

# Prüfmethoden für Schimmelschutz-Anstrichsysteme hinsichtlich ihrer Eignung zur nachhaltigen Behandlung von Schimmelpilzbefallsflächen

Thomas Missel

Dem Verbraucher werden zahlreiche Anstrichsysteme zur Vorbeugung und Behandlung von Schimmelpilzbefall im Innenraum angeboten. Hersteller der Anstriche bewerben den Markt dabei vermehrt mit einer erfolgreich verlaufenen Austestung ihres Materials im mikrobiologischen Laborversuch. Die von den beauftragten Prüfeinrichtungen angewandten Untersuchungsmethoden sind allerdings nicht einheitlich, ein verbindlicher Standard wurde bisher nicht festgelegt. Zu bemängeln ist, dass die derzeit angewandten Untersuchungsmethoden nicht auf eine Langzeitaustestung ausgerichtet sind. Den besonderen Wachstumseigenschaften der Schimmelpilze auf Baustoffen (z.B. Ansäuerung des Untergrundes, Luftmyzelbildung, Ausscheidung von Radikalfängern) wird bei der Untersuchungsplanung keine Rechnung getragen. In aller Regel werden Testoberflächen mit Sporen beimpft und nur für einige Tage bis wenige Wochen auf Keim- und Wachstumsprozesse untersucht. Anstriche mit oxidierenden Supplementen beispielsweise können daher bei nicht stoffwechselaktiven Sporen ihre biozide/biostatische Wirkung voll entfalten, während sie von wachsenden Pilzmyzelzellen relativ rasch besiedelt werden.

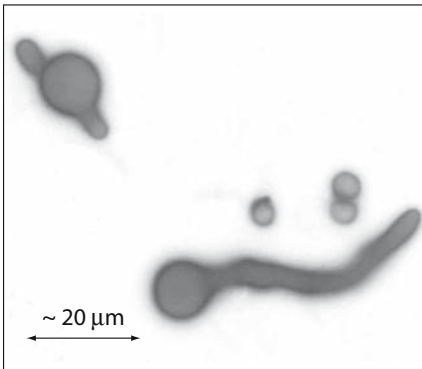
Mikrobiologisch getestete Produkte erwiesen sich in der *Sanierungspraxis* daher oft als nicht tauglich. Das Labor für Arbeits- und Umwelthygiene hat eine Methode zur praxisnahen Austestung von Schimmelschutzanstrichen entwickelt. Mit der Testmethode werden die Einsatzbereiche „Befallsstellensanierung“ und „Befallsvorbeugung bei feuchten Oberflächen“ simuliert. Bei der Methode werden mit Schimmelpilzen bewachsene und / oder mit Sporen inokulierte Baustoffuntergründe (Gipskarton, Porenbeton) mit Schimmelschutzanstrichen überzogen und für mehrere Monate bebrütet. Durch die wachstumsoptimierten Kultivierungsbedingungen ( $rF > 90\%$ ,  $T \sim 25^\circ\text{C}$ ) werden für die „Wohnpraxis“ prognostizierte Prozesse dabei stark beschleunigt („worst case“). Bei der Versuchsplanung wird unterstellt, dass mit einer Vermehrung von Pilzbiomasse nicht zu rechnen ist, sollten Keimungs- und Wachstumsprozesse nach Ablauf von zwei Monaten nicht nachweisbar sein. Zur Absicherung dieser Vermutung wurden die Prüfkörper für bis zu 18 Monate bebrütet. Neben diesem Prüfansatz mit Baustoffen wurden Eingießversuche zur Kontrolle mitgeführt.

In dieser Arbeit wird über die Austestung zweier Anstrichsysteme im Langzeit-Laborversuch berichtet. Es handelt sich um ein mineralisches, voll dampfdiffusionsfähiges 2-Komponenten-Anstrichsystem und eine titandioxidhaltige Dispersionsfarbe. Die Dispersionsfarbe war vom Hersteller bereits mit erfolgreichen Laboraustestungen beworben worden. Beide Anstriche enthalten keinerlei fungizide Zusätze. Mit herkömmlicher Dispersionsfarbe gestrichene Prüfkörper und eine Kalziumsilikatdämmplatte wurden als Referenzen mitgeführt.

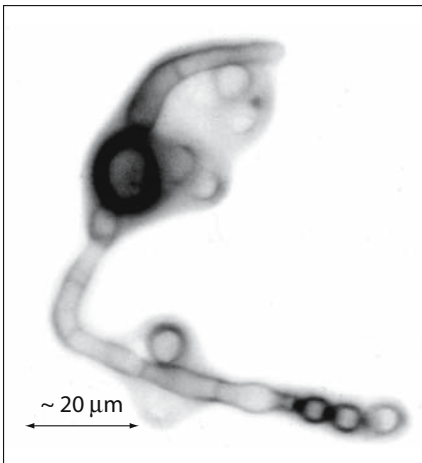
Bei dem *mineralischen 2-Komponenten-Produkt* wurden sehr gute Untersuchungsergebnisse erhalten. Trotz der „worst case“-Bedingungen waren die Oberflächen der Prüfkörper nach 1½ Jahren Lagerung nicht vom Testorganismus (*P. chrysogenum*) bewachsen. Dies obwohl sich einige für die Unterbindung pilzlichen Wachstums bedeutende Produkteigenschaften dieses Anstrichs bei den gewählten Probenlagerungsbedingungen (Staunässe) nicht entfalten konnten. Lediglich auf nassen Stellen konnten leichte Verschmutzungen mit Bakterien und „Schwärzepilzen“ (Biofilme) festgestellt werden. Die Biofilme konnten aber mit einfachen Reinigungsmaßnahmen (Abbürsten unter fließendem Wasser) wieder entfernt werden. Es wird vermutet, dass der mineralische Schimmelschutz nicht von Pilzzellen durchwachsen werden kann. Innerhalb einer mit Schimmelschutz überstrichenen Zellschicht (Pappe) sind nach den vorliegenden Untersuchungsergebnissen Sporenkeimung und Pilzbiomassevermehrung selbst dann vollständig unterbunden, wenn aktives Pilzmyzel eingeschlossen und die Materialfeuchtigkeit anhaltend hoch gehalten wird. Die *titandioxidhaltige Dispersionsfarbe* war nach Sporenbeimpfung bereits nach wenigen Tagen vollständig von einem Pilzrasen überwachsen. Eine signifikante Befallsverzögerung war gegenüber mit herkömmlicher Dispersionsfarbe gestrichenen Proben nicht messbar. Die Sporenkeimung kann mit diesem System offenbar nicht verhindert werden. Auch die aufgrund ihres hohen pH-Werts gemeinhin als nicht besiedelbare *Kalziumsilikatdämmplatte* wurde bei den gestellten Versuchsbedingungen von Schimmelpilzen bewachsen.

## 1. Grundlagen

Die Austestung von Anstrichsystemen auf ihre Wirksamkeit gegen Schimmelpilze erfolgt derzeit vorzugsweise in weitgehend standardisierten Kurzzeit-Laborversuchen. Gestrichene Prüfkörper werden mit Sporen angeimpft, in



**Bild 1.** Keimende Pilzsporen nach Quellung und nicht gequollene Sporen.



**Bild 2.** Gekeimte Penicilliumspore mit sekundärer Sporulation.

feuchter Atmosphäre (gegebenenfalls in Pilzkulturmedien eingegossen) für Tage bis Wochen gelagert und laufend auf die Belegdichte an kultivierbaren Schimmelpilzen auf der Oberfläche kontrolliert. Der Einsatzbereich der meisten Schimmelschutzanstriche wird seitens der Hersteller aber nicht nur bei der Vorbeugung von Schimmelpilzbefall in Problembereichen (z.B. auf Wärmebrücken) sondern auch bei der Sanierung bereits vorhandener Befallstellen gesehen. In der Praxis wird somit nicht vermeidbar sein, dass die Anstriche auf Untergründe aufgetragen werden, die sporenverschmutzt und/oder bereits mit Pilzmyzel bewachsen sind. Schließlich sind Schimmelpilze in aller Regel erst ab einem gewissen Kolonialalter (Pigment-

einlagerung) bzw. nach entsprechender Sporenbildung mit bloßem Auge sichtbar. Da die Ursachen für erhöhte Oberflächenfeuchtigkeitswerte mit Anstrichen nicht beseitigt werden, stellte sich die Frage, ob es bei anhaltend hoher Feuchte zur Vermehrung von Pilzbiomasse, die durch Schimmelschutzanstriche im Wandbelag festgelegt wird, kommen kann.

Schimmelpilze, die nicht oberflächlich wachsen sondern innerhalb eines Wandbelags zur Vermehrung kommen, sind zwar i.d.R. nicht in der Lage, die Raumluft mit Sporen, Zellfragmenten und Toxinen zu belasten. Von wachsenden Pilzmyzelien können aber gasförmige Stoffwechselprodukte freigesetzt werden, die durch dampfföhne Wandanstriche diffundieren und in der Raumluft angereichert werden können (MVOC). Diese Stoffe werden als Verursacher gesundheitlicher Beeinträchtigungen beim Menschen diskutiert. Spätestens beim „Aufbrechen“ einer maroden, mit Pilzmyzel durchsetzten Wandbeschichtung allerdings ist mit relevanten Zell- und Sporemissionen in die Raumluft und mit einem sprunghaften Anstieg des Gesundheitsrisikos zu rechnen.

Schimmelschutzanstriche sollten deshalb die Anforderung erfüllen, Wachstum und Vermehrung von Schimmelpilzen nicht nur oberflächlich sondern auch innerhalb der neuen Wandbeschichtung sicher zu unterbinden. Es wurde untersucht, ob es bei anhaltend hoher Materialfeuchte im Grenzflächenbereich Anstrich/originäre Befallsfläche zu einer Vermehrung pilzlicher Biomasse kommen kann oder dies durch die physikalischen und chemischen Eigenschaften eines Schimmelschutzes unterbunden ist. Da feuchter Gipskarton (GK) optimale Wachstumsbedingungen für Schimmelpilze bietet, wurde dieser Baustoff als ideal für eine praxisnahe Untersuchung erachtet.

### 3. Material und Methoden

Bei dem mineralischen Schimmelschutz (SS) handelt es sich um ein Zweikomponentensystem (Voranstrich SS1, grau und Anstrich SS2, weiß). Das System ist dampfdiffusionsfähig und geht mit dem Untergrund nach Aushärtung eine äußerst feste Verbindung ein. Es ist nicht durchlässig für freies Wasser, so dass die Verlagerung gelöster Salze, die Wandbeläge und -anstriche allmählich zerstört, vollständig unterbunden ist. Der Schimmelschutz ist alkalisch eingestellt (pH 11–12) und enthält gemäß den Herstellerangaben keinerlei fungizide Zusätze.

Die getestete Dispersionsfarbe enthält als Wirksubstanz Titan-Dioxid (1%). Das  $\text{TiO}_2$  katalysiert unter Einstrahlung des UV-A (380 nm) bereits bei Tageslicht eine Dissoziation von Wasser und die Bildung wachstumshemmenden Wasserstoffperoxids.

Als Testorganismus wurde *Penicillium chrysogenum* benutzt. *P. chrysogenum* vermehrt sich sehr schnell auf Baustoffen mit hohem C-Gehalt, kann aber auch auf organikverschmutzten mineralischen Untergründen rasch auswachsen. Als Standardkulturmedium wurde DG18-Agar verwendet. Die Sporensuspension zur Animpfung der Prüfkörper wurde durch wiederholtes Spülen von Reinkulturen mit Kochsalzlösung (0,9%), die Tween 80 als Zusatz (0,01%) enthielt, hergestellt. Als Versuchsbaustoff

**Tabelle 1.** Versuchsansätze und Abfolge der Behandlungsschritte.

Pilzkonzentration auf dem Prüfkörper	Abfolge der Behandlungsschritte bei der Probenherstellung
dichtes Myzel	GK-Pilzmyzel-SS <sub>(min)</sub> /SS <sub>(TiO2)</sub>
Sporen (~ 10 <sup>2</sup> /cm <sup>2</sup> )	GK-Sporen- SS <sub>(min)</sub> /SS <sub>(TiO2)</sub>
Sporen (~ 10 <sup>2</sup> /cm <sup>2</sup> )	PB-Sporen-SS (min)-Sporen- SS (min)
Sporen (~ 10 <sup>2</sup> /cm <sup>2</sup> )	PB-Sporen-Kleister-Raufasertapete-Dispersionsfarbe
Sporen (~ 10 <sup>2</sup> /cm <sup>2</sup> )	PB-Sporen-Kleister-Dispersionsfarbe-SS <sub>(min)</sub>
Sporen (~ 10 <sup>2</sup> /cm <sup>2</sup> )	PB-Sporen-SS <sub>(min)</sub> -Tapete-SS <sub>(min)</sub> -Sporen
Sporen (~ 10 <sup>2</sup> /cm <sup>2</sup> )	DP-Sporen
SS <sub>(min)</sub>	mineralischer Schimmelschutz
SS <sub>(TiO2)</sub>	Titandioxidhaltige Dispersionsfarbe
GK/PB	Gipskartonplatte / Porenbetonplatte
DP:	Kalziumsilikat-Dämmplatte

mit Organik wurden Gipskartonstücke (GK, 0,3 x 0,4 m) und als rein mineralische Prüfkörper Porenbetonstücke (PB, 0,2 x 0,14 m) verwendet. Die Sporensuspensionen wurden mit einer Sprühflasche auf die Probenstücke aufgebracht, die Ausgangssporendichte betrug ca.  $1 \times 10^2$  KBE/cm<sup>2</sup>. Einige der GK-Proben wurden nach der Sporenbeimpfung zunächst für 2 bis 3 Wochen bei Raumtemperatur und > 90% rF vorinkubiert, so dass sie vollständig mit Pilzmyzel überwachsen waren. Anschließend wurden die Oberflächen der Prüfkörper gemäß Herstellervorgabe gestrichen.

Die Bebrütung der beimpften / bewachsenen und gestrichenen Materialproben erfolgte in Kunststoff-Transportbehältern bei 25°C und > 90% rF. Die Abfolge der Arbeitsschritte bei der Probenherstellung ausgewählter Versuchsansätze ist in *Tab.1* zusammengestellt.

Die *kulturelle* Schimmelpilzbestimmung auf Oberflächen und in innerhalb der Pappschichten des GK erfolgte semiquantitativ mit der Abklatsch- und der Abdruckmethode. Die *mikroskopische* Oberflächenanalyse erfolgte mit transparenten Klebestreifen, die auf die Oberflächen gedrückt und mit „Löfflers Methylenblaulösung“ angefärbt wurden. Da es beim Auswachsen von Schimmelpilzsporen zunächst zu einer beträchtlichen Zunahme des Sporenumfangs kommt (Quellung), sind im Keimprozess befindliche und nicht keimfähige Sporen im Mikroskop sehr gut voneinander unterscheidbar (*Bilder 1 u. 2*).

Zur Probenanalyse wurde der GK mit einem Skalpell aufgeschnitten und der Belag, bestehend aus Schimmelschutz und Pappschicht, vorsichtig vom Gipsuntergrund abgelöst. Möglichst viele Schichten des Pappbelags wurden mit einer Pinzette voneinander gelöst und mit der Abdruckmethode sowie im Mikroskop getrennt analysiert.

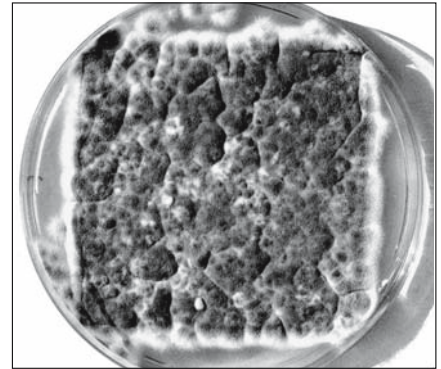
Neben der o.g. Baustoffprobenanalyse wurden Eingießversuche in Anlehnung an die Methoden der VdL [1] durchgeführt. Bei dieser Produktaustestung wurde die biostatistische Wirkung des mineralischen Schimmelschutzes mit der einer Kalziumsilikatdämmplatte verglichen. Das bei der Innendämmung verbreitete Kalziumsilikat gilt u.A. aufgrund seiner alkalischen Beschaffenheit (pH 10–11) weithin als nicht von Pilzen besiedelbar.

### 3. Untersuchungsergebnisse

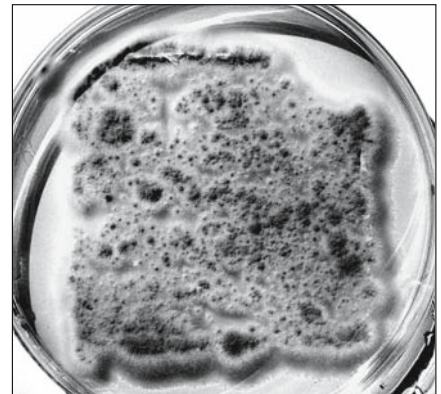
#### 3.1 Mineralischer 2-Komponenten-Anstrich

Auf der Unterseite einer Raufasertapete, die mit herkömmlichem Tapetenkleister auf PB aufgebracht und lediglich mit dem mineralischen Schimmelschutz überstrichen worden war, konnte bereits am 4. Tag dichter Myzelbewuchs beobachtet werden. Auf der mit mineralischem Schimmelschutz gestrichenen Oberfläche war auch nach knapp 2-monatiger Bebrütung – wie bei allen anderen Versuchsansätzen mit diesem Produkt- Myzelbildung nicht nachweisbar. Sporenquellung und –keimung innerhalb der Pappschichten des gestrichenen GK waren nicht nachweisbar. Die Kalziumsilikatdämmplatte, die als Kontrolle mitgeführt wurde, war bereits nach 3–4 Wochen von Bakterien und, zumindest lokal, auch von Schimmelpilzen (*Acremonium* Spezies) bewachsen.

**Bild 3.** Abdruck des Kartons von GK nach 2-monatiger Inkubation.



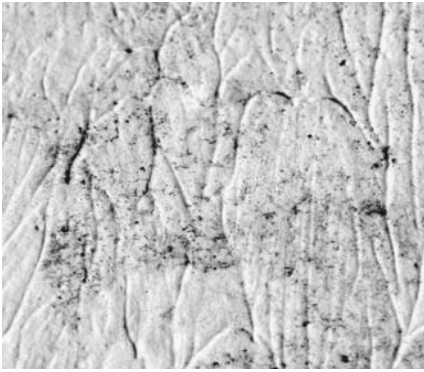
**Bild 4.** Abdruck des Kartons von GK nach 18-monatiger Inkubation.



Ein Teil dieser Baustoff-Versuchsansätze wurde zurückgestellt, bei > 90% rF weiter bebrütet und nach 16 Monaten abschließend analysiert. Nach insgesamt 18-monatiger Bebrütung war bei den GK-Proben mit überstrichenem Pilzmyzel eine Zunahme von Pilzbiomasse nicht nachweisbar. Die Abschlusskontrolle mit der Abdruckmethode ergab sowohl auf als auch innerhalb der überstrichenen Kartonageschicht eine signifikant geringere Schimmelpilzdichte als nach 2-monatiger Bebrütung. Dies deutete auf eine allmähliche Degeneration vegetativer Pilzzellen hin (*Bild 3 u. 4*). Bei der Mikroskopuntersuchung der GK-Proben, die zu Versuchsbeginn zwar mit Sporen beimpft, aber *nicht* bewachsen waren, waren auf und innerhalb der Kartonage(-schichten) Sporenquellung und Myzelbildung nicht feststellbar.

Bei einigen GK- und PB-Proben waren die äußeren Oberflächen nach 18-monatiger Inkubation allerdings lokal bewachsen. Auf den dunkel verfärbten Stellen wurden Bakterien, nicht weiter differenzierte „Schwärzepilze“ sowie *Acremonium* Spezies gefunden. Anhand zweier besonders betroffener PB-Proben wurde untersucht, ob derartige Oberflächenbewuchs (in der „Wohnpraxis“ u.U. hervorgerufen durch die sukzessive Verschmutzung des Anstrichs) durch Reinigung wieder beseitigt werden kann oder ob die Pilze in Anstrichporen einwachsen können. Hierzu wurden die Probenoberflächen mit einer Handreinigungsbürste unter fließendem Wasser geschrubbt und anschließend mit 80%igem Alkohol gespült. Es zeigte sich, dass die Pilzverschmutzungen mit dieser relativ einfachen Reinigungsmaßnahme wieder vollständig entfernt werden können (*Bild 5 u. 6*).

In den folgenden 5 Monaten nach erfolgter mechanischer Reinigung der Oberflächen konnte erneutes Pilz- und



**Bild 5.** SS (2) auf PB nach 18-monatiger Inkubation – „Schwärzepilze“.



**Bild 6.** SS (2) auf PB nach 18-monatiger Inkubation – nach Reinigung.

Bakterienwachstum nicht beobachtet werden (der Versuch dauert an). Ein Einwachsen oder vollständiges Durchwachsen des mineralischen Schimmelschutzes durch Pilze konnte bei der vorliegenden Untersuchung nicht nachgewiesen werden.

Bei den Eingießversuchen wurden mit dem mineralischen Schimmelschutz gestrichene Prüfkörper (60 x 60 mm) nicht überwachsen. Selbst auf Prüfkörperstellen, die beim Gießen der Platten mit DG18-Nährmedium verschmutzt und nach 3-wöchiger Bebrütung für weitere 15 Monate bei  $rF > 90\%$  gekühlt gelagert worden waren, konnten Keim- und Wachstumsprozesse nicht festgestellt werden (Bild 7). Demgegenüber wurde die Kalziumsilikatdämmplatte innerhalb von 14 Tagen nahezu vollständig von *P. chrysogenum* überwachsen (Bild 8). Zwar konnte bei den Versuchen vereinzelt auch auf Probenstücken, die mit Schimmelschutz gestrichen waren, lichtet Pilzwachstum beobachtet werden z.B. auf verschmutzten oder zu dünn gestrichenen Stellen sowie in Bereichen mit Materialstörungen („Blasenbildung“). Die auf Kalziumsilikat und Schimmelschutz gemessenen Bewuchsdichten lagen aber in diesen Fällen um mehrere Größenordnungen auseinander.

### 3.2 Titandioxidhaltige Dispersionsfarbe

Eine signifikante Verminderung der Schimmelpilzdichte durch Applikation von  $TiO_2$  konnte bei keinem Versuchsansatz erzielt werden. Selbst bei Zugabe von Wasserstoffperoxid (0,3%) zu der  $TiO_2$ -Farbe und Bestrahlung mit Sonnenlicht im Außenbereich war eine messbare Reduktion des Schimmelpilzbewuchses auf den Baustoffen nicht nachweisbar.

## 4. Diskussion

Die in Transportbehältern gelagerten, mit mineralischem Schimmelschutz gestrichenen Baustoffproben waren annähernd während der gesamten Versuchsdauer mit Kondenswasser, das von den Behälterdeckeln abtropfte, benetzt. Bereits nach wenigen Wochen, also in einem sehr frühen Stadium der Versuche, konnte bei der mikroskopischen Oberflächenkontrolle auf mehreren Proben eine Vermehrung von Bakterien beobachtet werden. Das lokal festgestellte Schimmelpilzwachstum könnte u.U. mit dieser primären „Bakterienbiofilmbildung“ in Zusammenhang stehen.

Wasserlösliche organische Verbindungen auf dauerfeuchten mineralischen Oberflächen werden in aller Regel zunächst von Bakterien zum Wachstum genutzt. Bakterien vermehren sich schneller und sind toleranter gegenüber hohen pH-Werten als Pilze. Im Zuge der mikrobiellen Metabolisierung der C-Verbindungen werden organische Säuren gebildet, die zusammen mit gelöstem Kohlendioxid eine Ansäuerung des Mediums bewirken, so dass sich die Wachstumsbedingungen für Schimmelpilze sukzessive günstiger gestalten.

Holzstoffabbauende Pilze stellen die Bioverfügbarkeit der wasserunlöslichen Kohlenstoff-Makromoleküle mit einem komplexen Enzymsystem, das in das Umgebungsmilieu abgegeben wird, her. Während des enzymatischen Aufschlusses der Makromoleküle werden saure C-Metabolite gebildet, die den pH-Wert des Milieus weiter vermindern. Von Pilzzellen ausgeschiedene organische Säuren dürften zusätzlich zu der für Pilze günstigen Neutralisierung/Versauerung des Untergrundes beitragen. Die allmähliche Ansäuerung der Prüfkörperoberflächen im Laufe des Versuches wurde mit orientierenden pH-Messungen (pH-Streifen) nachvollzogen.

Auf bewachsenen GK- und PB-Proben wurde allerdings nicht *P. chrysogenum* sondern vorzugsweise *Acremonium* gefunden. Die bei den Langzeit-Baustoffprüfkörperversuchen als Kontrolle mitgeführte Kalziumsilikat-Dämmplatte wurde bereits nach wenigen Wochen Versuchsdauer von *Acremonium* bewachsen. Bei *Acremonium* handelt es sich nach den Erfahrungen um einen „Pionier“ bei der Besiedelung mineralischer Baustoffe.

Bei der Materialaustestung mit dem Platteneingießverfahren wird eine nicht fachgerechte Teilflächensanierung simuliert, d.h. eine aktive Bewuchsstelle grenzt unmittelbar an eine schimmelpilzbehandelte Fläche an. Derartige Bedingungen können nicht als „sanierungspraxiskonform“ bezeichnet werden. Dennoch wurde der mineralische Anstrich – im Gegensatz zur Kalziumsilikatdämmplatte – nicht von *P. chrysogenum* überwachsen.

Bei der Langzeitaustestung des Schimmelschutzanstrichs mit Baustoffproben in annähernd wasserdampfgesättigter Atmosphäre konnten sich neben dem hohen pH-Wert noch andere, für die Unterbindung pilzlichen Wachstums wichtige Produkteigenschaften nicht entfalten. Der mineralische Schimmelschutz zeichnet sich z.B. gemäß den Herstellerangaben trotz hoher Dampfdiffusionsfähigkeit durch eine sehr geringe Wasseraufnahmekapazität aus. Transport und Verlagerung freien Wassers innerhalb des Anstrichs sind überhaupt nicht möglich. Bei der Vor-

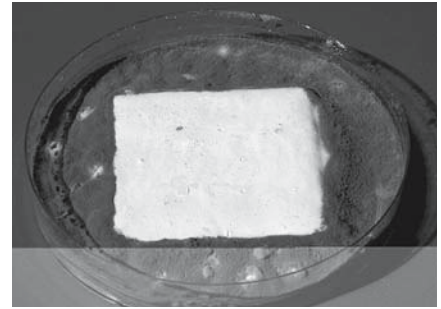
beugung von Schimmelpilzwachstum im Innenraum stellt diese Produkteigenschaft einen bedeutenden Faktor dar. Dampfermeable Oberflächen, die zudem durch eine geringe Wasserleitfähigkeit gekennzeichnet sind, können Wasser, das im Tagesverlauf durch das Niederschlagen von Raumluftfeuchtigkeit aufgenommen wurde, erheblich schneller wieder abgeben als dies bei hygroskopischen Baustoffen wie z.B. Gipsmörtel oder zellulosehaltigen Wandbelägen der Fall ist. Auf die Wohnpraxis übertragen bedeutet dies, dass die Zeitfenster, in denen z.B. aufgrund eines Raumluftfeuchteniederschlags günstige Wachstumsbedingungen für Pilze auf Oberflächen gegeben sind, bedeutend verengt werden können.

Eine Oberflächenbesiedelung durch Pilze kann durch das beschleunigte Abtrocknen von Baustoffen zwar nicht völlig unterbunden, wohl aber erheblich verzögert werden. Gequollene und auskeimende Pilzsporen reagieren relativ empfindlich auf die Austrocknung der Wachstumsunterlage. Wenn geringe Porendurchmesser und -tiefen ein Einwachsen primärer Myzelzellen nicht erlauben, degenerieren die Keime beim erneuten Abtrocknen der Oberfläche. Dass der Schimmelschutzanstrich nicht von Schimmelpilzen durchwachsen wird, zeigen die Ergebnisse der Untersuchungen mit Gipskarton und Porenbeton.

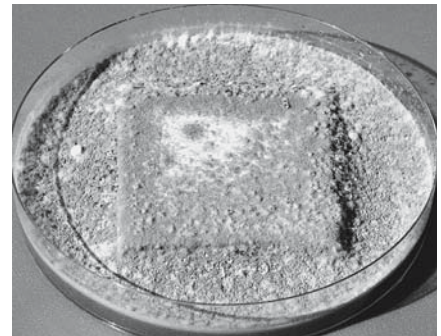
Bei Würdigung der oben ausgeführten Betrachtungspunkte wird deutlich, dass hinsichtlich der Unterbindung pilzlichen Wachstums relevante Produkteigenschaften des mineralischen Schimmelschutzanstrichs in weiten Bereichen ausgeschaltet waren. Die Versuchsbedingungen der Expertise entsprachen also insofern nicht den Verhältnissen bewohnter Innenräume, als dass zwischenzeitliches Abtrocknen der Oberflächen und Degenerationsprozesse primärer Myzelzellen durch Dehydratation nicht möglich waren. Trotz dieser „worst case“-Bedingungen waren die *Oberflächen* der Prüfkörper allenfalls lokal und auch nur mit lichtem Myzel bewachsen. Materialschädigungen durch Tiefenwachstum von Pilzen waren nicht feststellbar. Schimmelpilzwachstum *innerhalb* einer Beschichtung kann nach den Ergebnissen dieser Untersuchung selbst dann ausgeschlossen werden, wenn aktive Pilzbiomasse auf organischem Untergrund eingeschlossen und die Materialfeuchtigkeit anhaltend hoch gehalten wird.

Die Versuchsergebnisse zeigen aber auch, dass alkalisch eingestellte Baustoffe bei anhaltend hoher Materialfeuchte und zunehmender Verschmutzung nicht nur von Bakterien sondern grundsätzlich auch von Pilzen bewachsen werden können. Dabei deuten die Ergebnisse der Untersuchungen darauf hin, dass oberflächlich bewachsener Schimmelschutz mit einfachen Reinigungsmaßnahmen wieder von Schimmelpilzen gereinigt werden kann. Da Tiefenwachstum auf dem mineralischen Schimmelschutz nicht bzw. allenfalls bei Altschäden möglich ist, bewirkt eine Koloniebildung, die in der „Wohnpraxis“ nicht grundsätzlich vermeidbar sein dürfte, nicht zwangsläufig auch eine Schädigung der Anstrichoberfläche. Die Möglichkeit der Reinigung bewachsener Stellen könnte allerdings auf frühe Befallsstadien begrenzt sein. Sobald dunkel pigmentierte Myzelzellen von „Schwärzepilzen“ in Oberflächenstörungen eingewachsen sind, dürfte eine Wiederherstellung des Originalzustandes durch Ergreifen einfacher Reinigungsmaßnahmen vermutlich nicht mehr ohne weiteres möglich sein.

**Bild 7.** Eingießversuch: mineralischer Schimmelschutz nach 15 Monaten.



**Bild 8.** Eingießversuch: Kalziumsilikatdämmplatte nach 14 Tagen.



Im Falle des titandioxidhaltigen Anstrichs wird vermutet, dass die nicht nachweisbare biostatische Wirkung zumindest zum Teil in der besonderen Stoffwechselphysiologie der Pilze beim Abbau organischer Makromoleküle begründet liegt. Pflanzliche Zellwandbestandteile bestehen vorwiegend aus Zuckermakromolekülen (v.a. Zellulose und Hemizellulose/Pektine). Diese sind zum Schutz vor Mikroorganismen mit dem widerstandsfähigen, wasserunlöslichen Makromolekül Lignin „imprägniert“. Die von Pilzen zum Abbau des Lignins ausgeschiedenen Exoenzyme wirken sehr unspezifisch. Es handelt sich u.A. um Peroxidasen, die auf dem Prinzip der Radikalreaktion arbeiten und, z.T. als Zwischenprodukt, die Bildung von Wasserstoffperoxid katalysieren [2].

Die Ausscheidung großer Mengen an Peroxidasen beim Ligninabbau wurde zwar vor allem bei holzerstörenden Weißfäulepilzen beschrieben. Aber auch Pilze, deren extrazellulärer Stoffwechsel nicht auf den Ligninabbau spezialisiert ist, können beim Abbau pflanzlicher Zellbestandteile eine beträchtliche Ligninmodifizierung bewirken [3]. Die nicht nachweisbare biozide Wirkung von  $\text{TiO}_2$  auf Schimmelpilze bei unseren Versuchen könnte möglicherweise mit der Stoffwechselphysiologie der Pilze beim Ligninabbau in direktem Zusammenhang stehen. Auf Radikalreaktionen basierende Abbaumechanismen machen effektive Schutzmechanismen gegen eigens gebildete Radikale und Oxidationsmittel erforderlich. Dies erschwert Angriffe durch Desinfektionsmittel, die auf der Basis der Oxidation / der Radikalbildung arbeiten und könnte erklären, weshalb entsprechende Anstriche nachweislich gegen die gering stoffwechselaktiven Sporen wirken, ein wachstumshemmender Effekt auf Pilzmyzel aber nicht feststellbar ist.

#### Anmerkung

Angaben zum Hersteller des getesteten mineralischen Schimmelschutzanstrichs gibt der Autor.

**Literatur**

- [1] Richtlinie zur Bestimmung der Beständigkeit von Beschichtungsstoffen gegen Pilzbefall. Verein der Lackindustrie VDL Richtlinie 06 vom 09.06.2003. Internet: www.lackindustrie.de/
- [2] *Missel, T.*: Untersuchungen zur Aktivität der lignolytischen Enzyme des Weißfäulepilze *Trametes versicolor* im Tropfkörper-Reaktor. Diplomarbeit am Institut für Ingenieurbiologie und Biotechnologie des Abwassers, Universität Karlsruhe, 1995.
- [3] *Blanchette, R.A.; Abad, A.R.; Farrell, R.L. und Leathers, T.D.*: Detection of Lignin Peroxidase and Xylanase by Immunocytochemical Labeling in Wood Decayed by Basidiomycetes. Appl. Environ. Microbiol. Juni 1989, S. 1457–1465.

**Buchbesprechungen****Eder, B. und Schulz, H.: Biogas Prax. i s. Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiele**

Staufen: Verlag ökobuch, 3. Auflage 2006. 236 S., viele Abb., Preis: € 28,90.

Das Biogasverfahren, die anaerobe Vergärung von Gülle, Mist und anderen Bioabfällen, ist nicht nur eine Technologie zur Energiegewinnung, sondern gleichzeitig ein Weg zur Umwandlung schwer verwertbarer Abfälle in wertvollen Naturdünger. Deshalb finden Biogasanlagen in den letzten Jahren zunehmendes Interesse in der Landwirtschaft und in der Abfallentsorgung.

Das Buch vermittelt die Grundlagen der Biogasentstehung bzw. -erzeugung und deren Einflussfaktoren. Dann werden detailliert und praxisnah die Anlagentechnik (Behälter, Rührwerke, Gasspeicher und die zugehörigen Betriebseinrichtungen) mit allen wichtigen Konstruktionsvarianten behandelt. Die Autoren zeigen die Schritte zur Planung von Biogasanlagen, gehen auf Kosten und Wirtschaftlichkeit ein und stellen Beispielanlagen mit Betriebsergebnissen aus Deutschland und anderen europäischen Ländern vor. Mit Adressen von Beratungsstellen, Institutionen und Fördermöglichkeiten. *mm*

**DIN V 18599; Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung**

Beuth Praxis: **DIN V 1899 Teil 1 bis 10, Energetische Bewertung von Gebäuden.** 2005. 1 CD ROM mit Normenreihe im Volltext. Preis: Einzelplatzversion: € 258,00.

Die neue **DIN V 18599 Teil 1 bis Teil 10, Ein Instrument zur Erstellung von Energieausweisen.** Tagungsband der BMVBW/DIN Gemeinschaftstagung am 28.06.2005 in Bochum. 2005. 126 S. Preis: € 75,40.

Herausgeber: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Beuth Verlag GmbH: Berlin, Wien, Zürich.

Die EU Richtlinie 2002/91/EG über die „Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden“ fordert, bei Errichtung, Kauf oder Neuvermietung von Gebäuden einen Energieausweis verbindlich vorzuschreiben. Mit der Energieeffizienzverordnung hat Deutschland einen Großteil der Richtlinie bereits umgesetzt, ein weiterer Schritt auf diesem Weg war die Erarbeitung der Vornormenreihe DIN V 18599 „Energetische Bewertung von Gebäuden – Be-

rechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung“.

Die Energiebilanz folgt einem integralen Ansatz, d. h. es erfolgt eine gemeinschaftliche Bewertung des Baukörpers, der Nutzung und der Anlagentechnik unter Berücksichtigung der gegenseitigen Wechselwirkungen. Die zehn Teile sind thematisch in sich abgeschlossen:

- Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger
- Teil 2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen
- Teil 3: Nutzenergiebedarf für die energetische Luftaufbereitung
- Teil 4: Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung
- Teil 5: Endenergiebedarf von Heizsystemen
- Teil 6: Endenergiebedarf von Wohnungslüftungsanlagen und Luftheizungsanlagen für den Wohnungsbau
- Teil 7: Endenergiebedarf von Raumlufttechnik- und Klimakältesystemen für den Nichtwohnungsbau
- Teil 8: Nutz- und Endenergiebedarf von Warmwasserbereitungssystemen
- Teil 9: End- und Primärenergiebedarf von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen
- Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten

Insgesamt schlägt die neue DIN V 18599 die Brücke von der EU Richtlinie über die neue Energieeffizienzverordnung zu der Beratungs- und Planungs-Praxis sowohl im Neubau als auch in der Bestands-Sanierung.

Damit sich das interessierte Fachpublikum schnell mit den neuen Regelungen vertraut machen kann, hat der Beuth Verlag die Vornormenreihe als Sonderdruck herausgegeben – alle zehn Teile im Originaltext jederzeit griffbereit im Ordner. Für all diejenigen, die lieber am Bildschirm arbeiten, gibt es – wahlweise als Einzelplatz- oder Netzwerkversion – auch eine digitalisierte Ausgabe der Normenreihe, Zusätzlich zu zahlreichen Verlinkungen, die die Arbeit mit den neuen Berechnungsvorschriften erleichtern, sind alle Begriffe und Tabellen über separate Verzeichnisse abrufbar.

Und wer weiterführende Informationen aus erster Hand erhalten möchte, der ist mit einem Tagungsband gut beraten: Renommierete Experten aus Normung und Praxis haben auf einer Gemeinschaftstagung des BMVBW und des DIN in Bochum über Anwendungs- und Auslegungsmöglichkeiten der Normenreihe referiert. *R.*