

## **Untersuchungen zum Feuchteverhalten von Fassaden nach Hydrophobierungsmaßnahmen**

M. Krus, H.M. Künzle

### **Zusammenfassung**

Bei Sichtmauerwerk bietet sich als Regenschutzmaßnahme eine Oberflächenhydrophobierung an. Falls konstruktive Maßnahmen zur Verbesserung des Regenschutzes (z.B. Bekleidung oder Verputz) nicht in Frage kommen, bleibt meist nur eine Imprägnierung der Fassade mit hydrophobierenden Agenzien. Dabei ist aber zu beachten, dass eine Hydrophobierung des Gesteins immer mit einer Erniedrigung der möglichen Trocknungsgeschwindigkeit einhergeht. Durch eindimensionale rechnerische Untersuchungen kann gezeigt werden, dass nach einer Hydrophobierung des Außenwandbereiches ein Feuchtestau hinter der hydrophoben Zone aufgrund einer inneren Feuchtelast durch den Nutzer nicht zu befürchten ist. Der Einfluss von Fehlstellen und das damit verbundene Frostschadensrisiko in einer oberflächlich hydrophobierten Wand wird durch zweidimensionale Berechnungen untersucht. Dabei wird unterschieden, ob sich die Fehlstelle auf einer homogenen Ziegelwand befindet oder -wie häufiger zu erwarten- im Bereich einer Mörtelfuge. Die rechnerisch erhaltenen Ergebnisse werden mit Freilanduntersuchungen verglichen, wobei auch der Einfluss einer zusätzlichen Innendämmung betrachtet wird. Aus der kritischen Auswertung aller Untersuchungen lassen sich wichtige Hinweise für die Praxis ableiten.

### **Abstract**

In order to avoid rain penetration of unrendered masonry or brick veneer the façade surface has to be water repellent. In cases where conventional weather protection like cladding or rendering are not feasible, water repellent impregnations are often the only way to improve the diving rain protection of exterior walls. However, the impregnation of a façade also reduces the potential drying velocity of the wall. Hygrothermal simulations show that there is generally no risk of moisture accumulation by condensation of indoor air humidity behind the water repellent layer of an external wall. The influence of flaws (cracks, untreated areas) in homogeneous masonry and in the vicinity of mortar joints has been investigated by 2D calculations. The hygrothermal simulation results are compared to field tests where also the effect of an additional interior insulation system has been examined. From the evaluation and interpretation of all results important conclusions for the building practice concerning the application of water repellent façade impregnations may be drawn.

## **1. Problemstellung**

Schäden an gemauerten Fassaden lassen sich häufig auf örtlich vorhandene kritische Feuchtezustände zurückführen. Für fast alle Zerstörungsprozesse, seien sie physikalischer, chemischer oder biologischer Art, ist die Anwesenheit von Wasser eine Grundvoraussetzung. Massive Außenwände alter Gebäude sind aber häufig nicht oder nur unzureichend schlagregengeschützt, so dass vor allem auf der Wetterseite mit erhöhter Mauerwerksfeuchte zu rechnen ist. Zum einen birgt eine hohe Mauerwerksfeuchte die Gefahr von Frostschäden im Bereich der Fassade. Andererseits führt ein hoher Wassergehalt zu einer Reduktion des meist ohnehin geringen Wärmedurchlasswiderstandes solcher Wände, wobei in manchen Fällen der aus hygienischen Gründen erforderliche Mindestwärmeschutz unterschritten wird.

Wenn dann zur Verbesserung des Wohnkomforts und der Energieeinsparung eine Innendämmung aufgebracht wird, ist mit einer weiteren Erhöhung der Gefahr von Frostschäden zu rechnen, da sich die Trocknungsmöglichkeit der massiven Außenwand verschlechtert und ihr Temperaturniveau herabgesetzt wird. Ein verbesserter Feuchte- und Wärmeschutz solcher Wände setzt daher einen adäquaten Regenschutz voraus. Dies kann bei Sichtmauerwerk beispielsweise in Form einer Fassadenhydrophobierung geschehen. Bei fachgerechter Applikation wird dadurch der Eintrag von Regenwasser weitgehend verhindert. Gleichzeitig wird aber auch die Austrocknung aufgrund der fehlenden Kapillarleitung und der Erhöhung des Diffusionswiderstandes im Bereich der Imprägnierung beeinflusst. Eine Hydrophobierungsmaßnahme kann deshalb bei mangelhafter Ausführung selbst zu einem Schadensrisiko werden.

Im Rahmen dieser Arbeit werden deshalb einige grundsätzliche Betrachtungen angestellt um Hinweise für die Sanierungspraxis abzuleiten. Da nicht alle Fragestellungen durch Freilandversuche beantwortet werden können sind ergänzende rechnerische Untersuchungen notwendig, die mit Hilfe des mehrfach experimentell überprüften EDV-Programm WUFI zur Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen [1] durchgeführt werden. Als Außenklimarandbedingungen werden dabei in der Freilandversuchsstelle Holzkirchen gemessene Wetterdaten verwendet um einen Vergleich mit den ebenfalls durchgeführten messtechnischen Untersuchungen zu gewährleisten.

## **2. Rechnerische Untersuchungen zur Beurteilung von Problemfällen**

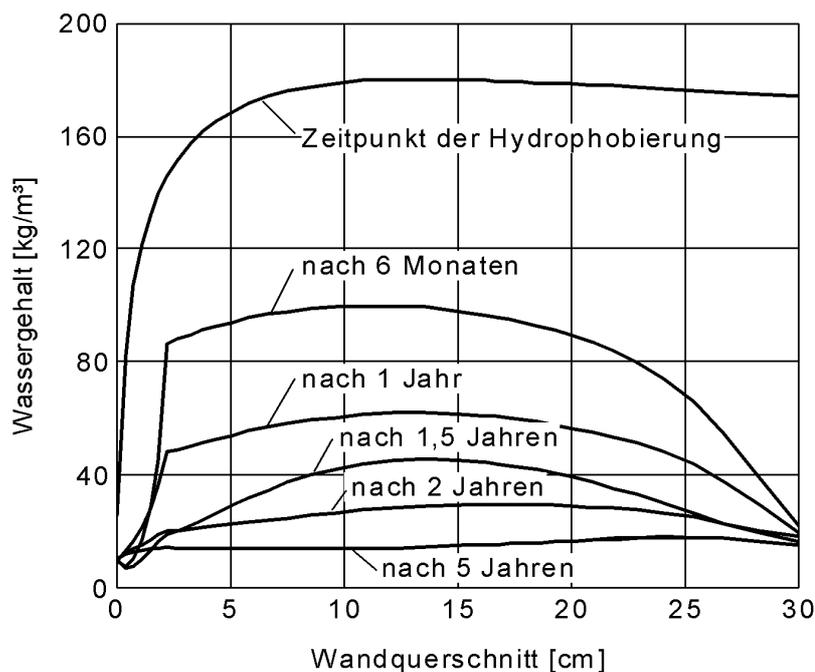
Die Oberflächenhydrophobierung von Fassaden führt zu einer Verringerung der Austrocknungsgeschwindigkeit, da in der hydrophobierten Zone die Kapillarleitung weitgehend unterbunden ist. Zusätzlich ist in dieser Zone auch der Dampfdiffusionswiderstand durch den Einfluss des Hydrophobierungsmittels etwas erhöht. Im folgenden soll deshalb betrachtet werden unter welchen Umständen kritische Wassergehalte im Mauerwerk zu befürchten sind.

### **2.1 Feuchtestau hinter dem hydrophobierten Wandbereich**

Eine häufige Frage, die bezüglich Hydrophobierungen gestellt wird, ist inwieweit nach einer solchen Behandlung die durch die Innenraumnutzung in das Gebäude eingebrachte Feuchte zu einer Feuchteakkumulation hinter der hydrophobierten Zone führt. Das vorliegende Beispiel beschreibt einen Extremfall: Die Außenseite einer Ziegelwand mit einer Dicke von lediglich 30 cm wird hydrophobiert, nachdem sich durch langjährige

Bewitterung ein eingeschwungener Zustand mit hoher Wandfeuchte eingestellt hat. Auf der Innenseite wird durch die Nutzung ein extremes Innenklima erzeugt, das (bei sinusförmigem Jahresverlauf) im Sommer zu einer rel. Luftfeuchte von 80 % bei 23 °C Innentemperatur und im Winter zu 60 % bei 20 °C führt. Bei der Rechnung wurde davon ausgegangen, daß bis zu einer Tiefe von 2 cm hydrophobiert wurde und der Diffusionswiderstand der behandelten Zone im Vergleich zum Originalgestein um nicht mehr als 50 % erhöht wird. Die Materialkennwerte für die Rechnung stammen aus der WUFI-Datenbank. Für den hydrophobierten Mauerbereich wurden die Kapillartransportkoeffizienten auf Null gesetzt und der Diffusionswiderstand um 50 % erhöht.

Aus den in Bild 1 dargestellten Ergebnissen wird erkennbar, daß die Wand trotz der extremen raumseitigen Feuchtebelastung, bei der es in den Wintermonaten auch zu Tauwasserbildung auf der Innenoberfläche kommt, nach der Hydrophobierungsmaßnahme über die Jahre hinweg langsam austrocknet. Dies bedeutet, daß der nutzungsbedingte Feuchtestrom von der Raumseite her keinen Hinderungsgrund für eine Hydrophobierungsmaßnahme darstellt, vorausgesetzt, die Behandlung führt nur zu keiner außergewöhnlich starken Erhöhung des Diffusionswiderstandes.



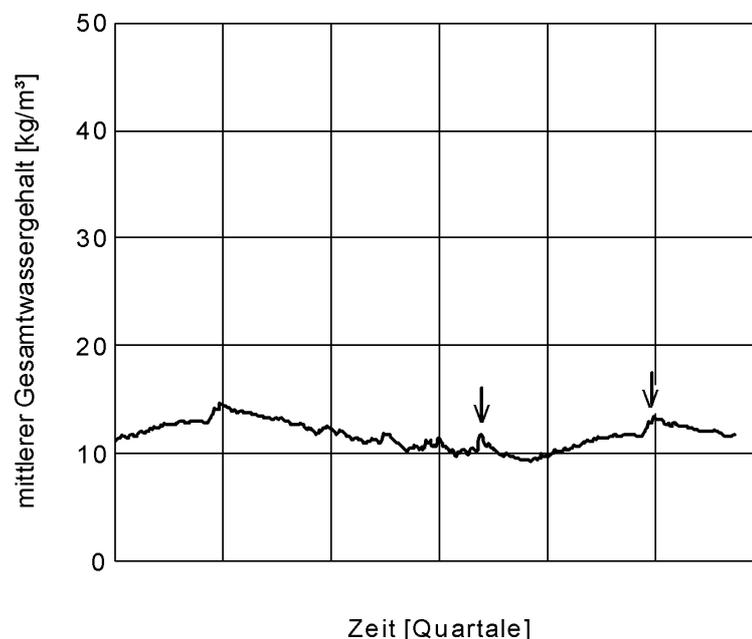
*Bild 1 Wassergehaltsverteilungen zu verschiedenen Zeitpunkten nach einer Hydrophobierungsmaßnahme. Zum Zeitpunkt der Hydrophobierung lag in der 30 cm dicken Ziegelwand die oben eingezeichnete Wassergehaltsverteilung (eingeschwungener Zustand nach mehrjähriger Bewitterung) vor.*

## 2.2. Fehlstelle in einem hydrophobierten homogenen Mauerwerk

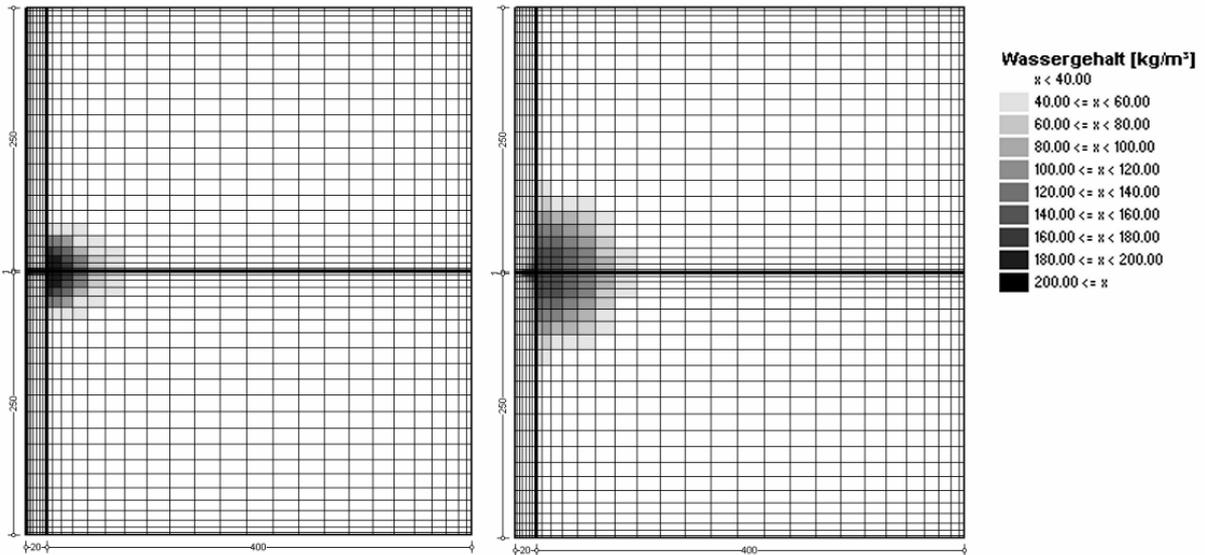
Im Gegensatz zu den im vorigen Kapitel dargestellten Untersuchungen läßt sich der Einfluß einer Fehlstelle rechnerisch nur mit Hilfe eines zweidimensionalen Programms zur Berechnung des instationären Wärme- und Feuchtetransports (WUFI-2D) unter-

suchen [2]. Zugrunde gelegt wird hierfür ein Wandausschnitt aus homogenem Ziegelmauerwerk mit einer Gesamtdicke von 42 cm und einer Höhe von 50 cm. Die Wand ist nach Westen orientiert, um vor allem die Schlagregeneinflüsse zu erfassen. Die für das jeweilige Material benötigten Kennwerte stammen ebenfalls aus der WUFI-Datenbank. Auch bei diesem Wandaufbau sind die ersten 2 cm der Wand hydrophobiert. In der Oberflächenmitte befindet sich eine horizontale Fehlstelle mit einer Dicke von 1 cm. Da zweidimensionale Rechnungen einen erheblich höheren Rechenaufwand bedeuten, wurde der Einfachheit halber als Startbedingung von einer lufttrockenen Wand ausgegangen mit einer Ausgleichsfeuchte entsprechend 80 % relativer Feuchte.

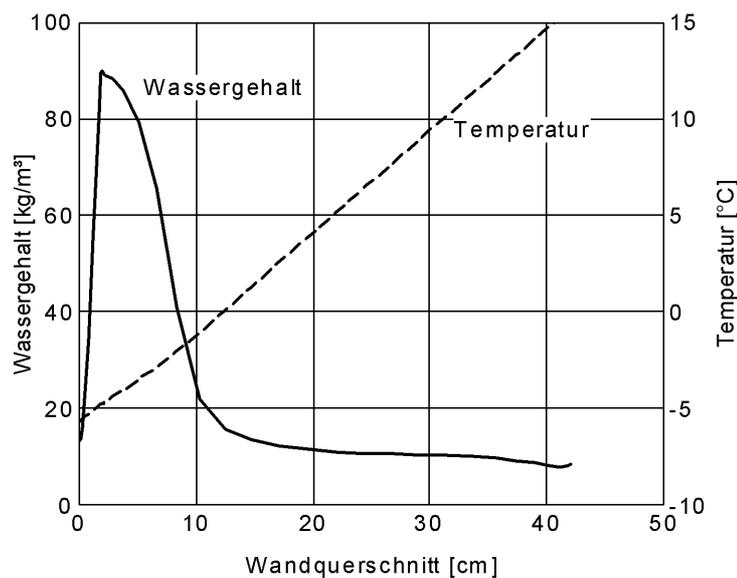
Bild 2 zeigt, daß die Wand über die berechneten zwei Jahre nur geringfügige Feuchtegehaltsänderungen aufweist. Betrachtet man dagegen die örtliche Wassergehaltsverteilung zu zwei bestimmten Zeitpunkten nach einem Regenereignis im Sommer (Bild 3 links) und bei Frost im Winter (Bild 3 rechts) erkennt man, daß die zeitweise geringfügige Wassergehaltserhöhung im Bild 2 auf einer örtlich bedeutenden Feuchterhöhung im Bereich der Fehlstelle beruhen. Gerade im Winter sind hohe Wassergehalte nahe der Außenoberfläche kritisch. Bild 4 zeigt das zu Bild 3 rechts gehörende Wassergehalts- und Temperaturprofil knapp oberhalb der Fehlstelle. Man erkennt, daß gerade in den Bereichen, in denen Frosttemperaturen, auftreten, die höchsten Wassergehalte vorliegen. Sie liegen zwar in diesem Rechenbeispiel nur bei etwa der halben Wassersättigung, was in der Regel noch keine Frostschäden bedeuten würde. Wenn man jedoch berücksichtigt, dass die Feuchtebeanspruchung des Fehlstellenbereichs nicht nur aus dem direkt auftreffenden Schlagregen besteht, sondern eventuell noch von den darüber liegenden hydrophobierten Fassadenbereichen Ablaufwasser dazu kommt, dann können auch in diesem Fall kritische Feuchtezustände erreicht werden.



**Bild 2** Zeitlicher Verlauf des mittleren Gesamtwassergehaltes des berechneten Wandausschnittes. Die Pfeile markieren die Zeitpunkte für die 2D-Darstellungen in Bild 3.



**Bild 3** Darstellung der Feuchteverteilungen im berechneten Wandausschnitt zu den im Bild 2 gekennzeichneten Zeitpunkten im Sommer (links) und Winter (rechts).

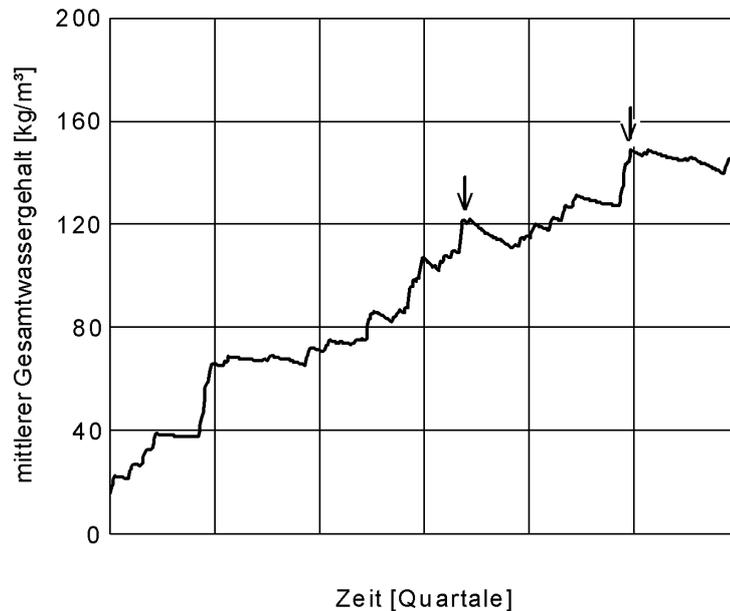


**Bild 4** Wassergehaltsprofil (durchgezogene Linie) und Temperaturprofil (gestrichelte Linie) für einen horizontalen Schnitt knapp oberhalb der Fehlstelle zu dem in Bild 3 rechts dargestellten Zeitpunkt.

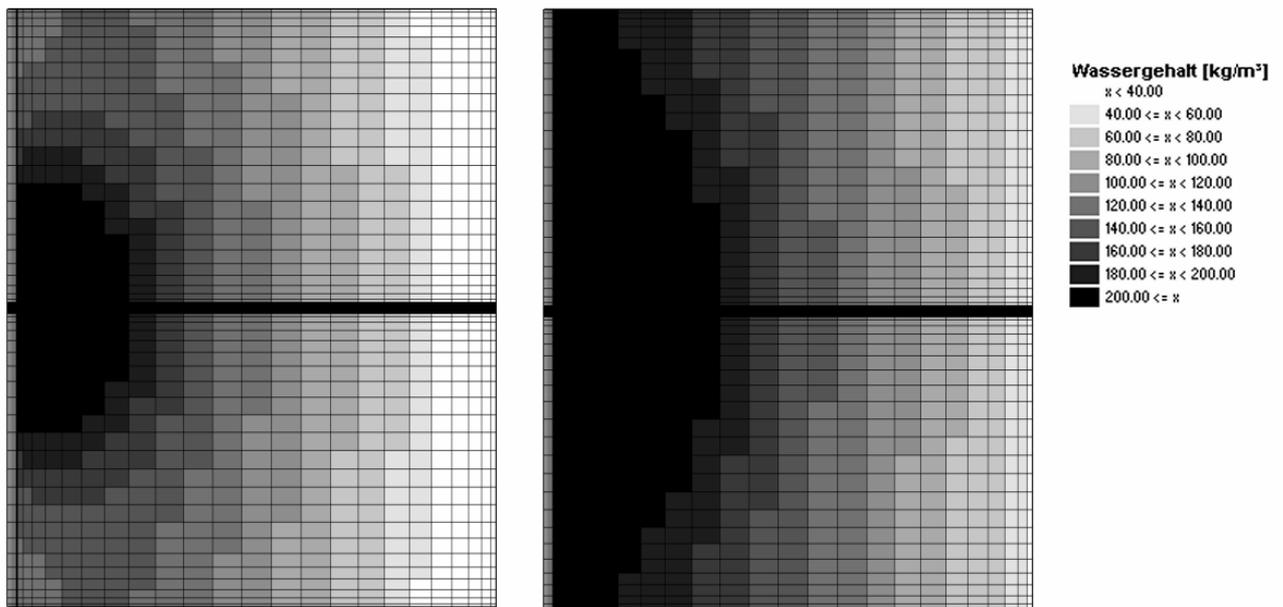
### 2.3. Fehlstelle durch Abrisse im Bereich der Mörtelfuge

Im Allgemeinen wird bei einer oberflächlich hydrophobierten Ziegelwand eine Fehlstelle vor allem im Mörtelbereich durch Flankenabriss auftreten. Um einen Extremfall darzustellen wurde ein stark saugender Vollziegel, der ohne Hydrophobierung nicht für Sichtmauerwerk geeignet ist und ein Mörtel mit ebenfalls hohem w-Wert verwendet. Der Fugenmörtel mit einer Dicke von 1 cm liegt horizontal in der Mitte des Wandausschnittes (siehe Bild 6). Diese Materialkennwerte über die Fehlstelle (siehe Bild 5) führen zu

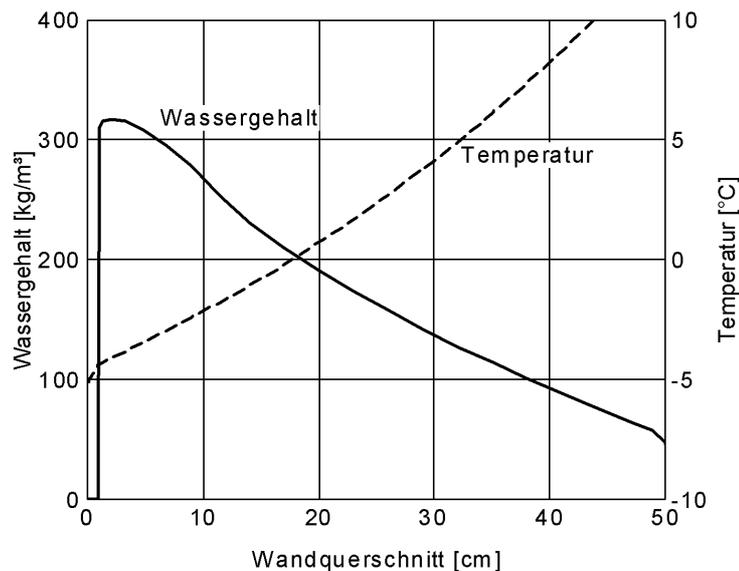
einer sehr starken Wasseraufnahme, die über die berechnete zweijährige Bewitterungsdauer hinaus zu einer weiteren Feuchteaufnahme führen dürfte. Entsprechend ergeben sich auch in der zweidimensionalen Darstellung über große Bereiche hohe Wassergehalte, wobei in Bild 6 die Farbpalette bis auf  $200 \text{ kg/m}^2$  ausgedehnt wurde. Bild 7 zeigt nahe der Fehlstelle im Ziegel fast wassergesättigte Bereiche bei Temperaturen deutlich unter Null Grad, so daß hier mit Frostschäden zu rechnen ist.



**Bild 5** Zeitlicher Verlauf des mittleren Gesamtwassergehaltes des berechneten Wandausschnittes. Die Pfeile markieren die Zeitpunkte für die 2D-Darstellungen in Bild 6.



**Bild 6** Darstellung der Feuchteverteilungen im berechneten Wandausschnitt zu den im Bild 5 gekennzeichneten Zeitpunkten im Sommer (links) und Winter (rechts).



*Bild 7 Wassergehaltsprofil (durchgezogene Linie) und Temperaturprofil (gestrichelte Linie) für einen horizontalen Schnitt knapp oberhalb der Fehlstelle zu dem in Bild 6 rechts dargestellten Zeitpunkt.*

### 3. Überprüfung der Wirksamkeit von Fassadenhydrophobierungen im Freilandversuch

Das Ziel des Freilandversuches ist die mehrjährige, vergleichende Beobachtung des Feuchteverhaltens von Sichtmauerwerk mit und ohne Siloxanhydrophobierung bei starker Schlagregenbelastung. Insbesondere soll das Langzeitverhalten der Imprägnierung sowie der Einfluss von Fehlstellen im Mauerwerk geklärt werden. Da Sichtmauerwerk i.a. außen nicht gedämmt werden soll, werden hier auch die Auswirkungen einer typischen Innendämmung auf den Feuchtehaushalt betrachtet.

#### 3.1 Versuchsaufbau und -durchführung

In die Fassade einer Testhalle, die während der Heizperiode ein konstantes Raumklima von  $20^{\circ}\text{C}$  und  $50\%$  r.F. aufweist, werden Mauerwerkselemente mit einer Dicke von  $24\text{ cm}$  und einer Oberfläche von  $60 \times 60\text{ cm}^2$ , wie in Bild 8 zu sehen, eingebaut [3]. Die nach Westen orientierten Elemente in der freistehenden Testhalle sind einer jährlichen Schlagregenbelastung von ca.  $400$  bis  $500\text{ l/m}^2$  ausgesetzt, während die Elemente in der Ostfassade aufgrund eines überstehenden Daches fast völlig regengeschützt sind. Die Fassadenelemente bestehen aus im Kreuzverband gemauerten Vollziegeln mit dem Format  $24 \times 11,5 \times 5\text{ cm}^3$ . Die Dicke der Mörtelfugen beträgt ca.  $1,5\text{ cm}$ . Um die Verhältnisse an bestehenden Gebäuden mit Abrissen zwischen Stein und Mörtelfugen zu simulieren, werden bei einigen Elementen mit einem dünnen Draht künstliche Abrisse mit einer Breite bis zu  $1\text{ mm}$  erzeugt. Im Dezember 1992 werden die Mauerwerkselemente in die Fassade der Testhalle eingebaut. Im Juni 1993 wird ein Teil der Elemente mit gelösten Siloxanen durch zweimaliges Aufbringen mit einem Pinsel imprägniert, wobei von der Fassadenoberfläche ca.  $0,3\text{ kg/m}^2$  Lösung aufgenommen werden. Da vor der Imprägnierung eine außergewöhnlich trockene Periode geherrscht hat, werden die Elemente einige Tage vor dieser Maßnahme mit einem Rasensprinkler

künstlich befeuchtet. Im Oktober 1995 werden in die Außenoberfläche eines hydrophobierten Fassadenelementes künstliche Fehlstellen eingebracht, indem 12 cm tiefe Bohrkern mit einem Durchmesser von 3 cm entnommen werden. Die Bohrlöcher werden anschließend mit einem normalen Kalkzementmörtel verschlossen, so dass Regenfeuchte durch diesen Mörtel kapillar hinter die imprägnierte Zone des Mauerwerks gelangen kann. Der Flächenanteil dieser Fehlstellen beträgt ca. 2 %. Im Januar 1997 werden einige Fassadenelemente innen mit Verbundplatten aus 60 mm Polystyrol-Hartschaum und 12,5 mm Gipskarton gedämmt. Während des gesamten Untersuchungszeitraumes wird der Wassergehalt der Mauerwerkselemente durch regelmäßige Wägungen registriert. Die Schlagregenbelastung der Elemente wird kontinuierlich durch in die Fassade integrierte Schlagregensmesser bestimmt.

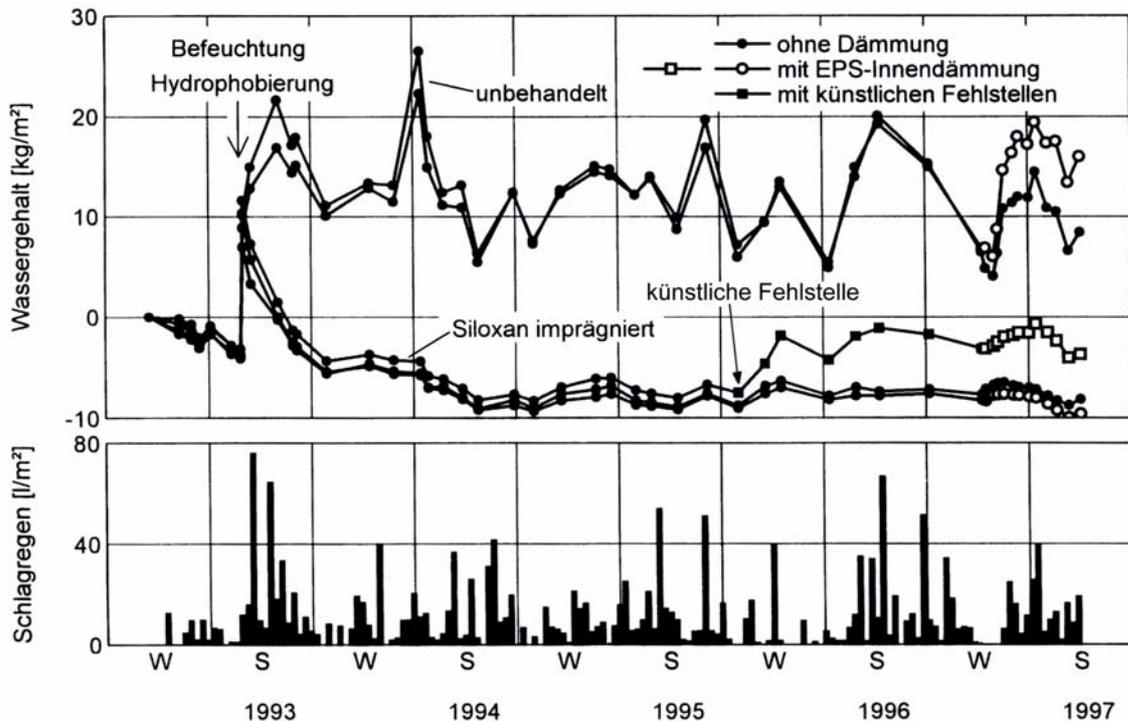


*Bild 8 Aufnahme der Westfassade der klimatisierten Testhalle auf dem Versuchsgelände in Holzkirchen mit den eingebauten Mauerwerkselementen.*

### 3.2 Ergebnisse

Die Baufeuchte von etwa  $10 \text{ kg/m}^2$  der Vergleichselemente auf der geschützten Ostseite der Testhalle trocknet innerhalb eines Jahres vollständig aus. Ein Unterschied im Feuchteverhalten zwischen hydrophobierten und unbehandelten Fassadenelementen ist nicht festzustellen. Ganz anders liegen die Verhältnisse auf der Westseite, wie in Bild 9 zu sehen ist. Nach der Siloxanimprägnierung (im Bild mit einem Pfeil markiert) trocknen die hydrophobierten Fassadenelemente wie auf der Ostseite innerhalb eines Jahres aus, während der Wassergehalt der unbehandelten Elemente je nach Schlagregenbelastung schwankt und im Mittel sogar noch etwas über dem Ausgangszustand liegt. Die vor der Hydrophobierung eingebrachten künstlichen Abrissflanken haben keinerlei Einfluß auf das Feuchteverhalten, d.h. ein Eindringen von Regenfeuchte in diesen Bereichen kann deshalb nahezu ausgeschlossen werden. Die zwei Jahre nach der Hydrophobierung durch Bohrung eingebrachten Fehlstellen in einem Fassadenelement sind jedoch deutlich spürbar. Obwohl ihr Flächenanteil nur etwa 2 % ausmacht, ist im Vergleich zu den fehlstellenfreien Elementen eine mittlere Feuchteerhöhung von ca. 5

kg/m<sup>2</sup> festzustellen. Wie die rechnerischen Untersuchungen unter Ziffer 2 gezeigt haben ist deshalb im Bereich der Fehlstellen mit erheblich höheren Wassergehalten zu rechnen.



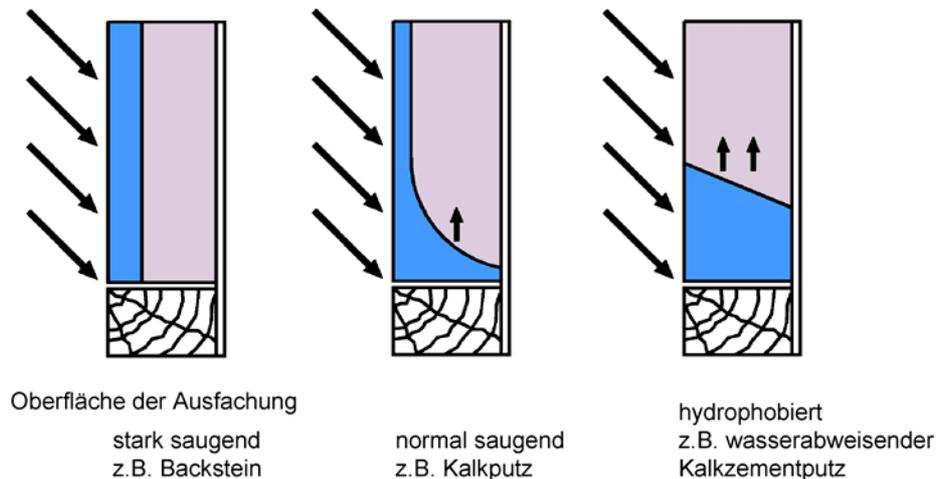
**Bild 9** Gemessene Feuchteverläufe der nach Westen orientierten Elemente aus Ziegel-Sichtmauerwerk über einen Zeitraum von fast 5 Jahren mit Angabe der Schlagregenbelastung in Dekadensummen.

Die im Januar 1997 aufgebrachte Innendämmung (in Bild 9 sind die Meßwerte nach Aufbringen der Dämmplatten als Hohlsymbole dargestellt) hat so gut wie keinen Einfluß auf die hydrophobierten Fassadenelemente ohne Fehlstellen. Das Verhalten des hydrophobierten Fassadenelementes mit Fehlstellen kann nach der Innendämmung zeigt eine leichte Verschlechterung der Situation. Bei den unbehandelten Elementen führt die Innendämmung jedoch zu einer deutlichen Erhöhung des Wassergehaltes, wie das Auseinanderdriften der Wassergehalte des gedämmten und des ungedämmten Elementes zeigt. Während beide Elemente vor der Dämmmaßnahme ein nahezu synchrones Feuchteverhalten zeigen, bewirkt die Innendämmung eine mittlere Feuchteerhöhung um mehr als 5 kg/m<sup>2</sup>.

#### 4. Sonderfall Fachwerksanierung

Bei energetischen Sanierungen von Fachwerkbauten genügen die früher verwendeten Ausfachungsmaterialien wie Lehm oder Vollziegel nicht mehr den heutigen Anforderungen an den Wärmeschutz und Wohnkomfort. Oftmals bleibt unter Voraussetzung der Erhaltung des äußeren Erscheinungsbildes der Fachwerkfassade als einzig mögliche Wärmeschutzmaßnahme die Anbringung einer Wärmedämmung auf der Innenseite der Außenwand. Da Innendämmungen aber, wie bereits erwähnt, aus bauphysikalischen Gründen - Absenkung der Temperatur zwischen Dämmung und Ausfachungsmaterial und damit verbunden höhere Feuchten in diesem Bereich - nicht unkritisch sind, sollte

die Wahl des Dämmstoffes sowie der gesamte Konstruktionsaufbau den hygrothermischen Verhältnissen einer Fachwerkfassade genau angepaßt werden [4]. Dabei ist auch der Schlagregenschutz von entscheidender Bedeutung für den Erhalt und die Dauerhaftigkeit von Fachwerkgebäuden.



*Bild 10 Einfluss der Saugfähigkeit des Ausfachungsmaterials auf den Feuchtehaushalt.*

Während bei normalen Mauerwerkswänden eine Hydrophobierung der Außenoberfläche im Allgemeinen vorteilhaft ist, hat dies bei Fachwerkfassaden den Effekt, dass das vom hydrophoben Putz ablaufende Regenwasser in die Schwindfugen zwischen Ausfachung und Fachwerk eindringt und dort erst recht zu Feuchteschäden führen kann (siehe Darstellung in Bild 10). Eine Lösung wäre hier nur die gezielte Abdichtung dieser Fugen gegen Schlagregen. Bislang ist es jedoch nicht gelungen, eine wirklich dauerhafte Fugenabdichtung zu gewährleisten [5], wie die in Bild 11 beispielhaft dargestellten Zeitverläufe der Feuchteänderungen von Fachwerkelementen mit Ausfachung durch Porenbetonmauerwerk bei Orientierung nach Westen (Schlagregen) und Osten (geschützt) bei Variation des Außenputzes und der Fugenausführung belegen. Auffallend ist zunächst, dass sich die Ausfachungsvarianten mit Kalkputz und offenen bzw. dichten Schwindfugen nur wenig unterscheiden. Die Wirkungslosigkeit der Fugenabdichtung erklärt sich dadurch, dass der sehr saugfähige Außenputz den größten Teil des Regenwassers aufnimmt und nur wenig in die Fugen läuft. Ob diese nun dicht sind oder nicht, wirkt sich in diesem Fall nur geringfügig aus. Beim hydrophobierten Außenputz läuft hingegen das Regenwasser zum größten Teil am Putz ab und belastet damit verstärkt die Fugen. Aus Bild 11 Mitte wird deutlich, dass das vom Putz abgewiesene Wasser offensichtlich vollständig über die Fugen aufgenommen worden ist. Nur in diesem Fall kann sich eine Abdichtung der Schwindfugen in der erwarteten Weise auswirken, wie das Diagramm darunter in Bild 11 zeigt. Der Anstieg der Feuchte im dritten Untersuchungsjahr ist auf die entstandenen Fehlstellen in der Fugenabdichtung zurückzuführen. Diese sowie weitere Untersuchungen in [5] belegen, dass eine dauerhafte Fugenabdichtung bei Fachwerkfassaden nicht machbar ist.

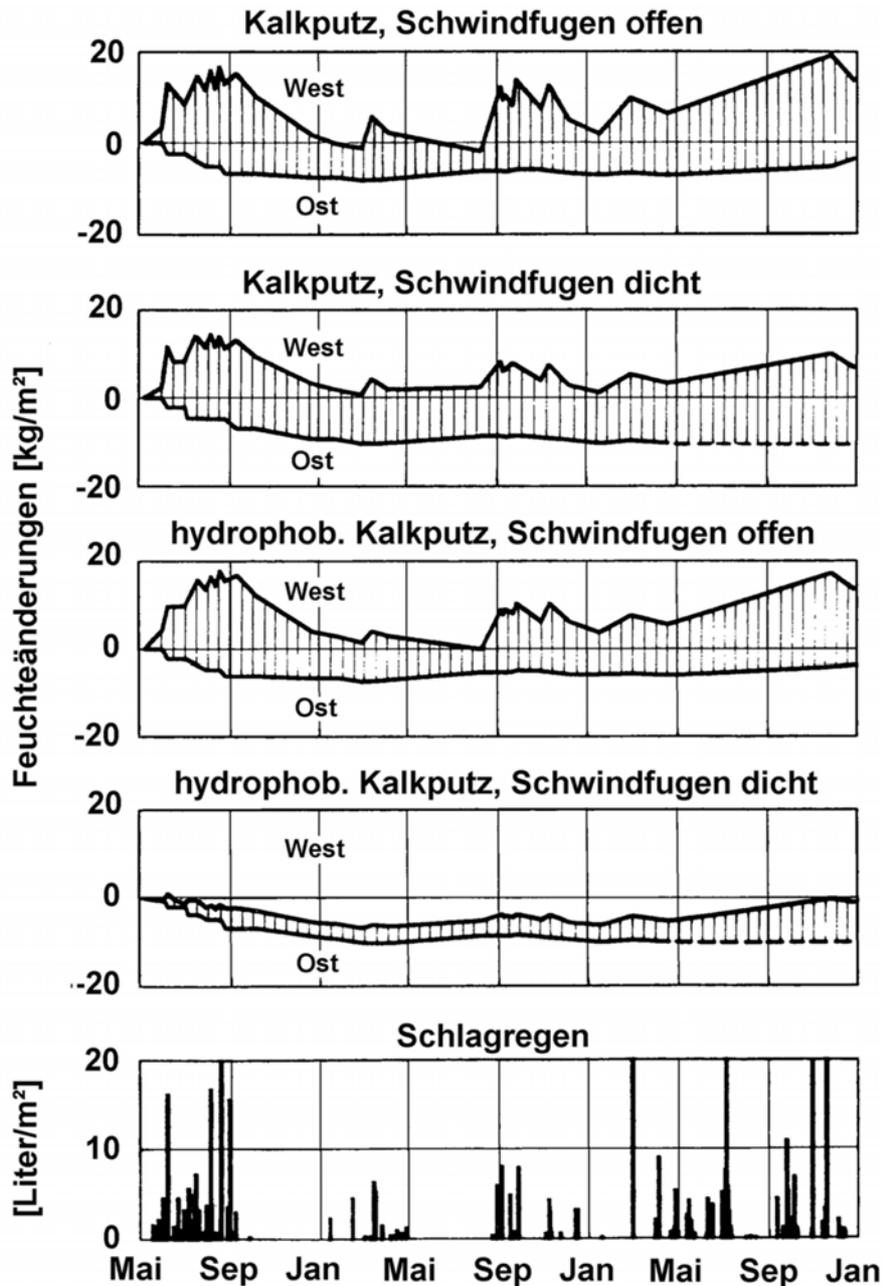


Bild 11 Klimabedingte Feuchteänderungen von Fachwerkelementen mit unterschiedlich verputzten Porenbeton-Ausfachungen und offenen bzw. abgedichteten Schwindfugen zwischen Holz und Ausfachung bei Orientierung nach Westen (Schlagregen) und Osten (geschützt) [5].

## 5. Diskussion der Ergebnisse und Schlußfolgerungen

Eine Innendämmung von schlagregenbelasteten einschaligen Wänden sollte nur bei ausreichendem Regenschutz der Fassade durchgeführt werden. Andernfalls kann die damit einhergehende Verschlechterung der Austrocknungsbedingungen des Mauerwerks zu einer langfristigen Feuchteerhöhung und damit verbundenen Folgeschäden führen. Bei Sichtmauerwerk bietet sich als Regenschutzmaßnahme eine Imprägnierung mit Hydrophobierungsmitteln an. Eine Innendämmung der Wand führt dann langfristig nicht zu einer erhöhten Mauerwerksfeuchte, wie es bei unbehandelten Fassaden der

Fall sein kann. Sie reduziert jedoch die Austrocknungsgeschwindigkeit der bereits vor der Hydrophobierung vorhandenen Regenfeuchte, so dass es vorteilhaft sein kann, die Dämmmaßnahme erst einige Zeit nach der Fassadenimprägnierung vorzusehen.

Mit der im Freilandversuch eingesetzten Siloxanimprägnierung scheint ein dauerhafter Regenschutz auch bei kleineren Flankenabrissen zwischen Stein und Mörtelfugen erzielbar. Letzteres wird von Fachleuten jedoch in Frage gestellt, die bei rissigem Mauerwerk trotz Hydrophobierung lokale Schlagregenpenetrationen feststellen mussten [7]. Es ist daher unklar, ob die hier gezeigte erfolgreiche Rissehydrophobierung auf die Praxis übertragbar ist. Eine sorgfältige Ausführung der Hydrophobierungsmaßnahme umfasst also in der Regel mehrere Applikationsschritte, was bei alten Fassaden auch eine zusätzliche Reinigung sowie eine Neuverfugung oder spezielle Rissbehandlungen beinhalten kann. In jedem Fall sollte eine möglichst tief gehende Hydrophobierung angestrebt werden um einerseits das Risiko von Fehlstellen zu minimieren. Andererseits erhält man mit zunehmender Eindringtiefe weichere Übergänge zwischen hydrophobem Bereich und der Originalsubstanz. Dadurch werden hygrothermische Spannungsspitzen vermindert, die aufgrund des unterschiedlichen Ausdehnungsverhaltens von hydrophobiertem und unbehandeltem Steinmaterial entstehen [8]. Im Extremfall können solche hygrothermischen Spannungen vor allem bei vorgeschädigtem Mauerwerk langfristig zum Abplatzen der hydrophobierten Zone führen.

Fehlstellen in der Fassadenhydrophobierung sind grundsätzlich Problemzonen. Zusätzlich zu den hier mit Berechnungen und Messungen belegten Beispielen wird auch in [6] darauf hingewiesen, dass tiefer gehende Abrisse oder nicht ausreichend hydrophobierte Bereiche zu einer Erhöhung des Frostschadensrisikos führen können, was auf lokale Nester hoher Feuchte zurückzuführen ist. Wie die vorliegenden Untersuchungen zeigen, haben Fehlstellen, durch die das Regenwasser kapillar hinter die hydrophobierte Zone transportiert wird, eine ihrem Flächenanteil überproportionale Feuchtezunahme des Mauerwerks zur Folge. Durch die Hydrophobierung der Oberfläche werden die Austrocknungsbedingungen zwar geringfügig verschlechtert, der Grund für diese Feuchtezunahme ist jedoch eher darin zu sehen, dass das Regenwasser von der hydrophobierten Fassade nicht aufgenommen wird und nicht hydrophobierte Zonen durch das ablaufende Wasser einer höheren Feuchtebelastung ausgesetzt sind, als es bei einer unbehandelten Fassade der Fall ist. Aus diesem Grunde sollten zusammenhängende Fassadenflächen in ihrer Gesamtheit behandelt werden. Ein ähnlicher Effekt tritt besonders auch bei Fachwerkwänden auf, wo wasserabweisende Ausfachungen nicht zu einer geringeren Feuchteaufnahme der Wand führen, da das ablaufende Wasser durch die Schwindfugen zwischen Holz und Ausfachung aufgenommen wird [5].

Unbedingt erforderlich für die Entscheidung zu einer Hydrophobierungsmaßnahme ist die Kenntnis der wesentlichen Feuchtequellen. Nur wenn sicher gestellt ist, dass außer über den Schlagregen nur eine geringfügige Mengen an Feuchte von anderen Quellen (aufsteigende Feuchte, Leckagen etc.) herrührt, ist eine solche Maßnahme angezeigt. Bei einer hohen Salzbelastung des Mauerwerks kann eine Imprägnierung zum Abplatzen der Oberfläche führen, da das Salz beim Trocknen hinter der hydrophobierten Zone kristallisiert und dabei entsprechende Sprengkräfte entwickelt.

## 6. 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] Franke, L. und Bentrup, H.: Einfluß von Rissen auf die Schlagregensicherheit von hydrophobiertem Mauerwerk und Prüfung der Hydrophobierbarkeit. Bautenschutz + Bausanierung 14 (1991), H. 6, S. 98-101 und H. 7, S. 177-121.
- [3] Riedl, G. und Kießl, K.: Untersuchungen zum Feuchteverhalten von Ziegelmauerwerk mit unterschiedlichen Imprägnier- und Beschichtungssystemen unter natürlicher Bewitterung. IBP-Bericht FtB-32/1994.
- [4] Sedlbauer, K. und Krus, M.: Bauphysik im Fachwerk -alte Weisheiten und neue Erkenntnisse. Erscheint demnächst in der Fachzeitschrift Bauphysik.
- [5] Künzel, H.: Der Feuchtehaushalt von Holz-Fachwerkwänden. Bauforschung für die Praxis, Band 23, IRB-Verlag Stuttgart 1996.
- [6] Krus, M., Künzel, H.M., Kießl, K.: Feuchtetransportvorgänge in Stein und Mauerwerk. Bauforschung für die Praxis, Band 25, IRB-Verlag Stuttgart (1996).
- [7] Oswald, R.: Schwachstellen – Hydrophobierungen auf Ziegelsichtmauerwerk. Deutsche Bauzeitung 1999, H. 9, S. 140-145.
- [8] Möller, U., Schuh, H. und Wendler, E.: Längenänderungsverhalten hydrophobierter Sandsteine. Bautenschutz und Bausanierung 15 (1992), H. 4, S. 46-49.