert der Unterdeckung beträgt dabei 0,05 m bzw. 0,1 m. Im gleichen Bild darüber ist der Verlauf der Außenluft in Form von gemessenen Dekadenmittelwerten zu sehen. Ein Vergleich zwischen Temperatur und Tauwassergehalt zeigt, daß Außenlufttemperaturen um den Gefrierpunkt bei  $s_d = 0,1$  m der Unterdeckung immer Tauwasserbildung zur Folge haben, während bei  $s_d = 0,05$  m in diesem Temperaturbereich, je nach Feuchtebedingungen auch Trocknungsphasen einsetzen können.





**Bild 5** Berechnete Jahresverläufe von Außenlufttemperatur (oben) und Tauwassermenge in einem Dach ohne Dampfsperre bei einem  $s_d$ -Wert der Unterspannbahn von 0,1 und 0,05 m. In der Darstellung wurden Dekadenmittelwerte zur besseren Anschauung verwendet. Die Berechnung wurde mit Stundenmittelwerten ohne Berücksichtigung der kurzweiligen Strahlung durchgeführt.

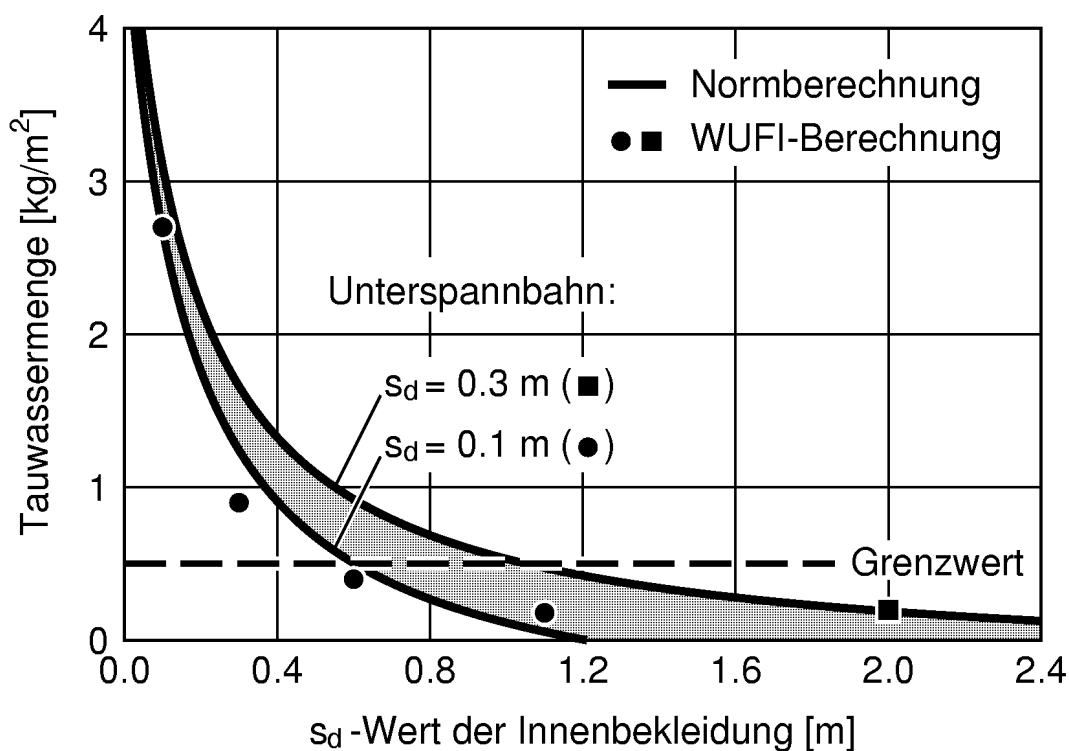
Durch die zwischenzeitliche Austrocknung ist der Tauwassergehalt während der Heizperiode bei der diffusionsoffeneren Variante deutlich geringer. Der maximal auftretende Tauwassergehalt wird im folgenden mit den nach Glaser berechneten Tauwassermengen verglichen. Bild 6 zeigt die nach Glaser berechnete Tauwassermenge in der Dachkonstruktion ohne Dampfsperre in Abhängigkeit vom  $s_d$ -Wert der Unterdeckung als durchgezogene Linie. Die Ergebnisse der WUFI-Berechnungen sind im selben Bild als Kreise dargestellt, wobei die Vollkreise ohne Strahlungseinfluß und die Hohlkreise unter Berücksichtigung von Strahlungsgewinnen einer nach Süden orientierten Dachfläche errechnet wurden.



**Bild 6** Abhängigkeit der maximalen Tauwassermenge in einem vollgedämmten Steildach ohne Dampfsperre vom  $s_d$ -Wert des Unterdaches. Die durchgezogene Linie beruht auf Ergebnissen des Glaserverfahrens in [1]. Die Vollkreise und Hohlkreise bezeichnen Ergebnisse der WUFI-Berechnungen mit und ohne kurzwelligen Strahlungseinfluß.

Der Vergleich der Ergebnisse beider Berechnungsmethoden ohne Strahlungseinflüsse – beim Normberechnungsverfahren nach Glaser werden eventuelle Strahlungsgewinne des Daches in der Tauperiode aus Sicherheitsgründen nicht berücksichtigt – zeigt eine recht gute Übereinstimmung. Dies ist bei Leichtkonstruktionen zu erwarten, wenn die verwendeten Randbedingungen eine vergleichbare Wirkung auf die Dampfdiffusion im Bauteil haben. Legt man den Grenzwert für die zulässige Tauwassermenge für kapillar nicht leitende Schichten in [1] von  $0,5 \text{ kg/m}^2$  (in Bild 6 als gestrichelte Linie eingezeichnet) zugrunde, zeigt sich in Übereinstimmung beider Rechenverfahren, daß der  $s_d$ -Wert der Unterspannbahn einen Wert von  $0,02 \text{ m}$  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.

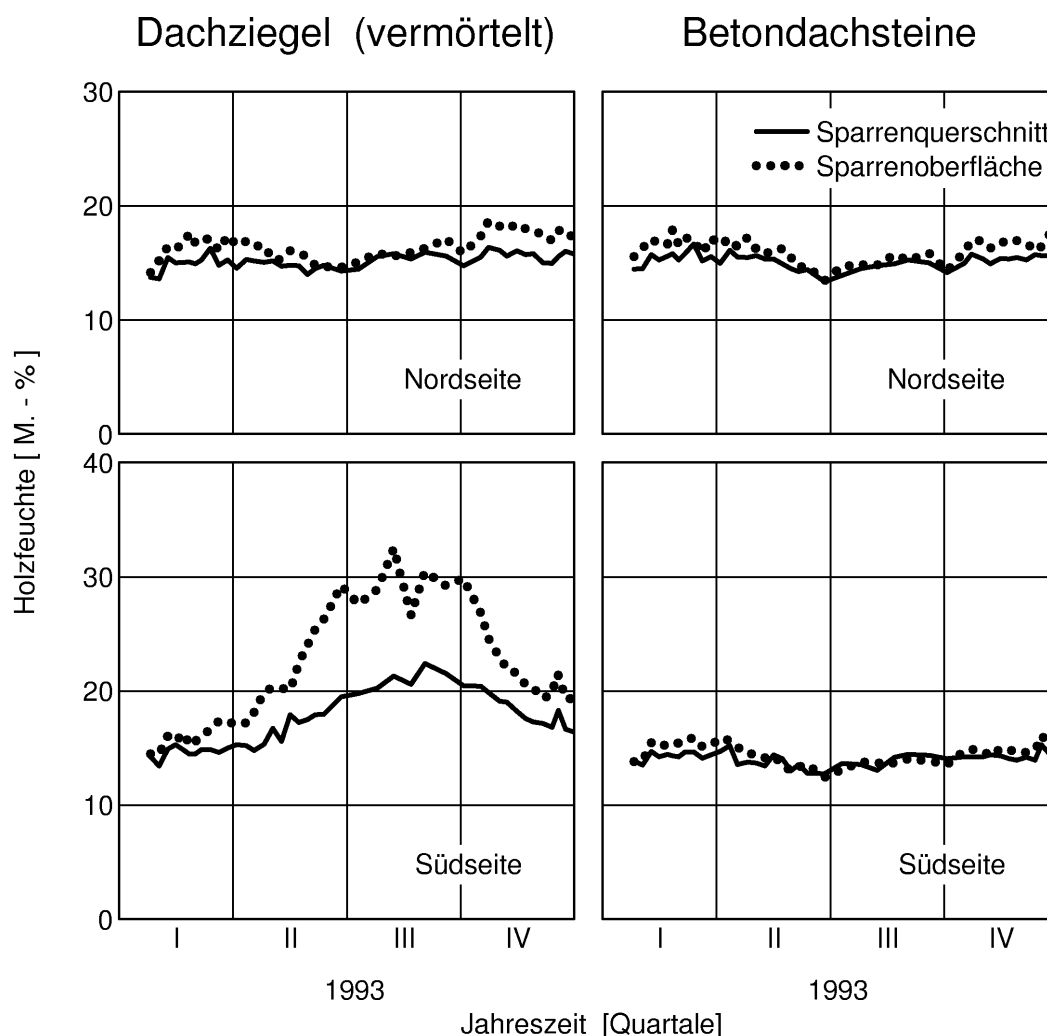


**Bild 7** Abhängigkeit der höchsten, während der Heizperiode auftretenden Tauwassermenge in einer diffusionsoffenen Dachkonstruktion vom  $s_d$ -Wert der Innenbekleidung. Der mit dem Glaserverfahren berechnete Bereich für dampfdurchlässige Unterspannbahnen ( $s_d$ -Wert: 0,1 bis 0,3 m) ist schraffiert 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.

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 [2]. Dabei wurde jedoch davon ausgegangen, daß zwischen der Vordeckung 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, wird in der Neufassung der DIN 4108-3 als unterer Bemessungswert ein  $s_d$ -Wert von 0,1 m festgelegt. Dann muß aber, wie Bild 6 zeigt, eine dichtere Innenbekleidung, als dies Gipskartonplatten darstellen, verwendet werden. In Bild 7 ist die Abhängigkeit der Tauwassermenge nach der Tauperiode vom  $s_d$ -Wert der Innenbekleidung für Dachkonstruktionen mit äußeren Dampfdiffusionswiderständen zwischen  $s_d = 0,1$  m 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 Glaser-Verfahrens 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.

Diffusionsoffene Dächer sind allerdings nicht in allen Fällen die beste Lösung. Es mehren sich die Anzeichen, daß unter bestimmten Umständen im Sommer auch Problemen auftreten können. Einige Schadensfälle zeigen, daß in unbeheizten oder temperierten Gebäuden mit hoher thermisch wirksamer Masse, wie z.B. alten Kirchen oder Schlössern an der Dampfbremse der Taupunkt der Außenluft unterschritten werden kann. Durch die hohe Dampfdurchlässigkeit des Unterdaches wird die Dampfdiffusion von außen praktisch nicht behindert, so daß an der Innenseite ablaufendes Tauwasser oder Schimmelpilzbildung nicht auszuschließen sind. Ein weiteres Beispiel für sommerliche Tauwasserprobleme auch bei normalen Raumtemperaturen zeigt

das Ergebnis einer Freilanduntersuchung in Holzkirchen, bei der ein Satteldach



**Bild 8** Gemessene Holzfeuchteverläufe an den Sparren eines bis zur Eindeckung gedämmten Versuchsdaches mit wenig saugfähigen Betondachsteinen bzw. mit vermörtelten Ziegeln traditioneller Machart.

mit Zellulosefasern bis unter die Eindeckung gedämmt wurde. In Bild 8 sind die gemessenen Holzfeuchteverläufe der Sparren auf der Nord- und Südseite des Daches in Abhängigkeit von der Eindeckung dargestellt. Während die Sparren bei der Eindeckung mit Betondachsteinen das ganze Jahr über trocken bleiben, steigt die Sparrenfeuchte unter der vermörtelten Ziegeldeckung im Sommer auf der Südseite deutlich über 20 M.-%. Unter

solchen Feuchtebedingungen schreiten bei hochsommerlichen Temperaturen Fäulnisprozesse rasch voran, was langfristig die Standsicherheit des Daches gefährdet. Ausgelöst wird das Problem durch die im Vergleich zu den Betondachsteinen höhere Wasseraufnahme der Ziegel bei Niederschlag. Scheint nach einem Regenguß die Sonne auf das Dach geben die Dachziegel ihre Feuchte nicht nur nach außen, sondern durch Dampfdiffusion auch in das Dach hinein ab. Um einen spürbaren Effekt zu erzielen muß die Oberflächentemperatur allerdings deutlich über der Raumtemperatur liegen, was in diesem Beispiel nur auf der Südseite der Fall ist.

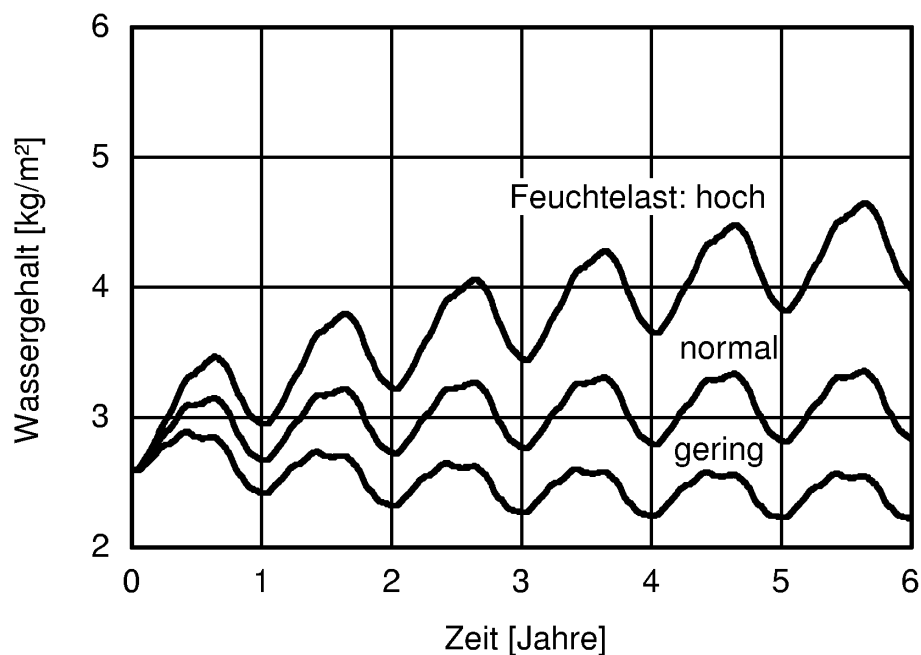
#### **4. Dampfdichte Dächer**

Zu den außen dampfdichten Dächern gehören unbelüftete Flachdächer oder unbelüftete Steildächer mit dichtem Unterdach (z.B. Bitumenpappe auf Schalung) bzw. dichter Eindeckung (z.B. Blech- oder Schieferdeckung). Für solche Dächer sieht die DIN 4108-3 [1] bisher eine Dampfsperre mit einem  $s_d$ -Wert  $> 100$  m vor. Diese Ausführung ist jedoch für Holzkonstruktionen wenig geeignet, da bereits vorhandene Feuchte bzw. durch Fehlstellen oder einbindende Bauteile eingedrungene Feuchte langfristig im Dach gefangen bleibt und Schäden verursachen kann [10]. Deshalb ist es hier vorzuziehen, mit Dampfbremsen zu arbeiten, deren  $s_d$ -Wert im Bereich von 1 bis 2 m liegt, damit die eventuell im Dach vorhandene Feuchte zum Raum hin austrocknen kann.

Dabei muß aber geprüft werden, inwieweit das im Winter anfallende Tauwasser im Sommer wieder abgeführt werden kann. Das Glaser-Verfahren ist für eine solche Prüfung nur sehr bedingt geeignet, da die pauschalierten Randbedingungen den tatsächlichen Gegebenheiten nicht gerecht werden können. Im Gegensatz zur landläufigen Meinung liegen die mit diesem Verfahren erhaltenen Ergebnisse auch nicht immer auf der sicheren Seite, wie in [11] dargelegt wird. Deshalb wurde das im folgenden dargestellte Feuchteverhalten eines solchen Daches in Abhängigkeit von den äußeren und inneren Klimabedingungen ebenfalls mit dem instationären Berechnungsverfahren WUFI ermittelt [12].

Den Standardfall dieser Berechnung von dem aus die einzelnen Parameter variiert werden, bildet ein nordorientiertes außen dampfdichtes Dach mit einem Neigungswinkel von  $50^\circ$ . Die Dampfbremse hat einen  $s_d$ -Wert von 2 m und befindet sich hinter einer dampfdurchlässigen Innenbeplankung aus Gipskarton. Als Standardklima werden Holzkirchner Wetterdaten und normale Raumklimabedingungen eingesetzt. Die Berechnungen beginnen jeweils im Oktober und werden über einen Zeitraum von sechs Jahren für den Regelquerschnitt der Dachkonstruktion durchgeführt. Der Einfluß einer eventuellen Schneebedeckung des Daches wird nicht berücksichtigt. Ausgehend von einer Anfangsfeuchte im Dach, die der Ausgleichsfeuchte der beteiligten Baustoffe bei 80 % relativer Luftfeuchte entspricht, werden durch Parameterstudien die Einflüsse des Außen- und Innenklimas und der Orientierung bzw. Neigung auf die langfristige Feuchtesituation im Dach ermittelt. Als Außenklima werden neben den Holzkirchner Daten die deutschen Test-Referenz-Jahr-Datensätze [5] verwendet.

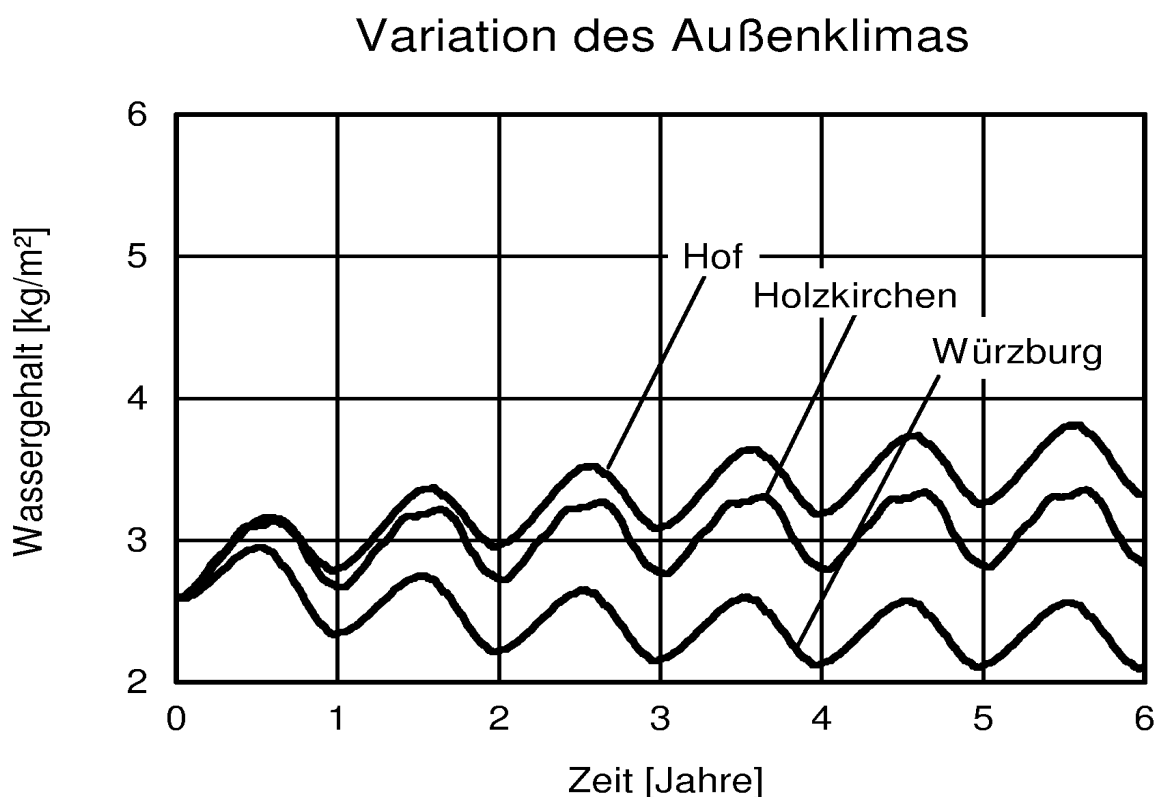
### Variation des Raumklimas



**Bild 9** Verläufe des Gesamtwassergehaltes im Steildach bei unterschiedlicher Feuchtelast im Raum.

Die Auswirkungen des Raumklimas auf die Feuchtesituation im Dach sind für den Standardfall anhand der Wassergehaltsverläufe in Bild 9 zu erkennen. Während eine geringe Feuchtelast im Raum langfristig keine Wassergehaltszunahme zur Folge hat, führt eine hohe Feuchtelast rasch zu kritischen Verhältnissen. Allerdings muß hierbei beachtet werden, daß in ausgebauten Dachräumen nur äußerst selten hohe Feuchtelasten auftreten werden, da selbst in intensiv genutzten Wohnräumen in der Regel Luftfeuchteverhältnisse herrschen, die im Bereich der hier als normal definierten Feuchtelast liegen.

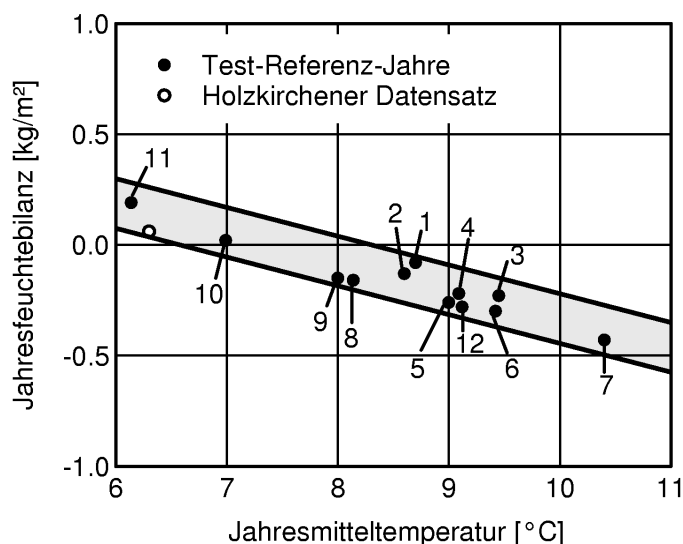
Der Einfluß des Außenklimas auf das Dach ist anhand der Feuchteverläufe, berechnet mit den TRY-Datensätzen von Würzburg und Hof, im Vergleich zum Standardfall mit Holzkirchner Klimadaten in Bild 10 dargestellt. Unter Würzburger Klimaverhältnissen trocknet das Dach gegenüber seiner Anfangs



**Bild 10** Verläufe des Gesamtwassergehaltes im Steildach bei unterschiedlichen standortbedingten Außenklimaverhältnissen.



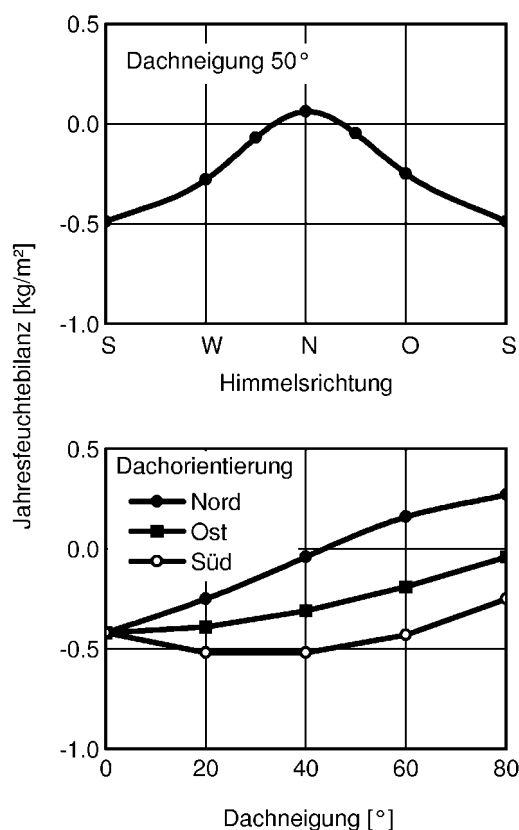
feuchte aus, während für Holzkirchen und Hof eine Feuchtezunahme über den Zeitraum von sechs Jahren auftritt. Da die Feuchteakkumulation im Verlauf der Jahre relativ gleichmäßig verläuft, wobei sich bereits nach einem Jahr abzeichnet, ob der Wassergehalt im Dach langfristig zu- oder abnimmt, erscheint es sinnvoll, das Feuchteverhalten eines Bauteils anhand der Jahresfeuchtebilanz (Differenz aus Wassergehalt nach einem Jahr und Anfangszustand) zu beurteilen. Ist diese Bilanz positiv, findet eine Feuchteakkumulation statt, ist sie negativ, trocknet das Bauteil aus. Trägt man die Jahresfeuchtebilanzen aus Berechnungen mit den 12 verschiedenen TRY-Datensätzen über der Jahresmitteltemperatur der einzelnen Klimaregionen auf, erhält man, wie in Bild 11 zu sehen, einen näherungsweise linearen Zusammenhang. Nur für Hof (Klimaregion nördliche und westliche Mittelgebirge), Stötten (Klimaregion Schwarzwald, Schwäbische und Fränkische Alb) und Holzkirchen ergibt sich eine kritische Feuchtebilanz. Je wärmer die Klimaregion, um so stärker nimmt der Wassergehalt im Dach ab.



**Bild 11** Zusammenhang zwischen der errechneten Jahresfeuchtebilanz im Steildach und der Jahresmitteltemperatur der zugrundegelegten Klimadatensätze. Die Numerierung der Test-Referenz-Jahre entspricht den Vorgaben in [5]:

- |               |                  |                    |
|---------------|------------------|--------------------|
| 1 Bremerhaven | 5 Würzburg       | 9 München          |
| 2 Hannover    | 6 Frankfurt/Main | 10 Stötten         |
| 3 Essen       | 7 Freiburg       | 11 Hof             |
| 4 Trier       | 8 Augsburg       | 12 Friedrichshafen |

Mindestens ebenso deutlich wie die Klimaregion wirkt sich die Ausrichtung der Dachoberfläche auf die Jahresfeuchtebilanz des Daches aus. Bild 12 zeigt ausgehend vom Standardfall den Einfluß von Himmelsrichtung (oben) und Neigung auf das Feuchteverhalten. Bedingt durch höhere Oberflächentemperaturen aufgrund der größeren Einstrahlung führt eine Verkleinerung der Dachneigung oder des Azimutes zu deutlich günstigeren Trocknungsbedingungen mit der Folge, daß es in südorientierten oder in relativ flachen Dachkonstruktionen nicht zu einer Feuchteakkumulation kommen kann, so lange keine Verschattung durch Bäume oder Nachbargebäude stattfindet. Bei freien Dachflächen in West- oder Ostrichtung ist die Gefahr einer Feuchteakkumulation ebenfalls relativ gering, wobei die Westseite aufgrund der höheren Außenlufttemperaturen am Nachmittag noch etwas günstiger ist als die Ostseite.



**Bild 12** Jahresfeuchtebilanz im Steildach bei unterschiedlicher Ausrichtung der unverschatteten Dachoberfläche.

## 5. **Schlußfolgerungen**

Diffusionsoffene Dächer sind von den wenigen Ausnahmen, bei denen die Sommerkondensation eine Rolle spielt abgesehen, feuchtetechnisch unbedenklich. Auf eine Dampfbremse sollte jedoch grundsätzlich nicht verzichtet werden. Ansonsten sind bei diesen Konstruktionen die klimatischen Einflußfaktoren unter mitteleuropäischen Bedingungen von geringerer Bedeutung.

Bei außen dampfdichten Dächern sind die untersuchten Einflußfaktoren Außenklima, Raumklima und Ausrichtung in bezug auf das langfristige Feuchteverhalten von vergleichbarer Bedeutung, so daß für die Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit keiner dieser Faktoren vernachlässigt werden sollte. Trotz der Komplexität der hygrothermischen Zusammenhänge erscheint es in folgenden Fällen möglich, ein außen dichtes Steildach ohne Belüftung auszuführen:

- bei flachgeneigten ( $< 20^\circ$ ) Dächern (hier ist eine Belüftung ohnehin meist problematisch),
- bei steilgeneigten Dachflächen ohne ausgeprägte Nordorientierung und ohne längerfristige Verschattung durch die umgebende Bebauung,
- bei nachweislich geringer Feuchtelast im ausgebauten Dachgeschoß, z.B. Nutzung als Büro- oder Schlafräume (bei Neubau nicht empfehlenswert).

Die Feuchtesicherheit solcher Dächern kann durch den Einsatz spezieller Dampfbremsen, die die sommerliche Austrocknung fördern, wie z.B. eine feuchteadaptive [13] oder wasserduchlässige [14] Dampfbremse weiter verbessert werden. Dampfsperren mit hohem  $s_d$ -Wert sollten nicht verwendet werden.

## 5. Literatur

- [1] DIN 4108, Teil 3. Wärmeschutz im Hochbau, klimabedingter Feuchteschutz. August 1981.
- [2] DIN 68800, Teil 2: Holzschutz, vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau. Mai 1996.
- [3] Künzel, H.: Steildächer; die Normvorschriften sind überholt. Bundesbaublatt 46 (1997), H. 5, S. 312-316.
- [4] Künzel, H.M. und Großkinsky, Th.: Feuchtesicherheit unbelüfteter Blechdächer; auf die Dampfbremse kommt es an! wksb 43 (1998), H. 42, S. 22-27.
- [5] Blümel, K. et al.: Die Entwicklung von Testreferenzjahren (TRY) für Klimaregionen der Bundesrepublik Deutschland. Bericht des Bundesministeriums für Forschung und Technologie BMFT-FB-T - 86-051, 1986.
- [6] Künzel, H.M.: Raumlufthverhältnisse in Wohnräumen. IBP-Mitteilung 24 (1997) Nr. 314.
- [7] Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks: Merkblatt Wärmeschutz bei Dächern. September 1997.
- [8] Schulze, H.: Dampfsperren in Holzbauteilen - Erfordernis und Risiko. Bauphysik 18 (1996), H. 6, S. 175-183.
- [9] Künzel, H.M.: Kann bei vollgedämmten, nach außen diffusionsoffenen Steildachkonstruktionen auf eine Dampfbremse verzichtet werden? Bauphysik 18 (1996), H. 1, S. 7-10.
- [10] Künzel, H.M.: Tauwasserschäden im Dach aufgrund von Dampfdiffusion durch angrenzendes Mauerwerk. wksb 41 (1996), H. 37, S. 334-36.
- [11] Künzel, H.M.: Dampfdiffusionsberechnung nach Glaser – quo vadis? IBP-Mitteilung 26 (1999) Nr. 355.
- [12] Künzel, H.M.: Außen dampfdicht, vollgedämmt? bauen mit holz 100 (1998), H. 8, S. 36-41.
- [13] Künzel, H.M.: Feuchtesichere Altbausanierung mit neuartiger Dampfbremse. Bundesbaublatt 45 (1996), H. 10, S. 798-801.
- [14] Sagelsdorf, R. und Rode, C.: Eine wasserdurchlässige Dampfbremse als Hygrodiode. Schweizer Ingenieur und Architekt (SI+A) 1997, Nr. 36.