

Beeinflussung der Oberflächenfeuchte zur Vermeidung von Algenbewuchs

Text und Bilder Martin Krus, Cornelia Fitz*

Algen können an Fassaden nur wachsen, wenn an der Fassadenoberfläche Wasser verfügbar ist. Dieses kann nicht nur von Regen stammen, sondern auch von Tau. Mit verschiedenen Massnahmen kann die Oberflächenfeuchte beeinflusst werden. Während extrem hydrophobe Anstriche eher zu länger anhaltender Oberflächenfeuchte aufgrund von Tauwasser führen können, lassen sich mit Infrarotfarben und Latentwärmeschichten diesbezüglich deutliche Verbesserungen erzielen.

Die umfangreichen Anstrengungen der letzten Jahrzehnte zur Verbesserung des Wärmeschutzes und zur Energieeinsparung haben zu einer Erhöhung der Wärmedämmung von Aussenbauteilen geführt. Dies hat die erwünschte Folge, dass der Wärmeabfluss durch diese Bauteile verringert wird. Aus bauphysikalischen Gründen steigen durch diese Massnahmen aber die Wahrscheinlichkeit und die Häufigkeit, dass sich auf der Aussenoberfläche der Fassade höhere

Oberflächenfeuchten bis hin zu Tauwasser bildet. Die Folge davon ist, dass die Feuchte – die wichtigste Grundlage für mikrobielles Wachstum – auf der Wand in zunehmendem Masse vorliegt.

Am Beispiel des in Bild 1 dargestellten Gebäudes sei dies veranschaulicht. Im Rahmen einer Sanierung wurde die rechte Seite des Gebäudes mit einem Wärmedämmverbundsystem versehen, während die linke Seite lediglich einen neuen Anstrich erhielt. In der Folgezeit kam es auf dem gedämmten Gebäudeteil zur Bildung von Algen, wie an den dunklen Verfärbungen zu erkennen ist.

* Fraunhofer-Institut für Bauphysik, DE-83601 Holzkirchen

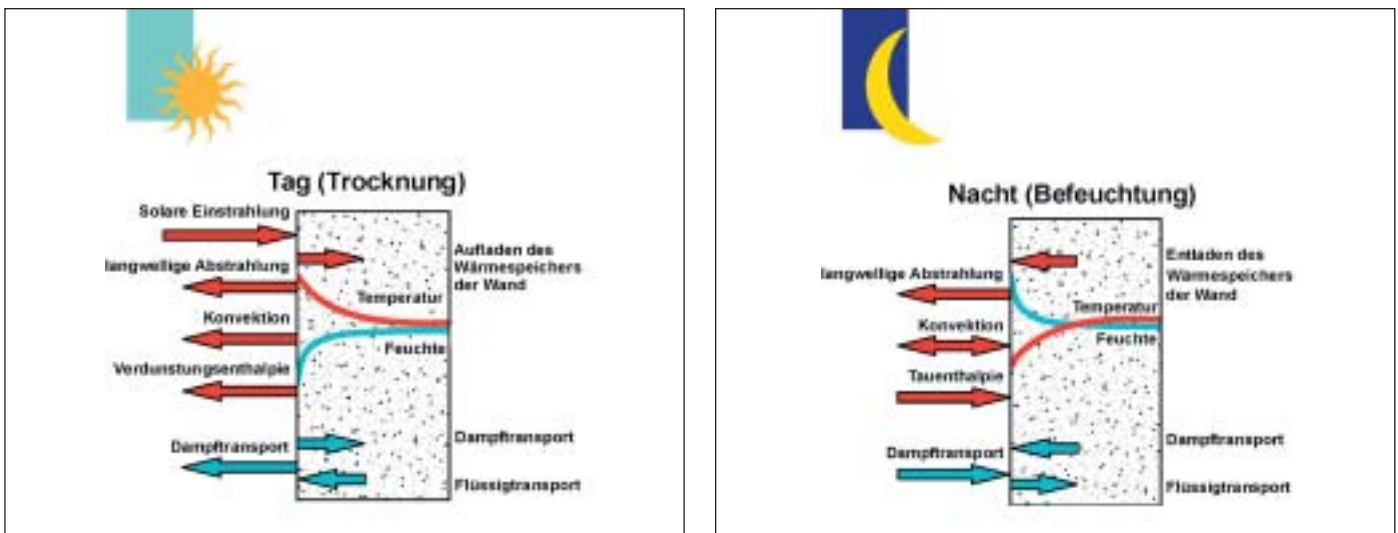


1 Wärmedämmungen erhöhen die Gefahr von Algenbewuchs. Hier eine gegen Nordosten exponierte fünf Jahre alte Fassade, deren rechte Hälfte wärmedämmung ist und mikrobiellen Bewuchs aufweist, während die linke, nicht gedämmte Hälfte bewuchsfrei geblieben ist.

Feuchtigkeit fördert Algen- und Pilzwachstum

Die Temperatur- und Feuchteverhältnisse an den Fassadenoberflächen sind ausschlaggebend für das Risiko eines biologischen Aufwuchses. Schimmelpilze benötigen zum Beispiel temperaturabhängig eine gewisse relative Feuchte über einen längeren Zeitraum hinweg für ihr Wachstum. Algen brauchen höhere Feuchten, meist sogar die Anwesenheit von freiem Wasser. Dafür können Algen längere Trockenperioden ohne Schaden überstehen, da sie dann die Lebensfunktionen auf ein Minimum herunterfahren und in eine Art Ruhestadium treten, bis sie wieder mit Wasser in Berührung kommen.

Da eine biozide Ausrüstung der Oberflächen aus Umweltschutzgründen



2 Schematische Darstellung der hygrothermischen Vorgänge an einer Aussenwand während des Tages (links) und während der Nacht (rechts).

und aufgrund ihrer zeitlich begrenzten Wirksamkeit eine Ausnahme darstellen sollte, wird nach Wegen gesucht, das Algenwachstum mit bauphysikalischen Mitteln zu unterbinden. Zu diesem Zweck werden im Freilandversuchsgelände des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik (IBP) im deutschen Holzkirchen umfangreiche Messungen an Fassadenoberflächen durchgeführt. Allerdings kann aus nahe liegenden Gründen nicht die ganze Vielfalt der interessanten Variationen messtechnisch untersucht werden. Mit Hilfe von Berechnungen lassen sich aber schnell und kostengünstig zahlreiche weitere Varianten beurteilen und unterschiedliche Einflussfaktoren, wie z.B. Orientierung, Dämmschichtdicke oder Erhöhung der thermischen Speichermasse durch Nutzung des Latentwärmeeffekts, in ihrer Wirkungsweise abschätzen.

Hygrothermische Randbedingungen

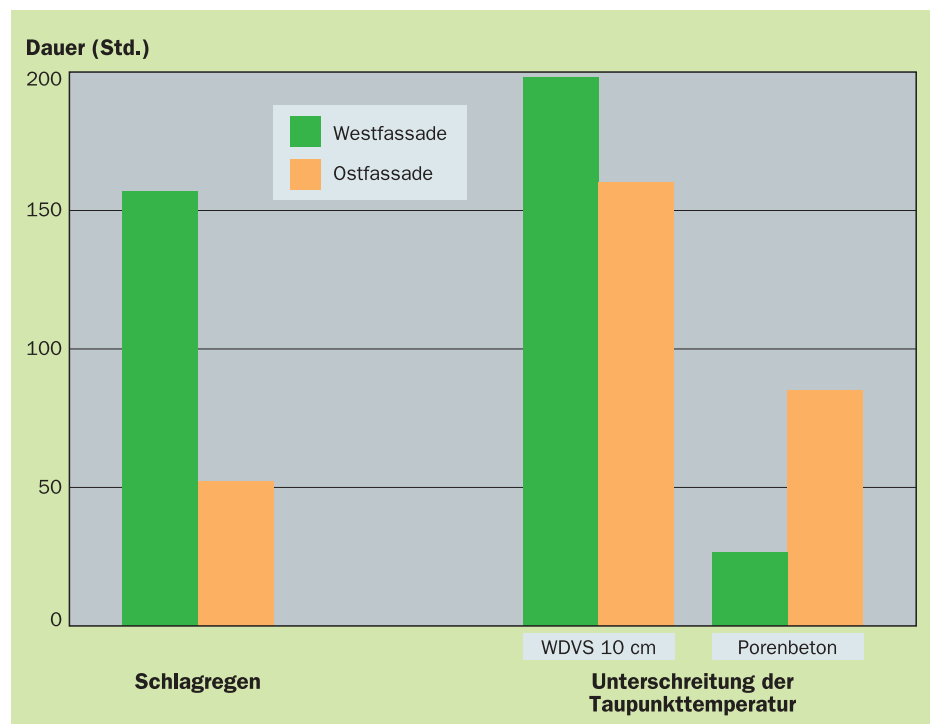
Für das Algenwachstum auf Aussenfassaden sind die Bedingungen an der Aussenoberfläche des Bauteils von entscheidender Bedeutung. Diese werden durch zahlreiche gleichzeitig ablaufende bauphysikalische Vorgänge beeinflusst. In Bild 2 sind die wesentlichen Mechanismen im Überblick dargestellt.

Tagsüber verliert die Aussenoberfläche über langwellige Abstrahlung, Konvektion und eventuell auch Verdunstung Energie. Allerdings wird durch solare Einstrahlung eine grössere Menge

Energie zugeführt mit der Folge, dass sich die Oberfläche erwärmt. Dies bedeutet, dass zum einen die relative Luftfeuchte an der Oberfläche absinkt und zum anderen ein Trocknungsvorgang beginnt. Daraus resultiert das dargestellte, nach aussen abnehmende Feuchteprofil (Bild 2 links).

In der Nacht fehlt die solare Einstrahlung, sodass Wärmeverluste überwiegen. Daher sinkt die Aussenober-

flächentemperatur, was die oberflächennahe Luftfeuchte ansteigen lässt. Sinkt die Oberflächentemperatur so weit unter die Aussenlufttemperatur, dass deren Taupunkttemperatur unterschritten wird, kommt es zu einer Befeuchtung durch Tauwasseranfall (Bild 2 rechts). Solange weitere Kenntnisse über die Wachstumsvoraussetzungen von Algen fehlen, kann die Dauer der Tauwasserbildung als gutes Kriterium



3 Typische aufsummierte Dauer der Unterschreitung der Taupunkttemperatur einer Porenbetonwand und eines Wärmedämmverbundsystems (WDV5) im Vergleich mit der Schlagregendauer für die Monate September und Oktober. Beide Wandkonstruktionen weisen denselben Wärmedurchgangskoeffizienten auf ($U = 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$).



4 Algenbildung an einer Fassade mit Wärmedämmverbundsystem. Die Dübel zeichnen sich als helle, nicht befallene Stellen ab. Die dort geringfügig höhere Temperatur genügt offenbar zur Verhinderung von Algenbefall.

zur Beurteilung der Ergebnisse und des Bewuchsrisikos herangezogen werden.

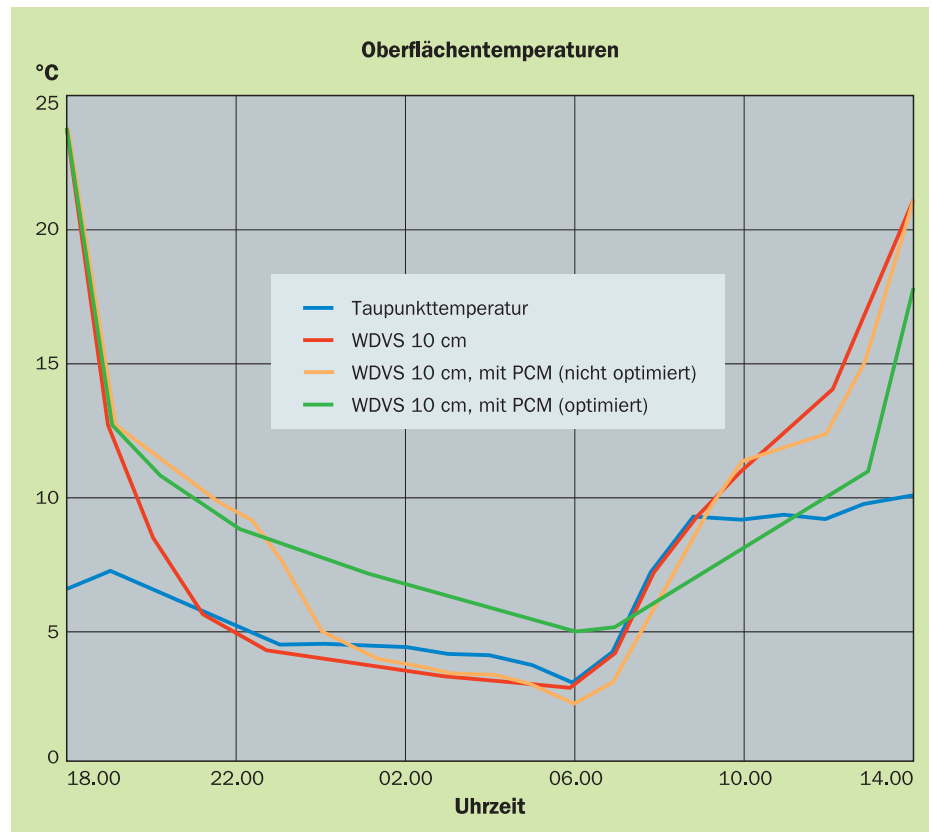
Die kritischsten Zeiträume für biologischen Befall der Aussenwände sind Herbst und Frühling. Winter und Sommer bieten keine optimalen Klimavoraussetzungen für die Algen, da es zu diesen Jahreszeiten entweder zu kalt oder zu trocken ist.

In Bild 3 wird die Dauer der Taupunkttemperatur-Unterschreitung für eine Porenbetonwand und ein Wärmedämmverbundsystem (WDVS) in den Monaten September und Oktober für die West- und Ostausrichtung dargestellt und mit der Schlagregenbelastung verglichen. Daraus ist ersichtlich, dass bei der Wand mit WDVS trotz gleichem Wärmedurchgangskoeffizienten die Taupunkttemperatur häufiger unterschritten wird als beim monolithischen Aufbau. Obwohl auf der Westseite (Wetterseite) der Schlagregen als zusätzliche Feuchtequelle eine Rolle spielt, sorgt auch hier die Betauung für höhere Befeuchtungszeiten. Im Gegensatz zum Tauwasser, das meist als winzig kleine Tröpfchen an der Oberfläche hängen bleibt, kann der Regen auch eine reinigende, bewuchsvermindernde Wirkung haben, weshalb häufig auf der fast re-

genfreien Nordseite mikrobieller Bewuchs festzustellen ist.

Auffällig ist auch, dass – im Gegensatz zur WDVS-Fassade – bei der monolithischen Bauweise die Ostseite mehr Taupunkttemperatur-Unterschreitungen aufweist. Der Grund liegt darin, dass die Ostseite die Sonnenwärme, die sie am Morgen aufgenommen hat, bis zum Sonnenuntergang wieder weitgehend abgegeben hat, während die Westseite die Wärme in die Nacht hinein «retten» kann. Beim WDVS spielt dieser Effekt aufgrund der niedrigen Wärmekapazität kaum eine Rolle.

In klaren Nachtstunden wird durch die langwellige Abstrahlung die gespei-



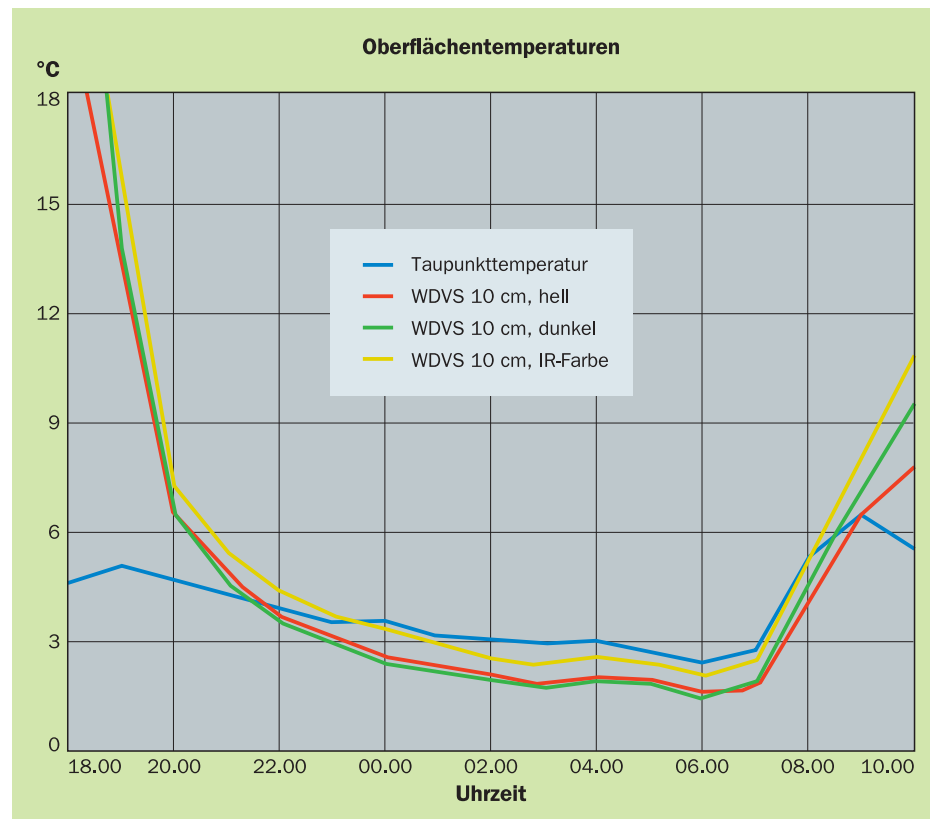
5 Tageszeitlicher Verlauf der Oberflächentemperaturen im Vergleich zur Taupunkttemperatur. Dies verdeutlicht den Einfluss von Latentwärmematerialien mit unterschiedlichen Umschlagpunkten auf die nächtliche Unterkühlung einer nach Westen orientierten WDVS-Fassade.

cherte Wärme bei WDVS schneller abgestrahlt mit der Folge häufigerer und längerer Unterschreitungen der Taupunkttemperatur.

Die Tauwasserbildung an der Fassadenoberfläche ist somit ein massgeblicher Faktor bei der Entstehung von Algen. Dass hier bereits geringfügige Unterschiede in der Oberflächentemperatur eine entscheidende Rolle spielen, zeigt das in Bild 4 dargestellte Gebäude: Während ein Grossteil der Fassade durch Algen grünlich verfärbt ist, zeichnen sich die Dübel durch helle Stellen ab. Die Dübel stellen eine Wärmebrücke dar, sodass die Fassadenoberfläche hier um einige Zehntelgrade wärmer ist. Diese geringe Temperaturdifferenz stellt sozusagen das Zünglein an der Waage dar und entscheidet darüber, ob sich Algen auf der Fassade bilden oder nicht.

Beeinflussung durch bauphysikalische Massnahmen

Aus bauphysikalischer Hinsicht gibt es unterschiedliche Ansatzpunkte zur Reduktion der Betauung der Aussenoberflächen eines WDVS. Mit einer Erhöhung des oberflächennahen Wärmespeichervermögens kann die tägliche solare Erwärmung des Bauteils und die dabei gespeicherte Energie genutzt werden, um eine Temperaturabsenkung unter die Taupunkttemperatur möglichst zu vermeiden. Weiterhin kann durch Änderung der strahlungstechnischen Oberflächeneigenschaften entweder die Erwärmung der Oberfläche erhöht oder die nächtliche Abkühlung verringert werden. Eine ganz andere Möglichkeit liegt in der Optimierung der hygrischen Eigenschaften des Putz-Anstrich-Systems. Zur Beurteilung dieser Ansätze



6 Tageszeitlicher Verlauf von Oberflächentemperaturen im Vergleich zur Taupunkttemperatur einer nach Westen orientierten WDVS-Fassade. Durch eine dunkle Fassadenfarbe kann die nächtliche Unterkühlung nur marginal beeinflusst werden, während eine IR-Farbe die Dauer der Unterschreitung der Taupunkttemperatur deutlich reduziert.

führt das Fraunhofer-Institut für Bauphysik sowohl messtechnische als auch rechnerische Untersuchungen durch.

Erhöhung des oberflächennahen Wärmespeichervermögens

Das Wärmespeichervermögen von Fassaden mit WDVS lässt sich durch Einsatz eines Dämmstoffs mit höherer Wärmespeicherkapazität verbessern. Verwendet man anstelle einer Dämmplatte aus Polystyrol beispielsweise eine Holzfaserdämmplatte mit deutlich grösserer Rohdichte, kann die Tauwasserbildung an der Fassade – wie durch Messungen und Berechnungen bestätigt – um rund 25% reduziert werden.

Die Dicke des Aussenputzes hat ebenfalls einen Einfluss auf die zu erwartenden Taupunktunterschreitungen. Verwendet man anstelle eines Standarddünnputzsystems mit einer Dicke von etwa 5 mm ein Dickputzsystem mit 20 mm Dicke, lässt sich die Dauer der Betauung um bis zu 20% reduzieren. →

Ein neuartiger Ansatz besteht in der Möglichkeit, Latentwärmeeffekte zu nutzen, indem so genannte «phase-changing materials» (PCM) in den Aussenputz eingebaut werden*. Als PCM kann dabei Paraffin dienen, das mit unterschiedlichen Schmelzbereichen verfügbar ist.

Wesentlich für die Verminderung der Taupunkttemperatur-Unterschreitung durch Einsatz von PCM ist, dass der Temperaturbereich für den Phasenwechsel den nächtlichen Klimarandbedingungen angepasst ist. Bereits auf dem Markt befindliche Latentwärmespeicher-Putze für den Innenbereich

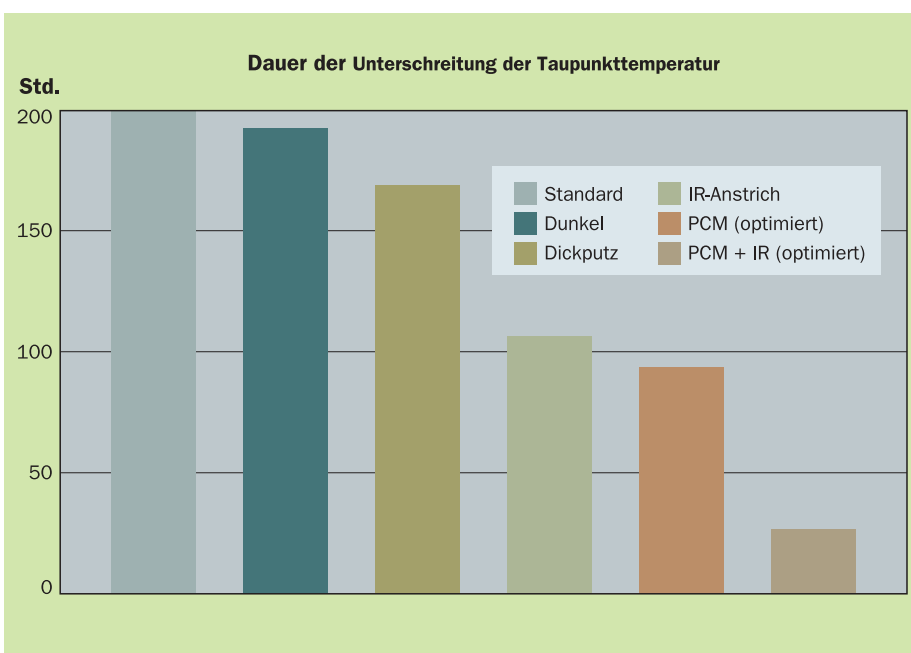
bringen nur eine geringfügige Minderung der Unterschreitungsdauer der Taupunkttemperatur (Bild 5). Bei hinsichtlich des Schmelzpunktes optimierten PCM dagegen wird bis zu den frühen Morgenstunden die Unterschreitung der Taupunkttemperatur unterbunden. Anschliessend kommt es allerdings im Vergleich zum WDVS ohne PCM zu einer Verzögerung bei der Erwärmung der Oberfläche. Bei der Erwärmung am Morgen muss nämlich der Phasenwechsel von fest nach flüssig erfolgen, weshalb die Oberflächentemperatur nach Sonnenaufgang langsamer ansteigt. Insgesamt ist aber eine deutliche Reduzierung des Tauwasseranfalls gegeben.

* Latentwärmespeicher nehmen Wärme auf, indem sie schmelzen, also den Aggregatzustand (engl. phase) ändern. Das Speichermedium erwärmt sich dabei nicht. Wird die Schmelztemperatur (Umschlagpunkt) wieder unterschritten, gibt das Medium die Schmelzwärme wieder ab, ohne sich dabei abzukühlen.

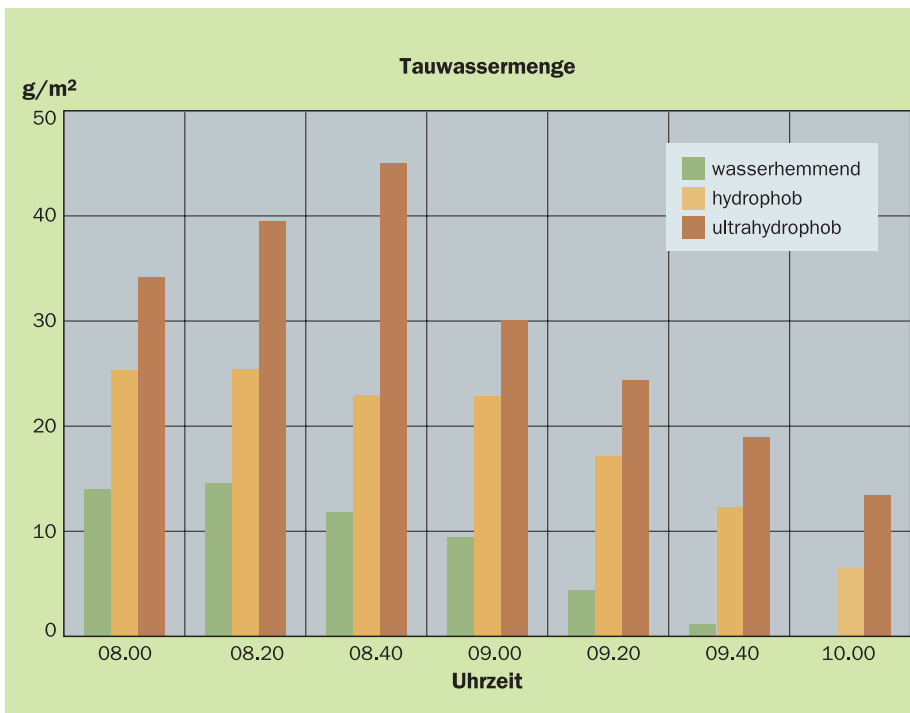
Änderung der strahlungstechnischen Oberflächeneigenschaften

Die strahlungstechnischen Eigenschaften einer Fassadenbeschichtung werden durch ihren Absorptionsgrad und ihren Emissionsgrad charakterisiert. Während eine weisse Farbe einen Absorptionsgrad von 0,2 aufweist, besitzen leicht getönte graue oder farbige Anstriche bereits Absorptionsgrade zwischen 0,4 und 0,6. Eine derartige Farbgebung führt z.B. an einem sonnigen Septembertag tagsüber zu höheren Maximaltemperaturen von 36 °C statt 25 °C. In Bezug auf die nächtliche Unterkühlung ergeben sich dadurch aber nur geringfügige Vorteile (Bild 6). Allerdings führt eine dunklere Farbe aufgrund der schnelleren Erwärmung auch zur schnelleren Abtrocknung der Oberfläche, was ebenfalls zu einer Minderung des Bewuchsrisikos führt.

«Nachts sind alle Katzen grau.» Dies gilt unabhängig vom Farbton für alle konventionellen Farben in Bezug auf deren langwellige Abstrahlung. Neuer-



7 Der Vergleich verschiedener Massnahmen zeigt, dass sich die Dauer der Taupunkttemperatur-Unterschreitungen (im Zeitraum von September bis Oktober) deutlich reduzieren lässt. Der Wärmedurchgangskoeffizient ist überall gleich ($U = 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$).



8 Anfallende Tauwassermenge verschiedener Beschichtungen im zeitlichen Verlauf an einer nach Westen orientierten WDVS-Fassade. Bei ultrahydrophoben Anstrichen ist die Fassade länger nass.

dings sind aber so genannte IR-Farben (IR = Infrarot) entwickelt worden, bei denen der Emissionsgrad für langwellige Strahlung durch eine Zugabe entsprechender Metallpigmente von über 90% auf etwa 65% gesenkt werden konnte. Die verminderte thermische Abstrahlung führt nachts zu einer geringeren Unterschreitung der Taupunkttemperatur (Bild 6). Mit Hilfe solcher IR-Farben lässt sich die Tauwasserbildung um bis zu 50% reduzieren.

Kombiniert man eine IR-Farbe mit einem PCM-Putz, wird erwartungsgemäss die Taupunkttemperatur-Unterschreitung weiter minimiert, und die Zeiten mit Tauwasser an der Fassadenoberfläche lassen sich auf ein Minimum reduzieren. In Bild 7 sind die durch solche Massnahmen erreichbaren Absenkungen der Betauungszeiten vergleichend dargestellt.

Optimierung der hygrischen Oberflächeneigenschaften

Fassadenbeschichtungen müssen aus Gründen des Regenschutzes eine gewisse Hydrophobie aufweisen. Diese hat jedoch keinen Einfluss auf die anfallende Tauwassermenge. Zudem ver-

bleibt bei extrem hydrophoben Beschichtungen das Tauwasser, das sich nachts an der Oberfläche bildet, länger auf der Fassade. Dies fördert das Algenwachstum, da man davon ausgehen kann, dass nur das auf der Oberfläche befindliche Wasser für an der Oberfläche anhaftende Mikroorganismen verfügbar ist.

Eine gewisse Saugfähigkeit des Putz-Anstrich-Systems könnte sich deshalb positiv auswirken, da zumindest ein Teil des Tauwassers in tiefere Bereiche des Aussenputzes geleitet wird und somit für Mikroorganismen nicht mehr zur Verfügung steht. Tagsüber wird das eingedrungene Wasser aufgrund der solaren Erwärmung des Putzes wieder abtrocknen.

In Bild 8 ist die Tauwassermenge an einer Fassade nach einer klaren Nacht am Beispiel von Beschichtungen mit unterschiedlichen Wasseraufnahmekoeffizienten (w -Wert) dargestellt. Auf der ultrahydrophoben Beschichtung ($w = 0,01 \text{ kg/m}^2\text{h}^{0,5}$) befindet sich auf der Oberfläche nicht nur deutlich mehr Tauwasser im Vergleich zu der hydrophoben ($w = 0,03 \text{ kg/m}^2\text{h}^{0,5}$) und der wasserhemmenden Beschichtung

($0,1 \text{ kg/m}^2\text{h}^{0,5}$), sondern die Oberfläche bleibt auch länger feucht.

Weiterer Forschungsbedarf

Bei all diesen Betrachtungen darf aber nicht vergessen werden, dass in Bezug auf die Wachstumsvoraussetzungen von Algen auf Bauteiloberflächen noch ein enormer Forschungsbedarf besteht. Aus diesem Grund kann derzeit noch keine wissenschaftlich begründete Anforderung an die zur Bewuchsvermeidung notwendige Absenkung der Betauung gegeben werden. Bedenkt man allerdings, dass bei aktuellen WDVS aus Sicht des Anbieters und des Käufers zwar die Anzahl der Reklamationen unbedingt reduziert werden muss, die meisten ausgeführten Objekte aber weitgehend schadensfrei bleiben, so bedeutet dies doch, dass man sich relativ nahe an der Grenze befindet, die über Wachstum entscheidet. Dies lässt vermuten, dass eine nahezu vollständige Vermeidung von Tauwasser nicht erforderlich ist, sondern eine Absenkung um 20 bis 40% die Wachstumswahrscheinlichkeit bereits deutlich reduziert.