

**U. Möller**

## Auswirkungen der Gesteinshydrophobierung auf das thermo-hygrische Formänderungsverhalten

### Einleitung

Für die an einem Naturstein ablaufenden biologischen, chemischen und physikalischen Verwitterungsprozesse ist das Vorhandensein von Wasser direkt oder indirekt mit verantwortlich. Daraus resultiert die Überlegung, Wasser abzuhalten, um so den Schädigungsprozeß an einem Bauwerk doch wenigstens deutlich verzögern zu können. Die wasserabweisende Funktion vieler im Handel befindlicher Bautenschutzmittel ist in Labor- und Praxistests, z.B. [1], nachgewiesen. Dagegen liegen zum thermischen und hygrischen Verformungsverhalten hydrophobierter Sandsteine, ob bruchfrisch oder verwittert, bisher weder qualitative noch quantitative Angaben vor. Ebenso existieren noch keinerlei Hinweise, inwieweit das Schadensrisiko für schutzmittelbehandelte Gesteine allein aufgrund von thermisch und hygrisch bedingten Eigenspannungen verändert wird. Einen ersten Anhaltspunkt zu dieser Problematik sollen die hier vorgestellten Versuchsergebnisse für das thermische und hygrische Dehnverhalten ausgewählter Natursandsteine liefern.

### Versuchsbeschreibung

Die Messungen werden an bruchfrischen Varietäten des Sander, Schleeriether, Worzeldorfer und Wüstenzeller Sandsteines durchgeführt. Als Hydrophobierungsmittel wird ein oligomeres Siloxan verwendet. Für die Verformungsmessungen werden induktive Wegaufnehmer mittels einer Federhalterung auf der Probe befestigt. Die Probenabmessungen betragen 20 x 2 x 1,5 cm.

Zur Bestimmung des thermischen Dehnkoeffizienten werden die getrockneten Proben mit einer dampf- und wasserundurchlässigen Folie umwickelt, um eventuelle Feuchteeffekte während des Temperaturprogrammes auszuschließen. In einem Klimaschrank werden dann folgende Temperatursprünge durchfahren: 20, 35, 50, 35, 20 °C

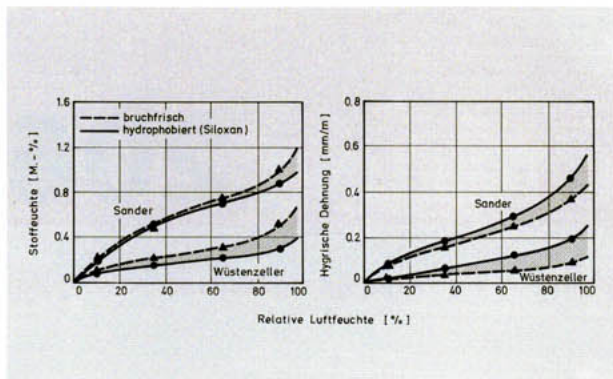
Für die Bestimmung der Feuchtedehnfunktion im gesamten Wasseraufnahmebereich der unbehandelten Gesteine werden die getrockneten Proben ebenfalls in

wasser- und dampfundurchlässige Folie eingewickelt. Mit einer Spritze wird eine definierte Wassermenge (ca. 1/6 der freien Wassersättigung) unter der Folie auf die Probe aufgegeben. Das Wasser wird sich gleichmäßig innerhalb der Probe verteilen. Nach Erreichen der Dehnungskonstanz wird dieser Vorgang noch fünfmal wiederholt. So läßt sich jeder zugegebenen Wassermenge eine gemessene Dehnung zuordnen. Die Dehnungsmessung an den hydrophobierten Proben erfolgt in einem Klimaschrank bei konstanter Temperatur von 20 °C und bei stufenweise erhöhter Luftfeuchte von 10, 35, 65 und 90% r.F. Die zugehörige Stoffeuchte wird jeweils durch Wiegen der Probe nach jedem Luftfeuchtesprung bestimmt. Den Abschluß bildet die Quellmessung an den hydrophobierten Proben, wobei diese während der kontinuierlichen Dehnungsmessung in Wasser gelagert werden.

### Ergebnisse

Die gemessenen thermischen Dehnkoeffizienten für Sander Schilfsandstein, Schleeriether Sandstein, Worzeldorfer Quarzit und Wüstenzeller Sandstein liegen für die bruchfrischen und hydrophobierten Varietäten in der Größenordnung von  $7,5$  bis  $8,9 \cdot 10^{-6}$  [1/K]. Die geringen Unterschiede zwischen den bruchfrischen und hydrophobierten Gesteinen liegen im Bereich der normalen Streubreite der jeweiligen Varietät. Der thermische Dehnkoeffizient wird somit durch das hier angewandte Siloxan kaum verändert.

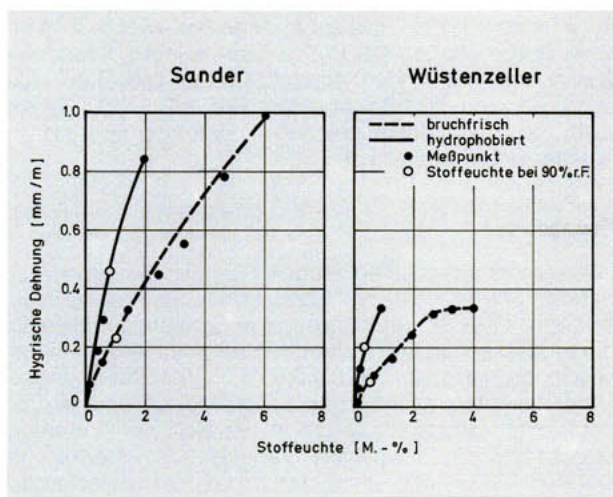
Die Auswirkungen der Hydrophobierung auf die Sorptionsfeuchte und die hygrische Dehnung im hygroscopischen Feuchtebereich werden exemplarisch für den Sander und Wüstenzeller Sandstein in **Bild 1** gezeigt. Für beide Gesteine sind dazu im linken Diagramm die entsprechenden Sorptionsisothermen dargestellt. Der Sander Schilfsandstein zeigt erst oberhalb einer Luftfeuchte von ca. 80% meßbare Veränderungen, wobei die mit Siloxan getränkte Probe weniger Wasser sorbiert. Der Wüstenzeller hingegen zeigt schon ab einer relativen Luftfeuchte von etwa 40% niedrigere Stoffeuchten für die hydrophobierte Probe. Absolut gesehen ist die



**Bild 1:** Gemessene hygrokopische Stoffeuchte (links; Sorptionsisotherme) und hygrische Dehnung (rechts) für Sander Schilfsandstein und Wüstenzeller Sandstein in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte, jeweils im bruchfrischen und hydrophobierten Zustand. Hydrophobierungsmittel auf Siloxan-Basis.

Sorptionsfeuchte des Wüstenzeller Sandsteins jedoch nur knapp halb so hoch wie beim tonig gebundenen Sander Schilfsandstein. Betrachtet man die zugehörigen Dehnungen im rechten Diagramm, so zeigt sich ein gegenläufiges Verhalten. Für beide dargestellten Sandsteinvarietäten ist die Dehnung der hydrophobierten Proben höher als die des unbehandelten Gesteins. Bei 90% relativer Luftfeuchte z.B. weist der hydrophobierte Wüstenzeller im Vergleich zum unbehandelten Zustand eine doppelt so hohe Dehnung auf.

Zur vollständigen Beschreibung der hygrischen Dehnung ist es notwendig, den gesamten Stoffeuchebereich zu betrachten. Dazu sind in **Bild 2** die hygrischen Dehnungen als Funktion der Stoffeuchte sowohl für hydrophobiertes als auch für unbehandeltes Gestein dargestellt. Das linke Diagramm zeigt die Meßergebnisse für den Sander Schilfsandstein und das rechte die des Wüstenzeller Sandsteines. Die wasserabweisende Wirkung der Hydrophobierung ergibt bei beiden Varietäten eine



**Bild 2:** Gemessene hygrische Dehnungen in Abhängigkeit von der Stoffeuchte im gesamten Wasseraufnahmebereich für Sander Schilfsandstein und Wüstenzeller Sandstein, jeweils im bruchfrischen und hydrophobierten Zustand. Hydrophobierungsmittel auf Siloxan-Basis. Die markierten Dehnungswerte gelten für die Gleichgewichtsfeuchte bei 90% relativer Luftfeuchte.

Reduzierung der maximalen Wasseraufnahme um ca. 70 bis 75%. Trotz dieser deutlich niedrigeren Wasseraufnahme vermindert sich die maximale Dehnung für den Sander um nur 15%, beim Wüstenzeller ist keine Änderung des Quellmaßes zu erkennen.

## Zusammenfassung und Konsequenzen

Aus den vorgestellten Versuchsergebnissen für verschiedene bruchfrische Sandsteinarten zeigt sich, daß eine Hydrophobierung mit oligomerem Siloxan keine Änderung des thermischen Längenänderungsverhaltens hervorruft. Das hygrische Formänderungsverhalten ist differenziert nach hygrokopischem und überhygrokopischem Feuchtebereich zu betrachten. Im hygrokopischen Bereich sorbiert das hydrophobierte Gestein weniger Wasserdampf. Trotz dieser, wenn auch zum Teil nur geringfügigen Reduzierung der Wasserdampfsorption, weisen die hydrophobierten Proben eine höhere hygrische Dehnung auf. Im überhygrokopischen Feuchtebereich bewirkt das Hydrophobierungsmittel eine Verminderung der maximalen Wasseraufnahme um ca. 75% bei nur geringfügig kleineren Quelldehnungen.

Das Feuchtedehnverhalten hydrophobierter Sandsteine weist trotz einer deutlichen Reduzierung der Wasseraufnahme nur geringfügig niedrigere Quellmaße auf. Die daraus resultierenden hygrischen Eigenspannungen werden dementsprechend auch nur wenig verändert. Dieses Verhalten läßt z.B. für bruchfrisches Austauschgestein noch keinerlei schädigenden Einfluß erwarten. Demgegenüber finden wir an geschädigten Gesteinen in Objekten ausgeprägte Tiefenprofile für das Quellmaß. Hier werden Werte von bis zu 10 mm/m in den ersten Zentimetern gemessen. Im Vergleich dazu liegt das Quellmaß aus tieferliegenden, nicht verwitterten Gesteinspartien bei 1 mm/m. Werden durch eine Schutzmittelbehandlung die hygrischen Verformungen nicht deutlich erniedrigt, so bleibt für dieses hydrophobierte Gestein weiterhin ein erhöhtes Schädigungsrisiko allein aufgrund hygrisch bedingter Eigenspannungen bestehen.

Die hier vorgestellten Ergebnisse zeigen erste Anhaltspunkte zum klimabedingten Formänderungsverhalten hydrophobierter Sandsteine. Die erkennbaren Tendenzen aber geben Anlaß, diesen Effekten in vertieften Untersuchungen weiter nachzugehen, da sich hier ein erhöhtes Schädigungsrisiko aufgrund mechanischer Verformungs- und damit verbundener Entfestigungswirkungen abzeichnet. Zukünftige Untersuchungen sollten sowohl andere Arten von Hydrophobierungsmitteln als auch weitere Gesteinsorten mit verwitterten, gereinigten und ggf. auch vorbehandelten Oberflächen einschließen.

## Literatur

- [1] Janning, F.; Marschner, H.; Rödder, K.-M.; Roth, M.; Schamberg, E.: Natursteinhydrophobierung mit siliciumorganischen Verbindungen. Tagungsband des II. Internationalen Kolloquiums „Werkstoffwissenschaften und Bausanierung“, Technische Akademie Esslingen (1986).

Die Untersuchungen wurden vom Bundesministerium für Forschung und Technologie gefördert.



FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR BAUPHYSIK  
 Leiter: o.Prof. Dr. Dr. h.c. Karl Gertis  
 7000 Stuttgart 80, Nobelstraße 12, Tel.(0711)970-00  
 8150 Holzkirchen (OBB), Postf. 1180, Tel. (08024)643-0

Herstellung und Druck:  
 SDSC, Informationszentrum RAUM und BAU  
 der Fraunhofer-Gesellschaft, Stuttgart

Nachdruck nur mit schriftlicher Genehmigung des  
 Fraunhofer-Instituts für Bauphysik