

M. Krus, K. Kießl

### Ist der Diffusionswiderstand von Baustoffen wirklich feuchteabhängig?

Die im Thema aufgeworfene Frage muß wohl zunächst mit ja beantwortet werden. Es ist bekannt, daß sich bei den nach DIN 52 615 durchgeführten Bestimmungen des Wasserdampfdiffusionswiderstandes poröser Baustoffe im höheren Feuchtebereich und bei Temperaturkonstanz i.a. kleinere Diffusionswiderstände ergeben als im Trockenbereich. Ziel dieser Arbeit ist es, darzulegen, daß diese vermeintliche Feuchteabhängigkeit der Diffusion auf einem anderen Transportmechanismus beruht. Die daraus folgenden Konsequenzen für die Berechnung von Feuchte-transportvorgängen werden - begründet durch Untersuchungen mit einer neu entwickelten Meßapparatur - anschließend an Beispielen aufgezeigt.

#### Grundlagen

Die Wasserdampf-Diffusionsstromdichte  $\dot{m}_D$  berechnet man bekanntlich nach folgender Gleichung:

$$\dot{m}_D = - \frac{1}{\mu} \frac{D_D}{R_D T} \frac{dp_o}{dx} \quad (1)$$

wobei die Diffusionswiderstandszahl  $\mu$  und der Partialdruckgradient die bestimmenden Größen darstellen.

Für den Transport von flüssigem Wasser in einem hygroscopischen porösen Baustoff kann zudem eine empirische Gesetzmäßigkeit angesetzt werden, und zwar nicht nur für den kapillaren Wassertransport, sondern näherungsweise auch für die Transportvorgänge in der durch Sorption und Kapillarkondensation bedingten Flüssigphase im oberen hygroscopischen Feuchtebereich. Da der Wassergehalt im hygroscopischen Feuchtebereich über die Sorptionsisotherme von der relativen Luftfeuchte abhängt, läßt sich diese Beziehung wie folgt darstellen:

$$\dot{m}_w = - \rho_w D_w \frac{du}{d\varphi} \frac{d\varphi}{dx} \quad (2)$$

Die Massenstromdichte des flüssigen Wassers  $\dot{m}_w$  hängt dabei von der Dichte des Wassers  $\rho_w$ , dem Transportkoeffizienten für flüssiges Wasser im Baustoff  $D_w$ , der Steigung der Sorptionsisotherme  $du/d\varphi$  und dem Gradienten der relativen Porenluftfeuchte  $d\varphi/dx$  ab. Bei isothermen Messungen der Dampfdurchlässigkeit hygroscopischer Baustoffe liegen die beiden Gradienten  $dp_D/dx$  und  $d\varphi/dx$  in der

gleichen Richtung vor, die beiden Transportmechanismen sind meßtechnisch nicht zu unterscheiden. Speziell im Feuchtebereich treten Dampf- und Flüssigtransport überlagert in derselben Richtung auf, der Massenstrom insgesamt wird erhöht und liefert somit bei Auswertung nach Gleichung (1) einen kleineren  $\mu$ -Wert. Tritt jedoch ein Gefälle für  $\varphi$  entgegen dem Dampfdruckgefälle auf, so wird der meßbare Gesamtmassenstrom reduziert, nach (1) errechnet sich ein größerer  $\mu$ -Wert. Daß bei Diffusionsmessungen der vorhandene Sorptionswassergehalt eine erhebliche Rolle spielt, läßt sich durch eine einfache Darstellung belegen: Trägt man, wie in Bild 1 geschehen, die Differenz der Diffusionswiderstandszahlen verschiedener Baustoffe für den Trocken- und Feuchtebereich über einem durch Sorption bedingten Porenfüllgrad (hier z.B. definiert als volumetrische Sorptionsfeuchte bei 65 % r.F. bezogen auf die Gesamtporosität) auf, so zeigt sich eindeutig, daß das in den Poren sorbierte Wasser für die Absenkung des Diffusionswiderstandes verantwortlich ist.

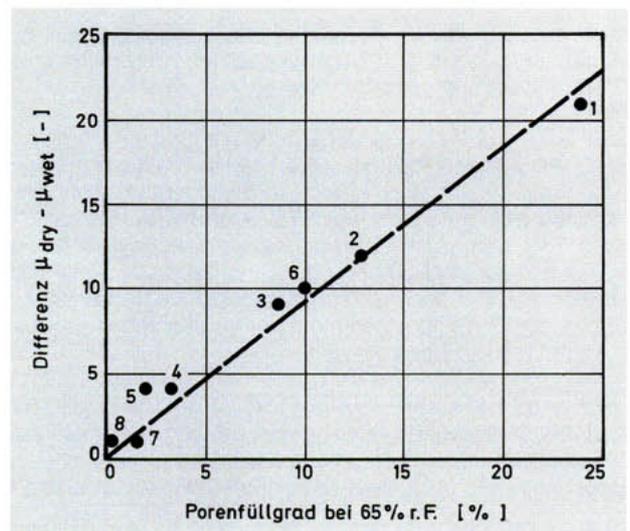
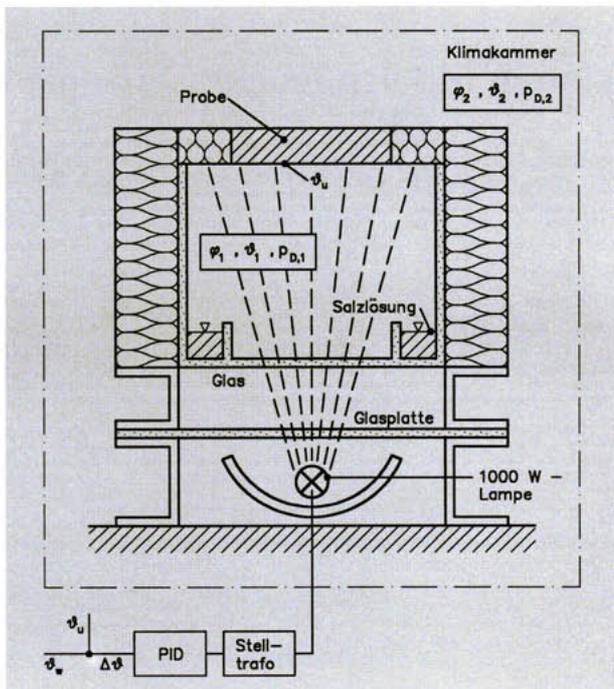


Bild 1: Differenzen der nach DIN 52 615 jeweils im Trocken- und Feuchtebereich bestimmten  $\mu$ -Werte verschiedener Natur-sandsteine und Baustoffe in Abhängigkeit vom jeweiligen sorptionsbedingten Porenfüllgrad bei 65% r.F. (1: Saaler, 2: Baumberger, 3: Sander, 4: Rühener, 5: Oberkirchner Sandstein, 6: Kalksandstein, 7: Porenbeton, 8: Ziegel)

## Versuch

Um den genannten Effekt zu quantifizieren, ist eine Meßeinrichtung erforderlich, die es gestattet, Dampfdruck- und Sorptionsfeuchtegradienten auch in entgegengesetzter Richtung in einer Materialprobe definiert einzustellen. Dies ist nur durch Aufbringen einer Temperaturdifferenz erreichbar. Der in **Bild 2** gezeigte Meßaufbau erfüllt diese Bedingungen. Durch den Boden eines seitlich isolierten, gläsernen Diffusionsgefäßes mit oben aufgedichteter Baustoffprobe wird die Probeninnenoberfläche mit Hilfe eines geregelten Strahlers auf eine bestimmte Temperatur erwärmt. Die relative Luftfeuchte im Innenraum wird von einer gesättigten Salzlösung in einem ringförmigen Glasbehälter am Boden des Gefäßes erzeugt. Der Aufbau steht in einer Klimakammer, die das Außenklima vorgibt. Der Diffusionsstrom wird wie üblich durch Wiegen des Diffusionsgefäßes bestimmt. Die Versuche werden unter verschiedenen Randbedingungen an Gipskarton und Baumberger Sandstein durchgeführt, beides Materialien mit relativ hohem Porenfüllgrad bei 65% r.F..



**Bild 2:** Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus zur Bestimmung der Dampfdurchlässigkeit von Baustoffen unter Dampfdruck- und Temperaturgradienten.

Randbedingungen und Meßergebnisse für die Fälle gleich- und entgegengerichteter Gradienten sind für die genannten Probenmaterialien in **Tabelle 1** aufgeführt, wobei die Diffusionswiderstandszahl  $\mu$  nach dem Diffusionsansatz (1) aus dem gemessenen Massenstrom errechnet wird. Für Gipskarton ergibt sich bei gleichgerichteten Gradienten ein  $\mu$ -Wert von 6,3 und für entgegengesetzte Gradienten ein Wert von 22. Dies bestätigt die vorher erläuterten theoretischen Überlegungen.

Aus den Meßergebnissen für Baumberger Sandstein, wobei die Messungen nichtisotherm bei entgegengesetzten Gradienten, aber unterschiedlichen Dampfdruckdifferenzen durchgeführt worden sind, erkennt man, daß eine Er-

Die Untersuchungen wurden vom Bundesministerium für Forschung und Technologie gefördert.

**Tabelle 1:** Parameter und Ergebnisse für Diffusionsmassenstromdichten und  $\mu$ -Werte bei Gipskarton und Baumberger Sandstein. Die nichtisothermen Diffusionswiderstandszahlen wurden aus den gemessenen Massenströmen nach Gleichung (1) ermittelt. Die isotherme Diffusionswiderstandszahl wurde bei einer mittleren relativen Luftfeuchte von 63 % bestimmt und daraus der Massenstrom berechnet.

Material	Parameter						Ergebnisse		
	$\vartheta_1$ [°C]	$\vartheta_2$ [°C]	$\varphi_1$ [%]	$\varphi_2$ [%]	$p_{D1}$ [mbar]	$p_{D2}$ [mbar]	Gradienten $\varphi$ und $p_D$	$\dot{m}$ [kg/m²h]	$\mu$ [-]
Gipskarton nichtisotherm gemessen	24	18	50	75	14,9	15,5	parallel	0,86	6,3
	26,5	18	50	75	17,3	15,5	entgegen	0,41	22
Baumberger nichtisotherm gemessen	27	17	50	75	17,7	14,5	entgegen	0,57	29
	25	17	50	75	16,0	14,5	entgegen	0,05	160
Baumberger isotherm berechnet	23		Mittelwert ca. 63%		$\Delta p_D = 3,2$ $\Delta p_D = 1,5$		parallel	1,07	16
							parallel	0,50	16

niedrigung der Dampfdruckdifferenz von 3,2 auf 1,5 mbar eine Erhöhung für den nach Gleichung (1) berechneten  $\mu$ -Wert von 29 auf 160 bewirkt. Dieser extreme Effekt wird verständlich, wenn man die jeweiligen Massenstromdifferenzen zwischen dem gemessenen nichtisothermen Fall und dem berechneten isothermen Fall betrachtet, wobei jeweils die gleichen Dampfdruckdifferenzen zugrunde liegen:

$$\Delta \dot{m} = 1,07 - 0,57 = 0,50 \text{ kg/m}^2\text{h}$$

$$\Delta \dot{m} = 0,50 - 0,05 = 0,45 \text{ kg/m}^2\text{h}$$

Die in beiden Fällen etwa gleich große Differenz entspricht dem der Diffusion entgegengerichteten und davon abhängigen Flüssigtransport im nichtisothermen Zustand. Da im Fall der geringeren Dampfdruckdifferenz der entgegengesetzte Sorbatmassenstrom fast so groß ist wie der Diffusionsstrom, erfaßt man meßtechnisch nur einen sehr kleinen Gesamtmassenstrom und ermittelt daraus nach (1) einen extrem großen  $\mu$ -Wert.

## Folgerungen

Die erläuterten Meßergebnisse zeigen, daß für hygroskopische Baustoffe unter praktischen nichtisothermen Bedingungen eine integrale Beschreibung beider Transportvorgänge als feuchteabhängige Diffusion nicht zulässig ist, da die Anwendung des Diffusionsansatzes nur unter Voraussetzung eines vom Dampfdruckgradienten unabhängigen Diffusionswiderstandes sinnvoll ist. Dies heißt aber, daß Diffusionsberechnungen, wie sie heute auch für nichtisotherme Fälle durchgeführt werden - unter Annahme des Dampfdruckgradienten als alleiniges treibendes Potential und kleinerer Diffusionswiderstände in feuchteren Zonen - bei hygroskopischen Baustoffen zu gravierenden Fehleinschätzungen führen können. Sinnvoller wäre es, beide Transportvorgänge getrennt mit Hilfe der im Trockenbereich bestimmten Diffusionswiderstandszahl für die Diffusion und einer noch zu bestimmenden Transportkenngröße für den Flüssigtransport zu berechnen, was die Basis für echte Verbesserungen auch von Normverfahren darstellen würde.