Fraunhofer Institut Bauphysik

IBP-Mitteilung 313

24 (1997) Neue Forschungsergebnisse, kurz gefaßt

M. Krus

Das Austrocknungsverhalten hydrophobierter Natursteinwände unter natürlichen Klimabedingungen

Problemstellung

Der Wasserhaushalt der Gesteine nimmt bei den die Schadensmechanismen betreffenden Fragestellungen eindeutig eine Schlüsselstellung ein. Eine Möglichkeit zur Verringerung des Feuchtegehaltes besteht neben den natürlich generell an erster Stelle stehenden konstruktiven Maßnahmen zur Verbesserung des Regenschutzes in der Anwendung hydrophobierender Schutzstoffe. Dabei ist aber zu beachten, daß eine Hydrophobierung des Gesteins immer mit einer Erniedrigung der möglichen Trocknungsgeschwindigkeit einhergeht. Die Imprägnierung des Gesteins mit einem Schutzmittel wird auf jeden Fall zu einer Verringerung des offenen Porenraumes und damit zu einer Erhöhung des Diffusionswiderstandes führen. Außerdem wird durch die Hydrophobierung der Flüssigtransport an die Gesteinsoberfläche teilweise oder vollständig unterbunden (dies stellt ja auch den eigentlichen und gewünschten Effekt der Hydrophobierungsmaßnahme dar). Zur Quantifizierung dieser Effekte wurden für einen hydrophobierten Sandstein meßtechnische und rechnerische Untersuchungen durchgeführt.

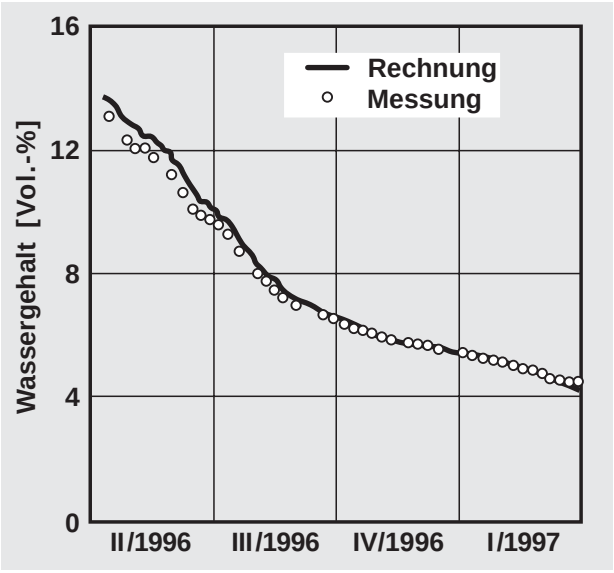

Bild 1: Gemessener und berechneter Trocknungsverlauf einer bis in 10 mm Tiefe hydrophobierten Probe aus Cottaer Sandstein unter natürlicher Bewitterung über ein Jahr (von Frühjahr 1996 bis Frühjahr 1997).

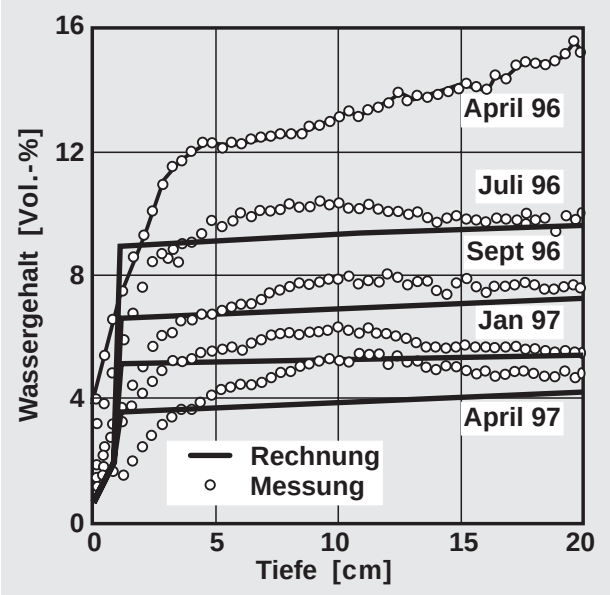

Bild 2: Gemessene und berechnete Wassergehaltsverteilungen in der hydrophobierten Sandsteinwand zu unterschiedlichen Zeitpunkten des Trocknungsvorganges.

Meßtechnische Untersuchungen

Eine genaue meßtechnische Erfassung von Feuchteverteilungen und deren zeitlichen Veränderungen ist an Objektwänden derzeit praktisch nicht möglich. Deshalb wurde am IBP ein Versuchsstand erstellt, der es erlaubt, Fassadenausschnitte der freien Bewitterung in West- und Ostrichtung auszusetzen, wobei das raumseitige Klima den Anforderungen entsprechend eingestellt werden kann. Als Fassadenausschnitte dienen flankenversiegelte Prismen mit einem Querschnitt von 5x5 cm^2 und einer Länge von 20 bis 30 cm. Die auf die Fassadenprüfkörper einwirkenden Klimabedingungen, wie Temperatur, relative Luftfeuchte, Strahlung und Schlagregen, werden kontinuierlich registriert und aufgezeichnet. Die Erfassung ihrer Auswirkungen auf den Gesamtwasserhaushalt und die Feuchteverteilungen in den Prüfkörpern erfolgt in regelmäßigen Abständen. Dazu werden die Prismen aus dem Versuchsstand entnommen, gewogen und nach Bedarf die Feuchteverteilungen mit Hilfe

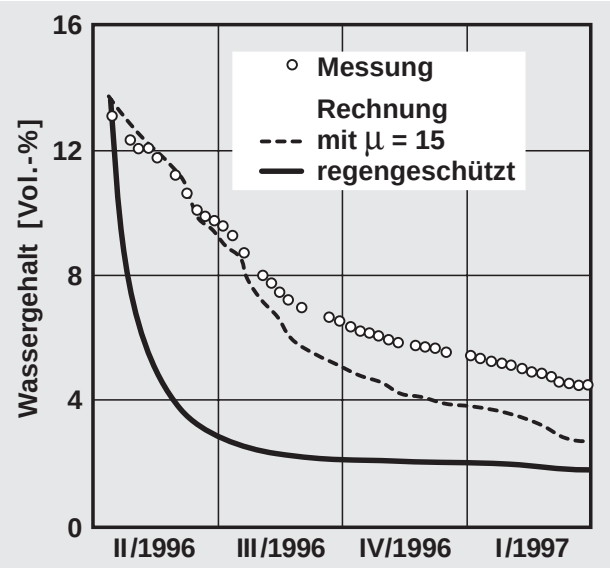

Bild 3: Im Vergleich zum gemessenen Verlauf die berechneten Verläufe des Wassergehaltes für eine Hydrophobierung ohne Diffusionswiderstandserhöhung (gestrichelte Linie) und für eine nichthydrophobierte, aber regengeschützte Fassade (durchgezogene Linie).

einer speziell dafür konzipierten NMR-Meßanlage bestimmt [1]. Zur Untersuchung des Austrocknungsverhaltens wurden verschiedene, stirnseitig bereits hydrophobierte Sandsteinproben von der Rückseite her mit Wasser gesättigt und anschließend in die nach Westen orientierte Versuchswand eingebaut. Das Austrocknungsverhalten wurde von April 1996 bis April 1997, also für ein komplettes Jahr untersucht. Am Beispiel des Cottaer Sandsteins sind in Bild 1 der gemessene Verlauf des Gesamtwassergehaltes und in Bild 2 die zu verschiedenen Zeitpunkten des Trocknungsvorganges sich einstellenden Wassergehaltsverteilungen dargestellt. Der Wassergehalt nimmt, da wegen der hydrophobierten Oberflächenschicht keine Wasseraufnahme durch Schlagregen stattfindet, kontinuierlich mit der Zeit ab. Bis der Gesamtwassergehalt auf etwa die Hälfte abgesunken ist, dauert es jedoch trotz sommerlicher Witterungsbedingungen (April bis September) etwa 6 Monate. Nach einem Jahr liegt der Wassergehalt mit ca. 5 Vol.-% immer noch etwa viermal so hoch wie der Sorptionsfeuchtegehalt bei 80 % r.F. (1,2 Vol.-%). Die gemessenen Profile zeigen ab einer Tiefe von drei Zentimetern während des gesamten Trocknungszeitraumes nur geringfügige Steigungen, was auf einen effektiven Kapillartransport im Gestein hinweist.

Rechnerische Untersuchungen

Die rechnerischen Untersuchungen wurden mit dem bereits mehrfach experimentell überprüften EDV-Programm zur Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports WUFI [2] durchgeführt. Zugrunde gelegt wurden die am unbehandelten Gestein gemessenen Stoffkennwerte. Für die hydrophobierte Schicht der Probe (bis in 10 mm Tiefe) wurde davon ausgegangen, daß kein Kapillartransport stattfindet und der Diffusionswiderstand durch die Imprägnierung erhöht ist. Dieser Diffusionswiderstand wurde ermittelt, indem bei der Rechnung die Diffusionswiderstandszahl soweit erhöht wurde, bis der berechnete Verlauf des Wassergehaltes die beste Übereinstimmung mit dem gemessenen ergab (siehe Bild 1 durchgezogene Linie). Dabei ergibt sich eine Erhöhung des μ-Wertes gegenüber dem unbehandelten Gestein von 15 auf 18,5 , also eine Erhöhung um etwa 25 %. Auch die auf diese Weise berechneten Feuchteprofile (Bild 2) zeigen eine gute Übereinstimmung mit den gemessenen. Die Abweichungen in den ersten Zentimetern sind darin begründet, daß die Stoffeigenschaften sich von der hydrophobierten Zone bis zum Originalgestein kontinuierlich ändern, was bei der Rechnung der Einfachheit halber nicht berücksichtigt wurde.

Zur Beurteilung, wie groß der Einfluß der durch die Hydrophobierungsmaßnahme veränderten Stoffkennwerte (Diffusionswiderstand und Kapillartransport) auf die Trocknungsgeschwindigkeit ist, wurden weitere Rechnungen durchgeführt. Bild 3 zeigt den Trocknungsverlauf einer Sandsteinwand ohne eine Erhöhung des Diffusionswiderstandes durch die Hydrophobierung (gestrichelte Linie). Es zeigt sich durch den Vergleich zum gemessenen Verlauf, daß die Erhöhung des μ-Wertes um "nur" 25 % eine deutliche Verlangsamung des Trocknungsfortschrittes bewirkt. Noch deutlicher (durchgezogene Linie) unterscheidet sich der Trocknungsverlauf bei unverändertem Kapillartransport ohne Schlagregen (dies entspricht einer durch bauliche Maßnahmen vor Regen geschützten Wand). Es wird ersichtlich, daß der Wassergehalt auf diese Weise anfänglich sehr schnell absinkt, so daß bereits nach drei Monaten ein Fünftel des Anfangswassergehaltes erreicht wird. Die weitere durch den Diffusionsvorgang bestimmte Trocknung erfolgt langsamer.

Praktische Konsequenzen

Aus der Messung wird durch den Vergleich mit den Rechenergebnissen ersichtlich, daß, wie zu erwarten, das Trocknungsvermögen einer Natursteinwand merklich verringert wird. Es ist daher von großer Bedeutung, vor einer eventuellen Hydrophobierungsmaßnahme für die betreffende Gebäudepartie neben dem Schlagregen auch den Einfluß aller weiteren Feuchtequellen zu erfassen, um eine Erhöhung des Wassergehaltes nach einer Hydrophobierung ausschließen zu können. Weiterhin zeigt die Rechnung, daß eine möglichst geringe durch die Hydrophobierungsmaßnahme hervorgerufene Diffusionswiderstandserhöhung anzustreben ist. Soll eine möglichst schnelle Trocknung erreicht werden, ist es, wie die dritte Rechnung zeigt, wesentlich effektiver, die Fassade durch konstruktive Maßnahmen vor Schlagregen zu schützen (Überdachung oder Abhängen der Fassade).

Literatur

[1] Krus, M.: Messung von Feuchteverteilungen mit dem Kernresonanzverfahren. Fachbuchreihe Kontakt & Studium, Band 513, Kupfer, K. et al.: Materialfeuchtemessung. Expert-Verlag, Renningen-Malmsheim, 1997, S. 173-191 (ISBN 3-8169-1359-8).

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

Diese Untersuchungen wurden vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie finanziell unterstützt.

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