

23 (1996) Neue Forschungsergebnisse, kurz gefaßt

M. Krus, M. Klier

## Flüssigtransport über die Schichtgrenzen zweier miteinander verbundener kapillarporöser Materialien

Bis jetzt wurden meist nur an monolithischem Material für den Feuchtetransport Vergleiche zwischen Messungen und Rechnungen durchgeführt. Eine Ausnahme bildet Kießl [1], der den gemessenen Verlauf der kapillaren Wasseraufnahme zweier Vollziegelsteine mit dazwischenliegender, 1 cm dicker Mörtelfuge mit Rechenergebnissen vergleicht. Allerdings endet der Vergleich mit dem Zeitpunkt der Durchfeuchtung der dünnen Mörtelfuge. Um diese Lücke zu schließen, wurden Messungen der Wasseraufnahme über die Schichtgrenzen zweier miteinander verbundener kapillarporöser Materialien hinweg durchgeführt und mit Rechenergebnissen verglichen.

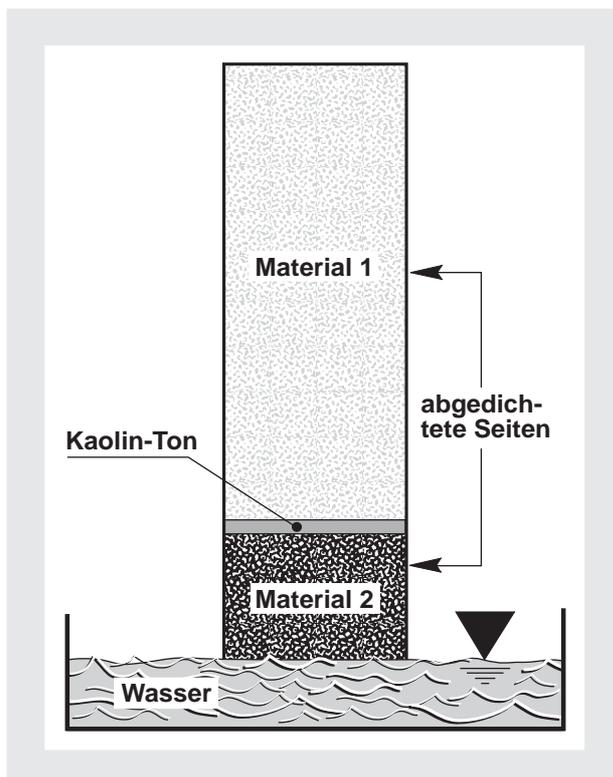


Bild 1: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus zur Bestimmung der Wasseraufnahme über die Schichtgrenze von zwei unterschiedlichen Materialien.

Tabelle 1: Zusammenstellung der Variationsbreite der Wasseraufnahmekoeffizienten der für das Berechnungsbeispiel verwendeten Sandsteinproben. Aus diesen Wasseraufnahmekoeffizienten wurden die Variationsbreiten der exponentiellen Näherungen der Flüssigtransportkoeffizienten berechnet.

| Sandsteinvarietät | Wasseraufnahmekoeffizient<br>[kg/m <sup>2</sup> √h] | Flüssigtransportkoeffizient<br>(Exponentielle Näherung) |  |
|-------------------|---|---|--|
|                   |   | D <sub>wo</sub><br>[m <sup>2</sup> /s]                  | D <sub>wf</sub><br>[m <sup>2</sup> /s] |
| Baumberger        | 2,4 - 2,9   | 6 - 7,2 · 10 <sup>-10</sup>                             | 1,05 - 1,3 · 10 <sup>-7</sup>          |
| Obernkirchner     | 2,5 - 3,0   | 1,8 - 2,2 · 10 <sup>-9</sup>                            | 5,8 - 7 · 10 <sup>-7</sup>             |
| Rüthener          | 17 - 21   | 5,4 - 6,2 · 10 <sup>-10</sup>                           | 1,5 - 3,2 · 10 <sup>-5</sup>           |

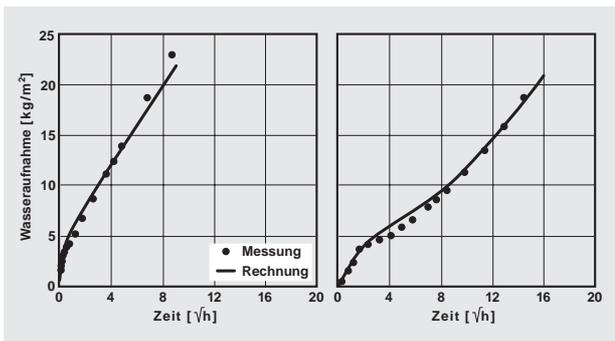
D<sub>wo</sub>: Flüssigtransportkoeffizient bei trockenem Baustoff

D<sub>wf</sub>: Flüssigtransportkoeffizient bei freier Sättigung

Die Untersuchungen, die ausführlicher in [2] beschrieben sind, wurden mit drei verschiedenen Natursandsteinsorten durchgeführt: Rüthener, Baumberger und Obernkirchner Sandstein. Von jeder Kombination aus je zwei Materialien wurden Proben mit einer Querschnittsfläche von 5 x 5 cm und verschiedenen Längen geschnitten. Die Seiten aller Proben wurden mit Epoxidharz versiegelt, um eindimensionale Verhältnisse zu erhalten. Für eine gute hygrysche Verbindung wurden je zwei unterschiedliche Proben mit befeuchtetem Kaolinpulver kapillar verbunden und getrocknet. Anschließend wurde ein Wasseraufnahmeversuch durchgeführt, wobei die offene Seite des kürzeren Probenteils mit Wasser in Kontakt gebracht wurde (Bild 1). Die zeitabhängige Wasseraufnahme wurde durch Wägung bestimmt. Wie Vorversuche ergaben, hat die dünne Kaolinschicht keinen nennenswerten Einfluß auf den Wasseraufnahmeprozess.

### Meßergebnisse

In den Bildern 2 und 3 sind die durch wiederholte Wägungen erhaltenen Verläufe für die Wasseraufnahme als Meßpunkte dargestellt. Bild 2 links zeigt die Wasseraufnahme der Kombination aus 2 cm Rüthener Sandstein und 18 cm Baumberger Sandstein. Nach einer kurzen Aufnahmezeit des Rüthener Sandsteins mit seinem hohen Wasseraufnahmekoeffizienten erreicht das Wasser den Baumberger Sand-



**Bild 2:** Zeitlicher Verlauf (Wurzel-Maßstab) der Wasseraufnahme über die Schichtgrenze von zwei miteinander in hygri-schem Kontakt stehenden Sandsteinproben aus Rütthener und Baumberger Sandstein hinweg. Während der Verlauf der Wasseraufnahme des Baumberger Sandsteins durch den Rütthener Sandstein nicht beeinflusst wird (linkes Bild), wird die Wasseraufnahme des Rütthener Sandsteins durch den Baumberger Sandstein stark behindert (rechtes Bild).

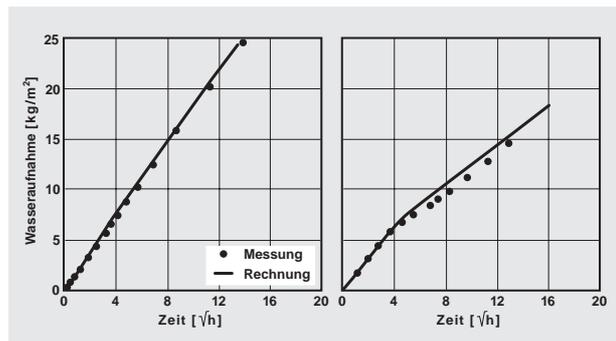
stein, wie aus dem Knick der Kurve zu ersehen ist. Von da an nimmt der Baumberger Sandstein durch den Rütthener Sandstein fast völlig unbeeinflusst das Wasser auf.

Die Kombination Baumberger/Rütthener Sandstein zeigt, wie im rechten Teil des Bildes dargestellt, ein anderes Verhalten. In diesem Fall hat der Baumberger Sandstein einen großen Einfluß auf das Aufnahmeverhalten des Rütthener Sandsteins. Trotz seines großen Wasseraufnahmekoeffizienten nimmt der Rütthener Sandstein das Wasser sogar langsamer als der Baumberger Sandstein auf. Mit steigender Saugzeit bzw. mit steigender Wassereindringtiefe steigt die Wasseraufnahmegeschwindigkeit des Rütthener Sandsteins. Dieser Effekt ist zu erwarten, da mit steigender Eindringtiefe durch die niedriger werdende Sauggeschwindigkeit der im Vergleich zum Rütthener Sandstein deutlich höhere Kapillarwiderstand abnimmt.

Bei der Kombination 4 cm Obernkirchner und 16 cm Baumberger, zwei Materialien mit fast gleichem Wasseraufnahmekoeffizienten, aber unterschiedlicher Saugspannung, ist das Aufnahmeverhalten wie das eines homogenen Materials (siehe Bild 3 links). Bei umgekehrter Kombination erhält man dagegen ein Verhalten vergleichbar dem der Kombination Baumberger/Rütthener. Der Grund hierfür liegt darin, daß auch hier ein Material mit niedriger Saugkraft das Wasser durch ein Material mit hoher Saugkraft und hohem Kapillarwiderstand saugen muß.

### Rechenergebnisse

Die Rechnungen wurden mit dem Feuchttransportprogramm [3] durchgeführt. Wie aus Tabelle 1 hervorgeht, variiert der Wasseraufnahmekoeffizient jeder Sandsteinsorte in einem gewissen Bereich. Um die Genauigkeit zu erhöhen, wurde für die Berechnungen der an jeder einzelnen Probe gemessene Wasseraufnahmekoeffizient verwendet. Aus diesem Koeffizienten wurden gemäß [4] die exponentiellen Näherungen für die Flüssigtransportkoeffizienten berechnet; die Variationsbreiten der Koeffizienten sind in Tabelle 1 mit aufgeführt. In der IBP-Mitteilung Nr. 292 [5] sind die für die Rechnung verwendeten Feuchtespeicherfunktionen dieser drei Natursandsteine eingezeichnet. Die Rechenergebnisse sind in den Bildern 1 und 2 als durchgezogene Linien dar-



**Bild 3:** Zeitlicher Verlauf (Wurzel-Maßstab) der Wasseraufnahme über die Schichtgrenze von zwei miteinander in hygri-schem Kontakt stehenden Proben aus Obernkirchner und Baumberger Sandstein. Beide Sandsteinvarietäten besitzen den gleichen Wasseraufnahmekoeffizienten. Die Saugspannung des Obernkirchner Sandsteins ist aber deutlich niedriger als die des Baumberger Sandsteins. Beim Saugen des Baumberger Sandsteins aus dem Obernkirchner Sandstein heraus zeigt sich ein Verhalten wie bei einer monolithischen Probe (linkes Bild). Bei umgekehrter Saugrichtung (rechtes Bild) zeigt sich der Einfluß der unterschiedlichen Saugspannung beider Proben.

gestellt. In allen Fällen ergibt sich eine ausgezeichnete Übereinstimmung zwischen Rechnung und Messung, die Charakteristik und die Aufnahmemenge wird (mit nur sehr geringen Abweichungen) korrekt wiedergegeben.

Berechnungen, bei denen die Transportkoeffizienten und die Saugspannungskurve variiert wurden, ergaben einen dominanten Einfluß der Saugspannungskurve auf die berechnete Charakteristik des Wasseraufnahmeverlaufes. Dies zeigt, daß eine korrekte Bestimmung der Speicherfunktion, z.B. mit Hilfe einer Saugspannungsmeßanlage, von entscheidender Bedeutung ist, wenn bei zwei in Kontakt miteinander stehenden kapillaraktiven Baustoffen der Feuchttransport berechnet werden soll.

### Literatur

- [1] Kießl, K.: Kapillarer und dampfförmiger Feuchttransport in mehrschichtigen Bauteilen. Diss. Universität Essen Gesamthochschule 1983.
- [2] Krus, M., Künzel, H.M., Klier, M.: Liquid Transport Over the Boundary Layers of Two Different Hygroscopic Capillary Active Materials. IEA-Annex 24 Projekt, Report T1-D93/08.
- [3] Künzel, H.M.: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchttransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Diss. Universität Stuttgart 1994.
- [4] Krus, M.: Determination of  $D_w$  from the A-value. IEA-Annex 25 Project, Report T3-D93/01.
- [5] Krus, M.: Bestimmung der Feuchtespeicherfunktion. IBP-Mitteilung 292 (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**