

22 (1995) Neue Forschungsergebnisse, kurz gefaßt

M. Krus, H.M. Künzel

Flüssigtransport im Übersättigungsbereich

Für kapillarporöse mineralische Baustoffe lassen sich drei Feuchtebereiche unterscheiden: der Sorptionsfeuchtebereich, der Kapillarwasserbereich und der Übersättigungsbereich. Der Übersättigungsbereich beginnt mit der freien Wassersättigung und endet mit der maximalen Sättigung, die erreicht wird, wenn der komplette offene Porenraum mit Wasser gefüllt ist. Als Ursache für das Auftreten von Übersättigungsfeuchte in kapillaraktiven Baustoffen sind vor allem im Tiefbau das anstehende Wasser, im Hochbau lang andauernde Taupunktunterschreitung sowie die durch die Herstellung des Baustoffes auftretende Baufeuchte zu nennen. Im Gegensatz zum Sorptionsfeuchte- und Kapillarwasserbereich ist der Feuchte-transport im Übersättigungsbereich nur wenig untersucht. Nielsen [2] hat Feuchteprofile vakuumgesättigter Baustoffe während des Austrocknungsvorganges gemessen und daraus Flüssigtransportkoeffizienten berechnet. Bild 1 zeigt Feuchteprofile, bestimmt während der Trocknung einer vakuumgesättigten Probe aus Porenbeton mit einer Rohdichte von 570 kg/m^3 , einer freien Sättigung von 30 Vol.-% und einer Vakuumsättigung von 78 Vol.-% [2]. Ausgehend vom konstanten Wassergehalt bei Vakuumsättigung bilden sich sehr steile, zur Trocknungsseite hin abfallende Profile aus, die aber bei weitergehender Trocknung wieder flacher werden, bis beim Erreichen der freien Sättigung kein Feuchtegradient mehr vorliegt. Daran anschließend bilden sich dann wieder Feuchteprofile aus, wie sie bei der Trocknung freigesättigter Proben zu erwarten sind. In Bild 2 sind für diesen Baustoff mit verschiedenen Methoden bestimmte Kapillartransportkoeffizienten dargestellt [3]. Die meisten Transportkoeffizienten erreichen bei freier Sättigung ein relatives Maximum und fallen bei noch höherer Feuchte deutlich ab. Daran anschließend steigen die Transportkoeffizienten wieder stark an und erreichen bei Vakuumsättigung Werte, die der freien Sättigung entsprechen oder diese um mehr als eine Größenordnung übertreffen. Während unterhalb der freien Sättigung alle Kurven nahe beieinanderliegen, unterscheiden sie sich oberhalb davon deutlich.

Um zu klären, ob im Feuchtebereich zwischen freier Sättigung und Vakuumsättigung ein Wassergehaltsgradient wirklich zu einem Feuchte-transport führt, wurde ein einfaches Experiment durchgeführt. Es wurden Proben aus Porenbeton und Kalksandstein mit Abmessungen von $5 \times 7 \times 2 \text{ cm}^3$ mit Wasser gesättigt, jeweils die Hälfte davon unter Vakuum bis zur maximalen Sättigung. Proben jeweils gleichen Materials wurden paarweise (je eine frei- und eine vakuumgesättigte Probe) mit Hilfe von Kaolin-Ton zusam-

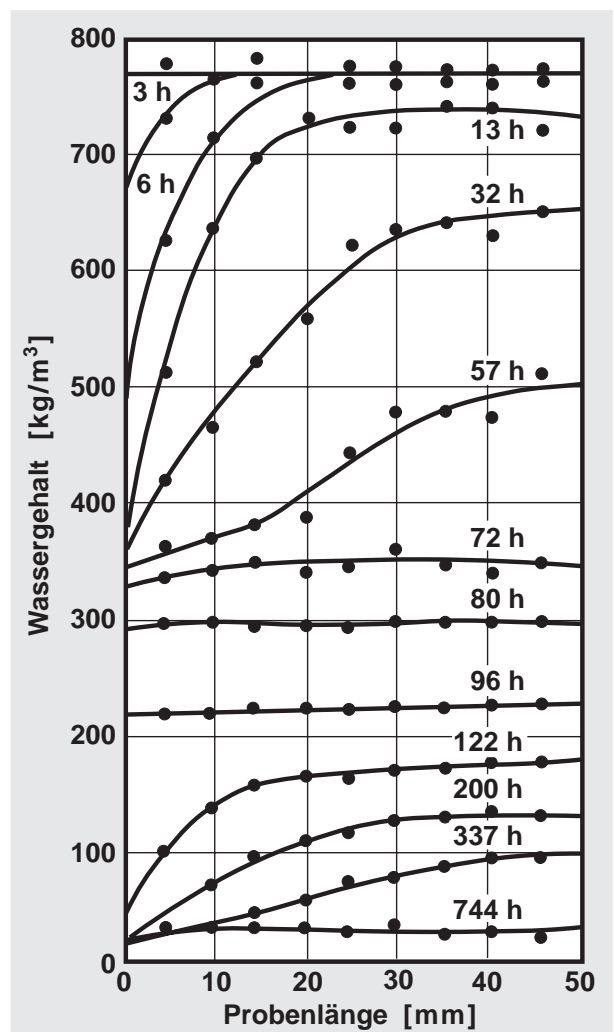


Bild 1: Gemessene Feuchteprofile in einer einseitig austrocknenden, 50 mm langen, vollständig wassergesättigten Porenbetonprobe zu verschiedenen Zeitpunkten nach Beginn der Trocknung. Die Messungen wurden mit Hilfe von Gammastrahlen unter Umgebungsbedingungen von $21,5 \text{ }^\circ\text{C}$ und 52 % relativer Feuchte bei einer Luftgeschwindigkeit von $1,5 \text{ m/s}$ durchgeführt [2].

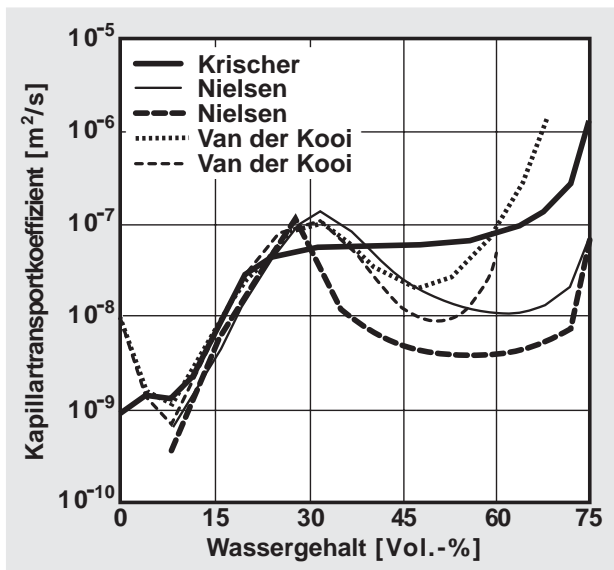


Bild 2: Kapillartransportkoeffizienten von Porenbeton nach van der Kooi, Krischer und Nielsen, aus Trocknungsversuchen bestimmt (aus [3]).

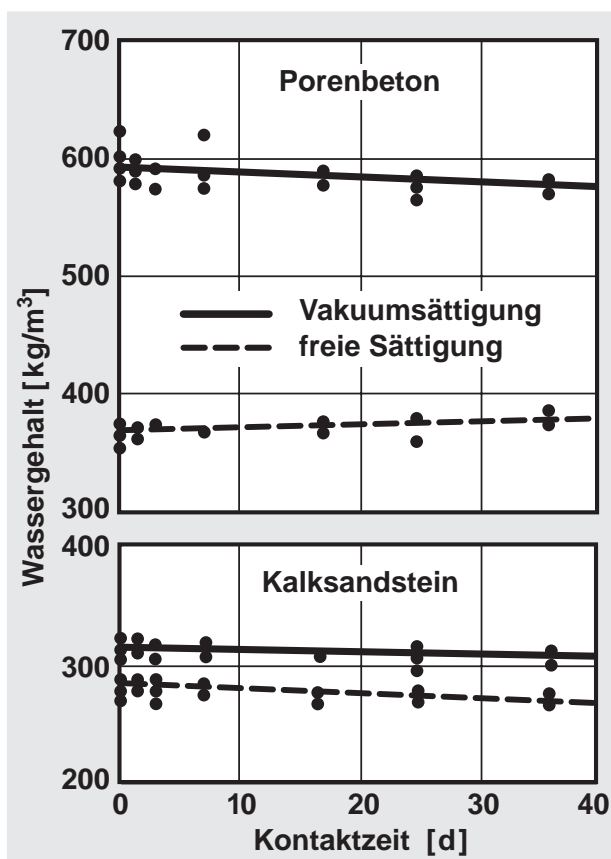


Bild 3: Feuchtezustand von kapillar verbundenen Probenpaaren mit je einer vakuum- und einer frei gesättigten Probenprobe aus Porenbeton (oben) bzw. Kalksandstein (unten) in Abhängigkeit von der Kontaktzeit.

mengeklebt, wodurch ein guter hygrischer Kontakt erreicht wird. Anschließend wurden sie durch Einwickeln in Folie vor Trocknung geschützt und unter Laborbedingungen gelagert. Von Zeit zu Zeit wurden je drei dieser Paare getrennt und der Wassergehalt der einzelnen Proben durch Wägung bestimmt.

Bild 3 oben zeigt den Verlauf des Wassergehalts der freigesättigten und der vakuumgesättigten Proben aus Porenbeton der paarweise zusammengehörenden Proben. Der Wassergehalt der vakuumgesättigten Proben nimmt leicht mit der Zeit ab, während der Wassergehalt der freigesättigten Proben fast konstant bleibt. Nach einem Zeitraum von fast sechs Wochen ist die Differenz zwischen beiden von etwa 220 auf knapp 200 kg/m³ gefallen. Gemäß den in Bild 2 dargestellten Transportkoeffizienten müßte ein rascher Austausch an Feuchte stattfinden. Bei den Proben aus Kalksandstein (siehe Bild 3 unten) nimmt der Wassergehalt sowohl der vakuumgesättigten als auch der freigesättigten Proben leicht mit der Zeit ab, da die verwendete Folie nicht ausreichend dampfdicht war, ein Austrocknen der Proben also nicht vollständig verhindert wurde. Die Differenz der beiden Kurven ist konstant, das heißt, es findet kein Feuchteausgleich zwischen freigesättigter und vakuumgesättigter Probe statt.

Die dargestellten Ergebnisse zeigen, daß oberhalb der freien Wassersättigung kein Kapillartransport stattfindet, da keine Kapillardruckunterschiede mehr existieren. Die Wasseraufnahme wird bei Erreichen der freien Wassersättigung beendet, weil bei diesem Wassergehalt der Kapillardruck Null wird. Da also im übersättigten Bereich auch bei Bestehen eines Wassergehaltsgradienten kein Flüssigtransport auftritt, ist der Wassergehalt kein geeignetes Potential für den Flüssigtransport. Es ist physikalisch korrekter, statt dessen den Kapillardruck als Potential zu wählen. Über die Kelvin-Beziehung besteht ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Kapillardruck und relativer Luftfeuchte, so daß auch diese als physikalisch begründetes Potential für den Flüssigtransport verwendet werden kann. Die relative Luftfeuchte besitzt gegenüber dem Kapillardruck den Vorteil der besseren Anschaulichkeit und ist auch in nicht kapillaraktiven Materialien definiert [1]. Bei der Berechnung von Feuchtetransportvorgängen sollte der Wassergehalt oberhalb freier Sättigung wie ein Wasserreservoir für den unterhalb der freien Sättigung auftretenden Flüssigtransport behandelt werden.

Literatur

- [1] Künzel, H.M.: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Dissertation Universität Stuttgart 1994.
- [2] Nielsen, A.F.: Measurements of Drying-Out of Cellular Concrete. Thermal Insulation Laboratory, Technical University of Denmark, Meddelelse Nr. 26 (1973).
- [3] Pedersen, C.R.: Combined Heat and Moisture Transfer in Building Constructions. Thermal Insulation Laboratory, Technical University of Denmark, Report Nr. 214, Sept. 1990.

Die vorliegenden Untersuchungen wurden mit Unterstützung des Bundesforschungsministeriums und der Projektpartner aus der Wirtschaft im Vorhaben Annex 24 der Internationalen Energie-Agentur durchgeführt.



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