

# Algenbildung aufgrund Tauwasser an Außenfassaden – Welche Einflussmöglichkeiten gibt es?

Prof. Klaus Sedlbauer; Dr. Martin Krus; Dr. Klaus Breuer;  
Mag. Wolfgang Hofbauer  
Fraunhofer-Institut für Bauphysik

## 1 Einleitung

Algen gehören mit zu den ältesten Organismen der Welt und haben ihren Verbreitungsschwerpunkt im Wasser angesiedelt. Ihr Artenreichtum ist im Laufe ihrer Entwicklung vielfältig geworden und passte sich den Lebensbedingungen an. Ein kleiner Teil der Algen hat sich während der Evolution an das Leben an der Luft angepasst und sich so zu aerophytischen Algen entwickelt. Diese nutzen Wasser aus der Atmosphäre in Form von Regen oder Dampf auf. Sie leben in der „unverbauten Natur“ hauptsächlich an der Schattenseite von Felsen, auf Gestein und auf feuchter Erde. Auch an Bäumen wachsen Algen auf der Wetterseite der Stämme.

Die umfangreichen Anstrengungen zur Verbesserung des Wärmeschutzes und zur Energieeinsparung in den letzten Jahrzehnten haben zu einer Erhöhung der Wärmedämmung von Außenbauteilen geführt. Dies hat die erwünschte Folge, dass der Wärmeabfluss durch diese Bauteile verringert wird. Bauphysikalisch betrachtet steigt durch diese Maßnahmen die Wahrscheinlichkeit und Häufigkeit, dass sich auf der Außenoberfläche der Fassade höhere Oberflächenfeuchten bis hin zu Tauwasser bilden können. Die Folge davon ist, dass die Feuchte als wichtigste Grundlage für mikrobielles Wachstum auf der Wand in zunehmenden Maße vorliegt.

Die entsprechenden 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 [1]. Algen brauchen höhere Feuchten oder sogar die Anwesenheit von freiem Wasser. Außerdem können Algen längere Trockenperioden ohne Schaden überstehen, da sie die Lebensfunktionen auf ein Minimum herunterfahren und in eine Art Ruhestadium eintreten, bis sie wieder mit Wasser in Berührung kommen.

Da eine biozide Ausrüstung der Oberflächen aus Umweltschutzgründen und aufgrund deren zeitlich begrenzter Wirksamkeit einen Sonderfall darstellen sollte, wird nach Wegen gesucht, das Algenwachstum möglichst mit bauphysikalischen Mitteln zu unterbinden. Zu diesem Zweck werden im Freilandversuchsgelände des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik (IBP) 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 mit dem zu diesem Zweck modifizierten Berechnungsprogramm WUFI [2] lassen sich nach deren

Validierung schnell und kostengünstig zahlreiche weitere Varianten beurteilen, um unterschiedliche Einflussfaktoren, wie z.B. Orientierung, Dämmschichtdicke oder Erhöhung der thermischen Speichermasse durch Nutzung von Latentwärmeeffekten (PCM) in ihrer Wirkungsweise abschätzen.

## 2 Biologische Untersuchungen

Die auf Außenbauteilen vorkommenden Mikroorganismen bzw. Kryptogamen zeichnen sich durch einige typische Merkmale aus. Ihre Verbreitungseinheiten sind Sporen oder Zellverbände, die mikroskopisch klein sind und in der Luft oder im Wasser transportiert werden. Sporen von Mikroorganismen und von Kryptogamen sind nahezu allgegenwärtig und ein normaler Bestandteil der natürlichen Umgebung. Die Mikroorganismen besitzen keinen nennenswerten Verdunstungsschutz und keine effektiven „Wasserleitungssysteme“ wie die höheren Pflanzen. Sie können aber effektiv Wasser aufnehmen und beinahe unmittelbar, mit nur kurzer Vorlaufzeit, als Quelle für ihre Lebensvorgänge nutzen [3, 4]. Eine wesentliche Eigenschaft ist die mehr oder minder stark ausgeprägte Austrocknungstoleranz. Die meisten der vorkommenden Organismen können eine bestimmte Zeit in einem Latenzstadium trockene Zeitabschnitte überdauern, um bei erneuter Benetzung rasch wieder aktiv zu werden. Dies ist auch ein wesentlicher Unterschied zu Mikroorganismen, die im Innenraum vorkommen. Diese können eine Austrocknung in der Regel lediglich in Form von Dauerstadien (z.B. Sporen) überdauern. Schließlich sind viele der Organismen, die von Außenbauteilen bekannt sind, auch relativ genügsam und in der Lage mit einem Minimum an Nährstoffen zu überleben [5].

Über die Zusammensetzung des Bewuchses von Fassaden und Außenbauteilen ist bisher nur wenig bekannt. Im Rahmen eines von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) mit geförderten Projektes, aber auch darüber hinaus, werden daher am IBP zahlreiche Untersuchungen von Praxisfällen (aktuelle Schadensfälle, Fälle von Bewuchs im Freibewitterungsgelände des IBP, etc.) durchgeführt. Dabei sind auch neue Prüfkörper auf dem Freigelände exponiert worden. An diesen Prüfkörpern werden der Aufwuchs sowie die Stoffkennwerte in regelmäßigen Zeitabständen aufgezeichnet und analysiert. Um unterschiedlichen Bewuchs, abhängig von verschiedenen Parametern wie Bindemittel, Farbton oder Oberflächenrauigkeit, systematisch zu erfassen, werden gezielt Proben, die sich in jeweils einem Parameter unterscheiden, ausgewählt. Bild 1 zeigt links den schematischen Aufbau der Probekörper und rechts eine photographische Ansicht der in Holzkirchen aufgestellten Varianten. Zusätzlich wurde eine Auswahl derartiger Prüfkörper an zwei weiteren Standorten im Westen und Südwesten von Deutschland ausgelagert, um auch regionale Einflüsse zu erfassen.

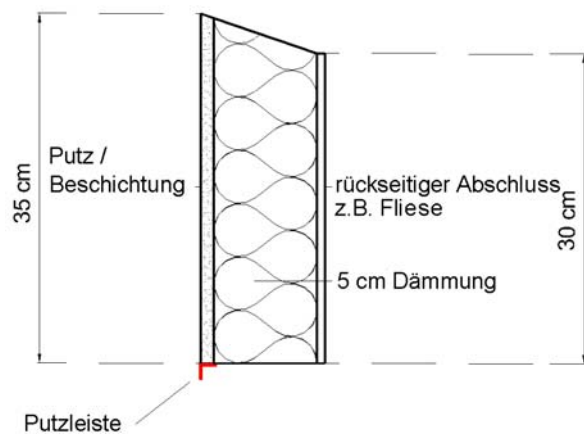


Bild 1: Probekörper in der Freilandversuchsstelle des IBP in Holzkirchen.  
 Links: Schematischer Aufbau  
 Rechts: Photographische Ansicht

Um einen vorhandenen Aufwuchs, zusammen mit etwaiger Verschmutzung einfach quantitativ erfassen zu können, ist die folgend beschriebene visuelle Bewertungsskala (Tabelle 1) entwickelt worden. Im oberen Bereich der Skala (sehr schwach bis mäßig) wird stärker differenziert, um auch kleine Unterschiede bei der Untersuchung besser erfassen zu können. In den höheren Bewertungsklassen folgt die Skalierung im wesentlichen dem „Deckungsgrad“ des Aufwuchses. Bild 2 zeigt anhand von zwei Beispielen die Zuordnung zu den Bewertungsklassen. Mit Hilfe einer solchen Bewertungsskala können Vergleichswerte für den zeitlichen Verlauf und für eine Dokumentation der Aufwuchssukzession gewonnen werden.

Tabelle 1: Visuelle Bewertungsskala für Aufwuchs und Verschmutzung an Oberflächen.

Einstufung	Bedeutung
-	visuell kein Befall zu erkennen
(+)	nur 1 bis 3 kleine Punkt(e) <sup>1)</sup>
+	2 bis wenige deutliche Punkte und/oder blasse - schütterere Flecken <sup>2)</sup> bzw. Ablaufspuren (gesamte Ausdehnung unter 5 % oder sehr schwach)
+(+)	einige deutliche Punkte <sup>1)</sup> bzw. schütterere Flecken <sup>2)</sup> , Gesamtausdehnung unter 5 % oder sehr schwach
++	zahlreiche Punkte <sup>1)</sup> bzw. schütterere Flecken <sup>2)</sup> , gesamt 5% bis 25 % von deutlichem Bewuchs und Verschmutzung betroffen
++(+)	Aufwuchs/Verschmutzung mäßig bis deutlich, 25 % bis 37,5 % sind insgesamt deutlich verschmutzt oder bewachsen
+++	Aufwuchs/Verschmutzung deutlich, 37,5 % bis 50 % der Oberfläche sind deutlich bewachsen oder verschmutzt
+++(+)	deutlich bis stark, 50 % bis 62,5 % der Aufnahmefläche sind von deutlichem Bewuchs und/oder deutlicher Verschmutzung betroffen
++++	starke(r) Bewuchs/Verschmutzung, 62,5 % bis 75 % der untersuchten Oberfläche sind deutlich bewachsen bzw. verschmutzt
++++(+)	stark bis sehr stark, 75 % bis 87,5 % der Fläche zeigen deutlichen Aufwuchs bzw. starke Verschmutzung
+++++	sehr stark, Fläche fast durchgehend bewachsen, 87,5 % bis die gesamte Fläche sind von deutlichem Aufwuchs bzw. starken Verschmutzungen bedeckt

<sup>1)</sup> als Punkte werden Aufwuchs bzw. Verschmutzungen gerechnet, deren Ausdehnung ca. 3 mm im Durchmesser nicht überschreitet

<sup>2)</sup> als Flecken werden flächige Erscheinungen mit einer Ausdehnung über ca. 3 mm bezeichnet



Bild 2: Fotografische Aufnahme eines biologischen Bewuchses der Kategorie + (Bild links) sowie der Kategorie ++ (Bild rechts) auf Probekörpern in der Freilandversuchsstelle in Holzkirchen.

Durch die Untersuchung des Aufwuchses an Fassaden konnte ein wichtiger Anteil der auf Außenbauteilen vorkommenden Spezies bereits aufgeklärt werden. Eine entsprechende Übersicht der autotrophen Formen ist in [6] aufgelistet. Es konnten damit eine Vielzahl von bauteilrelevanten Algen, Blaualgen, Flechten und Moosen identifiziert werden. Insgesamt wurden bisher mehr als 80 verschiedene Formen unterschieden. Für die Zukunft ist mit zunehmendem Kenntnisstand noch mit einer Erweiterung der Arten-Listen zu rechnen. Es werden in [6] bereits verschiedene, besonders häufige, an Schadbildern beteiligte Formen beschrieben.

Der Vergleich von unterschiedlichen Standorten zeigt, dass die Diversivität des Bewuchses zwischen den einzelnen Prüfkörpervarianten deutlich größer ist als die zwischen den Standorten. Insgesamt ergibt sich an Standorten im Westen und Südwesten, wohl aufgrund der dort vorliegenden höheren Mitteltemperaturen und mittleren Luftfeuchten, tendenziell mehr Bewuchs als in Holzkirchen (vgl. Bild 3). Einzelne Prüfkörpervarianten zeigen aber auch in Holzkirchen stärkeren Bewuchs. In Bezug auf den Bewuchs mit Pilzen erbrachten biologischen Analysen für alle drei Standorte im Wesentlichen, abgesehen von quantitativen Unterschieden, übereinstimmende Ergebnisse. Der Algenbewuchs befindet sich derzeit in der Primärentwicklung, sodass eine eindeutige Aussage noch nicht getroffen werden kann. Sollten sich die bis jetzt vorliegenden Beobachtungen im weiteren Verlauf bestätigen, wäre neben dem Substrateinfluss vor allem das herrschende Mikroklima an der Fassadenoberfläche die entscheidende Einflussgröße für die standorttypische Entwicklungen des Bewuchses und nicht der in der Literatur erwähnte sog. „Infektionsdruck“.

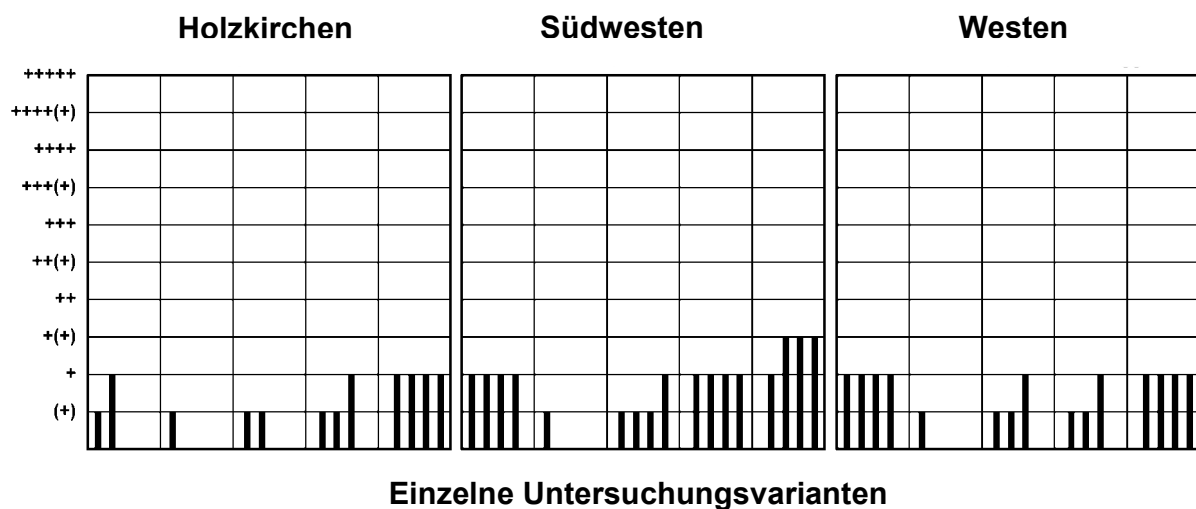


Bild 3: Biologischer Bewuchs an verschiedenen Standorten nach einer Expositionszeit von einem Jahr.

### 3 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 4 sind die wesentlichen Mechanismen im Überblick dargestellt.

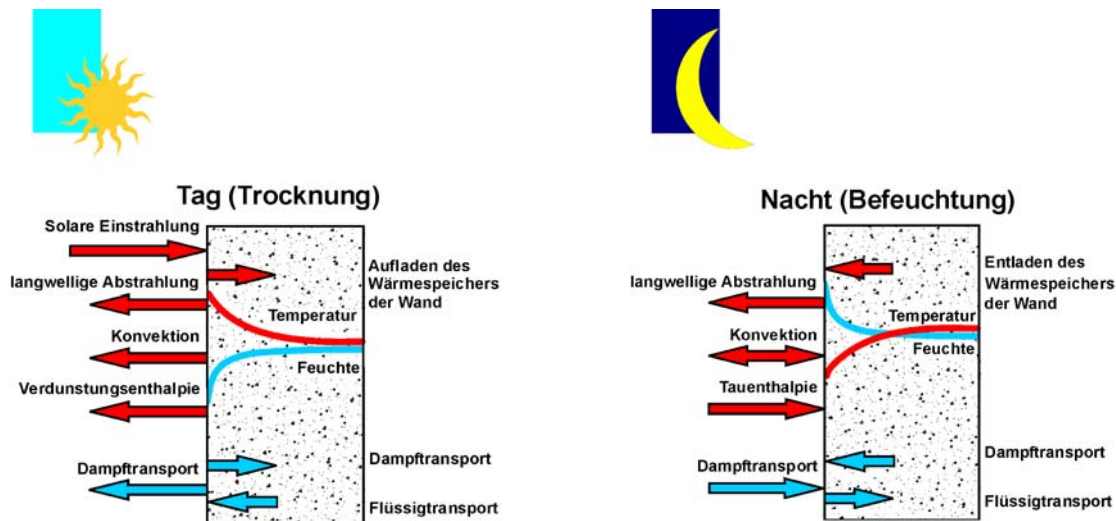


Bild 4: Schematische Darstellung der hygrothermischen Vorgänge an einer gut gedämmten Außenwand während des Tages (links) und der Nacht (rechts).

Tagsüber verliert die Außenoberfläche über langwellige Abstrahlung, Konvektion und eventuell auch Betauungsenthalpie 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 4 links). In der Nacht fehlt die solare Einstrahlung, so dass Wärmeverluste überwiegen mit der Konsequenz einer sinkenden Außenoberflächentemperatur und damit steigender oberflächennaher Luftfeuchten. Sinkt die Oberflächentemperatur soweit unter die Außenlufttemperatur, dass deren Taupunkttemperatur unterschritten wird, kommt es zu einer Befeuchtung durch Tauwasseranfall. Solange weitere Kenntnisse über die Wachstumsvoraussetzungen von Algen fehlen, kann die Dauer der Tauwasserbildung und die Stärke der Taupunkttemperaturunterschreitung als gutes Kriterium zur Beurteilung der Ergebnisse und des Bewuchsriskos herangezogen werden.

Aus bauphysikalischer Hinsicht gibt es zwei grundsätzlich unterschiedliche Ansatzpunkte zur Reduktion der Betauung der Außenoberflächen eines WDV-Systems. Mit einer Erhöhung des oberflächennahen Wärmespeichervermögens kann die tägliche solare Erwärmung des Bauteils und die damit gespeicherte Energie genutzt werden, um eine Temperaturabsenkung unter die Taupunkttemperatur möglichst zu vermeiden. Weiterhin kann durch Verwendung eines Anstrichs mit abgesenktem langwelligem Emissionsgrad der

nächtliche Temperaturabfall verringert werden. Zur Beurteilung dieser Ansätze werden sowohl messtechnische als auch rechnerische Untersuchungen durchgeführt.

## 4 Durchführung der Untersuchungen

### Messungen

Für die Freilanduntersuchungen wurde an einem bestehenden innen temperierten Gebäude mit einer 20 cm dicken Betonwand ein Wärmedämmverbundsystem mit 10 cm Polystyrol und mineralischem Putz unterschiedlicher Dicke (Dünn- und Dickputz) aufgebracht. Die Wand besitzt einen Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) von  $0,35 \text{ W(m}^2\text{K)}$ . Die Fassade ist nach Westen ausgerichtet, da dies am Standort Holzkirchen die Himmelsrichtung mit der größten Algenbefallshäufigkeit darstellt. Die Oberfläche des Dickputzes wurde mit einem handelsüblichen weißen Anstrich versehen. Beim Dünnputz kamen unterschiedliche Anstriche zum Einsatz. Dabei wurde zu Vergleichszwecken eine weiße Außenfarbe mit und ohne IR-Effekt sowie ein stark getönter Anstrich gewählt. In einer Tiefe von etwa einem Millimeter unter der Außenoberfläche jeder Variante wurden Temperaturfühler eingebettet. Die Messungen begannen Anfang Juli 2002. Die gemessenen Daten werden auch für die Validierung des hygrothermischen Berechnungsprogramm WUFI [2] verwendet. Für die Ermittlung der Taupunkttemperaturunterschreitungen werden die Oberflächentemperaturen mit der Taupunkttemperatur verglichen und so die Dauer der Taupunkttemperaturunterschreitung berechnet.

### Berechnungen

Für die aufgeführten bauphysikalischen Betrachtungen wird auf das vom IBP entwickelte und vielfach validierte Berechnungsprogramm „WUFI“ (Wärme und Feuchte instationär) [2], zurückgegriffen. Um die berechneten Daten (Oberflächentemperatur und –feuchte) der einzelnen Wandkonstruktionen mit den Messdaten vergleichen zu können, werden für die Berechnungen die zum gleichen Zeitraum erfassten Außenklimarandbedingungen zugrunde gelegt. Es handelt sich somit in allen Fällen um Ergebnisse für das Holzkirchner Klima des Jahres 2002. Da der Herbst die Hauptwachstumszeit der Algen auf Außenfassaden darstellt [8], wird im Rahmen dieser Arbeit vor allem dieser Zeitraum mess- und rechentechnisch dargestellt.

### Mess- und Berechnungsvarianten

Zunächst wird am Beispiel des WDV-Systems mit Dünnputz und weißem Anstrich durch Vergleich der Berechnungsergebnisse mit der Messung das Rechenverfahren WUFI validiert. Ausgehend von den beiden Grundkonstruktionen werden einige Parameter auf ihren Einfluss auf Taupunkttemperaturunterschreitung hin betrachtet. Die verschiedenen Varianten sind in Tabelle 2

aufgelistet, wobei die Art der Untersuchung, also Messung oder Berechnung, mit angegeben ist.

Tabelle 2: Auflistung aller untersuchten Variationen.

Aufbau	Bemerkungen, Variationen	Art der Untersuchung
WDVS Standardfall	Westausrichtung; Dünnputz; 10 cm Dämmung; weiß	Messung und Berechnung zur Validierung
Altbau	Altbau ohne zusätzliche Dämmung ( $U = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ )	Berechnung
Massivbau Standardfall	Westausrichtung; Porenbeton 24 cm; Dickputz; weiß	Berechnung
Massivbau	Variation der Orientierung	Berechnung
WDVS	Variation der Orientierung	Berechnung
	Verringerung der Dämmschichtdicke auf 5 cm	Berechnung
	Getönter Anstrich	Messung
	Dickputz statt Dünnputz	Messung
	Anstrich mit niedriger langwelliger Emission (IR-Farbe)	Messung
	Einsatz einer Latentwärmeschicht (PCM)	Berechnung
	Kombination von PCM und IR-Farbe	Berechnung

## 5 Validierung des Berechnungsverfahrens

Um das Berechnungsverfahren WUFI zu validieren, werden die an der Versuchswand für den Standardfall WDVS gemessene Außenoberflächentemperaturen mit den berechneten verglichen. In Bezug auf die Taupunkttemperaturunterschreitungen sind vor allem die nächtlichen Stunden von besonderem Interesse. In Bild 5 ist beispielhaft für eine klare Septembarnacht (13./ 14. September 2002) der zeitliche Verlauf der gemessenen und berechneten Oberflächentemperaturen dargestellt. Man erkennt eine gute Übereinstimmung beider Verläufe. Um die Berechnungen auch über einen längeren Zeitraum zu validieren wird für den Monat September 2002 neben den Stunden der Taupunkttemperaturunterschreitungen auch der Grad der Unterschreitung bestimmt. Dazu wird bei Taupunkttemperaturunterschreitung die Differenz der Oberflächentemperatur zu Taupunkttemperatur gebildet und aufsummiert. Die Messungen ergeben 133 Stunden Taupunkttemperaturunterschreitung mit insgesamt 105 Kh und die Berechnungen 121 Stunden mit 84 Kh. Bedenkt man, dass die auftretenden Taupunkttemperaturunterschreitungen der vertikalen Wand nur wenige Zehntel Grad betragen, kann dieses Ergebnis als gute Übereinstimmung betrachtet werden.



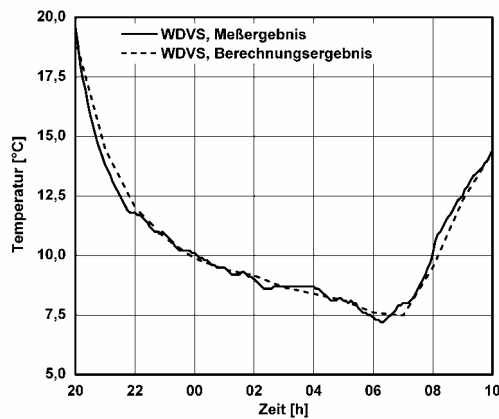


Bild 5: Vergleich des berechneten und gemessenen nächtlichen Temperaturverlaufs an einer Westfassade mit WDV.

## 6 Einfluss der Bauweise und Ausrichtung

Die kritischsten Zeiträume für biologischen Befall der Außenwände sind Herbst und Frühling. Winter und Sommer bieten keine optimalen Klimavoraussetzungen für die Algen [5]. In Bild 6 sind daher die Verläufe der Oberflächentemperaturen in einer Nacht Mitte September an einer Porenbetonwand (links) und an einem WDV-System (rechts) mit unterschiedlicher Ausrichtung dargestellt.

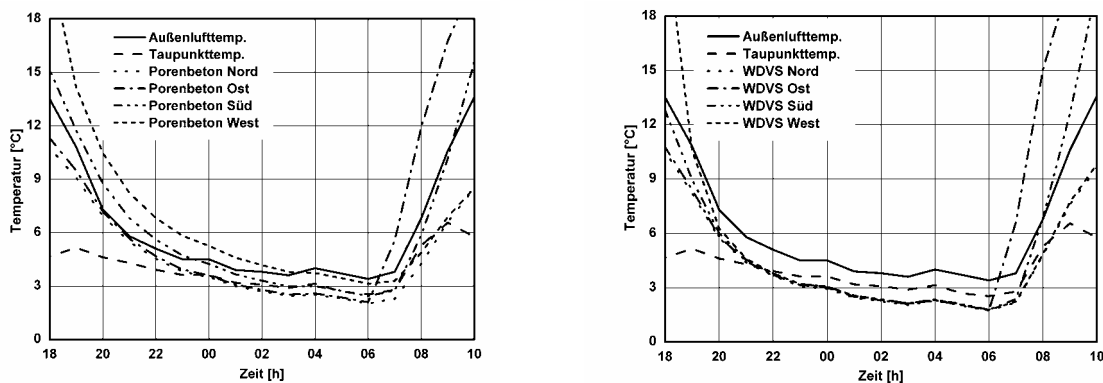


Bild 6: Berechnete Temperaturverläufe für verschiedene Ausrichtungen in einer klaren Septembarnacht.  
 Links: Porenbetonwand  
 Rechts: WDV-System

Bei der Porenbetonwand (linkes Bild) sinkt die Temperatur im Süden gegen 3 Uhr morgens bis zur Taupunkttemperatur ab und bleibt bis etwa 9 Uhr in diesem Bereich. Die Oberflächentemperaturen der Ost- und Nordseiten liegen dagegen schon gegen Mitternacht unter der Taupunkttemperatur, wobei die Ostwand sofort bei Sonnenaufgang wieder eine Temperatur über der Taupunkttemperatur erreicht. Die Nordseite braucht wesentlich länger für die Erwärmung, da hier die Einstrahlung der Sonne fehlt. Die Temperatur der Westfassade unterschreitet dagegen die Taupunkttemperatur nur kurzfristig. Das hängt damit zusammen, dass diese Wandseite den Temperaturhöhepunkt durch die Sonneneinstrahlung erst am späten Nachmittag erreicht und die Wand in den Abendstunden mehr Wärme gespeichert hat als bei anderen Ausrichtungen. Die vergleichbaren Kurven der Wand mit WDVS sind in Bild 6 rechts dargestellt. Der Hauptunterschied zur monolithisch aufgebauten Wand ist, dass die Wärmekapazität des Putzes bei WDVS geringer ist. In den klaren Nachtstunden wird durch die langwellige Abstrahlung die gespeicherte Wärme bei WDVS schneller abgestrahlt mit der Folge häufigerer und längerer Taupunkttemperaturunterschreitungen.

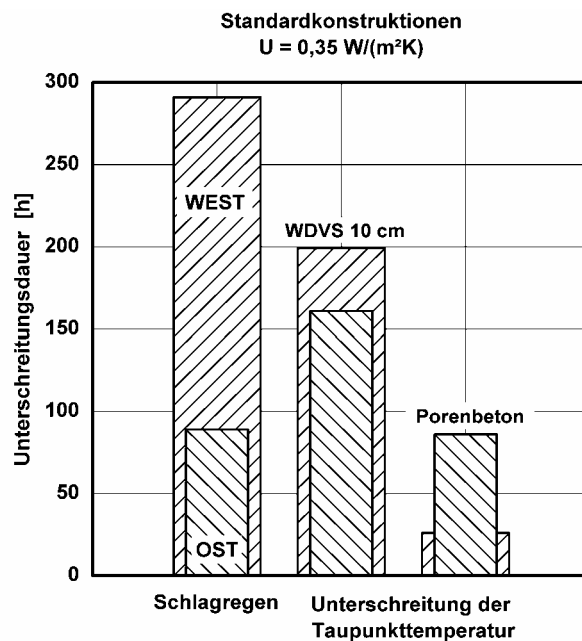


Bild 7: Aufsummierte Taupunkttemperaturunterschreitungen beider Konstruktionen im Vergleich mit der Schlagregendauer.

Im Bild 7 sind die aufsummierten Taupunkttemperaturunterschreitungen der beiden Wandkonstruktionen für die West- und Ostausrichtung dargestellt und mit der Schlagregenbelastung verglichen. Daraus wird ersichtlich, dass die Wand mit WDVS mehr Taupunkttemperaturunterschreitungen erfährt als der monolithische Aufbau. Vor allem auf der Westseite spielt als maßgebliche zusätzliche Feuchtequelle der Schlagregen eine große Rolle. Auffällig ist auch, dass im Gegensatz zur WDVS-Fassade bei der monolithischen Bauweise die Ostseite mehr Taupunkttemperaturunterschreitungen aufweist. Dies ist darin begründet, dass die auf der Ostseite morgendlich über solare Einstrahlung eingespeiste Energie bis zum Sonnenuntergang weitgehend abgebaut ist, im

Westen dagegen in die Nacht "hineingerettet" wird. Beim WDVS spielt dieser Effekt aber aufgrund der niedrigen Wärmekapazität kaum eine Rolle.

## 7 Einfluss des Dämmstandards

Aus Bild 8 wird ersichtlich, dass die Westfassade eines ungedämmten Altbaus, in diesem Fall mit einem Wärmedurchgangskoeffizienten von  $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ , weniger Taupunkttemperaturunterschreitungen aufweist als eine Fassade mit einem WDVS mit 10 cm Dämmstoffdicke und damit verbunden einem U-Wert von  $0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Eine Reduzierung der Dämmstoffdicke auf 5 cm verringert erwartungsgemäß die Dauer der Taupunkttemperaturunterschreitungen (nicht dargestellt), allerdings nur um ca. 20 %. Vor allem aus energetischen Gründen kann die Reduzierung des Dämmstandards aber keine adäquate Lösung darstellen.

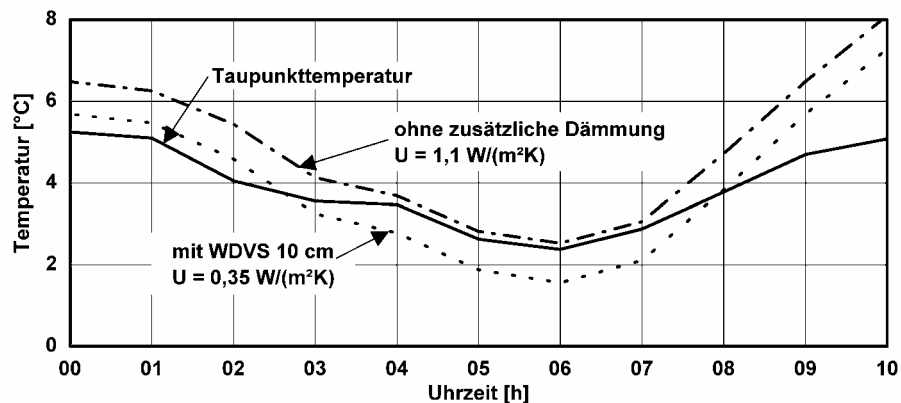


Bild 8: Tageszeitlicher Verlauf der Oberflächentemperaturen im Vergleich zur Taupunkttemperatur zur Verdeutlichung des Einflusses des Dämmstandards auf die nächtliche Unterkühlung einer nach Westen orientierten WDVS-Fassade.

## 8 Einfluss der Putzdicke und der Farbgebung

Bei Fassaden mit WDVS hat die Dicke des Außenputzes einen Einfluss auf die Wärmekapazität der oberflächennahen Schicht. Der Unterschied der Oberflächentemperaturen von Standardputz (5 mm) zum Dickputz (20 mm) ist in Bild 9 links dargestellt. Die Temperatur des Dickputzes sinkt zwar später unter die Taupunkttemperatur ab, kommt aber am Morgen später über den kritischen Punkt als der Dünnputz. Auf diese Weise lässt sich die Dauer der Betauung um maximal 20 % reduzieren.

Eine dunklere Farbgebung führt an einem sonnigen Septembertag tagsüber zu höheren Maximaltemperaturen von  $36 \text{ °C}$  statt  $25 \text{ °C}$  (nicht dargestellt). In Bezug auf die nächtliche Unterkühlung ergeben sich dadurch aber nur gering-

fügige Vorteile (Bild 9 rechts). Allerdings führt eine dunklere Farbe zur schnelleren Abtrocknung der Oberfläche.

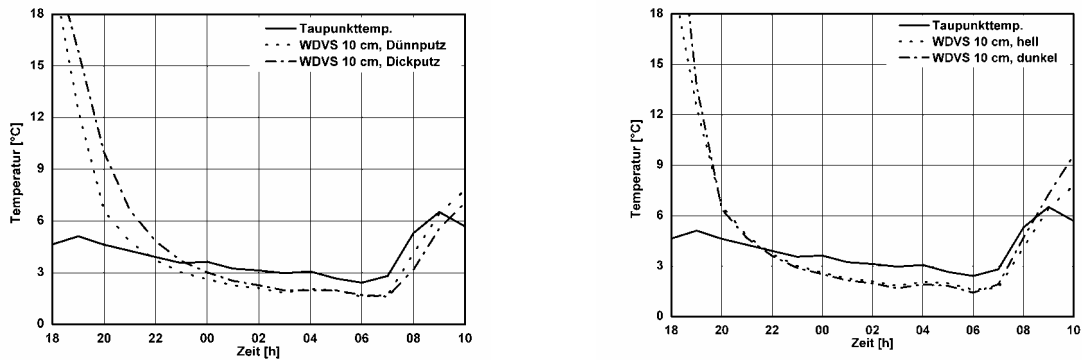


Bild 9: Tageszeitlicher Verlauf der Oberflächentemperaturen im Vergleich zur Taupunkttemperatur zur Verdeutlichung des Einflusses der Putzdicke (links) und der Farbgebung (rechts) auf die nächtliche Unterkühlung einer nach Westen orientierten WDV-Fassade.

## 9 Neuartige Ansätze zur Verminderung der Taupunkttemperaturunterschreitung

### Einsatz einer IR-Farbe

„Nachts sind alle Katzen grau.“ Dies gilt unabhängig vom Farbton für alle konventionellen Farben in Bezug auf deren langwellige Abstrahlung. Inzwischen sind aber Farben entwickelt worden, bei denen der Emissionsgrad für langwellige Strahlung von über 90 % auf etwa 65 % gesenkt werden konnte. Die verminderte thermische Abstrahlung führt tagsüber zu höheren Maximaltemperaturen (Bild 10 links), nachts führt sie zu verminderter Unterschreitung der Taupunkttemperatur (rechts).

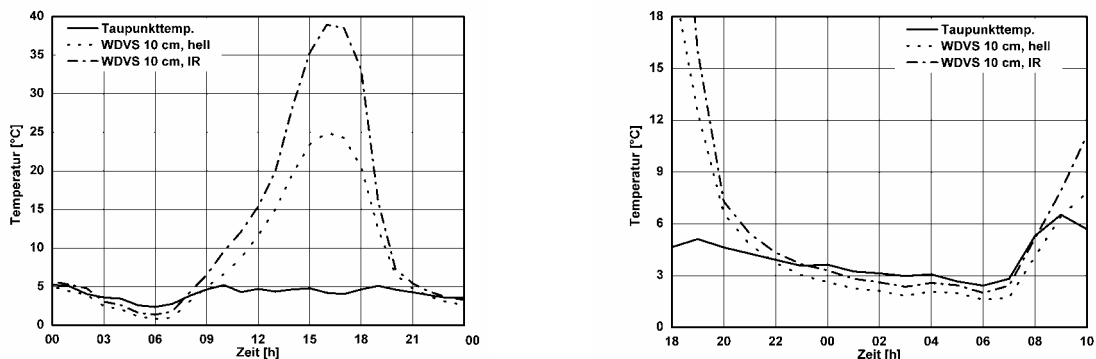


Bild 10: Tageszeitlicher Verlauf der Oberflächentemperaturen im Vergleich zur Taupunkttemperatur zur Verdeutlichung Einflusses einer IR-Farbe auf den Tagesverlauf der Temperatur (links) und die nächtliche Unterkühlung (rechts) einer nach Westen orientierten WDV-Fassade.

## Einsatz von PCM (Phase Changing Material) und Kombination mit IR-Farbe

Ein weiterer neuartiger Ansatz besteht in der Möglichkeit, Latentwärmeeffekte zu nutzen, indem so genannte PCM in die Außenfassade eingebaut werden. Bei den folgend dargestellten Berechnungen wird von einer 5 mm dicken PCM-Schicht hinter dem Außenputz ausgegangen. Als PCM kann dabei Paraffin dienen, das mit unterschiedlichen Schmelzbereichen verfügbar ist. Wesentlich für die Verminderung der Taupunkttemperaturunterschreitung durch Einsatz von PCM ist die Optimierung des Temperaturbereichs für den Phasenwechsel, der den nächtlichen Klimarandbedingungen angepasst sein muss. Bereits auf dem Markt befindliche Latentwärmespeicherputze für den Innenbereich bringen, wie aus Bild 11 links ersichtlich, nur eine geringfügige Minderung der Taupunkttemperaturunterschreitung. Bei hinsichtlich des Schmelzpunktes optimierten PCM wird dagegen bis zu den frühen Morgenstunden die Taupunkttemperaturunterschreitung unterbunden (rechts). Anschließend kommt es allerdings im Vergleich zum WDVS ohne PCM zu einer Verzögerung bei der Erwärmung der Oberfläche. Bei der Erwärmung am Morgen muss der Phasenwechsel von fest nach flüssig erfolgen, weshalb die Oberflächentemperatur nach Sonnenaufgang langsamer ansteigt. Insgesamt ist aber eine deutliche Reduzierung des Tauwasseranfalls gegeben. Natürlich lässt sich eine Latentwärmeschicht mit einer IR-Farbe kombinieren. Erwartungsgemäß wird die Taupunkttemperaturunterschreitung auf diese Weise weiter minimiert, allerdings nur geringfügig, wie aus Bild 11 rechts erkenntlich.

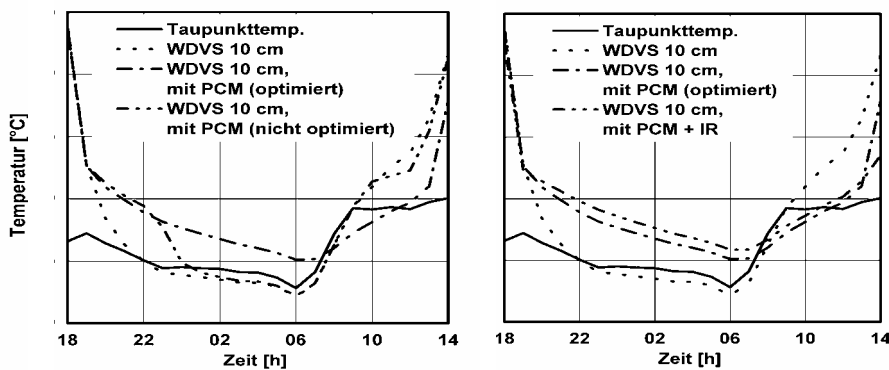


Bild 11: Tageszeitlicher Verlauf der Oberflächentemperaturen im Vergleich zur Taupunkttemperatur zur Verdeutlichung des Einflusses einer Latentwärmeschicht ohne (links) und mit zusätzlicher IR-Farbe (rechts) auf die nächtliche Unterkühlung einer nach Westen orientierten WDVS-Fassade.

## 10 Zusammenfassung

Beim direkten Vergleich der zugrunde liegenden Konstruktionen mit Porenbeton und WDVS ist erkennbar, dass der monolithische Aufbau Vorteile in Bezug auf die Taupunkttemperaturunterschreitungen bietet. Bei der Fassade mit

WDVS ergeben sich deutlich mehr Taupunkttemperaturunterschreitungen vor allem auf der West- und Nordseite, was sich gut mit den in der Praxis vorzufindenden Schadensbildern deckt. In Bild 12 ist der zu erwartende Effekt der aufgeführten Maßnahmen graphisch dargestellt. Es ist deutlich erkennbar, dass weder die Verwendung eines Dickputzes noch der Einsatz einer dunkleren Fassadenfarbe einen nennenswerten Erfolg bringt. Eine IR-Farbe kann dagegen die Taupunkttemperaturunterschreitung um etwa 30 %, eine Latentwärmeschicht sogar um 70 % reduzieren. Eine Kombination beider Maßnahmen kann im Extremfall die Taupunkttemperaturunterschreitungsdauer noch weiter reduzieren.

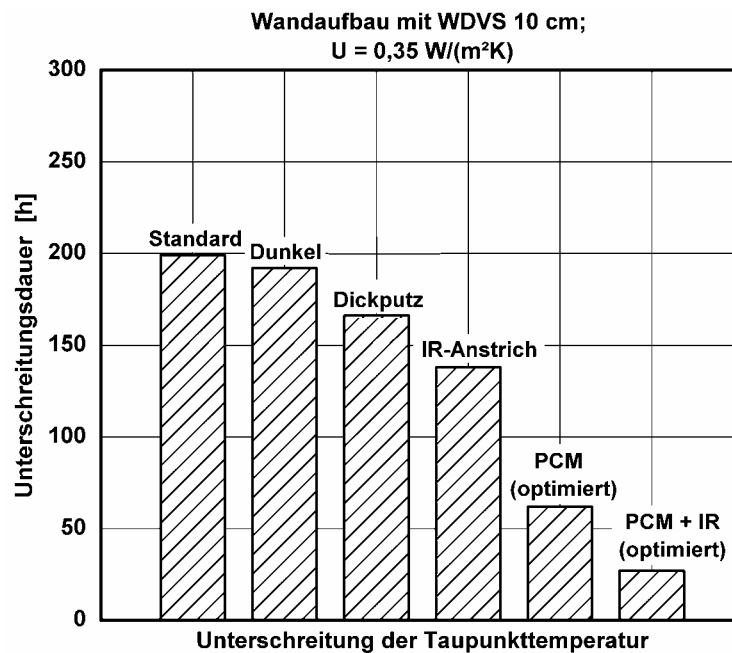


Bild 12: Effekt verschiedener Maßnahmen auf die Dauer der Taupunkttemperaturunterschreitungen im Zeitraum von September bis Oktober.

Bei all diesen Überlegungen darf aber nicht vergessen werden, dass in Bezug auf die Wachstumsvoraussetzungen von Algen auf Bauteiloberflächen noch ein enormer Forschungsbedarf besteht. Es ist noch weitgehend ungeklärt, ob wirklich die nächtlichen Taupunkttemperaturunterschreitungen den wesentlichen Faktor für den zunehmenden Algenbefall von Außenfassaden darstellt. Daher geben diese Ergebnisse lediglich erste Aussagen in Hinblick auf die Bewertung verschiedener Maßnahmen wieder.

## 11 Literaturverzeichnis

- [1] Sedlbauer, K.: Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen. Diss. Universität Stuttgart (2001).

- [2] Künzel, H. M.: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Feuchte- und Wärmetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Diss. Universität Stuttgart (1994).
- [3] Scherer, S.: Anpassungen von Cyanobakterien in Wüsten. In: Hausmann, K.; Kremer, B.P. (Hrsg.): Extremophile. Mikroorganismen in ausgefallenen Lebensräumen. VCH, Weinheim, New York, Basel, Cambridge, Tokyo (1994), S. 179-193.
- [4] Denffer von, D.; Ziegler, H.; Ehrendorfer, F.; Bresinsky, A.: Lehrbuch der Botanik für Hochschulen. Begründet von E. Strasburger, F. Noll, H. Schenk, A.F.W. Schimper. 32. Auflage / neubearbeitet von Dietrich von Denffer, Hubert Ziegler, Friedrich Ehrendorfer, Andreas Bresinsky. Gustav Fischer. Stuttgart; New York (1983).
- [5] Kohl, J.-G.; Nicklisch, A.: Ökophysiologie der Algen. Wachstum und Ressourcennutzung. Gustav Fischer, Stuttgart, New York (1988).
- [6] Hofbauer, W.; Breuer, K.; Sedlbauer, K.: Was wächst auf unseren Fassaden? Teil I: Algen, Flechten, Moose, Farne. Bauphysik (in Druck).
- [7] Krus, M.: Feuchtetransport- und Speicherkoeffizienten poröser mineralischer Baustoffe. Theoretische Grundlagen und neue Messtechniken. Diss. Universität Stuttgart (1995).
- [8] Blaich, J.: Algen erobern Fassaden, Bauschäden (1991).