

# Bedeutung von Klimabedingungen und Diffusionseigenschaften für die Feuchtesicherheit voll gedämmter Altbaudächer

Dr.-Ing. Hartwig M. Künzel  
Fraunhofer-Institut für Bauphysik



Dr.-Ing. Hartwig M. Künzel, geb. am 15. Februar 1959, Studium des Chemieingenieurwesens an der Universität Erlangen-Nürnberg. Seit 1987 wiss. Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Bauphysik in Holzkirchen. Promotion an der Universität Stuttgart am Lehrstuhl für Konstruktive Bauphysik. Seit 1994 Leiter der Abteilung Hygrothermik am Fraunhofer-Institut für Bauphysik in Holzkirchen.

## Zusammenfassung

Die nachträgliche Dämmung von intakten Dächern im Altbaubereich erfordert vor allem bei Konstruktionen mit dampfdichtem Unterdach eine genaue Betrachtung der Feuchtesicherheit. Da die unbelüftete Ausführung einer Dämmmaßnahme einfacher und wärmetechnisch günstiger ist, sollte sie, wenn möglich, einer belüfteten Konstruktion vorgezogen werden. Voraussetzung ist jedoch, daß das unbelüftete Dach zur Raumseite hin ein ausreichendes Trocknungspotential besitzt, damit eventuell eingedrungene Feuchte nicht langfristig im Querschnitt verbleibt. Dampfsperren sind deshalb ungeeignet und sollten durch Dampfbremsen mit angepaßtem Diffusionssperwert ersetzt werden. Durch rechnerische Untersuchungen wird der Einfluß des Außenklimas, der Dachausrichtung und des Raumklimas auf das Feuchteverhalten eines unbelüfteten Steildaches in Abhängigkeit von der verwendeten Dampfbremse bestimmt. Die Ergebnisse zeigen, daß beim Einsatz der feuchteadaptiven Dampfbremse unter allen untersuchten Bedingungen eine hohe Feuchtesicherheit besteht. Unter günstigen Randbedingungen ist jedoch auch mit einer konventionellen Dampfbremse ( $s_d$ -Wert = 2 m) eine Sparrenvoldämmung aus feuchtetechnischer Sicht risikolos möglich.

## 1. Einleitung

Das größte Potential zur Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes in Deutschland liegt, wie von Gertis [1] bereits 1991 aufgezeigt, in der Verbesserung des Wärmeschutzes im Altbaubereich. Dies stellt auch eine zunehmende Herausforderung an die Bauphysik dar, da im Neubau praktizierte Dämmmaßnahmen häufig aus baulichen Gegebenheiten nicht durchführbar oder zu teuer sind. Ein Beispiel ist die nachträgliche Zwischensparrendämmung von Steildächern. Im süddeutschen Raum haben diese Dächer häufig relativ dampfdichte Unterdeckungen (z.B. Bitumenpappe auf Holzschalung), so daß die Dämmung entweder belüftet werden muß oder die Dampfdiffusionsvorgänge genauer zu analysieren sind. Da eine Belüftung nicht nur eine Reduzierung der Dämmschichtdicke zur Folge hat, sondern auch den Einsatz von chemischem Holzschutz wegen der Zugangsmöglichkeit von Insekten erfordert [2], sollte, wenn möglich, darauf verzichtet werden. Eine Sparrenvollämmung unter Verwendung einer Dampfsperre ( $s_d \geq 100$  m) ist zwar normgerecht [3], aber nicht praxisgerecht, da bereits vorhandene Feuchte bzw. durch Fehlstellen oder einbindende Bauteile eindringende Feuchte langfristig im Dach gefangen bleibt und Schäden verursachen kann [4] [5]. Deshalb ist es vorzuziehen, mit Dampfbremsen zu arbeiten, deren  $s_d$ -Wert deutlich unter 10 m liegt, damit die eventuell vorhandene Feuchte zum Raum hin austrocknen kann.

Dabei muß aber geprüft werden, inwieweit das im Winter anfallende Tauwasser im Sommer wieder abgeführt werden kann, d.h. die Feuchtebilanz muß so sein, daß die Trocknung die Befeuchtung überwiegt und es zu keiner Feuchteakkumulation im Bauteil kommt. Das Normberechnungsverfahren nach Glaser [3] 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 [6] dargelegt wird. Deshalb wird im folgenden das Feuchteverhalten eines solchen Daches mit Zellulosefaserdämmung in Abhängigkeit von den äußeren und inneren Klimarandbedingungen mit einem modernen instationären Berechnungsverfahren ermittelt.

## 2. Durchführung der Untersuchung

Betrachtet wird ein im Altbaubereich typisches Steildach, dessen Aufbau in Bild 1 dargestellt ist. Es hat 160 mm starke Sparren und eine 16 mm dicke Holzschalung, auf der eine dampfdichte Schalungsbahn ( $s_d = 1000$  m) liegt. Die Eindeckung besteht aus Dachziegeln mit einer Strahlungsabsorptions-

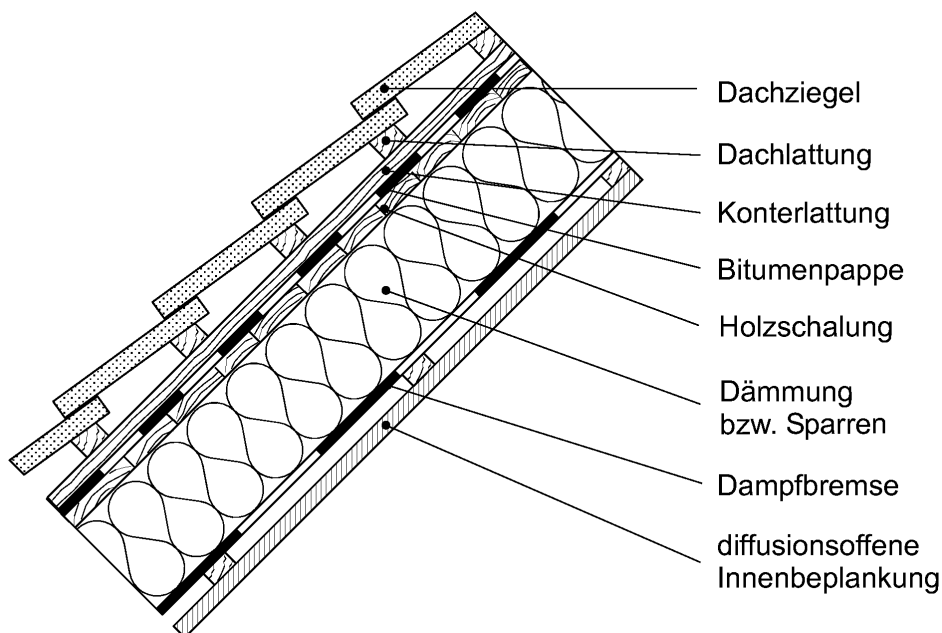
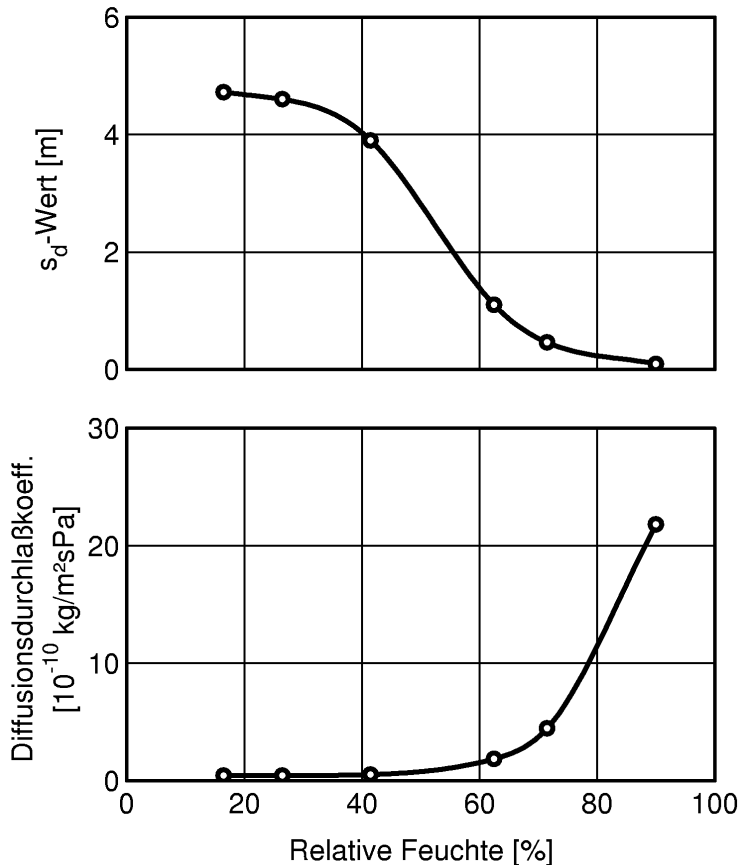


Bild 1 Aufbau des untersuchten Daches.

zahl im kurzwelligen Bereich von 0,6. Dieses Dach wird nach dem Aufbringen einer raumseitigen Dampfbremse und einer diffusionsoffenen Beplankung durch Einblasen von Zellulosefasern (Stoffkennwerte aus [7]) voll gedämmt. Der Dämmstoff mit einer Wärmeleitfähigkeit von  $0,04 \text{ W/mK}$  und einem  $\mu$ -Wert von 1,5 unterscheidet sich aus feuchtetechnischer Sicht nur durch seine Wasserdampfsorptionsfähigkeit von mineralischen Faserstoffen. Die Ausgleichswassergehalte bei 80 % und 95 % relativer Feuchte betragen 1,2 bzw. 4 Vol.-% bei einer Schüttdichte von  $60 \text{ kg/m}^3$ . Die kapillare Leitfähigkeit des Dämmstoffes ist bei den hier betrachteten Feuchteverhältnissen zu vernachlässigen. Der  $s_d$ -Wert (diffusionsäquivalente Luftschichtdicke neuerdings auch als Dampfdiffusionssperrwert bezeichnet) der konventionellen Dampfbremse sei feuchteunabhängig. Er wird zwischen 0,5 m und 5 m variiert und beträgt im Standardfall 2 m. Alternativ dazu wird mit den Dampfdiffusionseigenschaften der feuchteadaptiven Dampfbremse [8] gerechnet. Ihr  $s_d$ -Wert paßt sich den Umgebungsverhältnissen an und beträgt unter winterlichen Bedingungen im Mittel 4 m und im Sommer ca. 0,4 m. Die gemessene Abhängigkeit ihrer Dampfdiffusionseigenschaften von der relativen Feuchte sind in Bild 2 dargestellt. Bei der

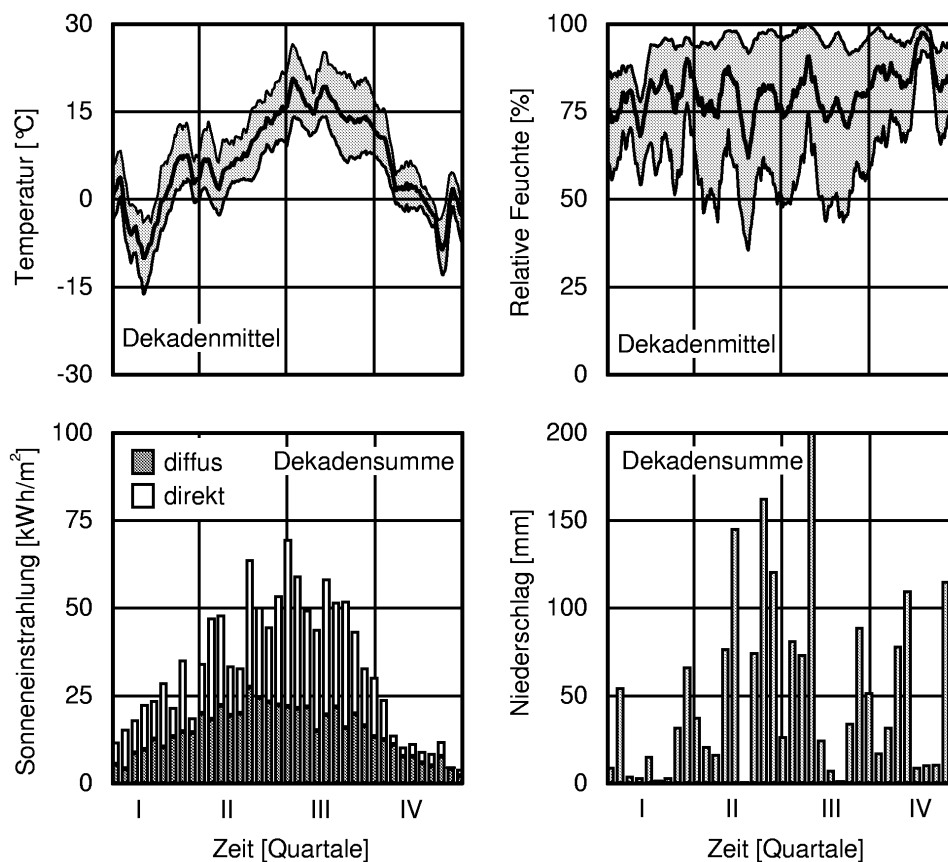
## Feuchteadaptive Dampfbremse



**Bild 2** Diffusionswiderstand (oben) und Diffusionsdurchlaßkoeffizient (unten) der feuchteadaptiven Dampfbremse in Abhängigkeit von der Umgebungsfeuchte.

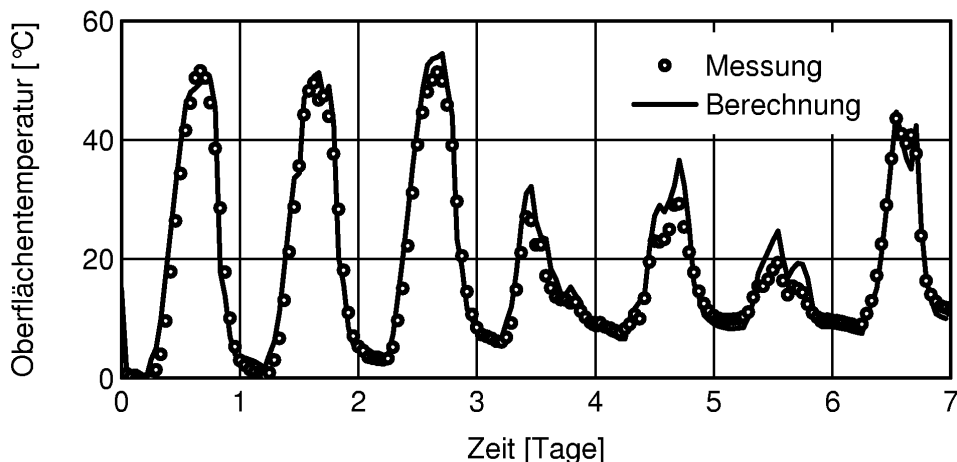
feuchteadaptiven Dampfbremse handelt es sich um eine 50 µm dicke Folie auf Polyamidbasis, einem Material, das bislang hauptsächlich für die Lebensmittelverpackung eingesetzt wurde.

Die Berechnungen des Wärme- und Feuchteverhaltens dieses Daches unter natürlichen Klimabedingungen werden mit Hilfe des bereits vielfach experimentell verifizierten PC-Programms WUFI [9] durchgeführt. 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



**Bild 3** Klimatische Randbedingungen auf der Basis von gemessenen Stundenmittelwerten eines für den Standort Holzkirchen (680 m über N.N. im Alpenvorland) typischen Jahres. Die Außenlufttemperatur und -feuchte sind als gleitende Dekadenmittel mit Angabe des täglichen Schwankungsbereichs dargestellt; die kurzzeitige Strahlung und der Niederschlag sind als Dekadensummen angegeben.

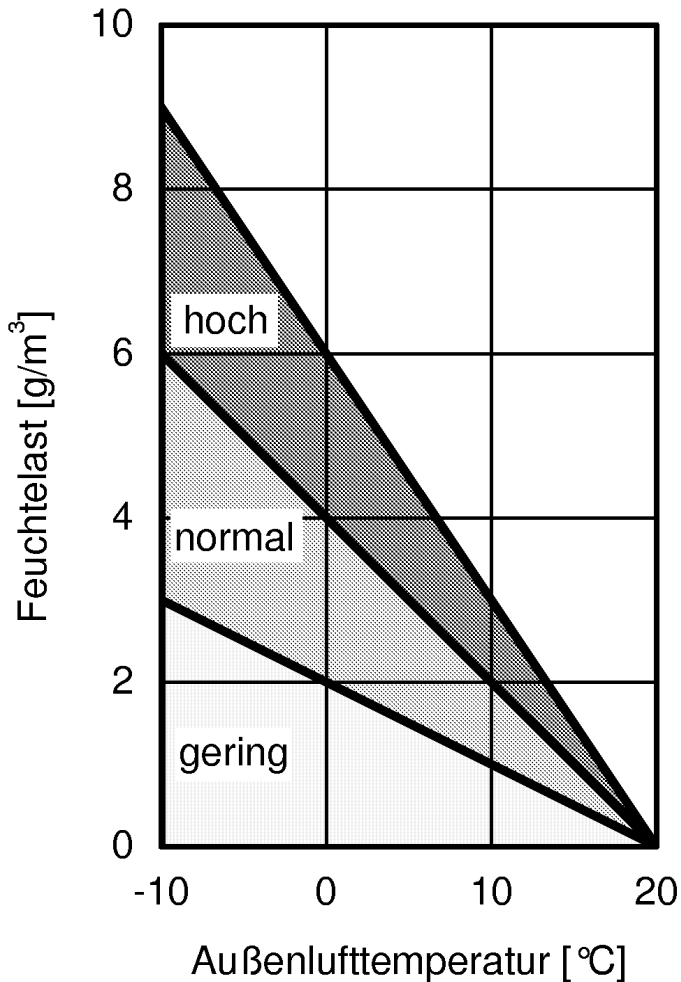
der Orientierung bzw. Neigung auf die langfristige Feuchtesituation im Dach ermittelt. Als Außenklima werden meteorologische Datensätze auf der Basis von Stundenmittelwerten eines für Holzkirchen typischen Jahres (siehe Bild 3) sowie die deutschen Test-Referenz-Jahr-Datensätze [10] verwendet. Da bei Dächern die nächtliche Abstrahlung für die Oberflächentemperaturverhältnisse von Bedeutung ist, muß der Holzkirchner Datensatz um die atmosphärische Gegenstrahlung erweitert werden, die ähnlich wie bei den Test-Referenz-Jahren aus der Temperatur, der relativen Luftfeuchte und dem Bedeckungsgrad ermittelt wird. In Abhängigkeit



**Bild 4** Gemessene und berechnete Verläufe der Oberflächentemperatur des Unterdaches einer nach Westen orientierten Satteldachhälfte, dargestellt am Beispiel einer Woche Ende Mai mit klaren und trüben Tagen.

von Neigung und Orientierung der Dachfläche wird die kurzwellige Strahlungsintensität auf die unbeschattete Dachoberfläche gemäß [9] bestimmt. Durch das dichte Unterdach spielen die äußeren Luftfeuchteverhältnisse für die Berechnung keine Rolle. Der Einfluß der belüfteten Dacheindeckung auf die Oberflächentemperatur des Unterdaches kann mit Hilfe eines Abgleichs mit Freilandmessungen bestimmt werden. Eine gute Übereinstimmung zwischen gemessenen und berechneten Unterdachoberflächentemperaturen wird, wie in Bild 4 zu sehen, bei einem äußeren Oberflächenübergangskoeffizient von  $19 \text{ W/m}^2\text{K}$  einer kurzwelligen Absorptionszahl von 0,6 und einer langwelligen Emissionszahl von 0,3 erzielt. Die Absorptionszahl und die Emissionszahl stellen Effektivwerte dar, da sie auf das Unterdach bezogen sind, d.h. der Einfluß der Dacheindeckung ist in diesen Werten bereits enthalten.

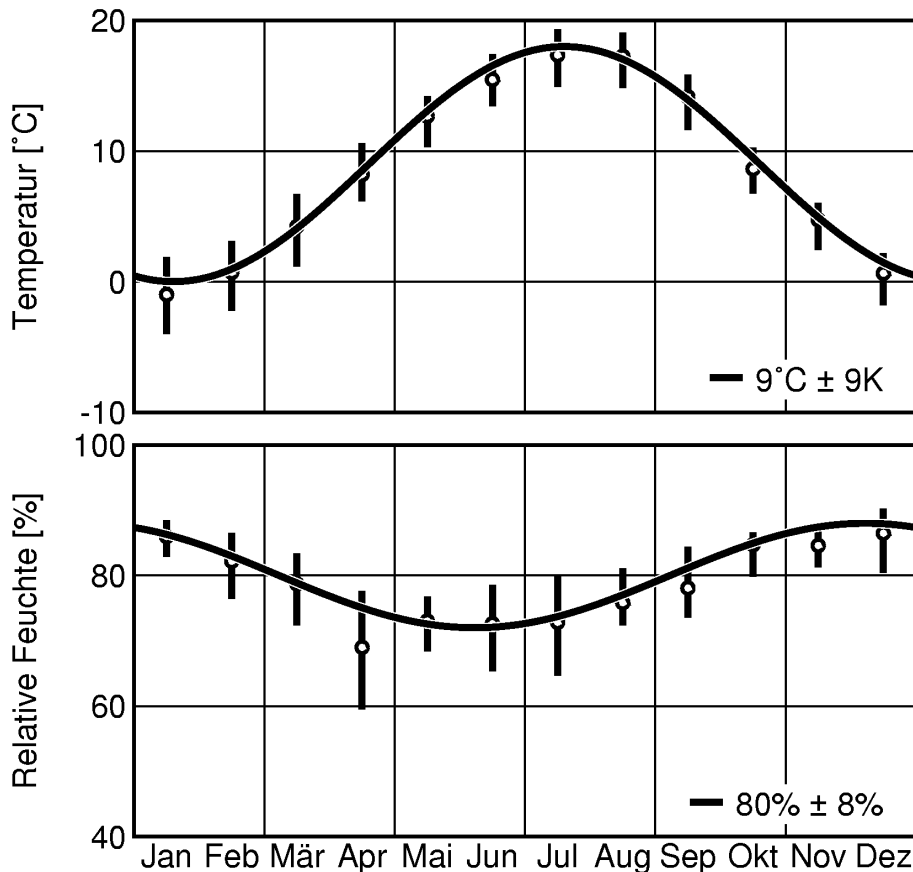
Für das Raumklima gibt es bislang keine standardisierten Datensätze, die über die saisonal konstanten Randbedingungen in der DIN 4108 [3] hinausgehen. Deshalb wird hier auf eigene Untersuchungen [11] zurückgegriffen. Bei einer typischen Raumlufttemperatur von  $20 \text{ °C}$  bis  $22 \text{ °C}$  ist die relative Feuchte in Abhängigkeit von der standortbedingten Außenluftfeuchte sowie der Feuchtelast und den sorbierenden Oberflächen im Raum zu ermitteln. Wird über einen Zeitraum von einem Monat nur die mittlere Raumluftfeuchte betrachtet, dann ist der Einfluß von Sorptionseffekten in normal bis gut belüfteten Gebäuden in der Regel klein, da sie in erster



**Bild 5** Feuchtelastbereiche in beheizten, nicht klimatisierten Räumen in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur nach [11].

Linie bei kurzzeitigen Feuchteschwankungen wirksam werden. Die Feuchtelast ergibt sich aus der Feuchteproduktion und der Luftwechsellzahl. Sie ist die Differenz zwischen der Wasserdampfkonzentration im Raum und in der Außenluft. Wie in [11] 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 5 anhand von 3 Bereichen dargestellt, kann zwischen einer geringen Feuchtelast (z.B. Nutzung als Büroraum), einer

## Außenluftbedingungen



**Bild 6** Aus den deutschen Test-Referenz-Jahren [10] 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.

normalen Feuchtelast (Wohnraumnutzung) und einer hohen Feuchtelast (außergewöhnliche Feuchteproduktion) unterschieden werden. Zur Berechnung der Raumluftfeuchte sollte für den jeweiligen Fall immer der obere Grenzwert (durchgezogene Linie) eines Bereiches genommen werden, wobei der Grenzwert des Normalbereiches alle in [11] bestimmten Feuchtelasten, auch die von "Feuchträumen" wie Küche und Bad, einschließt.



Geht man davon aus, daß die Ergebnisse für die Feuchtelast in Bild 5 auch auf andere Klimaregionen Deutschlands übertragbar sind, dann können die Raumlufthverhältnisse überall in Abhängigkeit vom Außenklima bestimmt werden. Die klimatischen Randbedingungen in den deutschen Test-Referenzjahren [10] sind in Form von Monatsmittelwerten der Temperatur und relativen Feuchte in Bild 6 dargestellt. Die Hohlkreise bilden die über alle Klimaregionen gemittelten Werte und die Balken die jeweiligen monatlichen Extremwerte zwischen den unterschiedlichen Datensätzen ab. Mit Hilfe von Sinusfunktionen können für Deutschland repräsentative Monatsmittelwerte für die Lufttemperatur und die Luftfeuchte approximiert werden (Bild 6). Demnach beträgt die Jahresmitteltemperatur 9 °C mit einem jährlichen Zyklus zwischen 0 °C im Januar und 18 °C im Juli. Die mittlere relative Feuchte beträgt 80 % mit einer Schwankungsbreite zwischen 72 % im Juni und 88 % im Dezember.

Aus den unterschiedlichen Monatsmittelwerten der klimatischen Randbedingungen in den deutschen Test-Referenzjahren können mit Hilfe der Zusammenhänge in Bild 5 die jeweiligen Raumlufthbedingungen ermittelt werden. Sie sind für die unterschiedlichen Feuchtelasten in Bild 7 dargestellt. Die Durchschnitte aus den Ergebnissen für alle Klimaregionen sind als Kreise und die Variationsbreiten als dazugehörige Balken dargestellt. Die Unterschiede in der Raumlufthfeuchte auf der Basis des standortabhängigen Außenklimas sind im Sommer größer als im Winter. Zur Vereinfachung werden die Raumlufthfeuchteverhältnisse, ähnlich wie die Außenlufthbedingungen in Bild 6, durch einheitliche Sinusfunktionen angenähert. Je nach Feuchtelast ergeben sich somit winterliche Minima von 30 %, 40 % und 50 % relativer Feuchte, während das sommerliche Maximum wegen der zu Null gehenden Feuchtelast in allen Fällen bei 60 % liegt. Die in Bild 7 eingezeichneten Sinusfunktionen werden unter Angabe der dazugehörigen Feuchtelast für die folgenden Berechnungen unabhängig von den Außenklimabedingungen eingesetzt.

Den Standardfall dieser Untersuchung, von dem aus die einzelnen Parameter variiert werden, bildet aufgrund von experimentellen und rechnerischen Voruntersuchungen ein nordorientiertes Dach mit einem Neigungswinkel von 50°. Als Standardaußenklima werden die Holzkirchner Wetterdaten und der Luftfeuchteverlauf in Bild 7 bei normaler Feuchtelast 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.

## Raumluftbedingungen

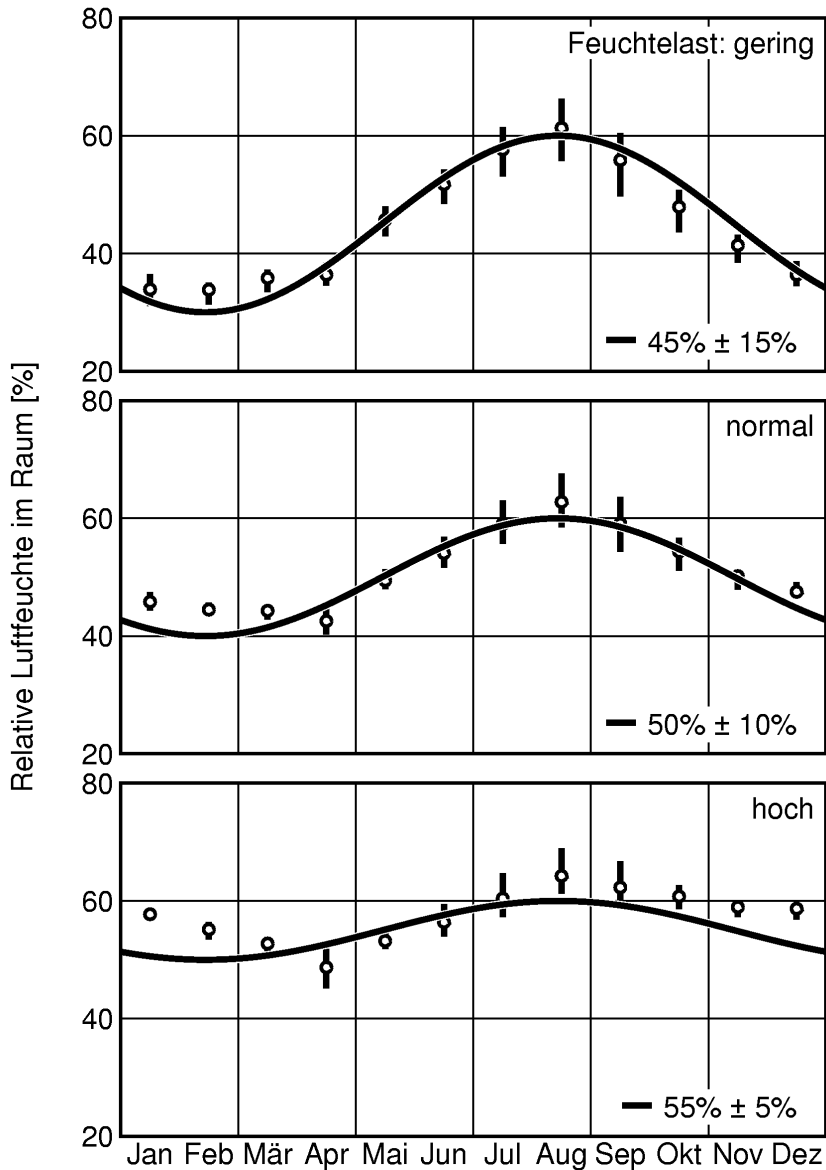


Bild 7

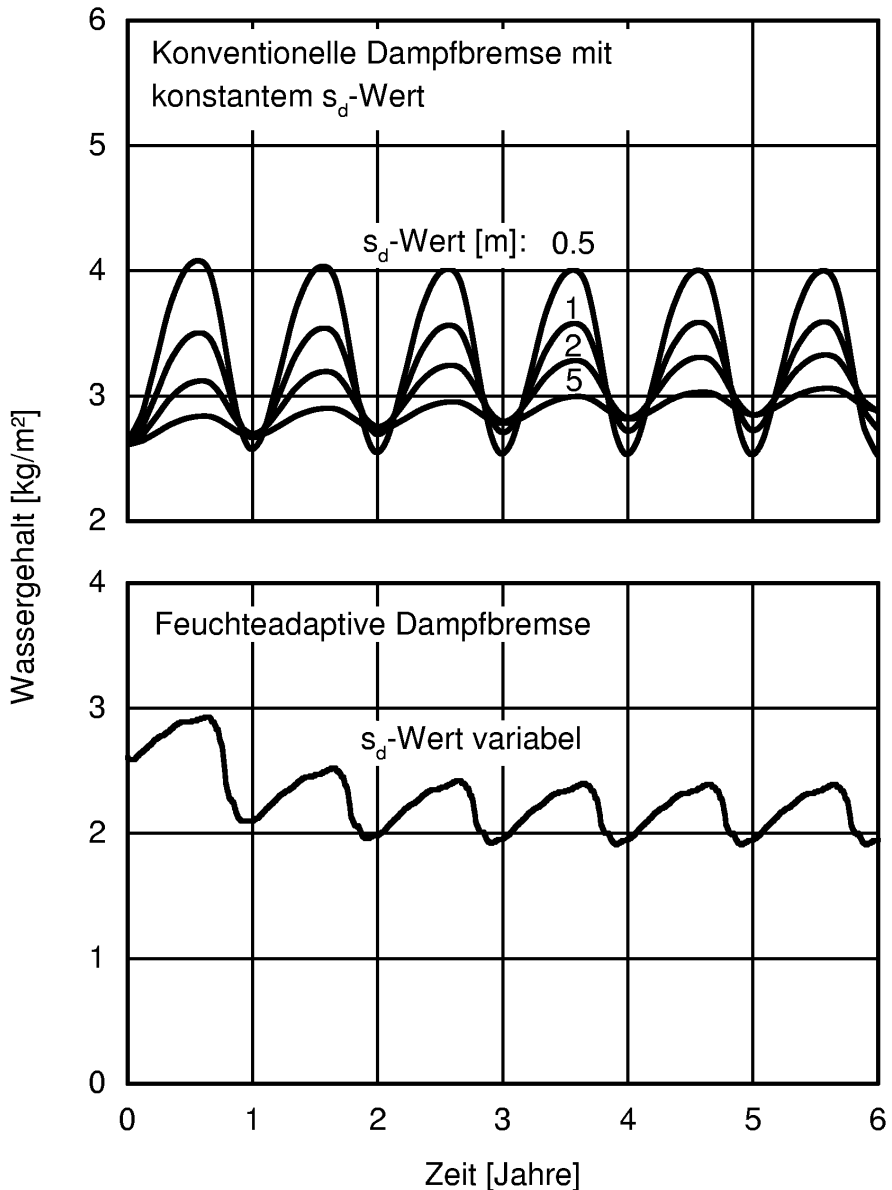
Jahreszeitliche Verläufe der relativen Luftfeuchte in Räumen mit unterschiedlicher Feuchtelast. Die Sinusfunktionen stellen eine Approximation der ermittelten Feuchteverhältnisse für die verschiedenen Klimaregionen in Deutschland dar.

### 3. Ergebnisse

Das Feuchteverhalten des Daches im Standardfall mit unterschiedlich diffusionshemmenden Dampfbremsen ist anhand der Verläufe des Gesamtwassergehalts im Dach über einen Zeitraum von sechs Jahren in Bild 8 oben dargestellt. Betrachtet man den Verlauf der winterlichen Feuchte-maxima bzw. vergleicht Anfangs- und Endfeuchte im Dach, so wird deutlich, daß mit Ausnahme des Falles mit einem raumseitigen  $s_d$ -Wert von 0,5 m eine leichte Feuchteakkumulation im Dach stattfindet, die bei zunehmendem  $s_d$ -Wert deutlicher ausfällt. Größer als die Unterschiede der Endfeuchte sind jedoch die saisonalen Feuchteamplituden beim Einsatz der verschiedenen Dampfbremsen. Während der winterliche Tauwasseranfall bei einem raumseitigen  $s_d$ -Wert von 0,5 m und 1 m die in [3] angegebene Grenzbedingung übersteigt, liegt er beim Einsatz der dichteren Dampfbremsen darunter. Obwohl die Dampfbremse mit  $s_d = 5$  m im Winter insgesamt weniger Feuchte in das Dach läßt, erscheint es sinnvoll, der Dampfbremse mit  $s_d = 2$  m den Vorzug zu geben, da sie im vorliegenden Fall gleichzeitig einen hinreichenden Tauwasserschutz und eine möglichst geringe Trocknungshemmung bietet. Für die weiteren Berechnungen wird deshalb ein raumseitiger Sperrwert der konventionellen Dampfbremse von 2 m zugrundegelegt. Der Einsatz der feuchteadaptiven Dampfbremse führt unter den gleichen Bedingungen zur Austrocknung des Daches unter die Anfangsfeuchte, wie in Bild 8 unten zu sehen ist.

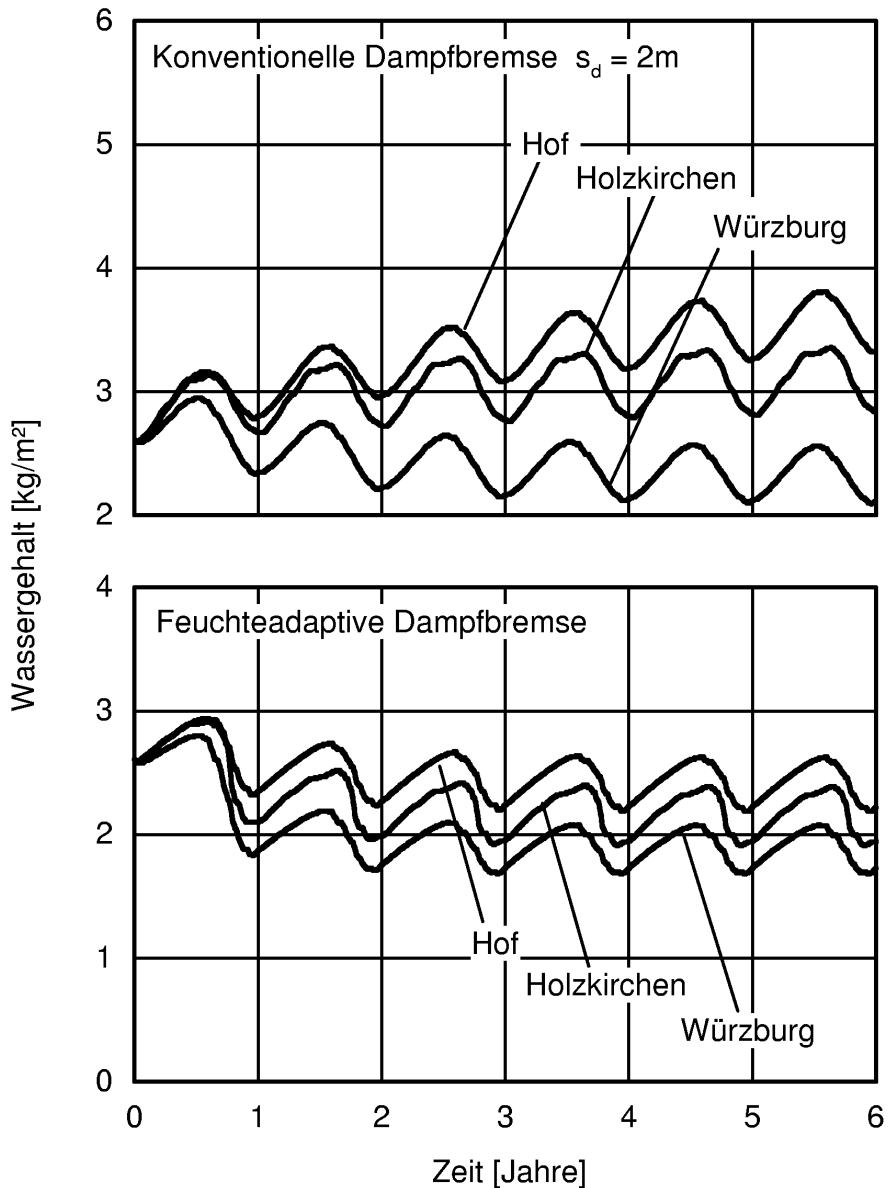
Der Einfluß des Außenklimas auf das Dach ist anhand der Feuchteverläufe, berechnet mit den TRY-Datensätzen von Würzburg und Hof, im Vergleich zum Standardfall mit Holzkirchner Klimadaten in Bild 9 dargestellt. Unter Würzburger Klimaverhältnissen trocknet das Dach mit der konventionellen Dampfbremse aus, während für Holzkirchen und Hof eine Feuchtezunahme über den Zeitraum von sechs Jahren auftritt. Die feuchteadaptive Dampfbremse bewirkt unter allen Klimaverhältnissen eine Austrocknung, so daß in keinem Fall kritische Feuchtebedingungen im Dach zu befürchten sind. Da die Feuchteakkumulation beim Einsatz der konventionellen Dampfbremse im Verlauf der Jahre relativ gleichmäßig ist, 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 10 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 mit der konventionellen Dampfbremse eine kritische

## Variation der Dampfbremse



**Bild 8** Verläufe des Gesamtwassergehaltes im Steildach beim Einsatz von konventionellen Dampfbremsen (oben) mit unterschiedlichen Dampfdiffusionssperwerten (Standardfall:  $s_d = 2$  m) und beim Einsatz der feuchteadaptiven Dampfbremse (unten). Bitte Ordinatenverschiebung beachten.

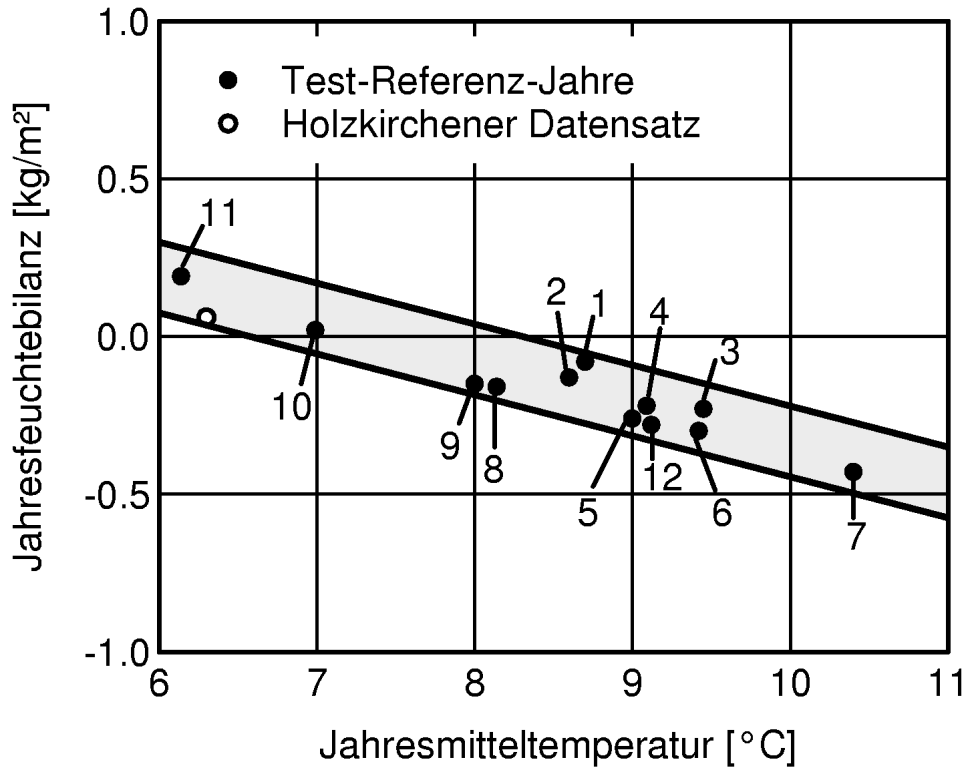
## Variation des Außenklimas



**Bild 9** Verläufe des Gesamtwassergehaltes im Steildach bei unterschiedlichen standortbedingten Außenklimaverhältnissen (Standardfall: Holzkirchen). Bitte Ordinatenverschiebung beachten.

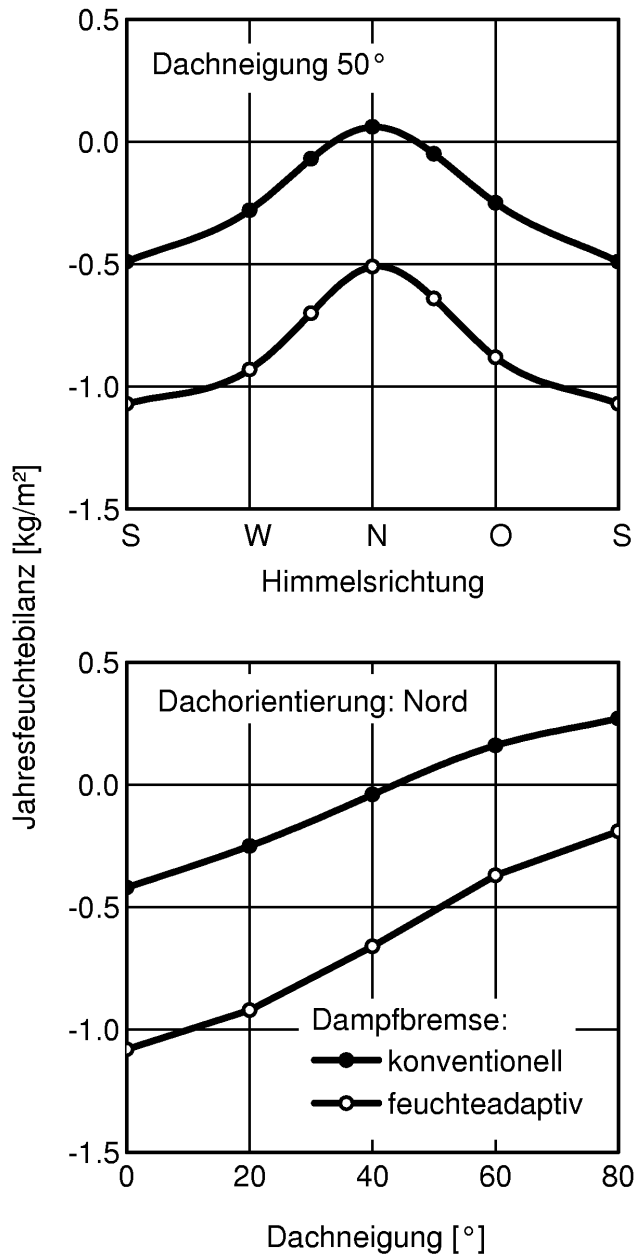
Feuchtebilanz. Je wärmer die Klimaregion, um so stärker nimmt der Wassergehalt im Dach ab.

Mindestens ebenso deutlich wie die Klimaregion wirkt sich die Ausrichtung der Dachoberfläche auf die Jahresfeuchtebilanz des Daches aus. Bild 11 zeigt ausgehend vom Standardfall den Einfluß von Himmelsrichtung (oben) und Neigung auf das Feuchteverhalten. Bedingt durch höhere



**Bild 10** Zusammenhang zwischen der errechneten Jahresfeuchtebilanz im Steildach und der Jahresmitteltemperatur der zugrundegelegten Klimadatensätze. Die Numerierung der Test-Referenz-Jahre entspricht den Vorgaben in [10]:

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



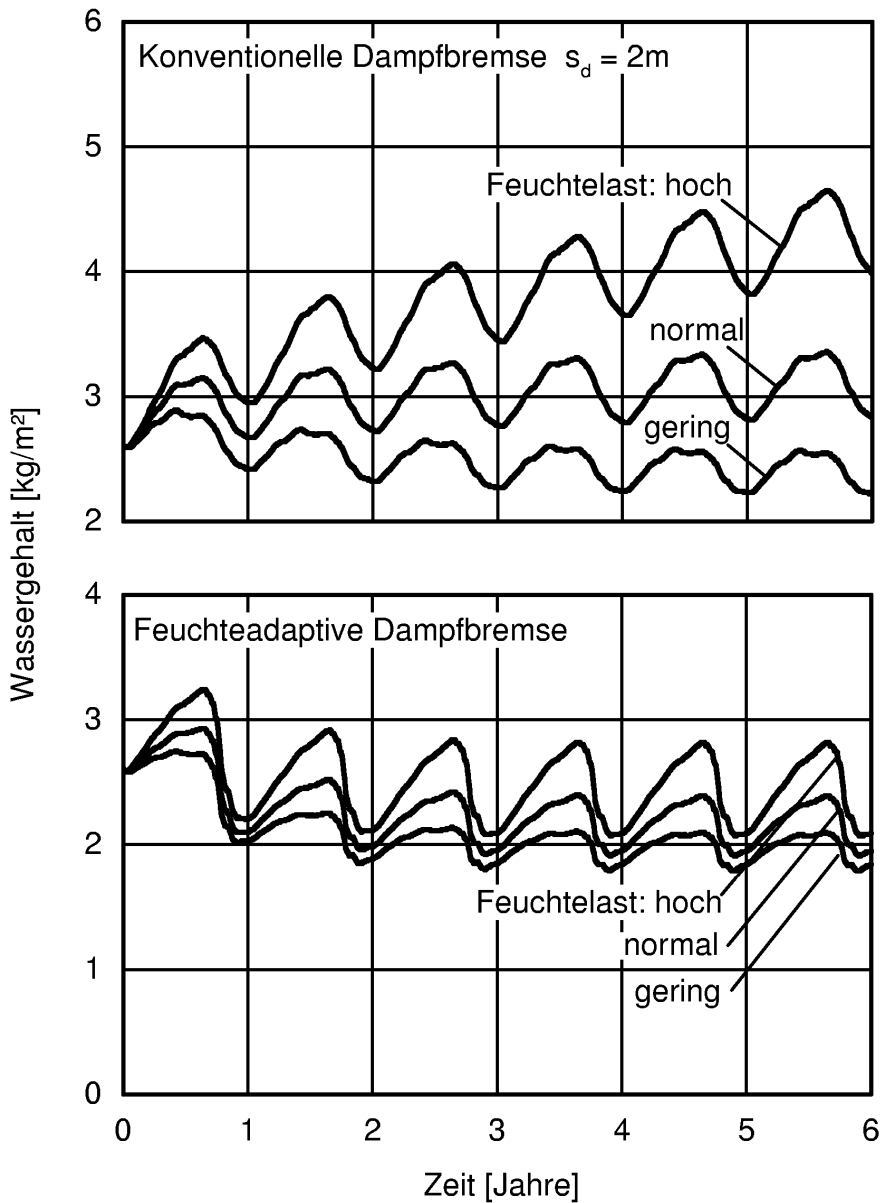
**Bild 11** Jahresfeuchtebilanz im Steildach bei unterschiedlicher Ausrichtung der unverschatteten Dachoberfläche. Bei Werten über Null besteht die Gefahr einer Feuchteakkumulation.

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. Feuchteprobleme können im vorliegenden Fall nur bei nordorientierten und relativ stark geneigten Dachflächen entstehen, da aufgrund der geringen Außenoberflächen-temperaturen beim Einsatz einer konventionellen Dampfbremse kein ausreichendes Trocknungspotential vorhanden ist. Mit Hilfe der besonderen Eigenschaften der feuchteadaptiven Dampfbremse läßt sich dieses Trocknungspotential jedoch deutlich verbessern, so daß die Jahresfeuchtebilanz immer negativ bleibt, d.h. keine Feuchteakkumulation auftritt.

Die Auswirkungen des Raumklimas auf die Feuchtesituation im Dach sind für den Standardfall anhand der Wassergehaltsverläufe in Bild 12 zu erkennen. Während eine geringe Feuchtelast im Raum langfristig keine Wassergehaltszunahme zur Folge hat, führt eine hohe Feuchtelast beim Einsatz einer konventionellen Dampfbremse rasch zu kritischen Verhältnissen. Vergleicht man den Einfluß des Raumklimas mit dem des Außenklimas in Bild 9 zeigt sich, daß die Luftfeuchteverhältnisse im Raum noch größere Auswirkungen auf die Feuchtebilanz im Dach haben als der Unterschied zwischen einer der wärmsten und der kältesten Region Deutschlands. 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.



## Variation des Raumklimas



**Bild 12** Verläufe des Gesamtwassergehalts im Steildach bei unterschiedlicher Feuchtelast im Raum (Standardfall: normal). Bitte Ordinatenverschiebung beachten.

## 4. Schlußfolgerungen

Die untersuchten Einflußfaktoren Außenklima, Raumklima und Ausrichtung haben in bezug auf das langfristige Feuchteverhalten von nicht belüfteten, außen dampfdichten Steildächern Auswirkungen ähnlicher Größenordnung, so daß für die Beurteilung der Feuchtesicherheit solcher Dächer keiner dieser Faktoren vernachlässigt werden sollte. Unbedenklich erscheinen diese Konstruktionen dann, wenn zwei von drei dieser Faktoren als günstig einzustufen sind. Ist das nicht der Fall, sollte eine genaue Bewertung des Einzelfalles erfolgen oder ein anderer Aufbau gewählt werden. Der Einfluß der Sorptionsfähigkeit des Dämmstoffes spielt feuchtetechnisch nur eine untergeordnete Rolle, wie ein Vergleich mit

ähnlichen Untersuchungen in [12] zeigt, bei denen statt Zellulosefasern Mineralwolle zugrundegelegt wurde. Wichtig ist jedoch, daß der Dämmstoff und die Innenbeplankung ausreichend dampfdurchlässig sind, da sonst eine ähnliche Trocknungsbehinderung auftreten kann, wie für den Einsatz dichter Dampfsperren in der Einleitung beschrieben. Trotz der Komplexität der verschiedenen Einflußfaktoren erscheint es in folgenden Fällen immer 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,
- beim Einsatz der feuchteadaptiven Dampfbremse im Zusammenhang mit einer diffusionsoffenen Innenbeplankung.

Ist eine dieser Bedingungen erfüllt, kann ein erhöhtes Schadensrisiko der Konstruktion bei sorgfältiger Ausführung ausgeschlossen werden. In aller Regel wird daher auf eine Belüftung der Dämmung verzichtet werden können, was zu einem höheren Wärmeschutz und zu geringeren Kosten bei der Altbausanierung führt. Bei günstigen Verhältnissen sollte auch auf den chemischen Holzschutz verzichtet werden. Ähnliche Betrachtungen könnten auch bei anderen Bauteilen zu einer Verbesserung der Feuchtesicherheit und der Kosten-Nutzen-Relation von Dämmmaßnahmen führen und damit einen Beitrag zur effizienten Altbausanierung leisten.

## 5. Literatur

- [1] Gertis, K.: Bauphysik 13 (1991), H. 5, S. 132-137. Verstärkter baulicher Wärmeschutz - ein Weg zur Vermeidung der bevorstehenden Klimaveränderung?
- [2] DIN 68800, Teil 3. Vorbeugender chemischer Holzschutz, April 1990.
- [3] DIN 4108, Teil 3. Wärmeschutz im Hochbau, klimabedingter Feuchteschutz. August 1981.
- [4] Schulze, H.: Bauphysik 18 (1996), H. 6, S. 175-183. Dampfsperren in Holzbauteilen - Erfordernis und Risiko.
- [5] Künzel, H.M.: wksb 41 (1996), H. 37, S. 334-36. Tauwasserschäden im Dach aufgrund von Dampfdiffusion durch angrenzendes Mauerwerk.
- [6] Künzel, H.M.: IBP-Mitteilung 22 (1995) Nr. 269. Vorsicht bei nachträglicher Steildachdämmung.
- [7] Künzel, H.M.: IBP-Bericht FtB-18/1992. Untersuchung des Austrocknungsverhaltens von im CSO-Verfahren applizierten Wärmedämmschichten aus Isofloc.
- [8] Künzel, H.M.: Stuck - Putz - Trockenbau 55 (1997), H. 2, S. 34-37. Die Folie denkt mit.
- [9] Künzel, H.M.: Dissertation Universität Stuttgart 1994. Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten.
- [10] Blümel, K. et al.: Bericht des Bundesministeriums für Forschung und Technologie BMFT-FB-T - 86-051, 1986. Die Entwicklung von Testreferenzjahren (TRY) für Klimaregionen der Bundesrepublik Deutschland.
- [11] Künzel, H.M.: IBP-Mitteilung 24 (1997) Nr. 314. Raumluftverhältnisse in Wohnräumen.
- [12] Künzel, H.M.: Aachener Bausachverständigentage 1997, Bauverlag Wiesbaden 1997, S. 78-84. Untersuchungen an unbelüfteten Blechdächern.