

M. Krus

Bestimmung der Feuchtespeicherfunktion

Der Feuchtehaushalt wasseraufnahmefähiger Baustoffe wird neben den im Baustoff in gasförmiger und flüssiger Phase ablaufenden Feuchtetransportvorgängen durch deren Feuchtespeichervermögen bestimmt. Für die Feuchteeinlagerung in porösen Baustoffen sind unter praktischen Gesichtspunkten zwei Mechanismen von Bedeutung, nämlich die Anlagerung von Wassermolekülen an den Porenwänden durch Oberflächenkräfte (Sorptionsfeuchte, hygroscopischer Feuchtebereich) und die Aufnahme von ungebundenem Kapillarwasser in benetzbaren Kapillarporen (Kapillarwasserbereich, überhygroscopischer Feuchtebereich).

Die Sorptionsfeuchte wird für isotherme Gleichgewichtsverhältnisse durch die Sorptionsisotherme charakterisiert. Bei relativen Luftfeuchten über 95 % steigt die Sorptionsisotherme sehr stark an. Gerade für diesen Bereich ist aber kein Meßverfahren bekannt, mit dem mit hoher Genauigkeit

Tabelle 1: Zusammenstellung feuchtetechnischer Stoffkennwerte.

Baustoff	Rohdichte [kg/m ³]	Porosität [Vol.-%]	freie Sättigung [kg/m ³ h]	Wasseraufnahmekoeffizient [kg/m ² √h]	Sorptionsfeuchtegehalt in [kg/m ³] bei		
					65 % r.F.	80 % r.F.	90 % r.F.
Kalksandstein	1900	29	250	2,7	18,0	24,9	40,2
Baumberger	1980	23	210	2,6	27,5	35,6	43,1
Obernkirchner	2150	14	110	2,7	2,6	3,4	4,3
Rüthener	1950	24	200	18	8,0	12,4	16,9

die Luftfeuchte bestimmt werden kann. Eine eindeutige Zuordnung des Wassergehaltes zur Luftfeuchte ist deshalb nicht möglich. Die Feuchtespeicherfunktion des hier anschließenden Kapillarwasserbereiches muß deshalb auf anderem Wege bestimmt werden. Bei kapillarporösen hygroscopischen Materialien mit stetiger Porengrößenverteilung kann jedem Wassergehalt bis hin zur freien Wassersättigung jeweils eine maximale noch mit Wasser gefüllte Porengröße zugeordnet werden. Diese Zuordnung beruht darauf, daß alle vom Wasser erreichten Poren miteinander in Verbindung stehen und die kleineren Poren mit ihrer höheren Saugkraft so lange aus den größeren Poren Wasser saugen, bis für einen bestimmten Wassergehalt ein Kapillardruckgleichgewicht erreicht ist. Für den Bereich der überhygroscopischen Wassergehalte ergibt dies eine charakteristische Abhängigkeit, die sogenannte Kapillardruck- oder Saugspannungskurve.

Zur Bestimmung dieser Saugspannungskurve wird anstatt der Quecksilberdruckporosimetrie [1] eine aus der Bodenkunde bekannte, für diesen Zweck modifizierte Saugspannungsmeßanlage eingesetzt. Im Gegensatz zur Quecksilberdruckporosimetrie, die auf der druckabhängigen Quecksilberintrusion beruht, gewährleistet dieses Verfahren, bei dem die Proben unter Druck entfeuchtet werden (eine eingehende Beschreibung des Meßverfahrens ist in [2] zu finden), eine realistischere Zustandsbeschreibung. Bei dieser Meßmethode werden die realen Wechselwirkungen zwischen Wasser und Porenwand und eventuell vorhandenen hydrophilen (z.B. Salzen) und hydrophoben Poreinhaltsstoffen (z.B. Hydrophobierungsmitteln, biologischen Verunreinigungen) mit erfaßt. Ein weiterer entscheidender Vorteil ist darin zu sehen, daß diese Meßtechnik es ermöglicht, nicht den gesamten, sondern nur den für den Flüssigtransport zugänglichen Porenraum zu erfassen, indem bei der Messung von frei gesättigten Proben ausge-

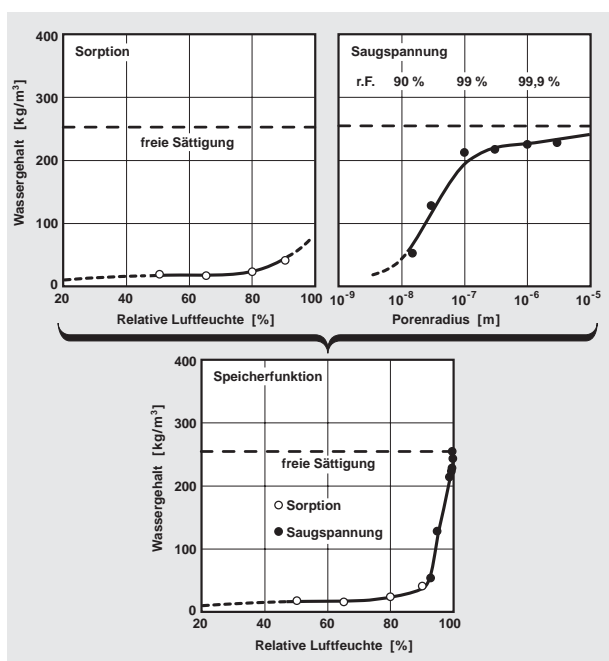


Bild 1: Entwicklung einer Feuchtespeicherfunktion aus der Sorptionsisotherme (oben links) und der Saugspannungskurve (oben rechts) am Beispiel des Kalksandsteins.

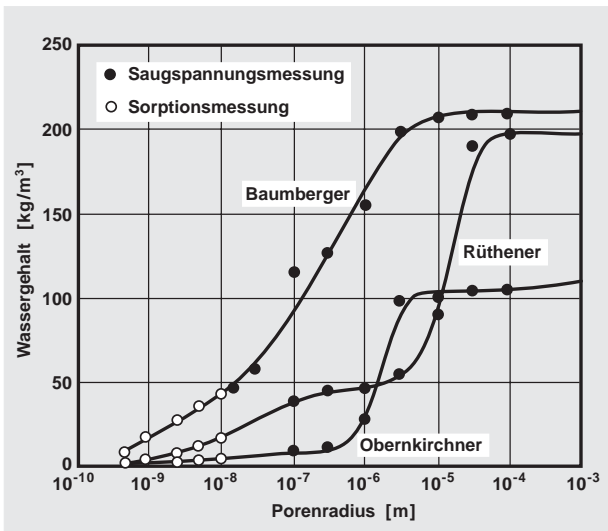


Bild 2: Feuchtespeicherfunktion des Baumberger, Rütthener und Obernkirchner Sandsteins, entwickelt aus der Sorptionsisotherme und der Saugspannungskurve.

gangen wird. Die Messung deckt den praktisch interessierenden, überhygroskopischen Wassergehaltsbereich von der freien Sättigung bis herab zu gefüllten Poren mit Radien von etwa 10^{-8} m ab.

Die Sorptionsisotherme und die Saugspannungskurve geben den Wassergehalt jeweils in Abhängigkeit von echten Potentialgrößen an, nämlich der relativen Luftfeuchte φ als Verhältnis des Dampfdruckes zum Sättigungsdampfdruck und dem Kapillarradius r als kennzeichnender Größe für den Kapillardruck. Beide Größen sind über die thermodynamische Gleichgewichtsbedingung nach Kelvin-Thomson miteinander verknüpft und daher ineinander umrechenbar:

$$\varphi = \exp \left[- \frac{2\sigma \cos \theta}{r \rho_w R_D T} \right] \quad (1)$$

Die verwendeten Symbole bedeuten:

σ	[N/m]	Oberflächenspannung des Wassers
θ	[°]	Randwinkel
R_D	[J/(kgK)]	spezifische Gaskonstante für Wasserdampf
T	[K]	absolute Temperatur

Damit kann der Wassergehalt im gesamten hygroskopischen und überhygroskopischen Stofffeuchtebereich als geschlossene Funktion entweder von φ oder von r dargestellt werden. Universell anwendbar und praktisch anschaulicher ist die Wahl der relativen Luftfeuchte als allgemeines Feuchtespeicherpotential. In kapillar nicht aktiven Baustoffen, wie z.B. den meisten Dämmstoffen, ist nämlich wohl der Dampfdruck bzw. die relative Luftfeuchte, nicht aber der Kapillardruck bzw. die Saugspannung definiert.

Aus der so durchgeführten Verknüpfung von Sorptionsisotherme und Saugspannungskurve ergibt sich die sog. Feuchtespeicherfunktion (Bild 1). Da die Saugspannungs-

messung, bedingt durch den nichtlinearen Zusammenhang zwischen Porengröße und relativer Feuchte, nur einen Luftfeuchtebereich zwischen 93 % und 100 % abdeckt, ergibt sich bei dieser Darstellungsart ein steiler Verlauf des durch die Saugspannungsmessung bestimmten Bereiches. Um die Feuchtespeicherfunktionen verschiedener Baustoffe besser miteinander vergleichen zu können, wird hier deshalb der Kapillarradius als Feuchtespeicherpotential gewählt.

In Bild 2 ist für drei in ihren feuchtetechnischen Eigenschaften unterschiedliche Natur sandsteine (siehe Tabelle 1) die auf die beschriebene Weise erhaltene Feuchtespeicherfunktion dargestellt. Der Baumberger Sandstein ist ein feinporiger Kalkstein mit auffällig hohem Sorptionsvermögen. Der Obernkirchner Sandstein, ein ebenfalls feinkörniger Sandstein mit quarzitischer Bindung, besitzt einen vergleichbaren Wasseraufnahmekoeffizienten bei nur halb so großer freier Sättigung und niedrigem Sorptionsvermögen. Der Rütthener ist dagegen ein grobporiger Sandstein mit einer freien Wassersättigung, vergleichbar der des Baumberger Sandsteins, aber einem hohen Wasseraufnahmekoeffizienten. Bei diesen drei Natursteinen ergeben sich drei unterschiedliche Feuchtespeicherfunktionen, aber in allen Fällen erhält man trotz Verwendung zweier unterschiedlicher Meßmethoden (Sorptions- und Saugspannungsmessung) eine *stetige* Funktion, welche alle praktisch wesentlichen Feuchtespeichereigenschaften eines porösen Baustoffes bis hin zur freien Wassersättigung enthält und in Abhängigkeit von einer echten, stoffunabhängigen Potentialgröße angegeben werden kann. Sie kann in dieser Form für die Berechnung des Feuchtehaushaltes von miteinander in Kontakt stehenden kapillaraktiven Baustoffen eingesetzt werden.

Literatur

- [1] Kießl, K.: Kapillarer und dampfförmiger Feuchtetransport in mehrschichtigen Bauteilen. Diss. Universität Essen Gesamthochschule 1983.
- [2] Krus, M.: Feuchtetransport- und Speicherkoeffizienten poröser mineralischer Baustoffe. Theoretische Grundlagen und neue Meßtechniken. Diss. Universität Stuttgart 1995.



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