

Was so alles blüht an und in Gebäuden

Dr. Klaus Sedlbauer

Fraunhofer-Institut für Bauphysik

(Leiter: Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Dr. E.h. mult. Karl Gertis)

1. Einleitung

In Oberbayern werden an vielen Häusern Geranien an den Balkonen angebracht, um dem Gebäude einen besseren optischen Eindruck zu verschaffen. Dies gefällt nicht nur den Touristen in dieser Region. Auch in den Wohnungen sind Zimmerpflanzen als Schmuck die Regel. Während die Balkonblumen meist keinen Einfluss auf bauphysikalische Belange eines Gebäudes besitzen, geht von der im Wohnzimmer aufgestellten Botanik schon allein deshalb eine gewisse Gefahr aus, weil das Gießwasser von den Pflanzen nur zu einem verschwindend kleinen Teil tatsächlich zum Wachstum verwendet und die größte Menge der Feuchte an die Raumluft abgegeben wird. Aus bauphysikalischer Sicht könnten wir eigentlich gleich unsere Wohnung bewässern. Die Folge sind dann nicht selten graue, wenig ansehnliche Schimmelpilzbefallsstellen, z.B. an Wärmebrücken, wie sie Bild 1 links zeigt. Dieser Bewuchs sieht zwar bei näherem Hinschauen attraktiv aus (Bild 1 rechts). Aus der von ihnen ausgehenden Gesundheitsgefährdung [1] leitet sich jedoch schon aus Vorsorgekriterien bei Schimmelpilzschäden dringender Sanierungsbedarf ab. Mittlerweile kennt man die Wachstumsvoraussetzungen der im Bau üblicherweise auftretenden Spezies gut genug [2], um, was in Ziffer 2 der vorliegenden Veröffentlichung geschehen soll, die Ursachen am klassischen Beispiel einer Pilzbildung in einem Schlafzimmer verständlich machen zu können. Im Anschluss daran wird auf das offensichtlich zunehmende Problem der Veralgung gut gedämmter Außenfassaden eingegangen. Es „blüht“ also nicht nur drinnen, sondern auch draußen!

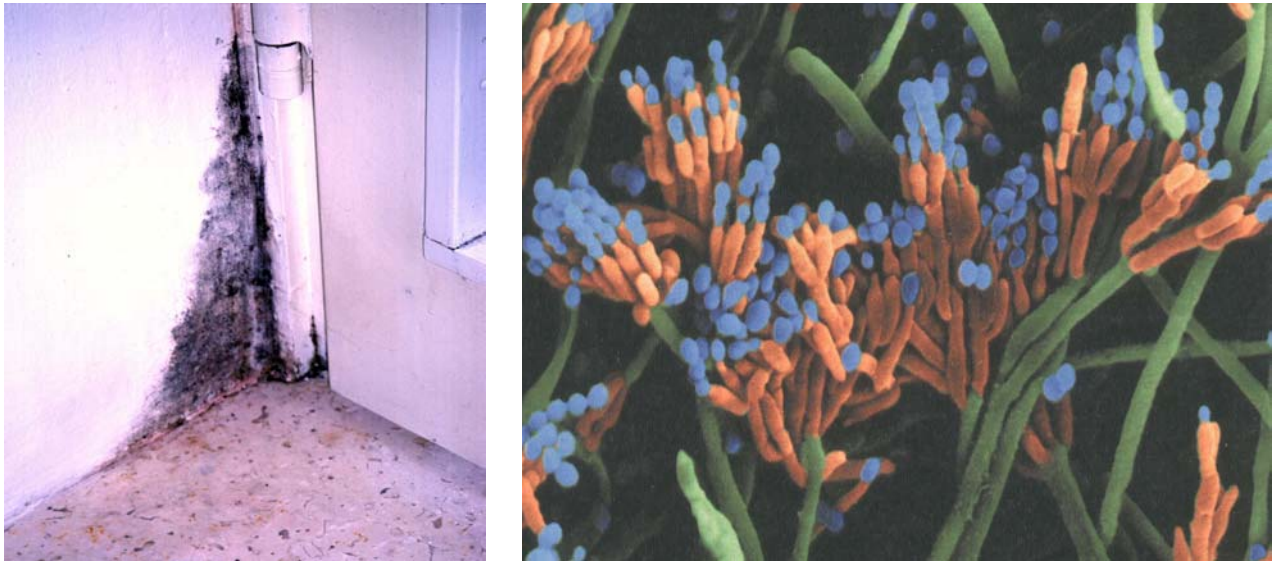


Bild 1 Photographie eines typischen Schimmelpilzbefalls in einer Raumecke (Bild links) sowie mikroskopische Aufnahme eines Schimmelpilzes.

2. Schimmelpilze in Wohnräumen

Schimmelpilzbefall an Innenoberflächen von Außenbauteilen, aber auch an anderen Stellen auf und innerhalb von Bauteilen, ist ein Thema, das in letzter Zeit wieder intensiv diskutiert wird. Dies hängt zum einen mit dem gestiegenen Bewusstsein für Wohnhygiene und Gesundheitsgefährdung der Bewohner bzw. den zu erwartenden Forderungen auf diesem Gebiet zusammen, zum anderen werden erstmals im Zuge der Übernahme europäischer Normen in deutsche Standards Anforderungen zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung im Bereich von Außenbauteilen bzw. Wärmebrücken formuliert. Um Pilzbildung erfolgreich zu vermeiden, müssen die Wachstumsvoraussetzungen für Schimmelpilze bekannt sein. Feuchte spielt dabei bekanntlich eine zentrale Rolle. Im Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) wurde eine eingehende Recherche durchgeführt und darüber hinaus ein Verfahren entwickelt [2], das die Beurteilung von Schimmelpilzbildung auf Basis der biologischen Wachstumsvoraussetzungen bei instationären Randbedingungen ermöglicht. Es zeigt sich eine deutliche Abhängigkeit von der Temperatur, der relativen Feuchte und der Art des Substrates (Baustoffuntergrund) für den Beginn von Schimmelpilzbildung und für das weitere Wachstum.

Isoplethensysteme

Ein sog. Isoplethensystem beschreibt diese Wachstumsvoraussetzungen. Es besteht aus temperatur- und feuchteabhängigen Kurvenscharen, den sog. „Isoplethen“, die zur Vorhersage von Sporen-Auskeimungszeiten und zur Beschreibung des Myzelwachstums dienen (siehe Bild 1). Dabei werden die untersten Grenzen möglicher Pilzaktivitäten durch die sog. LIM-Kurven (Lowest Isopleth for Mould) wiedergegeben. Zwischen einzelnen Pilzspezies liegen bezüglich der Wachstumsvoraussetzungen signifikante Unterschiede vor. Daher werden in [2] bei der Entwicklung allgemein gültiger Isoplethensysteme nur Pilze berücksichtigt, die in Gebäuden auftreten und gesundheitsbeeinträchtigend sein können. Für diese etwa 200 Spezies sind quantitative Literaturangaben zu den Wachstumsparametern Temperatur und Feuchte ausgewertet worden. Um den Einfluss des Substrats, also des Untergrundes oder ggf. eventueller Untergrundverunreinigungen, auf die Schimmelpilzbildung berücksichtigen zu können, werden Isoplethensysteme für unterschiedliche Substratgruppen vorgeschlagen, die aus experimentellen Untersuchungen abgeleitet worden sind. Dazu erfolgt in [2] eine Definition von Substratgruppen, denen unterschiedlich "nahrhafte" Materialien und jeweils eigene Isoplethensysteme zugeordnet werden:

- Substratgruppe 0: Optimaler Nährboden (z.B. Vollmedien); das dafür gültige Isoplethensystem gibt die minimalen Wachstumsvoraussetzungen an, also auch die niedrigsten Werte für die relative Feuchte. Es bildet für alle in Gebäuden auftretenden Schimmelpilze die unterste Wachstumsgrenze (Bild 2 links).
- Substratgruppe I: Biologisch gut verwertbare Substrate, wie z.B. Tapeten, Gipskarton, Bauprodukte aus gut abbaubaren Rohstoffen, Materialien für dauerelastische Fugen, stark verschmutztes Material; die unteren Grenzkurven im Isoplethensystem ($LIM_{\text{Bau I}}$; Bild 2 Mitte) zeigen erhöhten Feuchtebedarf.

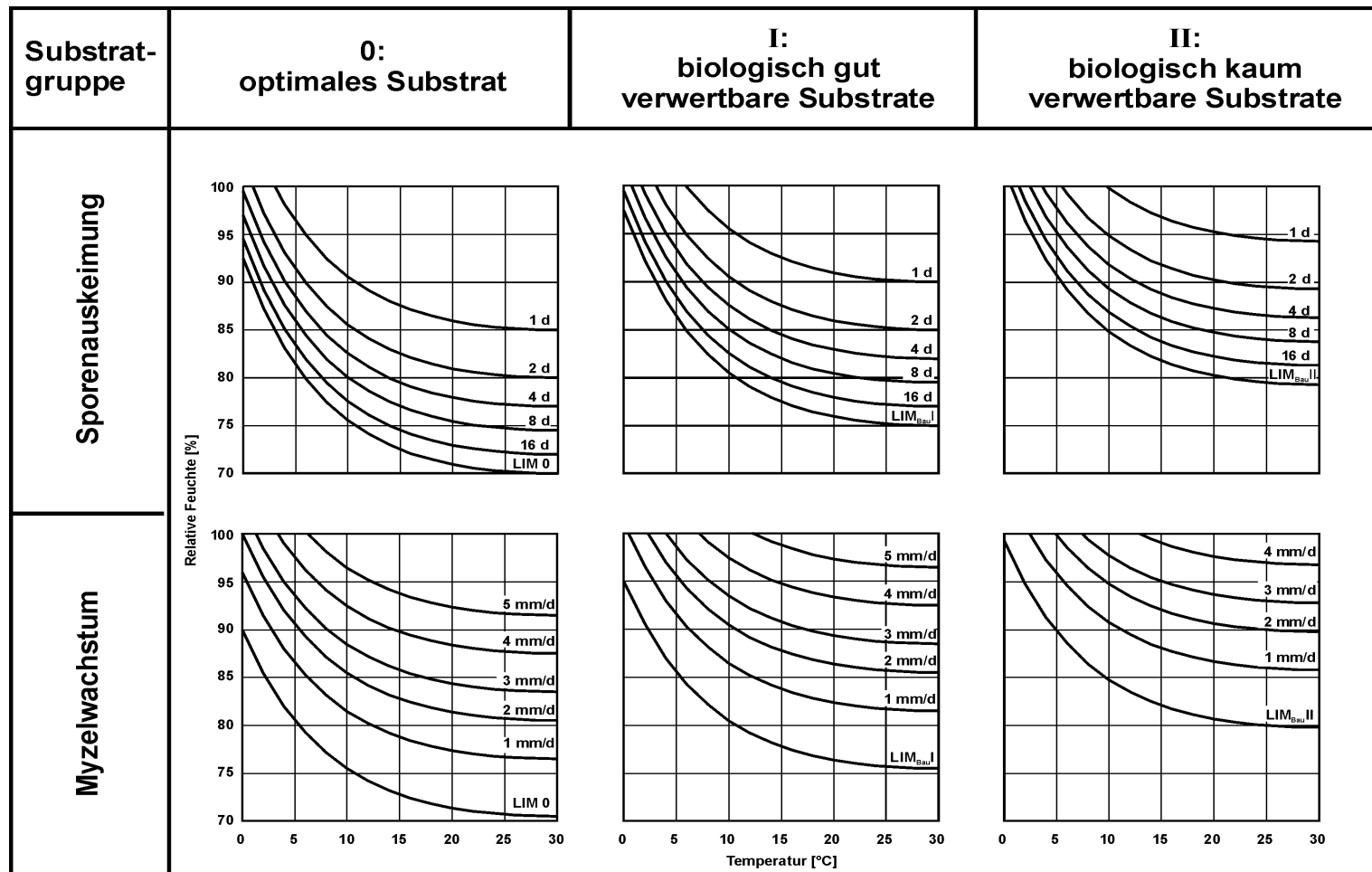


Bild 2 Verallgemeinertes Isoplethensystem für Sporenauskeimung (oben) bzw. für Myzelwachstum (unten) nach [2], das für alle im Bau auftretenden Pilze gilt. Die im Bild dargestellten Diagramme gelten links für optimales Substrat, Mitte für Substratgruppe I und rechts für Substratgruppe II. Die angegebenen Kurvenscharparameter charakterisieren für die Sporenauskeimungszeit (oben) die Dauer in Tagen, nach welcher eine Keimung abgeschlossen ist und für das Myzelwachstum (unten) die zu erwartende Wachstumsrate in mm/d.

Substratgruppe II: Biologisch kaum verwertbare Substrate, wie z.B. mineralische Baustoffe mit porigem Gefüge (Putze etc., manche Hölzer sowie Dämmstoffe, die nicht unter Substratgruppe I fallen; die unteren Grenzkurven im Isoplethensystem (LIM_{Bau} II; Bild 2 rechts) zeigen weiter erhöhten Feuchtebedarf.

Im folgenden soll die Funktionsweise des Isoplethenmodells an einem Beispiel exemplarisch erläutert werden.

Beispielfall Schimmel im Schlafzimmer

Probleme mit Schimmelpilzen treten vor allem dann häufig auf, wenn Möbel vor Außenwände gestellt werden oder Zwischentüren offen stehen und Innenluft zwischen verschiedenen Wohnungszonen ausgetauscht wird. In diesem Fall kann es trotz Einhalten der Mindestdämmwerte zu Schimmelpilzbildung kommen. Zur Berechnung der Temperaturen an den Innenoberflächen von Außenwänden hinter Schränken oder Gardinen sollen in der künftigen DIN 4108-x (Vermeidung von Schimmelpilzbefall) [3] geeignete Wärmeübergangswiderstände vorgeschlagen werden:

Einbauschränke: $R_{si} = 1,0 \text{ m}^2\text{K/W}$

Freistehende Schränke: $R_{si} = 0,5 \text{ m}^2\text{K/W}$ und

Gardinen: $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Diese wurden bei den folgenden Berechnungen berücksichtigt. Um mithilfe der Isoplethensysteme eine Vorhersage der möglichen Schimmelpilzbildung zu ermöglichen, müssen auf Basis des Isoplethenmodells die ermittelten instationären Verläufe von Temperatur und relativer Feuchte an der Bauteiloberfläche mit den Sporenauskeimungszeiten bzw. den Wachstumsraten in den entsprechenden Isoplethensystemen verglichen werden. Die Wachstumsbedingungen, welche durch die zeitlichen Verläufe von Temperatur und relativer Feuchte, z.B. als Stundenwerte, charakterisiert werden, trägt man als

Mikroklima-Randbedingungen in die Isoplethensysteme ein, d.h. es wird mit Hilfe der einzelnen Isolinien (z.B. Sporenauskeimungszeit 4 Tage) angegeben, welchen Beitrag ein Stundenwert, der beispielsweise auf dieser Isolinie liegt, zur Sporenauskeimung beiträgt, nämlich $1 / (4 \text{ Tage} \cdot 24 \text{ Stunden}) = 0,01$. Diese Werte werden im Sinne einer akkumulierten Zeitangabe addiert und als zeitlicher Verlauf aufgetragen. Erreicht der Summenwert 1, so wird davon ausgegangen, dass die Sporenauskeimung erreicht ist und der Pilz zu wachsen beginnt (siehe Bild 3). Dadurch ergibt sich eine Bewertungsmöglichkeit; es kann also angegeben werden, ob es in einem bestimmten Zeitraum zu Sporenauskeimung kommt.

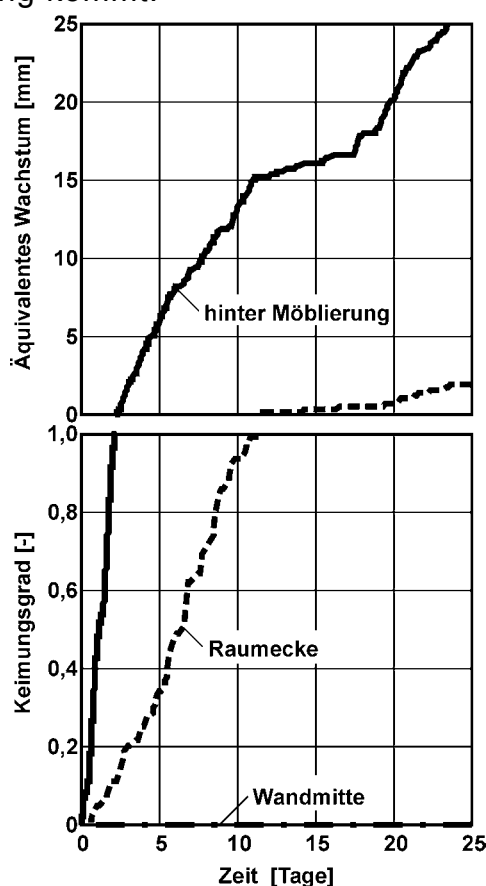


Bild 3 Mit dem Isoplethenmodell und hygrothermischen Berechnungen ermittelte Zeitverläufe von Keimung und Wachstum der Spore nach dem Isoplethenmodell für 3 verschiedene Stellen (Wandmitte, Ecke und hinter Möblierung).
Oberer Bildteil: Äquivalentes Myzelwachstum in mm.
Unterer Bildteil: Keimungsgrad, d.h. anteilige Sporenauskeimungszeit. Beträgt der Keimungsgrad 1, so kann davon ausgegangen werden, dass die Spore vollständig auskeimen konnte und nun zu wachsen beginnt.

In einem in [4] beschriebenen Schadensfall wurde im Schlafzimmer an der nordöstlichen Außenwand eines im Jahr 1955 gebauten Gebäudes Schimmelpilzbefall hinter einem Einbauschränk festgestellt. Die Oberflächen- und Lufttemperaturen wurden während einer kalten Periode über einen längeren Zeitraum gemessen und ausgewertet. Des weiteren war die relative Feuchte im Schlafräum meßtechnisch erfasst worden. In Bild 3 unten sind auf Basis dieser Messwerte die ermittelten Ergebnisse für die Sporenauskeimung an der Wandinnenoberfläche, in Wandmitte, in der Raumecke und hinter einer Möblierung an der Außenwand dargestellt. In Wandmitte passiert nichts, nur hinter der Möblierung ergibt sich aufgrund der dort herrschenden Randbedingungen (geringere Temperatur, höhere Feuchten) eine rasche Sporenauskeimung. In der Raumecke wird die Sporenauskeimung erst nach wesentlich längerer Zeit erreicht. Analog kann mithilfe der substratspezifischen Isoplethensysteme für Myzelwachstum angegeben werden, wie die Pilze weiterwachsen. Liegt ein Stundenwert im Isoplethensystem beispielsweise im Bereich von 6 mm Wachstum pro Tag, so bedeutet dies, dass der Pilz in einer Stunde um 0,25 mm wächst. Es erfolgt auch hierbei wieder die Bildung eines Summenwertes, der für den Beispielfall eines Pilzbefalls im Innenraum, in der oberen Graphik des Bildes 3 dargestellt wird. In der Raumecke wird durch kurzzeitig vorhandene gute Wachstumsbedingungen die Sporenauskeimung erreicht, es kommt allerdings zu keinem nennenswerten Myzelwachstum. Dies ist hinter einer Möblierung anders. Dort wird ein großflächiger Pilzbefall prognostiziert, was auch in der Realität beobachtet werden konnte.

Vergleich mit Normangaben

In den gängigen Baunormen existieren neben Angaben zur Vermeidung von Tauwasser auch Kriterien zur Beurteilung mikrobieller Aktivität. Genannt werden 80 % relative Feuchte in DIN 4108 [5] und DIN EN ISO 13 788 [6] als untere Wachstumsgrenze für Schimmelpilzbildung sowie Materialfeuchte-kriterien (z.B. 20 M.-%) für Bauprodukte aus Holz bzw. Holzwerkstoffen in DIN 68 800-2 [7]. Der 20 %-Wert bezieht sich auf holzerstörende Pilze. Vergleicht man diese beide Zahlenwerte mit den kritischen Feuchten (LIM) aus

[2], so erkennt man in Bild 4, dass sich die Angaben in den Isoplethensystemen für Substratgruppe II bei Temperaturen über 20 °C gut mit dem 80 %-Kriterium für Schimmelpilzbildung übereinstimmen. Der LIM für Substratgruppe I liegt etwa 4 % r.F. darunter. Bei tieferen Temperaturen bis zu 10 °C, z.B. typisch für Wärmebrücken in Altbauten, entsprechen die Normbedingungen in etwa dem LIM der Substratgruppe I. Dieser liegt nur geringfügig unterhalb des in Bild 4 angegebenen Zustandes (80 % relative Feuchte bei 12,6 °C) an einer Außenwandinnenoberfläche, ab dem mit Pilzbildung gemäß Norm gerechnet werden muss, bei 20 °C und 50 % relativer Feuchte im Raum. Bei Temperaturen von weniger als 10 °C sind die Angaben in den Normen „schärfer“. Sie würden sogar Schimmelpilzbildung im Winter an Außenoberflächen „vorhersagen“. Ebenfalls dargestellt ist in Bild 4 das in DIN 68 800-2 [7] genannte Materialfeuchte-kriterium von 20 M.-%, das sich mithilfe einer Sorptionsisotherme für Holz als relative Feuchte angeben lässt. Daraus erkennt man, dass für holzerstörende Pilze offenbar höhere relative Feuchten von etwa 90 % erforderlich sind (Bild 4).

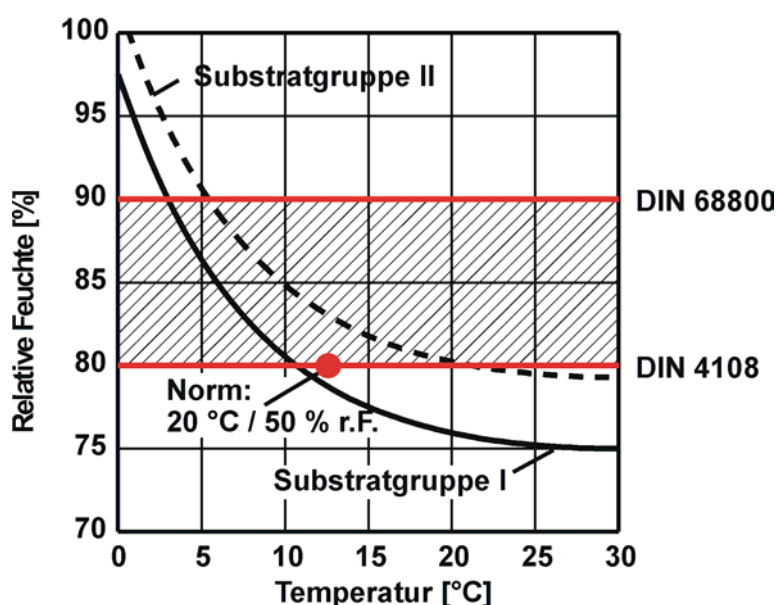


Bild 4 Vergleich der in DIN 4108-2 [5] als untere Wachstumsgrenze genannten relativen Feuchte von 80 % mit den LIM des Isoplethensystems für Sporenauskeimung bei einer angenommenen Substratgruppe II nach [2] (Bild unten). Ebenfalls dargestellt ist die nach DIN 4108 sich ergebende minimale Oberflächentemperatur, bei der unter Berücksichtigung von Innenraumluft-

bedingungen nach Norm (20 °C; 50 % rel. Feuchte) kein Schimmelpilzbefall auftreten sollte sowie das in DIN 68 800-2 [7] genannte Materialfeuchtekriterium von 20 M.-%, das sich mithilfe einer Sorptionsisotherme für Holz (nicht dargestellt) als relative Feuchte (Bild unten: 90 %; gilt für holzerstörende Pilze) angeben lässt.

3. Algen auf Außenwänden

In letzter Zeit häufen sich Schäden durch Algenwachstum auf Außenwänden, insbesondere bei Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS) [8, 9]. Da auf monolithischen Wänden wesentlich seltener Algen zu beobachten sind, liegt der Verdacht nahe, dass die Temperatur- und Feuchtebedingungen an der Außenoberfläche von WDVS das Algenwachstum begünstigen. Offensichtlich ist die Unterkühlung der Außenoberfläche durch nächtliche Abstrahlung ein bedeutender Faktor, wie die Untersuchungen von Blaich [8] in Bild 5 zeigen. Dort ist ein krasses Beispiel von WDVS-Veralgung zu sehen, wobei jedoch punktförmige Bereiche zu erkennen sind, auf denen kein Wachstum stattfindet. Diese Bereiche, die mit Hilfe der Thermografie genauer analysiert wurden, sind auf Grund der Wärmebrückenwirkung der Befestigungsdübel wärmer als der Rest der Fassade. Ob an einer Oberfläche nächtliches Tauwasser auftritt und damit Algenwachstum möglich wird, hängt oftmals von einem Zehntel Grad ab, wie das untere Diagramm in Bild 5 zeigt. Deshalb ist eine sorgfältige Analyse der Oberflächenbedingungen die Voraussetzung für die Beurteilung der Wachstumswahrscheinlichkeit von Algen und Pilzen.



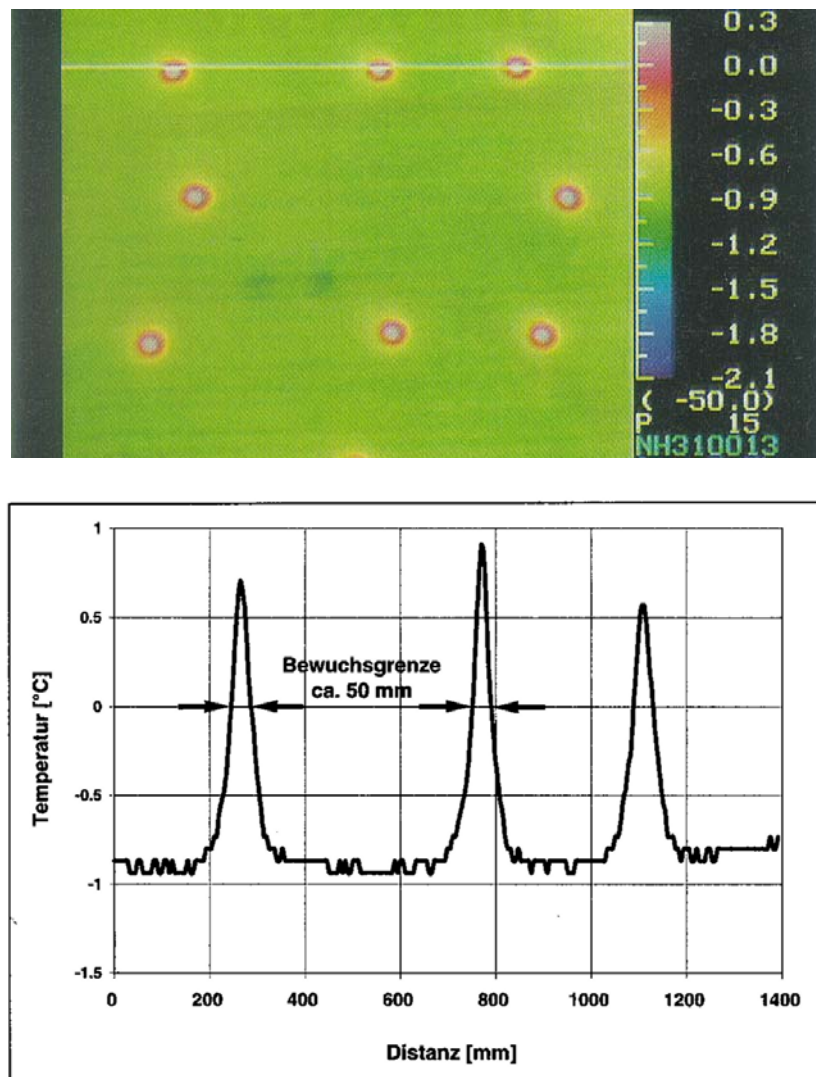


Bild 5 Fotografie und Thermografie eines gedübelten Wärmedämm-Verbundsystems. Im Bereich der Dübel ist wegen deren Wärmebrückenwirkung kein Algenbewuchs festzustellen [8].

Zur Abschätzung der unterschiedlichen Oberflächenbedingungen bei Außenwänden wurden am IBP bereits vor einigen Jahren durchgeführte Freilanduntersuchungen im Hinblick auf die hygrothermischen Verhältnisse an den Fassadenoberflächen verschiedener Wandaufbauten neu ausgewertet [10] und nach bauphysikalischen Lösungsmöglichkeiten gesucht. Wachstumsfördernde Temperatur- und Feuchtebedingungen an der Außenoberfläche von Wänden sind die Grundvoraussetzung für den mikrobiologische Befall von

Fassaden. Algen benötigen zum Wachstum im Vergleich zu Schimmelpilzen eine noch höhere Feuchte oder sogar die Anwesenheit von freiem Wasser, wobei ihnen aber eine zwischenzeitliche Austrocknung offensichtlich nicht schadet. Da Keimung und mikrobiologisches Wachstum immer eine gewisse Zeit in Anspruch nehmen und eine langfristig erhöhte Feuchte an Fassaden nur sehr selten vorkommt, wird hier die periodische Befeuchtung genauer betrachtet. Dazu werden gemessene Stundenwerte von Temperatur und Feuchte über einem Zeitraum von mindestens einem Monat uhrzeitklassifiziert gemittelt, so dass ein für diesen Zeitraum typischer Tag-Nachtzyklus entsteht. Dies wird sowohl für die in der IBP-eigenen Wetterstation ermittelten Umgebungsbedingungen als auch für die gemessenen Fassadenoberflächentemperaturen gemacht.

Auf dem Freigelände des IBP werden seit über zehn Jahren neben Außenluftbedingungen und Strahlungsdaten auch die Oberflächentemperaturen von westorientierten, rückseitig gedämmten Prüfflächen kontinuierlich erfasst, wobei die Temperaturen jeweils in der Mitte eines schwarzen und weißen Feldes direkt unter dem Anstrich gemessen werden. Eine Auswertung der mittleren Tageszyklen der Oberflächentemperatur und –feuchte des weißen Prüffeldes und der gleichzeitig gemessenen Außenluftbedingungen über einen Zeitraum von drei Jahren ist für die unterschiedlichen Jahreszeiten in Bild 6 dargestellt. Eine nächtliche Unterkühlung der Prüfflächen ist zu allen Jahreszeiten zu beobachten. Die langfristig höchste Oberflächenfeuchte bei gleichzeitig moderaten Temperaturen ist jedoch im Herbst zu verzeichnen. Deshalb sind die Wachstumsbedingungen für Algen im Herbst in der Regel günstiger als in den anderen Jahreszeiten, so dass sich weitere Versuchsauswertungen auf den Herbst beschränken lassen.

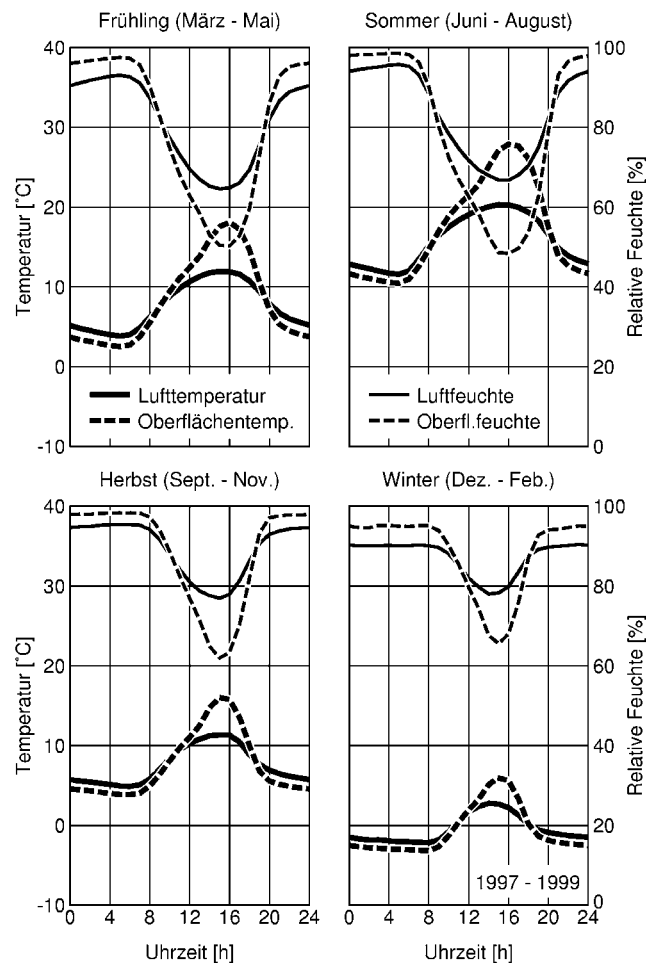


Bild 6 Mittlere Tageszyklen der gemessenen Oberflächentemperatur und der daraus ermittelten Oberflächenfeuchte der weißen Prüffläche (gestrichelte Linien) im Vergleich zu den Außenluftbedingungen nach [11].

Inwieweit die Ergebnisse von den exponierten Prüfflächen quantitativ auf die Verhältnisse an Gebäuden übertragbar sind kann nur durch parallele Objektmessungen beantwortet werden. Gegenstand dieser Untersuchungen ist ein beheiztes Testhaus im Freigelände des IBP in Holzkirchen. Die Umschließungsflächen bestehen aus unterschiedlichen Wandkonstruktionen mit ähnlichem Wärmedurchgangskoeffizient (U -Wert). Betrachtet wird die Westwand ($U = 0,41 \text{ W/m}^2\text{K}$) mit einer 80 mm dicken Außendämmung (WDVS) auf 240 mm Kalksandsteinmauerwerk sowie die nach Norden und Süden orientierten monolithischen Wandabschnitte ($U = 0,51 \text{ W/m}^2\text{K}$) aus 365 mm porosiertem Leichtziegel mit weiß und rot eingefärbtem Verputz.

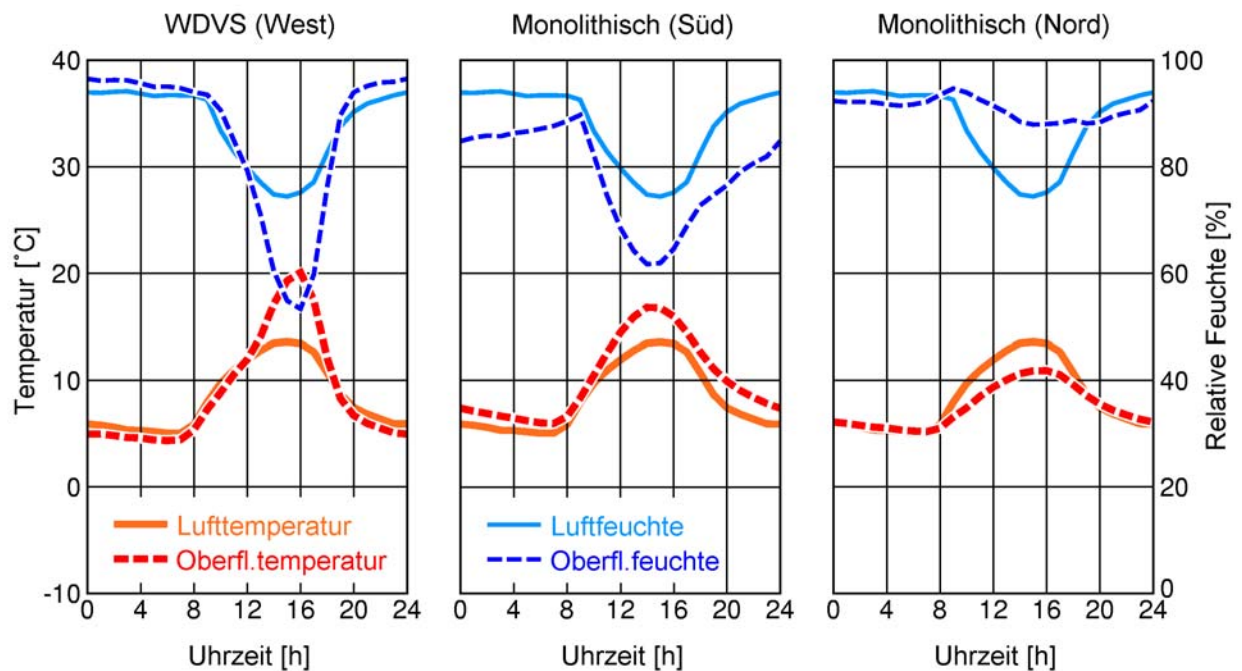


Bild 7 Mittlere Tageszyklen der gemessenen Oberflächentemperaturen und der daraus ermittelten Oberflächenfeuchten einer westorientierten WDVS-Fassade des Testhauses (Bild links), der südorientierten (Bild Mitte) und nordorientierten (Bild rechts) monolithischen Konstruktion im Vergleich zu den Außenluftbedingungen.

Die mittleren Tageszyklen der Außenoberflächentemperaturen, gemessen in der Mitte des WDVS und die daraus resultierenden Oberflächenfeuchten sind jeweils für den selben Zeitraum (16. Sept. bis 24. Okt. 1994) im Vergleich zu 2 monolithischen Konstruktionen unter Angabe der Außenluftbedingungen in Bild 7 dargestellt. Während bei dem westorientierten WDVS (Bild links) zur Mittagszeit höhere Temperaturen und damit tiefere relative Feuchten im Vergleich zu den monolithischen Konstruktionen gemessen wurden, so liegen nachts, bedingt durch die Abstrahlung und geringe Wärmespeicherkapazität der relativ dünnen Putzschicht eines WDVS die Oberflächentemperaturen etwas unter der Lufttemperatur. Erhöhte Feuchte an der Oberfläche ist die Folge. Das bedeutet, dass die Wärme aus dem Innenraum die Außenoberflächentemperatur und damit auch –feuchte nur unwesentlich beeinflusst. Deshalb kann bei WDVS entsprechender Dämmschichtdicke von einer thermi-

schen Entkopplung der Fassade von den Raumlufthverhältnissen gesprochen werden. Die in Bild 7 Mitte gezeigten Verhältnisse an der südorientierten monolithischen Wand belegen, dass die Oberflächenfeuchte stets unter der der Luft bleibt. Auch unter Tags treten im Mittel geringe relative Feuchten von etwa 60 % an der Oberfläche der Wand auf. Bei Nordorientierung (Bild 7 rechts) liegt die Oberflächenfeuchte zwar nachts auch unter der Feuchte in der Luft, tagsüber führt die große Wärmespeicherfähigkeit sowie die fehlende Einstrahlung aber zu einer gegenüber der Außenluft geringeren Oberflächen-temperatur verbunden mit einer erhöhten relativen Feuchte an der Fassade, die ebenfalls für Algenbildung günstig sein kann. Aufgrund dieser ersten Ergebnisse wird klar, dass eine pauschale Bewertung von Konstruktionen ohne Berücksichtigung des genauen Aufbaus bzw. der Ausrichtung nicht möglich ist. Um dies zu erreichen, werden im IBP derzeit umfangreiche experimentelle sowie rechnerische Untersuchungen durchgeführt.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Bekanntlich kommt es in bewohnten Gebäuden an besonders gefährdeten Stellen bei ungünstigen hygrothermischen Randbedingungen zu Schimmelpilzwachstum. Die wesentlichen Einflussgrößen sind dabei die Temperatur, die Feuchte und das Substrat, wobei alle drei Parameter für gewisse Zeitperioden in einem günstigen Bereich liegen müssen. Es werden zur Beurteilung der Schimmelpilzbildung in Abhängigkeit von instationären Randbedingungen in [2] Isoplethensysteme angegeben, die für unterschiedliche Substratgruppen Temperaturen und relative Feuchten an der Bauteiloberfläche Sporenauskeimungszeiten bzw. Angaben zu einem möglichen Myzelwachstum benennen. Die realistische Bewertung der Gefahr einer Schimmelpilzbildung in Abhängigkeit von Raumgröße, Feuchteproduktion, Luftwechsel und Art der Heizung oder Kühlung kann ein hygrothermisches Raummodell ermöglichen, das am Fraunhofer-Institut für Bauphysik entwickelt und derzeit validiert wird. Dieses Raummodell ist in Kombination mit dem biohygrothermischen Modell anzuwenden. Daraus werden Ergebnisse erwartet, die eine Optimierung verschiedener Strategien gegen Schimmelpilzbildung, wie z.B. richtiges Hei-

zen und Lüften bei verschiedenen Nutzungs- und Klimabedingungen, erlauben.

Die vorgestellten experimentellen Ergebnisse zur Algenbildung auf Außenfassaden zeigen zwar eine bei Wärmedämm-Verbundsystemen im Vergleich zu monolithischen Wänden leicht erhöhte Außenputzfeuchte. Ob daraus generell eine stärkere Algenanfälligkeit von WDVS im Vergleich zu anderen Wandkonstruktionen abgeleitet werden kann, müssen weitere Untersuchungen zeigen, insbesondere was die Einflussfaktoren Niederschlagsbelastung und Baufeuchte anbelangt. Genauso wichtig sind auch eine exakte Bestandsaufnahme und ggf. gezielte Untersuchungen der biologischen Hintergründe des Algenwachstums. Dazu läuft derzeit am IBP ein umfangreiches Verbundvorhaben. Als Lösungsansätze werden neben infrarot-reflektierenden Beschichtungen, unterschiedliche Hydrophobierungen der Fassade und der Einsatz wärmespeichernder Außenputze untersucht. Auch eine Einfärbung der Fassade und die Applikation von infrarot-reflektierenden Anstrichen werden dabei betrachtet.

5. Literatur

- [1] Sedlbauer, K.; Gabrio, Th.: Schimmelpilze und Beurteilungsklassen zur Gesundheitsgefährdung. IBP-Mitteilungen 29 (2002), Nr. 401.
- [2] Sedlbauer, K.: Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen. Dissertation Universität Stuttgart (2001).
- [3] DIN 4108 – Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden. Manuskript Teil x: Vermeidung von Schimmelpilzen (Entwurfssfassung: 1999 - 05).
- [4] Reiß, J.; Erhorn, H.: Beurteilung von Feuchteschäden. IBP-Bericht WB 47/1997 des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, Stuttgart (1997).
- [5] DIN 4108 – Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden. Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz (2001 - 03).
- [6] DIN EN ISO 13 788 – Berechnung der Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchten und Berechnung der Tauwasserbildung im Bauteilinneren (2001 – 11).

- [7] DIN 68 800 – Holzschutz. Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau (1996 - 05).
- [8] Blaich, J.: Außenwände mit Wärmedämm-Verbundsystem, Algen- und Pilzbewuchs. Deutsches Architektenblatt 31 (1999), H.10, S.1393-1394.
- [9] Klinkenberg, G. und Venzmer, H.: Algen auf Fassaden nachträglich wärmedämmter Plattenbauten – Schadensmaß, Ursachen und Lösungen für ein Anti-Algenkonzept. FAS-Schriftenreihe (2000) Heft 11, S.29-40.
- [10] Künzel, H. M.; Sedlbauer, K.: Algen auf Wärmedämm-Verbundsystemen. IBP-Mitteilungen 28 (2001), Nr. 382.
- [11] Künzel H. M.; Krus M.; Sedlbauer K.: Algen auf Außenwänden – Bauphysik als Ursache? Bauphysik als Lösung! Tagungsband zum 3. Dahlberg-Kolloquium Mikroorganismen und Bauwerksinstandsetzung, 13. - 14. Sep. 2001, Wismar, S. 75 - 84.