

# Vergleich unterschiedlicher Messverfahren zur Erfassung der Oberflächenfeuchte von Putzfassaden.

M. Krus<sup>1</sup>, C. Fitz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer Institut für Bauphysik, Holzkirchen

## Kurzfassung

Die Verbesserung des Wärmeschutzes hat zu einer Erhöhung der Wahrscheinlichkeit von mikrobiellem Bewuchs geführt, dadurch dass sich auf der Außenoberfläche einer Fassade als zentrale Grundlage für mikrobielle Aktivität höhere Oberflächenfeuchten einstellen. Deshalb ist die Kenntnis des instationären Verlaufs der Oberflächenfeuchte von entscheidender Bedeutung. Dazu wurden die Messung mittels Infrarot-Photometer, die Unterflurwägung, die Bestimmung der Feuchteverteilung mit Hilfe kernmagnetischer Resonanz sowie ein diskretes kontaktgravimetrisches Verfahren getestet. Es zeigt sich, dass unter den komplexen realen Randbedingungen einzig das diskrete Low-Tech-Verfahren, das hier als kontaktgravimetrisches Verfahren bezeichnet wird, plausible verlässliche Ergebnisse liefert.

## Abstract

The continuous improvement of thermal protection of buildings is the main reason for microbial growth on the outside facades, caused by higher moisture on the surfaces. Therefore the knowledge of the course of the surface moisture on transient conditions is very important. Different measuring techniques were tested, as, for example, based on infrared photometry, nuclear magnetic resonance (NMR), online weighing with special scales and a gravimetric contact method. The low-technical method, here named gravimetric contact method, is the only test procedure, which gives true and reliable results under such complex realistic conditions.

## 1. Hintergrund

Mikrobieller Bewuchs auf hoch gedämmten, der Witterung ausgesetzten Außenbauteilen ist – neben der Substratwirkung der Oberflächenschicht – eine Folge erhöhter Feuchtebelastungen an der Oberfläche und dadurch begünstigter Wachstumsbedingungen (KRUS et al. 2003, HOFBAUER et al. 2003). Als zentrales Einflusskriterium gilt der Feuchtezustand der Oberfläche, welcher durch das Klima und bauphysikalische Parameter bedingt wird. Nach derzeitigem Kenntnisstand (HOFBAUER et al. 2006) ist aber für das Risiko eines mikrobiellen Bewuchses nicht die Menge an auf der Fassade anfallendem Tauwasser entscheidend, sondern vor allem der Teil der sich auf der Oberfläche befindet. Nur dieses Wasser ist zumindest zu Beginn einer Besiedelung für die Mikroorganismen verfügbar. Da offensichtlich bereits geringe Unterschiede im mittleren bzw. längerfristigen Feuchteniveau der Oberfläche deutliche Wachstumsunterschiede bewirken, ist die zeitliche Entwicklung der Oberflächenfeuchte von großem Interesse. Als Oberflächefeuchte ist dabei das Wasser gemeint, das sich auf der Probenoberfläche befindet und nicht im oberflächennahen Porenbereich. Eine genaue Abgrenzung ist aber bei den rauen Oberflächen eines Putzes nicht möglich.

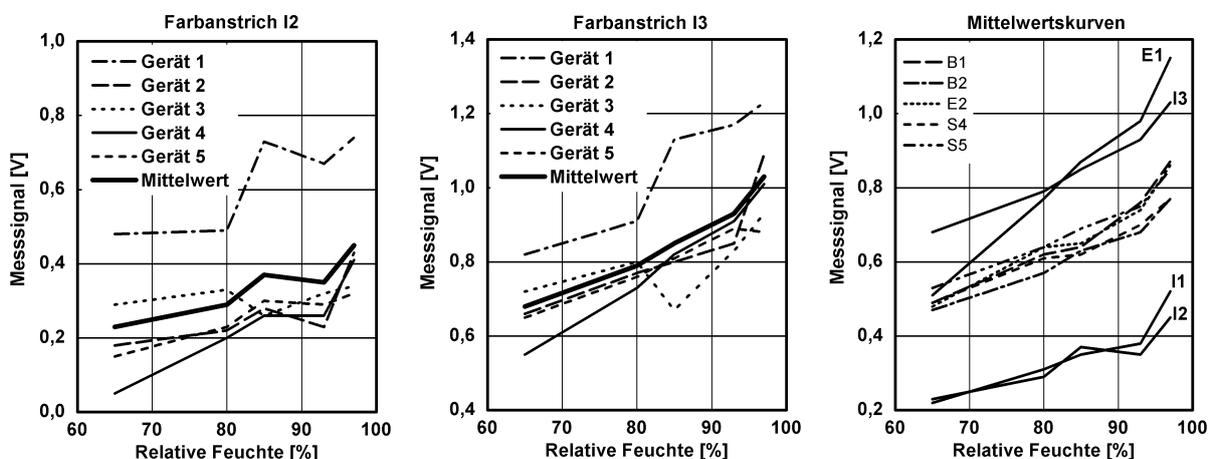
Aus diesem Grund werden unterschiedliche Verfahren unter Freilandbedingungen an Putzoberflächen auf ihre Anwendbarkeit und Aussagefähigkeit hin untersucht.

## 2. Infrarot-Photometer

Die Oberflächenfeuchtemessung wird mit einem Reflexions-Infrarot-Photometer durchgeführt. Das Messprinzip beruht darauf, dass Wasser im nahen Infrarotbereich eine starke Absorptionsbande besitzt. Im Gerät wird durch eine Halogenlampe Infrarotlicht erzeugt und über einen Lichtleiter zum Messkopf übermittelt. Für die Messung muss der Messkopf in einem Abstand von ca. 10 mm auf den Prüfkörper ausgerichtet sein. Die Oberflächenfeuchte wird im Gerät aus der Differenz zwischen abgestrahlter und von der Oberfläche reflektierter Energie berechnet.

### 2.1 Labormessung

Für die Farb- und Putzbeschichtungen muss eine Laborkalibrierung durchgeführt werden. Für die Kalibrierung werden die Farbbeschichtungen auf Aluplatten aufgetragen und den entsprechenden Luftfeuchten ausgesetzt. Für die Messungen wurden fünf gleiche Feuchtemessgeräte verwendet. Die Farbanstriche besitzen unterschiedliche Oberflächeneigenschaften. Bild 1 links und mittig zeigt die Kalibrierkurven der einzelnen Messgeräte für zwei Farbanstriche. Man erkennt, dass allein die Wahl des Messgerätes einen deutlichen Einfluss besitzt. Die Mittelwertkurven der einzelnen Farbanstriche sind gemeinsam in Bild 1 rechts dargestellt. Es zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Farbanstrichen.



**Bild 1:** Messsignalkurven von Feuchtemessgerät bei Labormessung.

Links: Farbanstrich I2 (mit IR - grau)

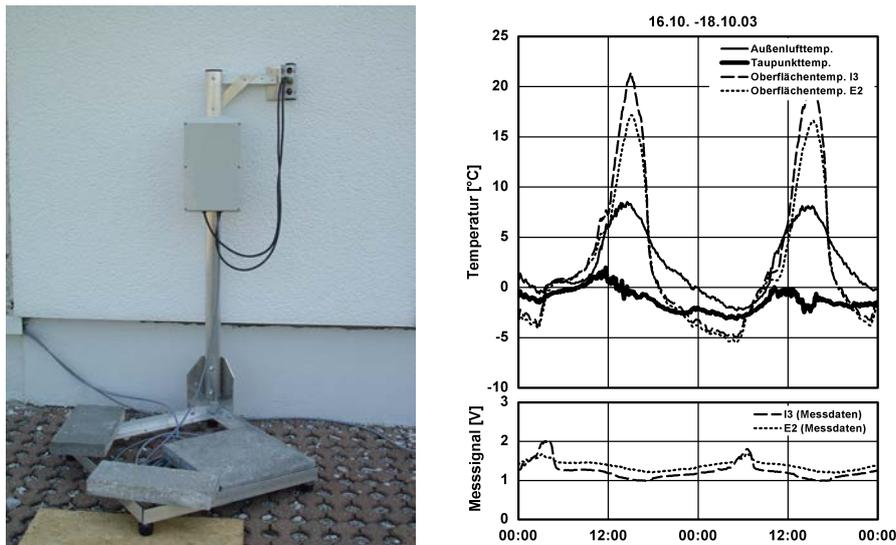
Mitte: Farbanstrich I3 (weiß)

Rechts: Mittelwertkurven an verschiedenen Anstrichen im Vergleich

### 2.2 Freilandmessungen

Um eine kontinuierliche Oberflächenfeuchtemessung im Freiland durchführen zu können, muss eine Messvorrichtung gebaut werden, an der das Messgerät wetterfest befestigt werden kann. In Bild 2 links ist der Versuchsaufbau für die Freilandmessungen dargestellt. Es werden zum Vergleich immer zwei unterschiedliche Wandflächen über einen Zeitraum von zwei Wochen gemessen. Zur Kontrolle der Messergebnisse wird der Verlauf der relativen Feuchte an der Oberfläche mit dem Verlauf der Ober-

flächentemperatur und der Taupunkttemperatur verglichen. In Bild 2 rechts sind der Verlauf der Temperaturen und des Messsignals für zwei Tage im Oktober dargestellt.



**Bild 2:** Versuchsaufbau für die Oberflächenfeuchtemessung (links) und Temperaturverläufe (rechts) an zwei Versuchsflächen mit weißem Anstrichen im Vergleich zur Taupunkttemperatur (oben). Im unteren Bild ist das Messsignal der Oberflächenfeuchtemessung abgebildet.

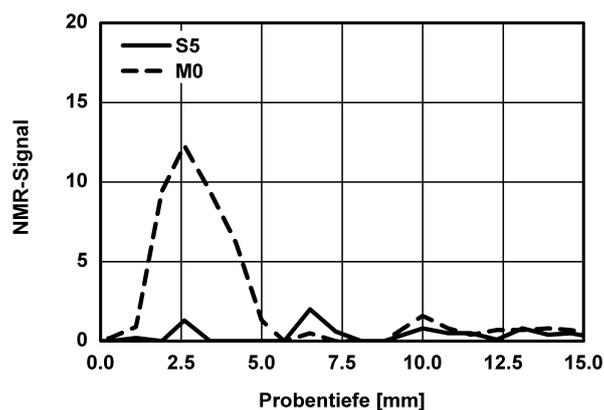
Es kommt in beiden dargestellten Nächten zu einer deutlichen Unterschreitung der Taupunkttemperatur und somit zur Bildung von Tauwasser an der Bauteiloberfläche. Der Unterschied der beiden Anstriche liegt darin, dass die Farbe I3 extrem hydrophobe Eigenschaften und der Anstrich E2 eine normale Hydrophobie aufweist. Bei dem Anstrich I3 kann die extreme Hydrophobie zur Entstehung von vielen kleinen Wassertropfen auf der Oberfläche führen, was zur Folge hat, dass das Messsignal deutlich höher ansteigt als bei der Oberfläche E2. Außerdem kann es je nach Lage und Größe der Tropfen auf der Oberfläche zur Streuung des Messlichtes kommen. Dies kann zu einer Verfälschung der Messung führen. Ein weiteres Problem bei der Messung ist, dass das Messsignal, bei gleich bleibender Feuchte, an den Geräten über einen längeren Zeitraum nicht konstant bleibt (zeitliche Drift). Die Langzeitstabilität der Geräte ist als gering einzustufen. Weiterhin reagieren die Messgeräte empfindlich auf den Abstand des Messkopfes von der Oberfläche, was bei der rauen Putzoberfläche weitere Unsicherheiten mit sich bringt.

### 3. Kernmagnetische Resonanz (NMR)

Die kernmagnetische Resonanz beruht auf dem Drehimpuls der positiv geladenen Protonen (Spin) und dem daraus resultierenden magnetischen Moment. In einem äußeren konstanten Magnetfeld verhalten sich die Wasserstoffkerne wie präzessierende magnetische Dipole. Durch die Einwirkung eines magnetischen Wechselfeldes bestimmter Frequenz, senkrecht zum konstanten Feld, werden Übergänge zwischen zwei Energieniveaus induziert. Die dabei von der Stoffprobe absorbierte Energie hängt von der Anzahl der Protonen in der Probe ab und kann, da Wasserstoffkerne in Baustoffen im Allgemeinen nur in Form von Wasser auftreten, als Maß für die Feuchte dienen. Das Messverfahren zeichnet sich durch seine hohe Genauigkeit bei hoher Messgeschwindigkeit und geringer Temperaturabhängigkeit sowie einer guten

örtlichen Auflösung aus. Allerdings handelt es sich hier aufgrund des Eigengewichts der Messapparatur um ein reines Laborverfahren. Eine Anwendung im Freiland kann nur dadurch erfolgen, dass Proben aus dem Freilandversuch für die Messung ins Labor gebracht werden.

Ein einfaches Laborexperiment soll zeigen, ob sich dieses Verfahren auch zur Bestimmung der Oberflächenfeuchte eignet. Dazu werden die Proben auf Dämmstoffprismen aufgeklebt und zunächst im trockenen Zustand vermessen. Anschließend werden die Oberflächen mit Wasser besprüht und unmittelbar danach erneut vermessen. Die Untersuchung wurde an zwei verschiedenen Proben durchgeführt, zum einen an einem extrem hydrophoben System S5 (Silikonharzputzsystem mit Silikonharzfarbe) und zum Vergleich mit einem saugenden System M0 (mineralisches Putzsystem ohne Anstrich). Die ermittelten Feuchteverteilungen sind in Bild 3 aufgetragen. Das oberflächlich anhaftende Wasser bei der Probe S5 konnte nicht detektiert werden. Die Messergebnisse zeigen nur die Feuchteverteilung in der Probe M0. Hier liegt der maximale Wassergehalt bei einer Eindringtiefe von 2,5 mm vor, was in etwa der Dicke des Deckputzes entspricht. Die Ergebnisse zeigen, dass mit Hilfe der kernmagnetischen Resonanz oberflächlich anhaftendes Wasser nicht nachgewiesen werden kann.



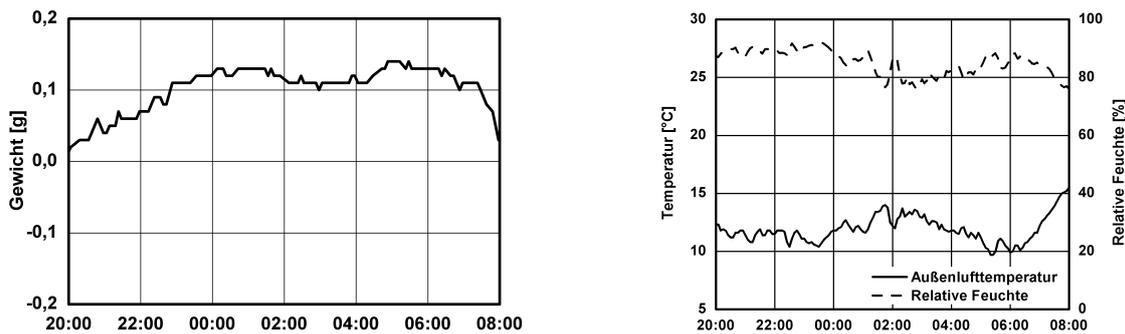
**Bild 3:** Mit Hilfe der kernmagnetischen Resonanz ermittelte Feuchteverteilung in einer Probe ohne Anstrich (M0) und mit hydrophobem Anstrich (S5).

#### 4. Unterflurwägung

In der Praxis zeigt sich, dass die Messung der Tauwassermenge auf der Oberfläche mithilfe einer Unterflurwägung einige Probleme mit sich bringt. Wenn während des Messzeitraumes Wind auftritt, wird die Messung durch das Schaukeln der Probe beeinflusst. Zudem ist es schwierig, zu beurteilen, ob die Gewichtszunahme der Probe in Zusammenhang mit den Sorptionseigenschaften des Anstriches und der Zunahme der relativen Luftfeuchte während der Messung steht.

In Bild 4 links ist der zeitliche Verlauf des Probengewichtes im Laufe einer Nacht im September dargestellt. Es zeigt sich, dass die Probe zu Beginn der Nacht etwas schwerer wird und in den Morgenstunden wieder an Gewicht verliert. Anhand von diesem Verlauf könnte davon ausgegangen werden, dass hier Tauwasser auf der Oberfläche anfällt. Wenn allerdings im Vergleich dazu die relative Luftfeuchte betrachtet wird (Bild 4 rechts), zeigt sich, dass der Anstieg des Gewichtes auch von der Adsorption der Feuchtigkeit aus der Luft stammen kann. Zudem ist unklar, ob die

Masseänderungen der Probe bei der Wägung auch durch leichte Luftbewegungen hervorgerufen werden.



**Bild 4:** Zeitlicher Verlauf der Gewichtsänderung einer beschichteten Alufolie (links) und der Außenluftfeuchte und -temperatur in den Nachtstunden.

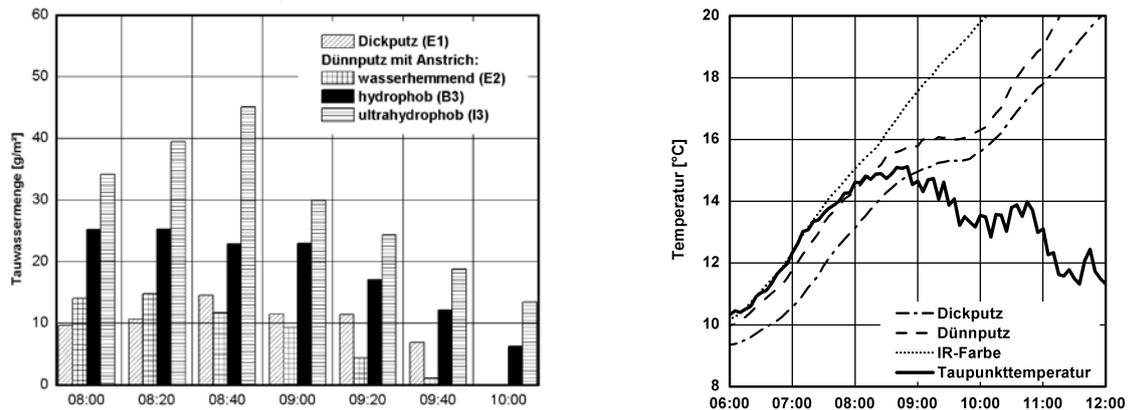
Die ermittelte Gewichtszunahme kann auch durch Sorptionsvorgänge mit beeinflusst sein. Bei einer relativen Feuchte von ca. 93 % kann die Farbe bei einer Versuchsfläche von ca. 0,01 m<sup>2</sup> etwa 0,1 g aufnehmen. Da aber nicht bekannt ist, wie lange es dauert, bis das Gleichgewicht zwischen relativer Luftfeuchte und Ausgleichsfeuchte erreicht ist, kann der Einfluss nicht beurteilt werden. Um den Einfluss durch Wind beurteilen zu können, besteht die Möglichkeit die Filtereinstellungen der verwendeten Waage zu verändern. Bei der verwendeten Waage kann zwischen vier Filtereinstellungen von „ganz ruhig“ bis „ganz unruhig“ ausgewählt werden. Trotz Änderung dieser Funktion ist es noch nicht möglich den Einfluss von Wind zu eliminieren bzw. sicherzustellen, dass Bewegungen der Probe bei dem Messergebnis herausgefiltert sind. Die Interpretation der Messergebnisse ist schwierig und das Verfahren mit zu vielen Unsicherheitsfaktoren behaftet. Somit kann auch dieses Verfahren keine zuverlässigen Ergebnisse liefern und wird nicht weiter verfolgt.

#### 4. Diskretes kontaktgravimetrisches Verfahren

Ein völlig anderes diskontinuierliches Verfahren zur Bestimmung der Oberflächenfeuchte wird im Folgenden beschrieben. Zur Bestimmung oberflächlich anhaftenden Wassers auf Putzoberflächen werden Zellstoffmatten definierter Größe zugeschnitten, im trockenen Zustand gewogen, auf die Baustoffoberfläche aufgelegt und gut angedrückt. Durch erneutes Wiegen kann die Oberflächenfeuchte ermittelt werden. Das Verfahren eignet sich sowohl für Untersuchungen im Labor als auch im Freiland an ausgeführten Versuchswänden. Der zeitliche Verlauf der Abtrocknung lässt sich durch wiederholtes Abtupfen bestimmen.

Die Ergebnisse der gravimetrischen Oberflächenfeuchtebestimmung an der Versuchswand mit verschiedenen Beschichtungen sind in Bild 5 links für ein Zweistundenintervall im September dargestellt. Zum ersten Messzeitpunkt um 8:00 Uhr ist die Tauwassermenge auf dem Dickputz- und Dünnputzsystem mit mineralischem Anstrich (Variante E1 und E2) deutlich geringer als auf dem Dünnputzsystem mit Silikonharzfarbe B3 und Lotusfarbe I3. Die Wandfläche mit IR-Farbe ist trocken. Die Tauwassermenge nimmt bei der Variante mit Lotusfarbe zunächst noch zu, während sie bei den anderen Varianten (E1, E2 und B3) nahezu konstant bleibt. Die Varianten E1 und E2 trockenen im weiteren Zeitverlauf ab und zwar die Variante mit Dickputz langsamer als die Variante mit Dünnputz. Um 10 Uhr sind diese beiden Wandflächen

bereits oberflächlich abgetrocknet, während auf den Silikonharzfarben, besonders auf der Lotusfarbe I3, immer noch Tauwasser vorhanden ist.



**Bild 5:** Kontaktgravimetrische Oberflächenfeuchtebestimmung an einer Versuchswand mit verschiedenen Beschichtungen (links) und Verlauf der Oberflächentemperaturen (rechts).

Vergleicht man die Ergebnisse der gravimetrischen Oberflächenfeuchtmessung mit den Oberflächentemperaturverläufen (Bild 5 rechts) lässt sich eine gute Übereinstimmung für die Variante E1 und E2 feststellen. Die Variante E1 (Dickputz) trocknet langsamer ab als die Variante E2 (Dünnputz), da der Dickputz sich aufgrund seiner höheren Masse langsamer erwärmt. Das unterschiedliche Abtrocknungsverhalten der verschiedenen Anstriche auf dem Dünnputzsystem beruht auf den hydrophoben Eigenschaften der Farben. Bei dem etwas saugfähigeren Anstrich E2 kann ein Teil des anfallenden Tauwassers vom Putz aufgenommen werden, während bei den extrem hydrophoben Silikonharzfarben B3 und I3 das gesamte Tauwasser auf der Oberfläche bleibt. Die Ergebnisse zeigen, dass hinsichtlich Tauwasseranfall Anstriche mit extrem hydrophoben Eigenschaften (B3 und I3) ungünstiger sind als Anstriche mit geringerer Hydrophobie, wie z. B. die hier vorliegende Dispersionssilikat- und Silikatfarbe (E2 und E1).

Das Verfahren eignet sich für die Bestimmung von Tauwassermengen und Abtrocknungsverhalten verschiedener Beschichtungen im Freiland und im Labor. Die Ergebnisse stimmen gut mit den Ergebnissen aus der Oberflächentemperaturmessung überein und liefern darüber hinaus wichtige Informationen über den Einfluss der hygrischen Materialeigenschaften auf die Bildung von Oberflächen-tauwasser.

## 5. Zusammenfassung

Das Ziel der hier vorgestellten Untersuchungen bestand darin ein Messverfahren zu finden, das in der Lage ist den zeitlichen Verlauf der Oberflächenfeuchte an frei bewitterten Putzfassaden zu erfassen, da dieser nach derzeitigem Wissensstand entscheidend für das Risiko eines mikrobiellen Bewuchses ist. Zu diesem Zweck wurden ganz unterschiedliche Messtechniken eingesetzt. Da die Messgeräte zu unterschiedlichen Zeitpunkten zur Verfügung standen, war allerdings eine vergleichende Messung an den gleichen Proben unter gleichen Bedingungen vor allem im Freilandversuch nicht möglich. Unter Laborbedingungen ergeben sich, wie die dargelegten Ergebnisse belegen, zum Teil durchaus gute Resultate. Für die rauen Bedingungen

im Freilandversuch mit starken Temperaturwechseln, Sonneneinstrahlung und Wind sind die eingesetzten High-Tech-Geräte dagegen nicht konzipiert und liefern keine verlässlich interpretierbaren Ergebnisse. Einzig die Einfachmethode des Abtupfens der Oberflächenfeuchte mit einem saugfähigen Vlies ergibt vernünftige in sich schlüssige zeitliche Verläufe, die mit den Messungen der Taupunktunterschreitungen korrelieren.

## 6. Veröffentlichungen

KRUS, M.; SEDLBAUER, K. , *Instationärer Feuchtegehalt an Außenoberflächen und seine Auswirkungen auf Mikroorganismen*, Tagungsbeitrag IBK-Bau-Fachtagung 288 Bauschäden durch Schimmelpilze und Algen, Berlin, 27. Feb. 2003, S. 5/1 – 5/15.

HOFBAUER, W., BREUER, K., SEDLBAUER, K., *Was wächst auf unseren Fassaden? Teil I: Algen, Flechten, Moose, Farne*, Bauphysik (2003), H. 6.

HOFBAUER, W.; FITZ, C.; KRUS, M.; SEDLBAUER, K.; BREUER, K.: *Prognoseverfahren zum biologischen Befall durch Algen, Pilze und Flechten an Bauteiloberflächen auf Basis bauphysikalischer und mikrobieller Untersuchungen*. Hrsg.: Fraunhofer-Institut für Bauphysik –IBP-, Holzkirchen; Bauforschung für die Praxis Band 77. IRB-Verlag. ISBN 978-3-8167-7102-9.

Kontaktadresse:

Dr.-Ing. Martin Krus

Fraunhofer Institut für Bauphysik

Fraunhoferstraße 10

83626 Valley

Tel.: +49-8024-643-258

Fax.: +49-8024-643-258

Email: [krus@hoki.ibp.fraunhofer.de](mailto:krus@hoki.ibp.fraunhofer.de)