

Auswahl und Aufbereitung von meteorologischen Datensätzen für Feuchtetransportberechnungen

*Dr.-Ing. H.M. Künzel und Dipl.-Phys. Th. Schmidt
Fraunhofer-Institut für Bauphysik
(Leiter: Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Dr. E.h. mult. Karl Gertis)
Fraunhoferstraße 10
83626 Valley*

Zusammenfassung

Für energetische Gebäudesimulationsberechnungen werden in der Regel speziell für diesen Zweck konzipierte Test-Referenz-Jahre (TRY) als Randbedingungen verwendet. Diese TRYs sind jedoch für Feuchtetransportberechnungen nur bedingt geeignet, da sie durchschnittliche Klimasituationen betrachten und keine Extrembedingungen beinhalten. Da Feuchteschäden jedoch meist unter ungünstigen und nicht unter durchschnittlichen Klimaverhältnissen entstehen, sind zur rechnerischen Abschätzung des Schadensrisikos auch ungünstige, aber realistische Klimadatensätze erforderlich. Die Auswertung von meteorologischen Datensätzen aus Holzkirchen zeigt, daß sehr kalte, aber auch sehr warme Jahre ungünstige Klimaverhältnisse darstellen können, je nachdem, ob das Bauteil stärker durch winterliches oder sommerliches Tauwasser gefährdet ist. Da für viele Beurteilungen auch die nächtliche Unterkühlung von Außenoberflächen wegen des hohen Dämmniveaus eine immer größere Rolle spielt, wurde, wo notwendig, die langwellige Abstrahlung bei Wärme- und Feuchtetransportberechnungen berücksichtigt. Aus der Auswertung gehen ausgewählte Klimadatensätze hervor, auf die je nach Fragestellung zurückgegriffen werden kann.

1. Problemstellung

Zur Bemessung des Tauwasserschutzes werden in DIN 4108 extreme klimatische Randbedingungen zugrunde gelegt. Eine ähnliche Vorgehensweise ist auch zur Beurteilung des Schadensrisikos eines Bauteiles durch moderne Rechenverfahren erforderlich. Deshalb wurden im Rahmen eines IEA-Projektes mit dem Titel "Heat, Air and Moisture Transfer in Insulated Envelope Parts (HAMTIE)" sogenannte Design Reference Years (DRY) [1] kreiert, die bezüglich der winterlichen Tauwassergefahr ungünstige Klimaverhältnisse darstellen sollen, wie sie nur alle 10 Jahre einmal auftreten. Zur Ermittlung der entsprechenden Datensätze aus meteorologischen Aufzeichnungen über einige Jahrzehnte wurde unter anderem auf eine vereinfachte Version des Feuchtetrans-

portprogrammes Match [2] zurückgegriffen. Da eine solche Prozedur mit einigem Aufwand verbunden ist, wird im folgenden untersucht, inwieweit einfach zu erhaltende Jahresmittelwerte verschiedener klimatischer Parameter für eine Auswahl ungünstiger meteorologischer Datensätze in bezug auf das winterliche, aber auch das sommerliche Feuchteschadensrisiko ausreichend sind.

2. Durchführung der Untersuchung

Der Einfluß unterschiedlicher meteorologischer Datensätze auf die Feuchtebelastung verschiedener Konstruktionen wird mit Hilfe des bereits vielfach experimentell verifizierten Wärme- und Feuchtetransportprogramms WUFI [3] bestimmt. Das winterliche Tauwasserrisiko wird anhand einer nordorientierten Steildachhälfte mit 50 ° Neigung und dampfdichtem Unterdach untersucht. Eine genauere Beschreibung dieses Daches mit Zwischensparrendämmung und Dampfbremse ($s_d = 2$ m) enthält [4]. Eine Feuchtesimulation, in der die sommerliche Umkehrdiffusion eine wesentliche Rolle spielt, wird am Beispiel einer zweischaligen Kalksandsteinwand mit Kerndämmung betrachtet. Details zum Aufbau der nicht belüfteten Wand und zu den Stoffkennwerten sind in [5] dokumentiert.

In beiden Fällen werden raumseitig sinusförmige Verläufe von Temperatur und relativer Luftfeuchte bei normaler Feuchtebelastung gemäß [4] vorausgesetzt, d.h. die Raumlufteigenschaften variieren zwischen 20 °C/40 % r.F. im Winter und 22 °C/60 % r.F. im Sommer. Für das Außenklima werden Stundenmittelwerte von Temperatur, relativer Luftfeuchte, Schlagregen bzw. Normalregen und vektorieller Windgeschwindigkeit sowie von der kurzwelligen Direkt- und Diffusstrahlung aus den deutschen Test-Referenz-Jahren (TRY) [6] und aus Holzkirchner Wetterdatensätzen unterschiedlicher Jahre verwendet. Die langwellige Abstrahlung wird nur bei den Berechnungen für das geneigte Dach berücksichtigt. Sie wird aus dem Strahlungsaustausch zwischen Atmosphäre und Dachoberfläche bestimmt. Dazu wird aus den TRYs die atmosphärische Gegenstrahlung genutzt. Die Holzkirchner Klimadatensätze enthalten dafür keine Meßwerte. Die Gegenstrahlung läßt sich aber nach den auch für die TRYs verwendeten Formeln aus den übrigen Wetterdaten berechnen. Der unbekannte Bewölkungsgrad folgt dabei aus dem Vergleich kontinuierlich gemessener Oberflächentemperaturen einer schwarzen und einer weißen Fassadenfläche mit berechneten Temperaturen.

3. Ergebnisse

3.1 Winterliche Tauwassersituation

Ausgehend vom praktischen Feuchtegehalt (Ausgleichsfeuchte bei 80 % r.F.) der Baustoffe im Dach zu Beginn des Jahres sind die berechneten Verläufe des Gesamtwassergehaltes in der nordorientierten Dachhälfte bei wiederholter An-

Norddachhälfte, Neigung 50°

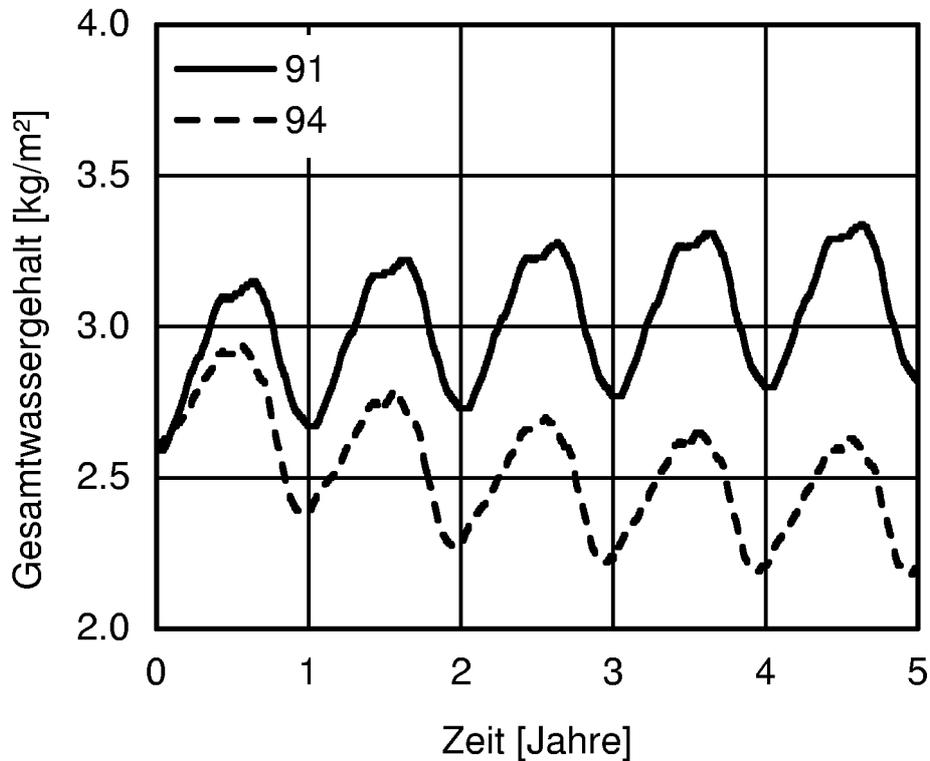


Bild 1 Rechnerische Entwicklung der Feuchte in einem voll gedämmten, außen dampfdichten Satteldach mit raumseitiger Dampfbremse ($s_d = 2$ m) bei Verwendung der Klimadaten eines kalten ('91) und eines warmen ('94) Jahres in Holzkirchen.

wendung der Holzkirchner Wetterdatensätze von 1991 und 1994 in Bild 1 dargestellt. Während der '91er-Datensatz zu einer langfristigen Feuchteakkumulation im Dach führt, findet unter den Bedingungen des Jahres '94 eine kontinuierliche Austrocknung der Anfangsfeuchte statt. Zur Klärung der Frage, welche klimatischen Einflußfaktoren der verschiedenen Wetterdatensätze zu diesen gravierenden Unterschieden im Feuchteverhalten des Daches führen, wird die Feuchtebilanz in den ersten 12 Monaten in Relation zu den Jahresmittelwerten der Außenlufttemperatur – relative Feuchte und Niederschlag spielen aufgrund der äußeren Abdichtung bei diesem Dach keine Rolle – und den Jahressummen der direkten und diffusen Sonneneinstrahlung gesetzt. Bild 2 zeigt, daß zwischen der mittleren Jahrestemperatur und der Feuchtebilanz des Daches ein deutlicher Zusammenhang besteht, während die Einflüsse der unterschiedlichen jährlichen Strahlungsangebote nicht signifikant sind. Ähnliche Ergebnisse erhält man beim Einsatz der deutschen Test-Referenz-Jahre. Bild 3 zeigt eine Zusammenfassung der entsprechenden Ergebnisse für die Feuchtebilanz in Abhängigkeit von der Jahresmitteltemperatur der Holzkirchner Wetterdatensätze unterschiedlicher Jahre (oben) und der verschiedenen Klimaregionen in den TRYs (unten). In beiden

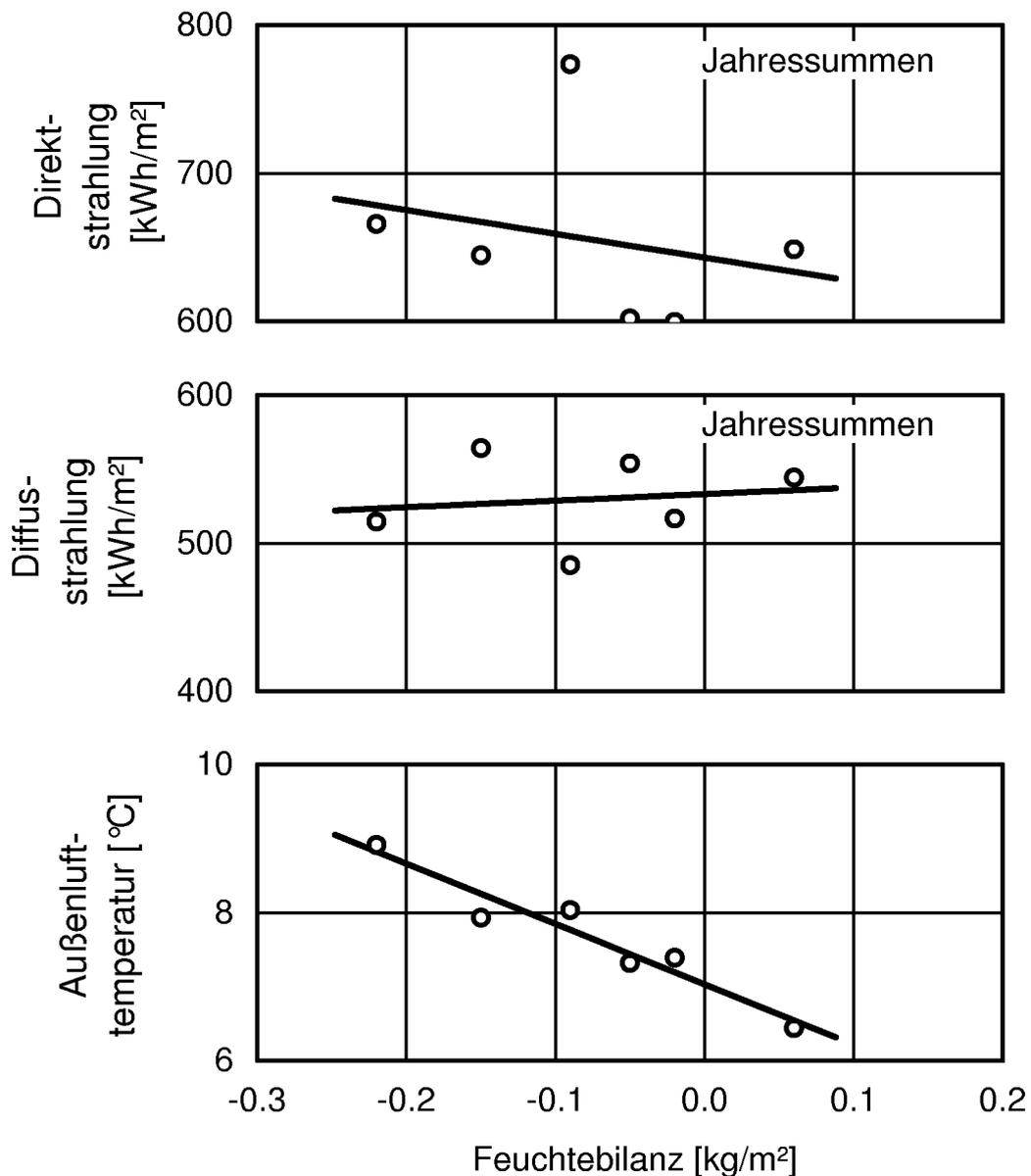


Bild 2 Relationen zwischen der Feuchtebilanz im Dach (s. Bild 1) nach den ersten 12 Monaten und den Jahressummen bzw. -mittelwerten von kurzwelliger Strahlung und Außenluft bei Verwendung unterschiedlicher Holzkirchner Klimadatensätze.

Diagrammen liegen die Ergebnisse im selben gekennzeichneten Bereich. Eine Feuchteakkumulation ist demnach nur unter den Klimabedingungen des Holzkirchner Jahres '91 und unter mittleren Bedingungen der TRY-Regionen 10 und 11 (Schwarzwald, Schwäbische und Fränkische Alb, Hochlagen der nördlichen und westlichen Mittelgebirge) zu befürchten. Das warme Jahr Holzkirchen '94 entspricht den mittleren Bedingungen in der TRY-Region 5 (Würzburg), auf deren Daten die deutsche Wärmeschutzverordnung basiert.

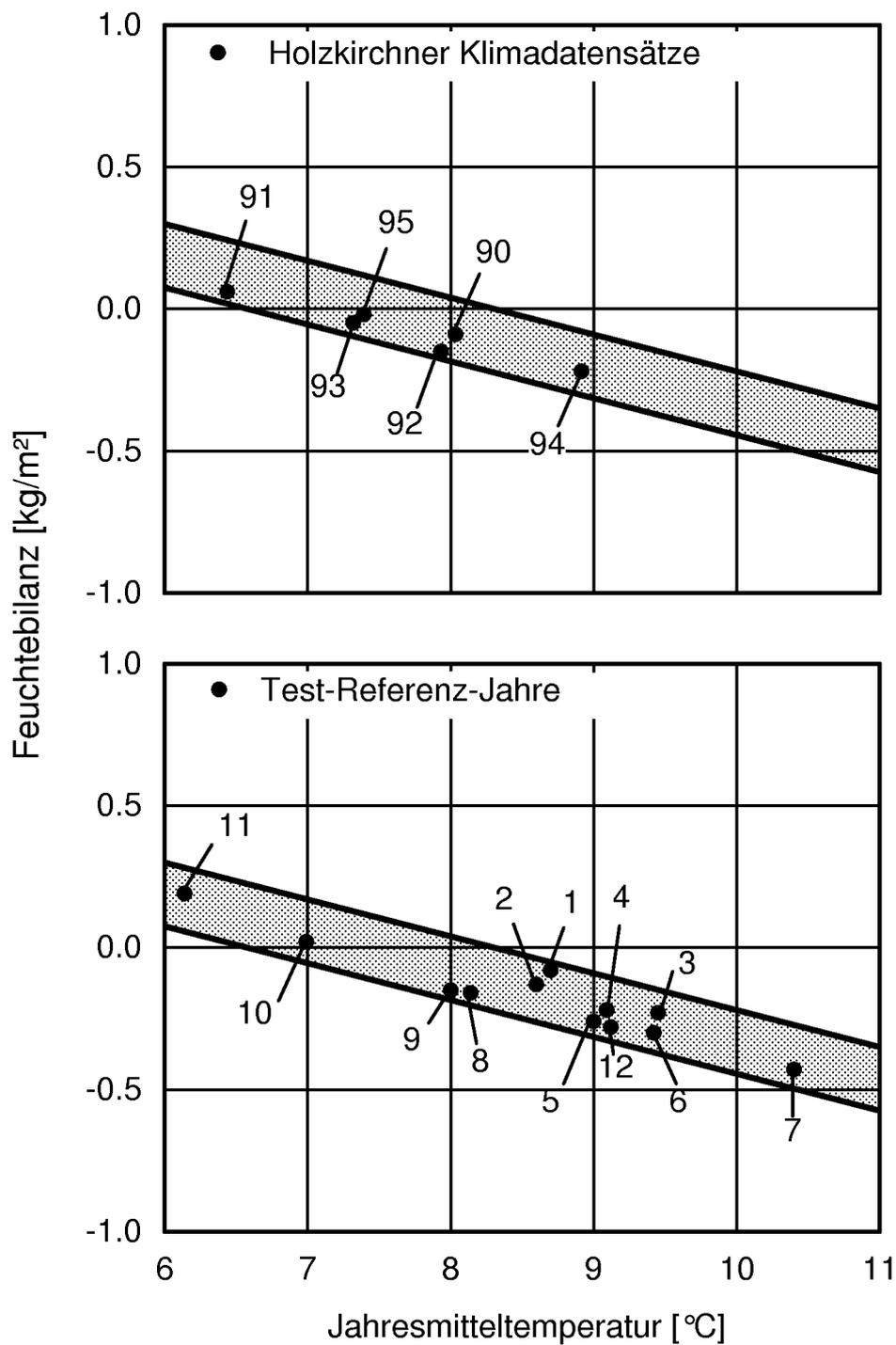


Bild 3 Berechnete Feuchtebilanz nach den ersten 12 Monaten im Dach (s. Bild 1) in Abhängigkeit von der Jahresmitteltemperatur der verwendeten Klimadatensätze. Die Numerierung der Test-Referenz-Jahre bedeutet: 1 Bremerhaven; 2 Hannover; 3 Essen; 4 Trier; 5 Würzburg; 6 Frankfurt/Main; 7 Freiburg; 8 Augsburg; 9 München; 10 Stötten; 11 Hof; 12 Friedrichshafen.

3.2 Sommerliche Tauwassersituation

Die sommerliche Tauwassersituation entsteht bei einem zweischaligen Mauerwerk, wenn die Temperatur der Wetterschale durch starke Besonnung deutlich über die Raumlufttemperatur und damit die Temperatur der Tragschale ansteigt. Ausgehend vom eingeschwungenen Zustand (d.h. die Berechnungen werden mit demselben Klimadatensatz solange fortgeführt, bis sich in zwei aufeinanderfolgenden Jahren keine Unterschiede im Feuchtehaushalt mehr ergeben) zeigt Bild 4 die mittleren Feuchteprofile und die Feuchteschwankungen in der Wand während eines Betrachtungszeitraumes von 12 Monaten bei Verwendung der Holzkirchner Datensätze von 1994 und 1996.

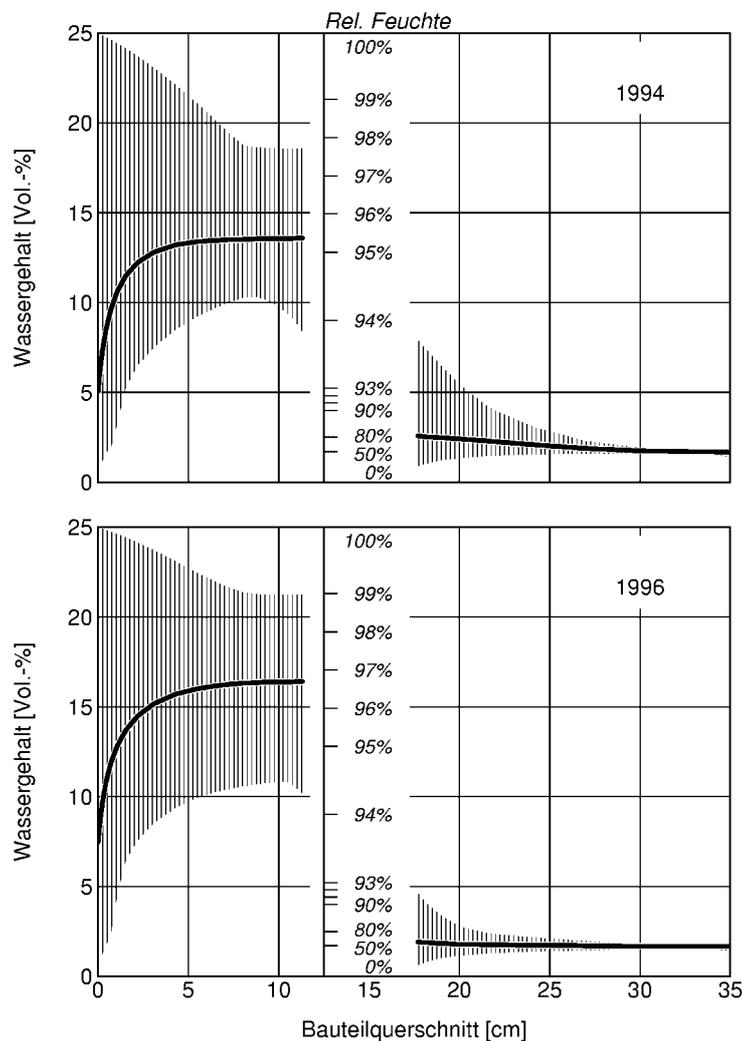


Bild 4 Mittlere berechnete Feuchteverteilung und Schwankungsbreite (schraffierter Bereich) in einer zweischaligen Wand mit Kerndämmung bei Verwendung der Holzkirchner Klimadaten von 1994 und 1996.

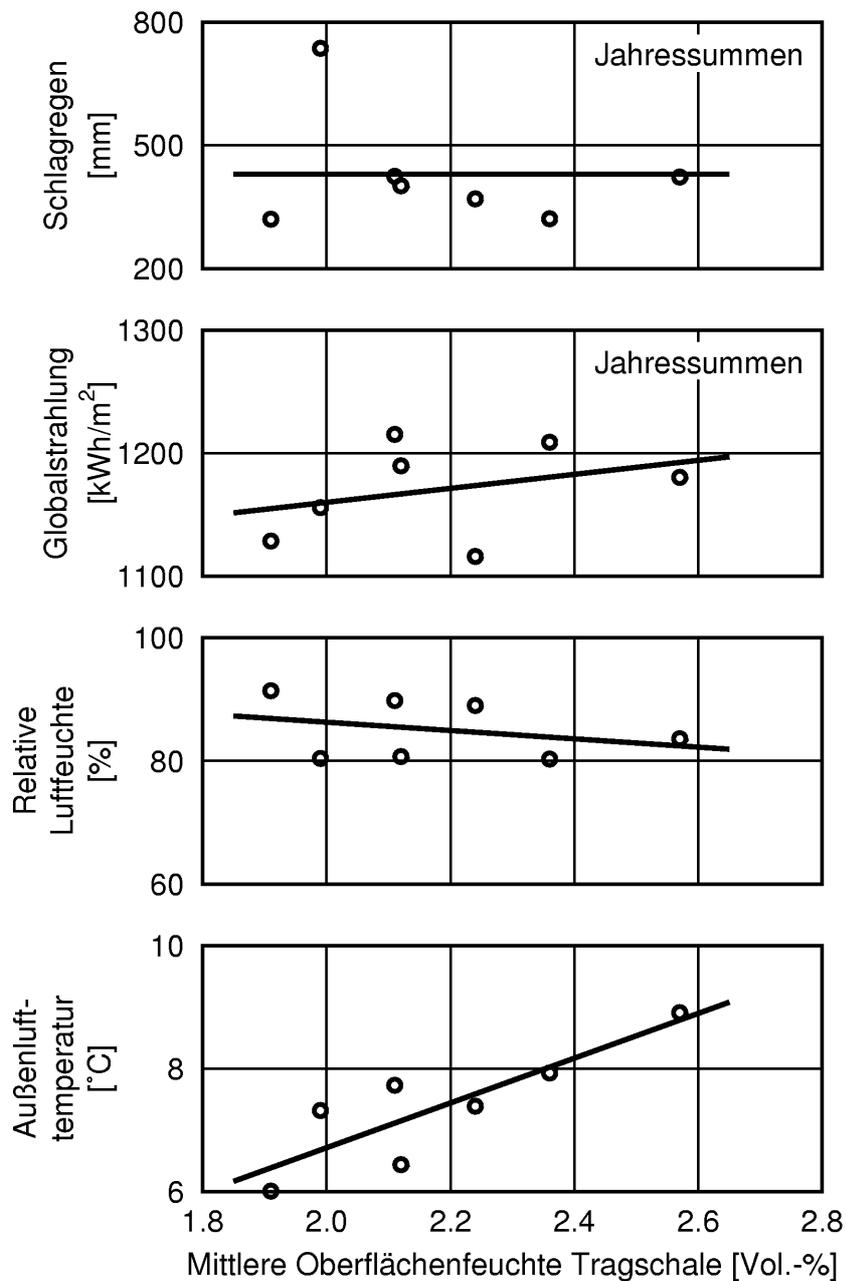


Bild 5 Relationen zwischen den Jahressummen bzw. –mittelwerten klimatischer Einflußparameter unterschiedlicher meteorologischer Datensätze aus Holzkirchen und der mittleren Feuchte an der Außenoberfläche der Tragschale.

Da der Wassergehalt in der Mineralfaser-Kerndämmung sehr klein bleibt, ist an dieser Stelle ein Maßstab für die relative Feuchte im Kalksandsteinmauerwerk eingezeichnet. Die Daten von Holzkirchen '94 bewirken trotz eines vergleichsweise geringeren mittleren Wassergehalts in der Wetterschale einen

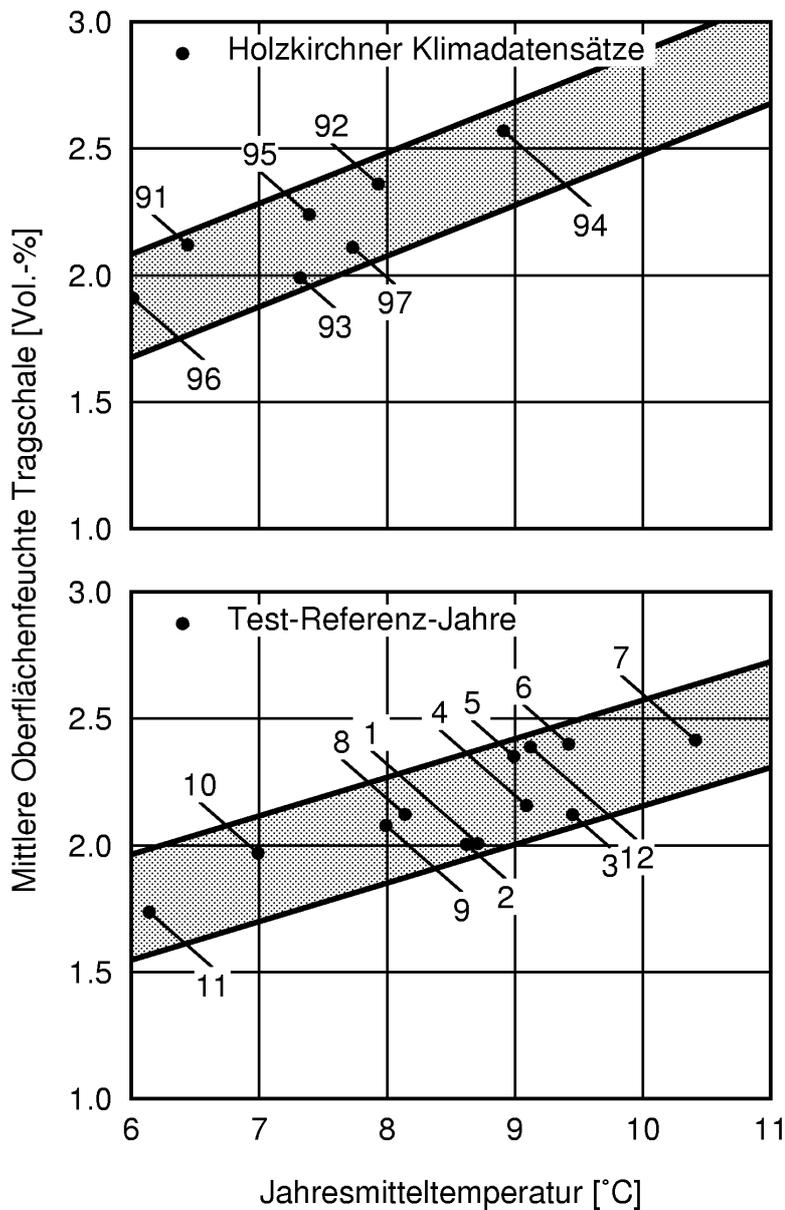


Bild 6 Zusammenhang zwischen der Jahresmitteltemperatur und der mittleren Oberflächenfeuchte der Tragschale bei Verwendung von Holzkirchner Klimadaten und den deutschen Test-Referenz-Jahren (Numerierung s. Bild 3).

höheren Wassergehalt in der Außenzone der Tragschale durch sommerliches Tauwasser als die Wetterdaten von Holzkirchen '96. Dieses Paradox wird verständlich, wenn man die Relationen zwischen der mittleren Oberflächenfeuchte der Tragschale und den gemittelten Klimaparametern verschiedener Holzkirchner Datensätze in Bild 5 betrachtet. Wie bei der winterlichen

Tauwassersituation im Dach besteht auch hier zwischen Tragschalenfeuchte und mittlerer Jahrestemperatur ein eindeutiger Zusammenhang während die Schlagregensumme keinerlei Auswirkungen hat (horizontale Regressionsgerade). Die Einflüsse von Globalstrahlung und Luftfeuchte sind gegenläufig und beide deutlich weniger ausgeprägt als die der Außenlufttemperatur. Die Schlagregensumme des wärmsten Jahres ('94) liegt etwas höher als die des kältesten ('96). Trotzdem ist die mittlere Feuchte der Wetterschale '96 größer als '94, wie Bild 4 gezeigt hat. Dies liegt an der stärkeren Austrocknung der Wetterschale unteren wärmeren Bedingungen. Die Trocknung findet jedoch nicht nur nach außen, sondern in den Sommermonaten auch nach innen statt, wobei die Dampfdiffusion von der Innenoberfläche der Wetterschale zur Außenoberfläche der Tragschale (auch Umkehrdiffusion genannt) von der Dampfdruckdifferenz der beiden Oberflächen bestimmt wird. Da die Unterschiede in der relativen Feuchte an den Oberflächen in beiden Jahren wenig ausgeprägt sind, kommt der Temperaturdifferenz die größere Bedeutung zu.

Bild 6 zeigt eine Zusammenfassung der Rechenergebnisse für die mittlere Feuchte der an die Dämmung angrenzenden Zone der Tragschale als Maß für sommerliche Tauwasserbildung in Abhängigkeit von der Jahresmitteltemperatur bei der Verwendung von Holzkirchner Wetterdatensätzen (oben) und den deutschen Test-Referenz-Jahren (unten). Im Gegensatz zum Beispiel des winterlichen Tauwassers im Dach stimmen hier jedoch die gekennzeichneten Ergebnisbereiche nicht überein. Die größte sommerliche Tauwasserbelastung erzeugt Holzkirchen '94, obwohl es in der mittleren Temperatur 1,5 K unter dem TRY 7 (Freiburg) der wärmsten Region Deutschlands liegt. In diesem Fall könnte doch die Schlagregenbelastung eine Rolle spielen.

4. Schlußfolgerungen

Die Ergebnisse decken sich mit Resultaten ähnlicher Untersuchungen von [7], die ebenfalls gezeigt haben, daß die Jahresmitteltemperatur ein geeignetes Kriterium zur Vorauswahl eines meteorologischen Datensatzes für Feuchte-transportberechnungen darstellt. Je nachdem ob für ein Bauteil eher ein winterliches oder sommerliches Tauwasserrisiko besteht, sind die Wetterdaten so auszuwählen, daß entweder ein kaltes oder ein warmes Jahr für die Berechnungen eingesetzt wird. Liegen Datensätze über viele Jahre vor, ist es sinnvoll, wie in [1] vorgeschlagen, als repräsentativen Datensatz ein sog. 10 %-Jahr zu wählen, d.h. es enthält Bedingungen, deren Feuchtwirkungen statistisch alle 10 Jahre auftreten. Ein solcher Datensatz sollte aus kontinuierlichen Aufzeichnungen der Wetterdaten eines realen Jahres bestehen und nicht aus unterschiedlichen Datensätzen zusammengesetzt werden, da sonst die Gefahr besteht, daß solch ein Kunstprodukt praxisfremde Ergebnisse produziert.

Bemerkenswert ist die Tatsache, daß die Bandbreite der Feuchtwirkungen von Klimadatensätzen, die an einem Ort gemessen wurden, vergleichbar ist mit der Bandbreite beim Einsatz mittlerer Datensätze unterschiedlicher Klimaregionen in den alten Bundesländern, wie sie den Test-Referenz-Jahren [6] zugrunde liegen. Das hat zur Konsequenz, daß für Feuchtetransportberechnungen pro Klimaregion jeweils drei meteorologische Datensätze zur Verfügung stehen sollten. Neben den bereits erwähnten 10 %-Extremen wird auch ein mittlerer Datensatz benötigt, der beispielsweise zur Bestimmung der mittleren Austrocknungszeit von baufeuchtem Mauerwerk oder zur Erfassung des mittleren Feuchteinflusses auf die Wärmedämmwirkung von Bauteilen verwendet werden kann. Eine Einteilung des Bundesgebietes in 12 oder mehr Klimaregionen, wie in den bisherigen Test-Referenz-Jahren, wäre jedoch zu aufwendig und aus feuchtetechnischer Sicht gar nicht notwendig. Ähnlich wie bei der Einteilung des Bundesgebietes in drei Schlagregengruppen in DIN 4108, sollte auch hier eine Einteilung in drei Klimazonen vorgenommen werden, so daß insgesamt neun Klimadatensätze für feuchtetechnische Beurteilungen entstehen würden.

5. Literatur

- [1] Sanders, C.: Environmental Conditions. Final Report Vol. 2, IEA-Annex 24, K.U. Leuven, 1996.
- [2] Pederson, C.R.: Combined heat and moisture transfer in building constructions. Diss. TU Denmark 1990.
- [3] Künzel, H.M.: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Diss. Universität Stuttgart 1994.
- [4] Künzel, H.M.: Außen dampfdicht, voll gedämmt? bauen mit holz 100 (1998), H. 8, S. 36-41.
- [5] Kießl, K., Krus, M. und Künzel, H.M.: Weiterentwickelte Meß- und Rechenansätze zur Feuchtebeurteilung von Bauteilen. Praktische Anwendungsbeispiele. Bauphysik 15 (1993), H. 2, S. 61-67.
- [6] 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.
- [7] Worch, A.: Ermittlung einer Kenngröße bezüglich der Diffusionsbelastung. Vortrag zur 4. Sitzung der WTA-Arbeitsgruppe "Feuchetransport" am 2. März 1999 in Wien.