Fraunhofer Institut Bauphysik

IBP-Mitteilung 406

29 (2002) Neue Forschungsergebnisse, kurz gefaßt

A. Holm, M. Krus, H.M. Künzel

Approximation der Feuchtespeicherfunktion aus einfach bestimmbaren Kennwerten

Einleitung

Für instationäre Berechnungen des Feuchtehaushaltes von Bauteilen sind bei neuen Rechnerverfahren z.T. zusätzliche Kennwerte notwendig. Neben den Flüssigtransportkoeffizienten für das kapillare Saugen bzw. die Trocknung ist dies die Feuchtespeicherfunktion. Eine korrekte Kenntnis dieser Funktion ist vor allem dann unabdingbar, wenn ein Feuchtetransport zwischen in Kontakt miteinander stehenden kapillaraktiven Materialien auftritt. Sie ergibt sich nach [1] im hygroskopischen Feuchtebereich aus der Sorptionsisotherme und in höherem Feuchtebereich aus der Saugspannungsmessung. Diese Messungen sind allerdings aufwendig und zeitintensiv.

Deswegen sind Approximationsmethoden zur Bestimmung der Feuchtespeicherfunktion auf Basis einfach zu ermittelnder Kennwerte in der Literatur häufig zu finden. Einige dieser Ansätze sind rein empirischer Natur, andere werden direkt aus der BET-Theorie abgeleitet. Bei vielen Ansätzen wird bei 100 % r.F. der physikalisch nicht sinnvolle Wert einer unendlich hohen freien Sättigung erreicht. Akzeptable Ergebnisse wurden mit der in [2] angegebenen Näherung erzielt, bei der sich die gesamte Feuchtespeicherfunktion aus der Ausgleichsfeuchtegehalt bei 80 % relativer Feuchte und der freien Sättigung ergibt. Ein Vergleich zwischen der gemessenen und der von [2] vorgeschlagenen Feuchtespeicherfunktion zeigt aber für einige Materialien (Holzwerkstoffe, Kalkzementputz, Beton in Bild 1 bis Bild 3) unterhalb des 80 % Luftfeuchte entsprechenden Kapillardrucks von $3 \cdot 10^7$ Pa (300 bar) zu niedrige und oberhalb zu hohe approximierte Wassergehalte.

Bessere Ergebnisse liefern Ansätze, die auf gemessenen Porenradienverteilungen basieren [3,4]. Da solche Messungen jedoch ebenfalls einen hohen apparativen Aufwand erfordern, wird im folgenden ein neues Approximationsverfahren vorgestellt, das ausschließlich auf einfachen Sorptionsmessungen beruht.

Entwicklung eines neuen Approximationsverfahrens

Trägt man die komplette Feuchtespeicherfunktion nicht mehr als Funktion der relativen Feuchte, sondern als Funktion des Kapillardrucks auf, so ergibt sich für nahezu alle Materialien ein typischer s-förmiger Verlauf, der vor allem durch den Gradienten im Bereich der Feuchtespeicherfunktion zwischen 80 % (entspricht 300 bar) und 95 % r. F. (entspricht 60 bar) bestimmt wird. Aufbauend auf dieser Erkenntnis wird deshalb hier die Verwendung der folgenden empirischen Funktion mit den beiden freien Parametern p_{k1} und p_{k2} vorgeschlagen (mit p_c als Kapillardruck in Pa):

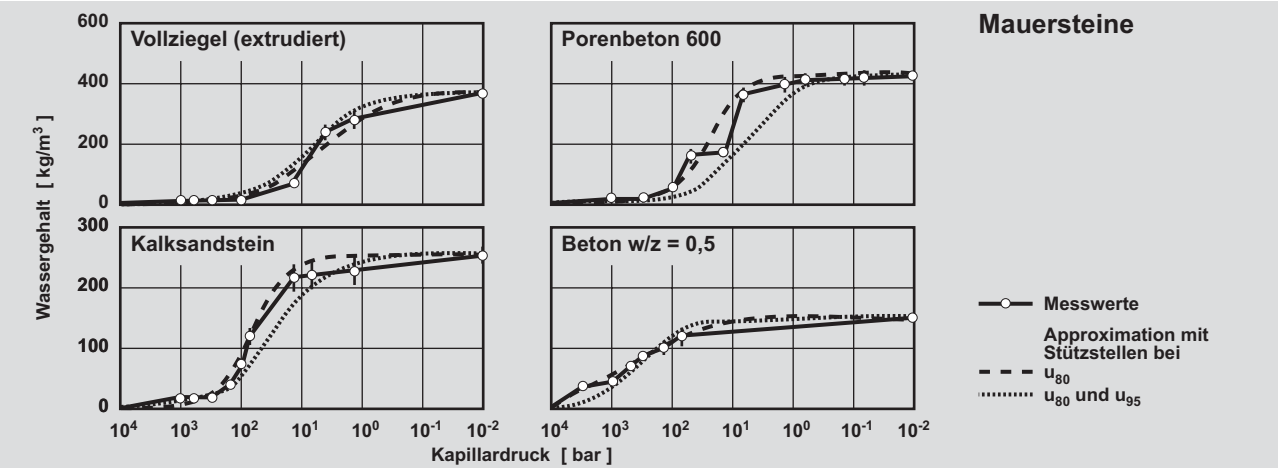

Bild 1: Vergleich zwischen gemessener und angenäherter Feuchtespeicherfunktion für vier Mauerwerksbildner, dargestellt als Funktion des Kapillardrucks.

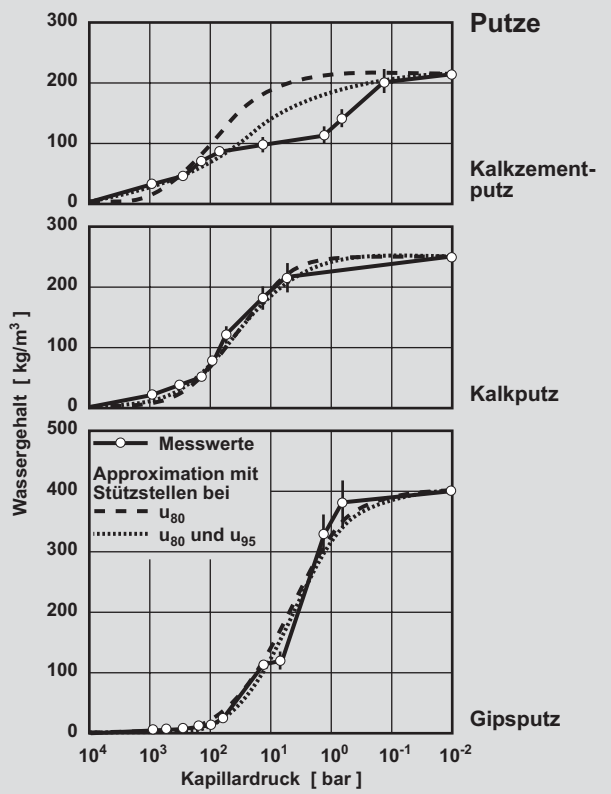

Bild 2: Vergleich zwischen gemessener und angenäherter Feuchtespeicherfunktion für drei Putze.

$$u(p_c) = \frac{u_f}{1+\left(\frac{p_c}{p_{k1}}\right)^{pk2}} = \frac{u_f}{1+\left(\frac{\rho_w \cdot R_D \cdot T \cdot \ln(\varphi)}{p_{k1}}\right)^{pk2}} \qquad (1)$$

P_{k1}, p_{k2} [-]	freie Parameter
R_D [J/kgK]	Gaskonstante für Wasserdampf
T [K]	Absolute Temperatur
u_f [kg/m³]	Freie kapillare Wassersättigung
ρ_w [kg/m³]	Dichte von Wasser
φ [-]	Relative Luftfeuchte

Sie lassen sich durch Einsetzen der beiden gemessenen Sorptionsfeuchten bei 80 % und 95 % relative Luftfeuchte (oder einen anderen möglichst hohen Wert) errechnen. Diese Werte sind ohne großen meßtechnischen Aufwand leicht bestimmbar. Die Umrechnung der relativen Feuchte in den Kapillardruck erfolgt mit Hilfe der Kelvin-Formel. Für verschiedene Mauersteine, Putze und Holzwerkstoffe sind die Ergebnisse der beiden Approximationsmethoden im Vergleich zu den jeweils gemessenen Feuchtespeicherfunktionen in Bild 1 bis Bild 3 dargestellt. Bei den Messwerten wird zusätzlich der abgeschätzte Unsicherheitsbereich, bedingt durch Materialschwankungen und die Meßmethode, mit angegeben. Es zeigt sich, dass für die hier aufgeführten Beispiele eine bessere Übereinstimmung der neu vorgeschlagenen Approximation mit den gemessenen Werten erzielt wird. Ein Softwaretool zur Generierung dieser approximierten Feuchtespeicherfunktion wird in Kürze unter www.wufi.de zur Verfügung gestellt.

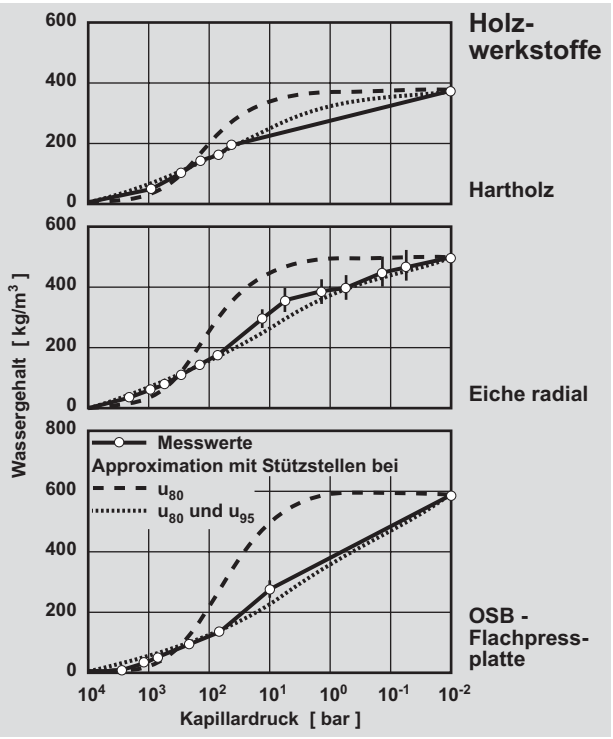

Bild 3: Vergleich zwischen gemessener und angenäherter Feuchtespeicherfunktion für drei Holzwerkstoffe.

Einfluss der Approximation auf Berechnungsergebnisse

In [1] wurde der Kapillartransport über die Schichtgrenze zweier kapillaraktiven Materialien (hier unterschiedliche Sandsteinvarietäten) untersucht. Dabei zeigt sich zum einen der dominante Einfluss der Feuchtespeicherfunktion im überhygroskopische Bereich, zum anderen aber auch, dass mit korrekter Feuchtespeicherfunktion eine gute Übereinstimmung von Berechnung und Experiment erreicht wird. Beim Einsatz der neuen Approximationsmethode werden, wie in [5] gezeigt, für die selben Fälle ähnlich gute Ergebnisse erzielt.

Literatur

[1] Krus, M.: Feuchtetransport- und Speicherkoeffizienten poröser mineralischer Baustoffe Theoretische Grundlagen und neue Messtechniken. Dissertation Universität Stuttgart (1995).

[2] Künzel, H.M.: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Dissertation Universität Stuttgart 1994.

[3] Häupl, P., Plugge, R. und Fechner, H.: Hygrische Materialfunktionen von porösen Baustoffen. Gesundheits-Ingenieur 122 (2001), H. 6, S. 305-316

[4] Carmeliet, J. and Roels, S.: Determination of the Moisture Capacity of Porous Building Materials. Journal Thermal Envelope & Building Science Vol. 25 (2002), pp. 209-237

[5] Holm, A.: Ermittlung der Genauigkeit von instationären hygrothermischen Bauteilberechnungen mittels eines stochastischen Konzeptes. Diss. Univ. Stuttgart 2001

Fraunhofer Institut Bauphysik

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR BAUPHYSIK (IBP)

Leiter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. mult. Dr. E.h. mult. Karl Gertis
D-70569 Stuttgart, Nobelstr. 12 (Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart), Tel. 07 11/9 70-00
D-83626 Valley, Fraunhoferstr. 10 (Postfach 11 52, 83601 Holzkirchen), Tel. 0 80 24/6 43-0

Herstellung und Druck: Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB, Satz- und Druckcenter

Nachdruck nur mit schriftlicher Genehmigung des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik