

Abschlussbericht

über die Prüfung des Anstrichsystems **BIOZEM SCHIMMELSCHUTZ** auf die Eignung zur Vorbeugung und Behandlung von Schimmelpilzbefallsflächen im Innenraum

Bericht Nr. MP0905-01/SS

Erstellt für die
BIOZEM SERVICE GmbH
Alt Godshorn 75
30855 Langenhagen

September 2005

INHALTSVERZEICHNIS

1	ZUSAMMENFASSUNG	1
2	AUFGABENSTELLUNG	3
3	UNTERSUCHUNGSGRUNDLAGE	4
4	MATERIAL UND METHODEN	5
4.1	Verwendete Untersuchungsmaterialien und –methoden	5
4.1.1	Verwendeter Testorganismus	5
4.1.2	Verwendete Versuchsbaustoffe	5
4.1.3	Oberflächenbeschichtung mit Schimmelschutz	5
4.1.4	Bebrütung der Baustoffproben	6
4.1.5	Oberflächenanalyse auf Pilze mit Abdruckprobe	6
4.1.6	Mikroskopische Oberflächenuntersuchung	7
4.1.7	Klimamessungen	7
4.2	Durchführung der Materialuntersuchungen	8
4.2.1	Vorbereitung organischer Versuchsoberflächen	8
4.2.2	Vorbereitung mineralischer Versuchsoberflächen	8
4.2.3	Zusammenfassung der Versuchsansätze	8
4.2.4	Mikrobiologische Probenahme	9
4.2.5	Bewertung der Schimmelpilzdichte auf Oberflächen	9
4.2.6	Eingießversuche	9
5	UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE	11
5.1	Bewachsener Gipskarton (GK) als Versuchsbaustoff	11
5.2	Inokulierter Porenbeton (PB) als Versuchsbaustoff	13
5.3	Eingießversuche	14
6	DISKUSSION	16
7	LITERATUR	21

ANHÄNGE

Anhang 1	Zusammenfassung der Untersuchungen 2004
Anhang 2	Morphologie des Pilzwachstums
Anhang 3	Testorganismus
Anhang 4	Vorbereitung der Baustoffprüfkörper
Anhang 5	Mikrobiologische Analyse der Prüfkörper
Anhang 6	Oberflächenanalyse der Baustoffprüfkörper / Eingießversuche
Anhang 7	Abdruckproben von Pappschichten des bewachsenen GK
Anhang 8	Reinigung bewachsener Porenbetonproben

1 Zusammenfassung

Das Labor für Arbeits- und Umwelthygiene Dr. Missel hat das Anstrichsystem BIOZEM SCHIMMELSCHUTZ (SS) auf die Eignung zur nachhaltigen Behandlung von Schimmelpilzbefallsflächen im Innenraum getestet. Die Untersuchung bezog sich sowohl auf den Bereich *Vorbeugung* von Schimmelpilzproblemen im Falle dauerhaft erhöhter Oberflächenfeuchten als auch auf die eigentliche *Behandlung* bereits vorhandener Befallsstellen. Dabei wurde versucht, möglichst „praxisnahe“ Bedingungen zu stellen. In dem vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse einer Langzeitaustestung von Materialproben über einen Zeitraum von 1 ½ Jahren zusammengefasst. Untersuchungsgegenstand waren mit Schimmelpilzen bewachsene Baustoffe, die mit SS gestrichen und anschließend bebrütet wurden.

In einem ersten Untersuchungsbericht vom August 2004 wurden die Ergebnisse nach 2-monatiger Versuchsdauer zusammengestellt und diskutiert (Kurzfassung im Anhang 1). Einige der Baustoffproben - verwendet wurden Gipskarton (GK) und Porenbeton (PB) - wurden seinerzeit zurückgestellt und bei > 90% relativer Feuchte bis August 2005 weiter bebrütet. Bei den Untersuchungsobjekten aus GK handelte es sich um Probenstücke, die nach entsprechender Sporenbeimpfung und Bebrütung dicht mit Schimmelpilzen bewachsen und im Februar 2004 mit Schimmelschutz überstrichen worden waren. Es wurde untersucht, ob Schimmelschutz auf und innerhalb des aufgetragenen Schimmelschutzanstrichs bei anhaltend hohen Luft- und Materialfeuchten auch langfristig unterbunden ist. Bei der Versuchsplanung wurde unterstellt, dass mit einer Vermehrung der Pilze auch bei längerer Versuchsdauer nicht mehr zu rechnen ist, wenn Schimmelpilzwachstum nach 18 Monaten nicht nachweisbar sein sollte.

Neben der genannten abschließenden Baustoffprobenanalyse wurden weitere Platteneingießversuche durchgeführt. Ziel der erneuten Produktaustestung unter weitgehend standardisierten Bedingungen war der Vergleich der biostatistischen Wirkungen von BIOZEM Schimmelschutz und einer Kalziumsilikatdämmplatte. Dieses im Innenraum bei der Wärmedämmung weit verbreitete Material gilt aufgrund der alkalischen Beschaffenheit (pH 10-11) weithin als nicht von Pilzen besiedelbar.

Die Ergebnisse der Untersuchungen können wie folgt zusammengefasst werden:

Bei der Langzeitaustestung des Schimmelschutzanstrichs über einen Zeitraum von 18 Monaten war eine Entfaltung der für die Unterbindung pilzlichen Wachstums bedeutenden Produkteigenschaften fast vollständig unterbunden. Trotz dieser „worst case“- Bedingungen waren die Oberflächen von Prüfkörpern allenfalls lokal, dann auch nur diffus bewachsen. Materialschädigungen durch Tiefenwachstum von Pilzen waren aber nicht feststellbar. Schimmelpilzwachstum innerhalb einer Beschichtung kann nach den Ergebnissen dieser Untersuchung selbst dann ausgeschlossen werden, wenn Organik eingeschlossen und die Materialfeuchtigkeit anhaltend hoch gehalten wird.

Die Oberflächen der gestrichenen Gipskartonplatten waren nach 18-monatiger Inkubation bei 90-98% relativer Feuchte bereichsweise bewachsen. In den einzelnen Kartongeschichten des GK konnte gegenüber Versuchsbeginn und nach 2-monatiger Bebrütung eine Zunahme der Koloniedichte aber nicht beobachtet werden. Mit der Abdruckmethode wurde ein signifikant geringerer Schimmelpilzgehalt in der Kartontage gemessen als nach 2-monatiger Bebrütung. Dieser Befund könnte mit einer Degeneration der (vegetativen) Pilzmyzelzellen erklärt werden.

Auch die Oberflächen der im Februar 2004 beimpften und anschließenden mit Schimmelschutz gestrichenen Porenbetonproben waren nach 18 Monaten lokal bewachsen. Es zeigte sich aber, dass die gewachsenen „Schwärzepilze“ mit einfachen Reinigungsmaßnahmen (Abbürsten unter fließendem Wasser) wieder entfernt werden können. Ein tieferes Einwachsen bzw. vollständiges Durchwachsen des Schimmelschutzes durch Pilze ist nach den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchungen nicht möglich.

Die im Erstgutachten vom August 2004 dokumentierten positiven Ergebnisse der Eingießversuche wurden bei den neueren Untersuchungen bestätigt. Demnach kann BIOZEM Schimmelschutz auch bei diesen, als nicht „sanierungspraxis-konform“ zu bezeichnenden Bedingungen nicht von Pilzmyzel überwachsen werden. Auch auf den aus 2004 zurückgestellten, sehr stark mit Sekundärsporen belasteten und bei hoher Feuchtigkeit gelagerten Eingießproben waren bei der abschließenden Untersuchung weder Keim- noch Wachstumsprozesse nachweisbar.

Bei den Eingießversuchen wurden aus Kalziumsilikatdämmplatten hergestellte Probenstücke als Kontrolle mitgeführt. Die aufgrund ihrer Alkalität gemeinhin als „nicht von Pilzen besiedelbare“ Kalziumsilikatdämmplatte wurde innerhalb von 14 Tagen vollständig von *P. chrysogenum* überwachsen. Zwar konnte bei den Versuchen dieses Berichts auch auf mit BIOZEM Schimmelschutz gestrichenen Probenstücken lokal diffuses 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 um Größenordnungen auseinander.

Hannover, 12.09.2005

Dr. Thomas Missel

2 Aufgabenstellung

Die BIOZEM GmbH, Hannover, beauftragte das Labor für Arbeits- und Umwelthygiene im Februar 2004 mit der Prüfung ihres Zweikomponenten-Anstrichsystems SCHIMMELSCHUTZ auf die Eignung zur nachhaltigen Behandlung von Schimmelpilzbefallsflächen im Innenraum. Bei der Austestung im Labor wurden zwei verschiedene Versuchsansätze gefahren, möglichst „praxisnahe“ Versuche mit bewachsenen Baustoffen und weitgehend standardisierbare Versuche mit der Eingießmethode.

Im „praxisnahen“ Ansatz wurde Schimmelpilzwachstum auf zunächst beimpften, anschließend gestrichenen und dann bei hoher Feuchte bebrüteten Baustoffen untersucht. Als Versuchsbaustoffe wurden Gipskarton und Porenbeton benutzt. Nach knapp 2-monatiger Versuchsdauer war eine Zunahme pilzlicher Biomasse weder auf der Probenoberfläche noch innerhalb des Beschichtungsaufbaus feststellbar. Die Untersuchungsergebnisse wurden in einem schriftlichen Gutachten vom 06.08.2004 zusammengestellt und erörtert (Kurzfassung siehe Anhang 1).

Einige GK- und Porenbetonprobenstücke (praxisnaher Ansatz) wurden für die Langzeitaustestung zurückgestellt. Die Proben wurden bei Luftfeuchten von 90-98% relativer Feuchte und Raumtemperatur weiter bebrütet und im August 2005 abschließend analysiert. Bei der Festlegung der Versuchsdauer wurde davon ausgegangen, dass mit einer Vermehrung von Schimmelpilzen in der Zellschicht auch bei längerer Versuchsdauer nicht mehr zu rechnen ist, sollte eine Biomassezunahme nicht messbar sein.

Neben der Problemstellung „*Biomassevermehrung in der Zellschicht*“ wurde der Frage nachgegangen, ob *Oberflächenbewuchs* - hervorgerufen beispielsweise durch eine allmähliche Verschmutzung des Anstrichs mit Organik und Stäuben - mit einfachen Reinigungsmaßnahmen wieder beseitigt werden kann oder ob Pilze in die Poren des Anstrichs einwachsen und diesen allmählich schädigen können.

Dieser Untersuchungsbericht fasst die Ergebnisse der abschließenden Analyse der Versuchsbaustoffe nach 18-monatiger Bebrütung zusammen. In die vorliegende Untersuchung aufgenommen wurden weiterführende Materialprüfungen mit dem Platteneingießverfahren zum Vergleich der biostatistischen Oberflächenwirkungen von BIOZEM Schimmelschutz und Kalziumsilikatdämmplatte.

3 Untersuchungsgrundlagen

Die BIOZEM SERVICE GmbH sieht die Verwendung ihres Schimmelschutzanstrichsystems sowohl bei der Vorbeugung von Schimmelpilzbefall auf problematischen Stellen (z.B. Wärmebrücken) als auch bei der Sanierung bereits bewachsener Oberflächen vor. In der Anwendungspraxis wird also nicht immer vermeidbar sein, dass der Anstrich auf Untergründe aufgebracht wird, die mehr oder weniger stark mit Pilzzellen und -sporen belastet sind. Da die eigentlichen Ursachen für erhöhte Feuchtigkeitswerte auf Oberflächen mit dem Schimmelschutzsystem nur in Ausnahmefällen beseitigt werden können, stellte sich die Frage nach den Vermehrungsmöglichkeiten der im Anstrichsystem eingeschlossenen Pilzbiomasse.

Schimmelpilze, die nicht oberflächlich wachsen sondern verborgen unter der Oberfläche von Wandbelägen, Dämmstoffen oder Anstrichen zur Vermehrung kommen, sind zwar i.d.R. nicht in der Lage, die Raumluft mit Sporen, Zellfragmenten und Toxinen zu belasten. Von wachsenden Pilzmyzelien werden aber leicht flüchtige Stoffwechselprodukte freigesetzt, die durch poröse Materialien diffundieren und in die Raumluft gelangen können (VOC). Diese Verbindungen werden als Verursacher gesundheitlicher Beeinträchtigungen beim Menschen diskutiert.

Ein anderes mögliches Folgeszenario einer Biomassevermehrung innerhalb der Wandbeschichtung könnte deren Beschädigung durch Hohlraumbildung und eine anschließende Verlagerung freien Wassers und gelöster Salze sein. Dies wäre sowohl durch die allmähliche Zersetzung organischer Komponenten als auch durch Biomassenzunahme denkbar. Das „Aufbrechen“ einer mit Pilzmyzel durchsetzten Wandbeschichtung wäre in jedem Fall mit einem sprunghaften Anstieg des Gesundheitsrisikos im Innenraum gleichzusetzen.

An Anstrichsysteme zur Behandlung von Schimmelbefallsflächen muss deshalb die Anforderung gestellt werden, Wachstum und Vermehrung von Schimmelpilzen nicht nur oberflächlich sondern auch innerhalb der neuen Wandbeschichtung vollständig unterbinden zu können. Es wurde untersucht, ob es im Grenzflächenbereich Schimmelschutz / originäre Befallsfläche zu einer Vermehrung pilzlicher Biomasse kommen kann oder ob Pilzwachstum durch die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Schimmelschutzes nachhaltig unterbunden wird. Da die Pappschicht von Gipskartonplatten (GK) Schimmelpilzwachstum fördert, sobald eine ausreichend hohe Feuchtigkeit gegeben ist, wurde dieser Baustoff als ideal für derartige praxisnahe Untersuchungen erachtet.

4 Material und Methoden

4.1 Verwendete Untersuchungsmaterialien und –methoden

4.1.1 Verwendeter Testorganismus

Als Testorganismus wurde die schnell wachsende *Penicillium*-Spezies *P. chrysogenum* benutzt. *Penicillium*-Schimmelpilze können auf Befallsflächen in Innenräumen sehr häufig nachgewiesen werden. Die für die Versuche verwendete Spezies wurde nach einem schweren Wasserschaden in hohen Konzentrationen auf Gipskarton-Deckenabhängungen und innerhalb der Betonkonstruktion einer Geschosdecke gefunden (Anhang 3). Die *Penicillium*-Spezies ist somit nicht nur in der Lage, auf Baustoffen mit hohem Organikgehalt zu wachsen, sondern kann grundsätzlich auch im alkalischen Milieu mineralischer Baustoffe zur Vermehrung kommen. *Penicillium chrysogenum* erschien für die Versuche daher sehr gut geeignet. Die Kultivierung bei den Untersuchungen dieses Berichts erfolgte auf DG18-Agar und Sabouraud-Dextrose Agar. Auf beiden Medien können bei *P. chrysogenum* hohe Wachstumsraten erzielt werden.

4.1.2 Verwendete Versuchsbaustoffe

Versuchsbaustoffe mit hohem Organikanteil

Als Versuchsbaustoffe mit hohem Organikanteil wurden Gipskarton (GK)-Platten verwendet, deren Belag vollständig aus Zellulose besteht und bei entsprechender Feuchte innerhalb weniger Tage von Schimmelpilzen bewachsen wird. Testplatten mit einer Stärke von 12 mm wurden auf Kantenlängen von 300 x 400 mm zugeschnitten, mit Sporensuspension von *Penicillium chrysogenum* angeimpft, so lange bebrütet, bis sie dicht mit Myzel bewachsen waren und anschließend mit Schimmelschutz (siehe Kap. 4.1.3, Abb. in Anhang 4) gestrichen.

Rein mineralische Versuchsbaustoffe

In einer zweiten Versuchsreihe wurden mineralische Porenbeton (PB)-Bausteine (50 mm Stärke) als Wachstumsuntergrund benutzt. Die Bausteine wurden auf Größen von 200 x 140 mm zugeschnitten, mit Sporen beimpft und direkt anschließend mit Schimmelschutz 1 und 2 gestrichen (Anhang 4).

4.1.3 Oberflächenbeschichtung mit Schimmelschutz

Der GK wurde mit Schimmelschutz (SS) 1 vorgestrichen, bei Raumtemperatur für 24 Stunden getrocknet und anschließend mit SS 2 überstrichen. Die Schichtdicke betrug gemäß den Vorgaben des Herstellers bei SS 1 (grau) etwa 0,5 mm und bei SS 2 (weiß) 0,3 mm. Der Porenbeton wurde wie die GK-Platten beschichtet, zuvor allerdings für 24 h gewässert.

4.1.4 Bebrütung der Baustoffproben

Die Bebrütung der beimpften / bewachsenen und beschichteten Materialproben erfolgte in Transportbehältern aus Kunststoff, deren Boden permanent vollständig mit Leitungswasser bedeckt gehalten wurde (Anhang 4). Die Behälter wurden bei Raumtemperatur gelagert. Die Bebrütungsdauer betrug insgesamt etwa 18 Monate. Die relative Luftfeuchtigkeit lag während der gesamten Versuchsdauer im Bereich von 90 bis 98 %.

4.1.5 Oberflächenanalyse auf Pilze mit Abdruckproben

Die Untersuchung der Pappschicht von GK auf Schimmelpilzbewuchs erfolgte mit einer Abdruckmethode. Der Belag wurde mit einem Skalpell eingeschnitten und die Pappe in Schichten vom Gipsuntergrund abgelöst (Anhang 5). Die Pappschichten wurden in einer Lage auf Nährmedium aufgelegt, mit einer Pinzette fest angedrückt und anschließend wieder abgenommen. Der Probenumriss wurde auf der Rückseite der Petrischalen mit einem Filzschreiber markiert. Die Platten - bei diesen Untersuchungen wurde DG18-Agar (Merck, Darmstadt) verwendet - wurden bei 25 °C für 5 Tage bebrütet.

Eine einigermaßen exakte Bestimmung der Schimmelpilz-Konzentrationen gelingt mit dieser Methode aber nur bei geringer bis mäßig starker Belegung von Oberflächen mit Sporen. Die maximal messbare Belegdichte beträgt - je nach Pilzart - bis maximal etwa 20 Koloniebildenden Einheiten (KBE) pro cm². Die Dichte des Pilzmyzelbewuchses auf Oberflächen ist mit der Abdruckmethode nicht feststellbar, da auch Einzelzellen zu Kolonien auswachsen und selbst im frühen Wachstumsstadium „Rasenbildung“ beobachtet wird. In diesem Bericht wird von Rasenbildung gesprochen, wenn die gesamte Oberfläche einheitlich bewachsen ist und Einzelkolonien nicht mehr unterscheidbar sind. Die Angabe der Schimmelpilz-Konzentrationen auf Oberflächen im Ergebnisteil erfolgt halbquantitativ in sechs Konzentrationsstufen, die bei Verwendung von *P. chrysogenum* als Testorganismus nach 48-stündiger Bebrütung visuell noch gut unterscheidbar sind:

<u>Stufe</u>	<u>Koloniedichte</u>	<u>Bewertung</u>
Stufe 0:	keine Kolonie gewachsen	Fläche nicht sporenbelastet
Stufe 1:	0-1 Kolonie/cm ² gewachsen	Fläche gering sporenbelastet
Stufe 2:	1-5 Kolonien/cm ² gewachsen	Fläche mäßig sporenbelastet
Stufe 3:	5-20 Kolonien/cm ² gewachsen	Fläche hoch sporenbelastet
Stufe 4:	> 20 Kolonien/cm ² gewachsen	Fläche vermutlich bewachsen
Stufe 5:	Rasenbildung (*)	Fläche bewachsen

(*) Einzelkolonien nicht mehr unterscheidbar

4.1.6 Mikroskopische Oberflächenuntersuchung

Sowohl Sporen als auch Pilzzellen können auf Abdruckproben zu Einzelkolonien auswachsen. Hohe Belegdichten mit Sporen (z.B. nach einer Probenbeimpfung) können von Myzelwachstum mit dieser Methode nicht unterschieden werden. In beiden Fällen ist nach 48-stündiger Inkubation Rasenbildung feststellbar (vgl. Kap. 4.1.5). Die Untersuchung, ob Oberflächen, auf denen eine hohe Koloniedichte gemessen wurde, mit Sporen belegt oder mit Pilzmyzel bewachsen sind, erfolgte mit mikroskopischen Methoden. Mit einem transparenten Klebefilm wird eine Kontaktprobe von der Oberfläche genommen und die Pilze anschließend mit Löfflers Methylenblaulösung (Merck, Darmstadt) angefärbt. Die Analyse erfolgt im Mikroskop bei 40 bis 100-facher optischer Vergrößerung (Anhang 2).

4.1.7 Klimamessungen

Für die Klimamessungen wurden Feuchtigkeits- und Temperatureinheitsheiten des Typs HygroLog der Rotronic AG (Bassersdorf, Schweiz) verwendet. Die Kontrolle der Feuchte gelagerter Proben erfolgte mit Miniaturfühlern (\varnothing 5 mm), die unmittelbar auf die Probenoberflächen aufgelegt wurden.

4.2 Durchführung der Materialuntersuchungen

4.2.1 Vorbereitung organischer Versuchsoberflächen

Die Testplatten aus Gipskarton (GK) waren zu Versuchsbeginn im Februar 2004 im Autoklaven sterilisiert, anschließend mit Sporensuspension beimpft und bei 90 bis 98 % rF bebrütet worden. Für 21 Tage bebrütete GK-Platten waren auf ihrer gesamten Fläche mit Myzel bewachsen und dicht mit (sekundär) gebildeten Sporen belegt (Anhang 2). Die Untersuchung einer Kontrollplatte ergab, dass bereits tiefere Schichten des Pappbelags mit Myzel bewachsen waren.

Die Proben wurden gemäß den Angaben in Kap. 4.1.3 mit Schimmelschutz 1 und 2 gestrichen, anschließend weiter bebrütet und nach 18 Monaten abschließend auf ihren Gehalt an Biomasse untersucht. Im Vorfeld des Anstrichs des GK mit Schimmelschutz wurde die Kartonschicht am Rand rundherum auf etwa 30 mm Tiefe abgelöst. Durch diese Maßnahme sollte ein vollständiger Einschluss der Zelloseleichte auch in Randbereichen gewährleistet und seitliches Einwachsen von Schimmelpilzen in die Pappschichten unterbunden werden (Anhang 4).

4.2.2 Vorbereitung mineralischer Versuchsoberflächen

Als Versuchsbaustoff ohne C-Quelle wurde Porenbeton benutzt. Die Proben (150 x 300 x 50 mm) wurden mit insgesamt 5 ml verdünnter Suspension inokuliert und anschließend gestrichen. Die durchschnittliche Oberflächenbelegung mit Sporen lag nach der Beimpfung in der Größenordnung von etwa 1×10^2 Sporen/cm². Beimpfte Porenbeton-Proben wurden mit SS 1 gestrichen, erneut mit Sporen inokuliert und anschließend mit SS 2 überstrichen.

4.2.3 Zusammenfassung der Versuchsansätze

Die Abfolge der Arbeitsschritte bei der Probenherstellung der beiden Versuchsansätze ist in der Tabelle 4.1 zusammengestellt.

Tab. 4.1: Versuchsansätze und Abfolge der Behandlungsschritte.

Nr.	Befallsstärke auf der Oberfläche	Untergrund	Abfolge der Behandlungsschritte bei der Probenherstellung
1.1	dichter Bewuchs	GK	Myzel-SS1-SS2
2.3	Kontamination	PB	Sporen-SS1-Sporen-SS2

SS: BIOZEM Schimmelschutz 1 (1. Arbeitsgang, grau) und 2 (Anstrich, weiß)
 GK: Gipskartonplatte
 PB: Porenbetonplatte

4.2.4 Mikrobiologische Probenahme

Bei der abschließenden Untersuchung der GK-Platten wurden mit einem Skalpell Fenster in den Schimmelschutzbelag geschnitten und der Belag, bestehend aus Schimmelschutz und Pappschicht, vom Gipsuntergrund abgelöst. Verschiedene Schichten des Belags wurden mit einer Pinzette vorsichtig voneinander gelöst. Die Untersuchung der Oberflächen der Probenschichten erfolgte mit mikroskopischen und kulturellen Methoden (Klebestreifen- bzw. Abdruckmethode) gemäß Kapitel 4.1.5 und 4.1.6 (Bildokumentation im Anhang 5).

4.2.5 Bewertung der Schimmelpilzdichte auf Oberflächen

Die Angabe der Schimmelpilzdichte auf Probenoberflächen als Zahlenwert auf einer Skala von 0 bis 5 in der Ergebnistabelle des folgenden Kapitels bezieht sich aus Gründen der Reproduzierbarkeit ausschließlich auf die mit kulturellen Verfahren (Abdruckmethode) gemessene Koloniedichte. Eine Angabe der mit mikroskopischen Methoden gemessenen Sporendichte ist aufgrund des kleinen Flächenausschnitts und der großen lokalen Schwankungen der Belegungsdichte auf den Probenoberflächen weder halbquantitativ noch grob orientierend möglich. Die Bestimmung der auf eine Fläche bezogenen Pilzdichte bei bewachsenen Oberflächen (z.B. Zellen+Sporen/cm²) ist mit mikroskopischen Methoden ohnehin allenfalls deskriptiv / vergleichend möglich.

4.2.6 Eingießversuche

Mit Schimmelschutz gestrichene Keramikfliesen (50 x 50 mm) wurden im Autoklaven sterilisiert, in Kunststoff-Petrischalen überführt und in Sabouraud-Dextrose-Agar (Oxoid) eingegossen. Die Petrischalen wurden so weit mit Nährmedium gefüllt, dass die Probenstücke bis zur Oberkante vollständig eingeschlossen waren (ca. 14 ml Medium). Nach Aushärtung des Agars wurden jeweils etwa 0,2 ml Sporenlösung mit einer Sprühflasche gleichmäßig auf Nährmedium und Probenoberfläche verteilt.

Die Sporensuspensionen wurden durch wiederholtes Überspülen von Agarplatten, die Reinkulturen von *P. chrysogenum* enthielten, hergestellt. Als Spüllösung wurde NaCl-Lösung (0,9 %) mit Netzmittel Tween 80 (0,01 %) benutzt. Die Rohsuspensionen wurden durch Verdünnung mit NaCl-Lösung auf eine Endkonzentration von etwa 1×10^6 Sporen/ml eingestellt.

Zur Kontrolle wurden Kalziumsilikat-Dämmplatten, die ebenfalls auf Kantenlängen von 50 x 50 mm zugeschnitten worden waren, untersucht. Aufgrund ihrer Materialstärke von ca. 30 mm wurden für diese Proben Bechergläser als Kulturgefäß benutzt, die mit steriler Aluminiumfolie abgedeckt wurden. Einige Dämmplattenproben wurden horizontal durchschnitten, so dass eine den Keramikfliesen entsprechende Stärke resultierte (ca. 15 mm). Diese Proben wurden in herkömmliche Plastikpetrischalen eingegossen.

Die Proben wurden für 21 Tage bei 25 °C bebrütet, die Untersuchung der Probenoberflächen auf Sporenkeimung und Myzelwachstum erfolgte mit mikroskopischen Methoden (Kap. 4.1.6).

Parallel zu den o.g. Versuchsansätzen wurden Proben vorangegangener Eingießversuche vom März 2004, die in Plastiktüten verpackt in einem Kühlraum bei hoher Feuchte (> 90% rF) gelagert worden waren, abschließend mikroskopisch auf Sporenkeimung und Schimmelpilzbewuchs kontrolliert.

5 Untersuchungsergebnisse

5.1 Bewachsener Gipskarton (GK) als Versuchsbaustoff

Untersuchung der Probenoberflächen

Die gelagerten GK-Proben waren während der Versuche langfristig mit Kondenswasser, das sich auf den Deckeln der Transportbehälter gebildet hatte und auf die Platten herabtropfte, überschichtet. Das Kondenswasser stand aufgrund der langen Kontrollrhythmen z.T. über einen Zeitraum von Monaten auf den Probenoberflächen. Diese Bedingungen können nicht als repräsentativ für die Anwendung des Produktes im Innenraumbereich angesehen werden sondern simulieren ein „worst-case“ Szenario.

Die gestrichenen Gipskartonplatten waren nach 18-monatiger Inkubation bei 90-98% relativer Feuchte in großen Bereichen verfärbt. Bei den Verfärbungen handelte es sich nur zum Teil um Schimmelpilzkolonien, in helleren Tönen verfärbte Bereiche erwiesen sich bei der Mikroskopanalyse als nicht bewachsen (Anhang 6). Auf den Probenoberflächen wurden verschiedene Pilzspezies, die auch im Innenraum auf stark durchfeuchteten Oberflächen anzutreffen sind, nachgewiesen (z.B. Acremonium und Stachybotrys). Neben Schimmelpilzen wurden in den Klebestreifenkontaktproben Bakterien in teils beträchtlicher Zahl gefunden.

Die Proben GK1 und GK2 waren bereits bei den mikrobiologischen Untersuchungen des Erstgutachtens im Mai 2004 lokal angeschnitten und geöffnet worden. Durch die anhaltende Feuchtigkeitseinwirkung waren die Gipsplatten der beiden Proben marode und bereits mehrfach gebrochen. Die Probe GK3 hingegen befand sich weitestgehend im Originalzustand des Versuchsbeginns im Februar 2004 und war nur im Eckbereich durchgebrochen.

Untersuchung des Beschichtungsaufbaus

Bei der Untersuchung der Kartonage des GK der Proben 1-3 konnte gegenüber Versuchsbeginn und nach 2-monatiger Bebrütung eine Zunahme der Koloniedichte nicht festgestellt werden. Die mit der Abdruckmethode gemessene Koloniedichte gab keine Hinweise auf aktuelle Biomassevermehrungen innerhalb der Pappschicht. Die halbquantitativ ermittelte Koloniedichte überschritt i.d.R. den Wert 4 nicht („vermutlich bewachsen“, vgl. Kap. 4.1.5). Rasenbildung wurde auf den Abdruckproben vorzugsweise auf der oberen Papierlage unmittelbar unter dem aufgetragenen Schimmelschutz 1 nachgewiesen. Die Koloniedichte war aber bei allen Abdruckproben, die von den drei GK-Platten genommen wurden, signifikant geringer als bei der Probenanalyse nach 2-monatiger Bebrütung (Anhang 7). Die Ergebnisse der halbquantitativen Schimmelpilzbestimmung mit Abdruckuntersuchungen sind in der Tabelle 5.1 zusammengefasst:

Tab. 5.1: Befunde der Abdruckuntersuchung der Beschichtung auf GK (Auswertung siehe Kap. 4.1.5 auf S. 6)

Nr.	Probe	Befund
GK1-ES 1	Unterseite SS1 mit Pappresten	4
GK1-ES 1	mittlere Pappschicht	4
GK1-ES 2	Unterseite SS1 mit Pappresten	1
GK1-ES 2	mittlere Pappschicht	1
GK1-ES 3	1.Pappschicht unter SS1	2
GK1-ES 4	mittlere Pappschicht	4
GK2-ES 1	1. Pappschicht unter SS1	4
GK2-ES 1	mittlere Pappschicht	4
GK2-ES 2	1. Pappschicht unter SS1	2 (lokal 3)
GK2-ES 2	Pappschicht direkt auf Gips	2
GK2-ES 3	Unterseite SS1 mit Pappresten	2
GK2-ES 3	mittlere Pappschicht	2
GK2-ES 4	Unterseite SS1 mit wenig Pappresten	2
GK2-ES 4	1. Pappschicht unter SS1	4
GK2-ES 4	mittlere Pappschicht	2
GK3-ES 1	1. Pappschicht unter SS1	2
GK3-ES 1	mittlere Pappschicht	2
GK3-ES 1	Pappschicht direkt auf Gips	1
GK3-ES 2	1. Pappschicht unter SS1	2
GK3-ES 2	mittlere Pappschicht	2
GK3-ES 2	Pappschicht direkt auf Gips	1
GK3-ES 3	Unterseite SS1 mit wenig Pappresten	2
GK3-ES 3	1. Pappschicht unter SS1	4
GK3-ES 3	mittlere Pappschicht	4
GK3-ES 4	1. Pappschicht unter SS1	4
GK3-ES 4	mittlere Pappschicht	4
GK3-ES 4	Pappschicht direkt auf Gips	4
GK3-ES 5	Unterseite SS1 mit wenig Pappresten	2
GK3-ES 5	mittlere Pappschicht	2
GK3-ES 5	Pappschicht direkt auf Gips	1
GK3-ES 6	1. Pappschicht unter SS1	2
GK3-ES 6	mittlere Pappschicht	2
GK3-ES 6	Pappschicht direkt auf Gips	2

(ES) Einschnittstelle

Vor dem Streichen der Probe mit Schimmelschutz bei Versuchsbeginn waren die Pappschichten des GK dicht mit Pilzmyzel bewachsen und mit sekundär gebildeten Sporen verschmutzt. In Mikroskoppräparaten, die nun mit der Klebefilmtechnik von Pappschichten der Proben GK 1 und GK 3 genommen wurden, konnten aktive konidiogene Zellen (Phialiden mit Sporenbildung) nicht gefunden werden. Die große Mehrzahl der gekeimten Schimmelpilzsporen war über wenig zellige „Keimschläuche“ nicht hinaus ausgewachsen. Einige waren zu Mikrokolonien mit abnormer Morphologie ausgewachsen. Das Erscheinungsbild vieler Pilzkolonien und -keime im Mikroskop deutete auf deren Degeneration hin (vgl. Anhang 5).

Auf freipräparierten Unterseiten des Schimmelschutzanstrichs (SS1) war Schimmelpilzwachstum mit der Abdruckmethode nicht nachweisbar. Schwärzepilze und *Acremonium* konnten mit der Abdruckmethode in der Pappe nicht nachgewiesen werden. Dies auch nicht an denjenigen Stellen, an denen die Oberseite (SS2) erkennbar mit diesen Pilzen bewachsen war. Die oberflächlich wachsenden Pilze hatten den Schimmelschutzanstrich offenbar nicht durchwachsen.

5.2 Inokulierter Porenbeton (PB) als Versuchsbaustoff

Beschreibung der Probenoberfläche nach 18 Monaten

Die hier analysierten Porenbeton-Steine waren im Februar 2004 mit Sporen von *P. chrysogenum* beimpft und sofort danach mit SS 1 und SS 2 gestrichen worden. Auch dieser Ansatz wurde über einen Zeitraum von 18 Monaten bei 90-98% relativer Feuchte inkubiert und die Oberfläche im August 2005 mit mikroskopischen Methoden auf Schimmelpilze untersucht.

Die Oberflächen des Schimmelschutzanstrichs waren auf den beiden Proben PB1 und PB2 in sehr unterschiedlichem Maße bewachsen. Im Falle der Probe PB2 war nahezu die gesamte Oberfläche diffus mit Schwärzepilzen bewachsen, wobei Einzelkolonien allerdings noch mit bloßem Auge unterschieden werden konnten (Anhang 6). In Klebestreifenpräparaten von dieser Probe waren neben Sporen von „Schwärzepilzen“ nicht weiter differenzierte Bakterien in großer Zahl enthalten.

Die Probe PB1 war in erheblich geringerem Maße mit Schimmelpilzen bewachsen als PB2. Koloniebildung fand in eng abgegrenzten Bereichen statt. Bakterien wurden in den angefertigten Klebestreifenpräparaten nicht gefunden.

Es stellte sich die Frage, ob die „Schwärzepilze“ lediglich in einem oberflächlichen *Biofilm* auf dem Schimmelschutz lokalisiert sind oder in Poren des Anstrichs einzudringen und diesen allmählich zu zerstören vermögen. Bei ausschließlich oberflächlichem Bewuchs müsste es möglich sein, die Schimmelpilze auf den Probenoberflächen mit einfachen Reinigungsmaßnahmen wieder zu entfernen.

Um dies zu untersuchen, wurden die Porenbetonproben unter fließendem Leitungswasser mit einer Kunststoff-Handreinigungsbürste abgeschrubbt. Die Probe PB1 wurde nach der mechanischen Reinigung zusätzlich mit alkoholischer Lösung (70%) gespült.

Es zeigte sich, dass die Schwärzepilze mit dieser Maßnahme ohne Schwierigkeiten entfernt werden können (Anhang 8). Bei der Kontrolle der Probenoberfläche wurden nur noch geringe Mengen an Acremonium-Sporen gefunden. Schwärzepilze waren nicht mehr nachweisbar.

Die Proben wurden nach Ergreifung der Reinigungs- und Desinfektionsmaßnahmen bei Raumtemperatur und 90-98% rF bebrütet und in den folgenden Wochen mit mikroskopischen Methoden auf Schimmelpilze kontrolliert. Zum Zeitpunkt der Erstellung des vorliegenden Gutachtens - drei Wochen nach erfolgter Reinigung - waren die Oberflächen nicht wieder mit Schimmelpilzen bewachsen.

Untersuchung des Beschichtungsaufbaus

Der Beschichtungsaufbau des Porenbetons wurde nicht auf Schimmelpilze untersucht, da dies die vollständige Zerstörung der Proben zur Folge gehabt hätte. Die Proben werden weiter bebrütet, um auf ihre Neubesiedelung zu untersuchen.

5.3 Eingießversuche

Die im Erstgutachten vom August 2004 dokumentierten Ergebnisse (Anhang 1) wurden bei den Untersuchungen der vorliegenden Expertise mit der Eingießmethode bestätigt. Demnach können mineralische Probenstücke, die mit Schimmelschutz gestrichen wurden, nicht von Schimmelpilzen überwachsen werden. Zwar konnte auf einigen Proben bereits nach 48-stündiger Bebrütung lokal Myzelbildung beobachtet werden. Dies war in den häufigsten Fällen an Störungen der Materialoberfläche wie z.B. in Bereichen mit Blasenbildung der Fall. Es handelte sich aber in allen Fällen um eng eingegrenzten, diffusen Bewuchs. Weitere Biomassevermehrungen waren auf den bewachsenen Stellen während der folgenden Bebrütung aber nicht nachweisbar.

Auf den im März 2004 zurückgestellten und bei hoher Feuchtigkeit (> 90% rF) gelagerten Proben der Eingießversuche hingegen war auch bei der Kontrolle im August 2005 keinerlei Pilzwachstum nachweisbar. Selbst Oberflächenstellen, die beim Gießen der Proben mit Kulturmedium verschmutzt wurden, waren nach knapp 1½-jähriger Lagerung nicht bewachsen.

Die bei den Eingießversuchen zum Vergleich mitgeführten Kalziumsilikatdämmplatten waren nach 14-tägiger Bebrütung fast vollständig mit dichtem Myzel überwachsen. Beginnender Bewuchs der Proben war bereits nach 48 h feststellbar, allerdings zunächst nur in peripheren Bereichen. Der äußerst schnell ablaufende

periphere Bewuchs wird damit erklärt, dass der Dämmstoff aufgrund seiner hygroskopischen Eigenschaften beim Gießen der Platten im Randbereich Nährmedium aufgesogen hatte. Das beobachtete Pilzwachstum konnte allerdings bereits innerhalb weniger Tage von der Probenperipherie auf zentrale Probenbereiche übergreifen (Anhang 6).

6 Diskussion

Bei der Baustoffprüfung der vorliegenden Untersuchung sollte ein „worst case Szenario“ aus der Schimmelsanierungspraxis gezeichnet werden. Mit Schimmelpilzen bewachsene, zellulosehaltige Untergründe wurden direkt mit BIOZEM Schimmelschutz überstrichen und bei hoher Luft- und Materialfeuchte bebrütet. Oberflächen und der Schichtaufbau wurden dabei einer mykologischen Langzeitkontrolle unterzogen. Originärer Untergrund und äußere Oberfläche des Anstrichs wurden nach 18-monatiger Bebrütung unter „*schimmelpilzwachstums-optimierten*“ Bedingungen abschließend untersucht.

In dem überstrichenen Zellulosebelag der drei GK-Proben konnten Biomassevermehrung oder sekundäre Sporenbildung nicht festgestellt werden. Die Abdruckproben waren bei der abschließenden Kontrolle vielmehr in signifikant geringerem Maße bewachsen als bei der Zwischenkontrolle (2-monatige Bebrütung). Dieser Befund könnte damit erklärt werden, dass vegetative Schimmelpilzzellen, die wie Pilzsporen gleichermaßen zur Koloniebildung auf Nährmedien in der Lage sind, im Laufe des Versuches degenerierten. Die ursprünglich auf den Zellulosebelag aufgebrauchten bzw. nach Vorbebrütung durch sekundäre Sporulation neu gebildeten Sporen dürften bei den gestellten Versuchsbedingungen ihre Keimfähigkeit weitestgehend bewahrt haben.

Die bei diesen Untersuchungen nachweisbare biostatische Wirkung des Schimmelschutzanstrichs könnte im Falle der eingeschlossenen Zelluloseschicht mit einem Zusammenspiel folgender vier Faktoren gemäß den vom Hersteller gemachten Produktangaben erklärt werden: Dem alkalischen Milieu (1), der hohen Dampfdiffusionsfähigkeit (2) bei unterbundenem Wassertransport (3) sowie dem weit gehenden Sauerstoffabschluss innerhalb der Beschichtung (4). Der Einfluss der jeweiligen Faktoren auf die erhaltenen Versuchsergebnisse wird wie folgt bewertet:

1. Einfluss des pH-Werts

Gemäß den Herstellerangaben stellt sich in Feuchtigkeitsfilmen auf Schimmelschutz (SS2) ein pH-Wert von 11-12 ein. Schimmelpilze weisen bei leicht sauren Milieubedingungen die höchsten Wachstumsraten auf (i. A. pH 5 bis pH 6). Im Bereich der Sanierungsausführung im Bauwesen gelten alkalisch eingestellte Anstriche und Baumaterialien (z.B. Kalkverputz oder Zementmörtel) aufgrund ihrer Alkalität als „*nicht von Schimmelpilzen besiedelbar*“.

Die Praxis hat allerdings gezeigt, dass Schimmelpilze auch auf alkalisch eingestellten Untergründen wachsen können, wenn entsprechende Randbedingungen gegeben sind. Als Beispiel werden Betondecken und –wände in dauerfeuchten Kellern oder in Sanitäreinrichtungen genannt. Voraussetzung für Schimmelwachstum auf Oberflächen, auch auf alkalischen, ist generell ein

ausreichendes Angebot an organischen Verbindungen. Diese werden auf dauerfeuchten Oberflächen in aller Regel zunächst von Bakterien, die sich weitaus schneller vermehren als Pilze und toleranter gegenüber erhöhten pH-Werten sind, genutzt. Im Zuge der mikrobiellen Metabolisierung der C-Verbindungen werden organische Säuren gebildet, die das Milieu ansäuern. Die Ansäuerung des entstandenen Biofilms wird durch Lösung von Kohlendioxid beschleunigt. Erst diese bakteriell gebildeten Biofilme bieten Schimmelpilzen gute Wachstumsbedingungen.

Die bei diesem Versuchsansatz in Transportbehältern gelagerten Proben waren annähernd während der gesamten Versuchsdauer mit Kondenswasser, das auf den Behälterdeckeln abgeschieden wurde und von diesen abtropfte, benetzt. Bereits nach wenigen Wochen, also in einem sehr frühen Stadium der Versuche, konnte auf einem Großteil der Proben Bakterienwachstum beobachtet werden. Das auf einigen Probenoberflächen festgestellte Schimmelpilzwachstum könnte somit mit einer „Biofilmbildung“ auf der alkalischen Schimmelschutzoberfläche erklärt werden.

Bei Schimmeluntersuchungen im Innenraum sind auf alkalisch eingestellten Baustoffen wie Betondecken und -wänden oder Zementverputz sehr häufig *Acremonium*-Schimmelpilze nachweisbar. Auch in der vorliegenden Expertise wurden auf Probenstücken, deren Schimmelschutzanstrich bewachsen war, zuerst *Acremonium*-Pilze gefunden. Die bei den Versuchen mit bewachsenen / inokulierten Baustoffen als Kontrolle mitgeführte Kalziumsilikat-Dämmplatte war bereits nach wenigen Wochen Versuchsdauer in hohem Maße mit Sporen von *Acremonium* belastet. Bei *Acremonium* handelt es sich nach den Erfahrungen in der Sachverständigenpraxis um einen „Pionier“ bei der pilzlichen Besiedelung alkalischer Oberflächen. Von Schimmelpilzen ist bekannt, dass im Sekundärstoffwechsel gebildete organische Säuren in das Umgebungsmilieu abgegeben werden (großtechnisch genutzt z.B. bei der industriellen Herstellung von Zitronensäure durch *Aspergillus niger*). Bei der Zerlegung von Zuckermakromolekülen durch Pilze, die durch pilzliche Exoenzyme katalysiert wird, werden ebenfalls organische Säuren freigesetzt.

Einer mikrobiellen Ansäuerung von Baustoffoberflächen kann aus diesem Grunde grundsätzlich auch mit hohen Untergrund-pH-Werten nicht dauerhaft sicher vorgebeugt werden. Der Prozess der Ansäuerung ehemals alkalischer Oberflächen konnte in bewachsenen Randbereichen einzelner Probenstücke bei den Eingießversuchen eindeutig nachvollzogen werden.

Bei solchen Versuchsbedingungen, wie sie in der vorliegenden Untersuchung gestellt wurden, kann der Einfluss des hohen pH-Werts als gering bzw. lediglich als „*Befall verzögernd*“ eingestuft werden. Schimmelpilze werden bei pH-Werten bis 12 (SS1: pH 10) lediglich inaktiviert, nicht aber abgetötet. Hinsichtlich der festgestellten Unterbindung weiteren Schimmelwachstums innerhalb der Zellosoeschicht des GK

wäre ein Einfluss des pH-Werts des Schimmelschutzes ohnehin allenfalls in den oberen, mit SS1 inkrustierten Pappschichten zu erwarten. Die beobachtete Wachstumshemmung auf tieferen Pappschichten kann mit den chemischen Eigenschaften des Schimmel-schutzanstrichs hingegen nicht erklärt werden.

2. Einfluss der Dampfdiffusionsfähigkeit

Die Gipskarton- und Porenbetonproben wurden in verschlossenen Kunststoffbehältern und somit permanent in annähernd wasserdampfgesättigter Atmosphäre bebrütet. Die vom Hersteller angegebene hohe Dampfdiffusionsfähigkeit des Schimmelschutzanstrichs ist bei diesen Lagerungsbedingungen ohne Zweifel vollständig außer Kraft gesetzt.

3. Wasserleitfähigkeit

Schimmelschutz zeichnet sich gemäß den Herstellerangaben bei hoher Dampfdiffusionsfähigkeit durch eine verhältnismäßig geringe Wasseraufnahmekapazität aus. Transport und Verlagerung *freien* Wassers innerhalb des Anstrichs sind überhaupt nicht möglich. In der Praxis der Vorbeugung von Schimmelpilzwachstum 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 Raumlufffeuchtigkeit 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 aufgrund von Feuchtigkeitsabscheidungen auf Oberflächen günstige Wachstumsbedingungen für Pilze gegeben sind, in bedeutendem Maße verengt werden können.

Eine Oberflächenbesiedelung durch Pilze kann durch beschleunigtes Abtrocknen von Baustoffen zwar nicht völlig unterbunden, wohl aber erheblich verzögert werden. Gequollene und auskeimende Pilzsporen reagieren sehr empfindlich auf eine Austrocknung ihrer 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 des vorliegenden Berichts (Kap. 5).

Die Versuchsbedingungen dieser Expertise entsprachen also insofern nicht den Verhältnissen bewohnter Innenräume, als dass ein zwischenzeitliches Abtrocknen der Oberflächen und mögliche Degenerationsprozesse primärer Myzelzellen durch Dehydratation völlig unterbunden waren.

4. Einfluss des Sauerstoffabschlusses

Als weiterer Faktor bei der nachgewiesenen Unterbindung pilzlichen Wachstums durch Schimmelschutz könnte Sauerstoffmangel in Betracht kommen. Im praxisnahen Versuchsansatz dürfte sich aufgrund der Inkrustierung des Zelluloseuntergrunds mit SS1, wenn auch nicht völliger Sauerstoffabschluss, zumindest aber ein Sauerstoffdefizit ausgebildet haben. Dieses wurde durch die unterbundene Wasserleitfähigkeit und den hohen Gasdiffusionswiderstand der gestrichenen Pappschicht aufrechterhalten. Lediglich an den Rändern der GK-Proben wurde nach 2 Monaten Versuchsdauer auf 10-20 mm begrenztes seitliches Einwachsen von Pilzmyzel in die Pappschicht nachgewiesen. In den folgenden 16 Monaten war weiteres Vordringen der Pilze aber offenbar nicht möglich (Anhang 7).

In den Pappschichten der Proben GK1 und GK2 wurden nach 18 Monaten tendenziell mehr kultivierbare Schimmelpilze gefunden als in der Probe GK3. Diese Beobachtung stützt die Vermutung, dass Sauerstoffdefizite einen Einfluss auf die beobachtete wachstumshemmende Wirkung von Schimmelschutz haben. Die Proben GK1 und GK2 waren bereits bei den Zwischenuntersuchungen nach 2-monatiger Bebrütung lokal aufgeschnitten worden. Deren Gipsplatten waren bei Versuchsende sehr marode und mehrfach gebrochen. GK3 hingegen war bei den Zwischenuntersuchungen nicht beprobt worden, Schimmelschutzbelag und Gipsuntergrund waren noch weitestgehend unversehrt. In äußeren Bereichen dieser Probe GK3 waren Pilze zwar in signifikant höheren Konzentrationen enthalten als in zentraleren Bereichen der GK-Platte (Entnahmestellen 1,2,5 und 6 in Tab. 5.1). Die Schimmelpilzgehalte der Kartonage waren aber insgesamt in allen Probenbereichen geringer als gegenüber den Verhältnissen nach 2-monatiger Bebrütung. Die festgestellte Verminderung der Koloniezahlen könnte mit der Degeneration (aerober) vegetativer Pilzmyzelzellen unter Sauerstoffabschluss erklärt werden.

Bei Würdigung der oben ausgeführten Betrachtungspunkte 1-4 wird deutlich, dass die hinsichtlich der Unterbindung pilzlichen Wachstums relevanten Produkteigenschaften des Schimmelschutzanstrichs in weiten Bereichen ausgeschaltet waren. Trotz dieser „worst case“-Bedingungen wurden die Proben nicht bzw. nur lokal bewachsen, Materialschädigungen waren nicht feststellbar. Nach den Ergebnissen dieser Untersuchungen kann Schimmelpilzwachstum innerhalb einer Beschichtung selbst dann ausgeschlossen werden, wenn Organik eingeschlossen und die Materialfeuchtigkeit anhaltend hoch gehalten wird.

Die Versuchsergebnisse zeigen aber auch, dass alkalisch eingestellte Baustoffe im Falle hoher Materialfeuchten und bei zunehmender Verschmutzung durch Organik von Bakterien und daher 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 nicht bzw. allenfalls nach sehr lange andauerndem Pilzbewuchs möglich ist kann eine Koloniebildung, die in der „Wohnpraxis“ nicht grundsätzlich vermeidbar sein dürfte, keine Schädigung der Anstrichoberfläche bewirken. Die Möglichkeit der Reinigung bewachsener Stellen könnte allerdings nur in frühen Befallsstadien gegeben sein. Sobald dunkel pigmentierte Myzelzellen in Oberflächenporen eingewachsen sind, ist eine Wiederherstellung des Originalzustandes durch Ergreifen einfacher Reinigungsmaßnahmen vermutlich nicht mehr möglich.

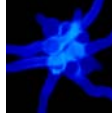
Die Ergebnisse der Eingießversuche zeigen, dass die aufgrund ihrer Alkalität weithin als nicht von Pilzen besiedelbar angesehene Kalziumsilikatdämmplatte bei den gestellten Untersuchungsbedingungen vollständig von *P. chrysogenum* überwachsen wird. Wenn auch auf einzelnen mit Schimmelschutz gestrichenen Probenstücken lokal diffuses Myzelwachstum feststellbar war, unterschied sich die Bewuchsdichte von Kalziumsilikat und Schimmelschutz um Größenordnungen (Anhang 6).

Bei der Nachkontrolle der zurückgestellten Eingießproben aus dem Jahre 2004 konnte auf BIOZEM Schimmelschutz weder Sporenkeimung noch Myzelwachstum festgestellt werden. Bei den niedrigen Bebrütungstemperaturen während der knapp 18-monatigen Lagerung sind Wachstumsprozesse zwar selbst bei den zur „Kühlschrankflora“ gehörenden *Penicillium*-Spezies stark verlangsamt. Auch ist als wachstumshemmend zu bewerten, dass die Nährstoffe der Medien vermutlich vollständig aufgezehrt waren. Bei der extrem hohen (Sekundär-) Sporenbelegung der Probenstücke und aufgrund der anhaltend hohen Oberflächenfeuchtigkeit wären zumindest bei einem messbaren Teil der *Penicillium*-Sporen erste Quellungs- und Auskeimungsprozesse möglich gewesen. Dies wurde bei der Kontrolle anderer in der Kühlkammer gelagerter, mit *P. chrysogenum* bewachsener Versuchsgegenstände und Verbrauchsmaterialien (z.B. inokulierter GK und DG18-Agar) belegt.

Bei der Mikroskopanalyse wurden auf der Schimmelschutzoberfläche allerdings weder gequollene noch gekeimte Sporen oder ausgewachsene Myzelzellen gefunden. Selbst Probenstellen, die beim Gießen der Platten mit Nährmedium verschmutzt wurden, waren nach Ablauf eines Jahres nicht bewachsen.

7 Literatur

- (1) DEININGER, C. (2001). Schimmelpilzproblematik in Innenräumen von Mitgliedsbetrieben der BGW. Schriftliche Arbeit als Teil zur Prüfung zur Aufsichtsperson der BG für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege, 2001
- (2) ANONYM (2002). Leitfaden zur Vorbeugung, Untersuchung, Bewertung und Sanierung von Schimmelpilzwachstum in Innenräumen. Veröffentlichung der Innenraumlufthygienekommission des Umweltbundesamtes Berlin , 2002
- (3) ANONYM (2001). Schimmelpilze in Innenräumen – Nachweis, Bewertung, Qualitätsmanagement. Bericht Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg, Stuttgart, 2001
- (4) SENKPIEL, K., BÖLL, U., OHGKE, H. UND BECKERT, J. (1991). Analyse einer Schimmelpilzbelastung im Innenraum mittels mikrobiologischer und physikalischer Untersuchungen. Gesundheits-Ingenieur-Haustechnik-Bauphysik-Umwelttechnik 112 (1991) Heft 2
- (5) SENKPIEL, K. UND OHGKE, H. (1992). Beurteilung der „Schimmelpilz“-Sporenkonzentration in der Innenraumluft und ihre gesundheitlichen Auswirkungen. Gesundheits-Ingenieur-Haustechnik-Bauphysik-Umwelttechnik 113 (1992) Heft 1
- (6) SCHATA, M. (1995). Allergische Erkrankungen im Innenraum. Zbl. Hyg. 197, 1-4 (1995), S. 196-211
- (7) SCHATA, M. (1990). Schadstoffe in Innenräumen: Allergene und mikrobielle Belastungen in Innenräumen. VDI-Verlag (1992).
- (8) ANONYM (1998). VDI-Richtlinie 6022, Blatt 1: Hygienische Anforderungen an Raumluftechnische Anlagen - Büro- und Versammlungsräume. VDI-Handbuch Raumluftechnik 1998



Anhang 1

Bericht über die Prüfung eines SCHIMMELSCHUTZ-Anstrichsystems der BIOZEM GmbH auf die Eignung zur Vorbeugung und Behandlung von Schimmelpilzbefallsflächen

Erstellt für die
BIOZEM GmbH
Alt Godshorn 75
30855 Langenhagen

August 2004

1 Zusammenfassung

Die BIOZEM GmbH, Hannover, beauftragte das Labor für Arbeits- und Umwelthygiene mit der Prüfung eines Anstrichsystems mit der Produktbezeichnung SCHIMMELSCHUTZ hinsichtlich dessen Eignung zur Vorbeugung und Behandlung von Schimmelpilzbefallsflächen im Innenraum. Im Zuge der Materialaustestung wurde in einem „praxisnahen“ Versuchsansatz Wachstum und Entwicklung von Schimmelpilzen auf entsprechend kontaminierten Baustoffoberflächen nach Behandlung mit dem Schimmelschutz-System untersucht. Die beimpften und überstrichenen Proben wurden bis zu 59 Tage bei hoher Luftfeuchtigkeit bebrütet und abschließend mikrobiologisch analysiert. Die Ergebnisse der praxisnahen Versuche mit bewachsenen / kontaminierten Baustoffoberflächen werden wie folgt zusammengefasst:

Die Materialproben wurden in einer annähernd wasserdampfgesättigten Atmosphäre gelagert, so dass die Dampfdiffusionsfähigkeit des Schimmelschutzsystems, die die Abtrocknung feuchter Oberflächen in der Praxis beschleunigt, außer Kraft gesetzt wurde. Feuchtigkeitsabgabe in die Luft und Abtrocknen der Probenoberfläche wurde durch die gewählten Lagerungsbedingungen weitgehend unterbunden („worst case“-Versuch). In dicht mit Schimmelpilzen bewachsenen Pappschichten von Gipskarton (GK) konnte nach dem Anstrich mit Schimmelschutz nach 59-tägiger Inkubation eine Vermehrung der Biomasse nicht nachgewiesen werden. Wurde die Pappschicht des GK mit Sporen beimpft und anschließend gestrichen, waren Keimprozesse und Myzelbildung unterbunden.

Auf mineralischen Probenoberflächen konnte weder bei den Ansätzen mit GK noch bei Verwendung von Porenbeton (PB) als Versuchsuntergrund nach einer Sporenbeimpfung eine Zunahme pilzlicher Biomasse beobachtet werden. Mit Schimmelschutz gestrichene Raufasertapete wurde aber auf der Unterseite bewachsen. Das Wachstum war allerdings relativ schwach ausgeprägt und lokal auf Bereiche begrenzt, wo sich die Tapete vom Schimmelschutzuntergrund gelöst hatte. Aus diesen Befunden leitet sich die Empfehlung ab, Tapetenbeläge in Verbindung mit Schimmelschutz nur dann zu verwenden, wenn eine dauerhaft feste Haftung auf dem Anstrichuntergrund sicher gestellt ist.

Tapetenbeläge, die mittels herkömmlichem Kleister auf PB aufgetragen und lediglich mit Schimmelschutz (SS) 2 (weiß) gestrichen wurden, waren bereits am 4. Tag auf der Unterseite dicht mit Pilzmyzel bewachsen. Dennoch konnte nach 59-tägiger Bebrütung auf der mit SS weiß gestrichenen äußeren Oberfläche Myzelbildung nicht nachgewiesen werden.

Neben praxisnahen Versuchsreihen hat die BIOZEM GmbH das Labor Dr. Missel beauftragt, Laborversuche unter möglichst standardisierten Bedingungen durchzuführen (Eingießversuche). Hierbei wurden Proben mit SS1 und SS2 gestrichen, in Nährmedium für Schimmelpilze eingegossen und anschließend mit Sporen beimpft. Nach 21-tägiger Bebrütung konnte auf den Probenoberflächen Myzelbildung und sekundäre Sporulation nicht festgestellt werden.

Die bei unseren Versuchen nachgewiesene biostatische Wirkung des Schimmelschutzanstrichs kann mit dem geringen Nährstoffangebot auf den gestrichenen Probenoberflächen sowie der vom Hersteller angegebenen hohen Alkalität (pH 12) des Anstrichsystems erklärt werden. Eine zusätzliche wachstums-hemmende Wirkung durch weitgehenden Sauerstoffabschluss der behandelten Oberfläche wird vermutet. Bei der abschließenden Probenentnahme in den "praxisnahen" Versuchsansätzen konnte eine sehr feste Bindung des Anstrichs sowohl auf organischen als auch auf mineralischen Untergründen festgestellt werden.

Die Befunde unserer Untersuchungen deuten darauf hin, dass Zellstoffbeläge, die mit dem Schimmelschutzsystem behandelt wurden, von Pilzen nicht mehr als C-Quelle genutzt werden können. Hieraus könnte für die Praxis abgeleitet werden, dass das Schimmelschutzsystem auch bei sukzessiver Verschmutzung durch organische Luftinhaltsstoffe und im Falle anhaltend hoher Oberflächenfeuchte nur oberflächlich von Schimmelpilzen bewachsen werden kann. Der Anstrich könnte dann - im Gegensatz zu herkömmlichen Wandbelägen - mit Desinfektionsmaßnahmen wieder gereinigt werden. Diese Annahme sollte allerdings durch entsprechende begleitende Langzeituntersuchungen in der Anwendungspraxis bestätigt werden.

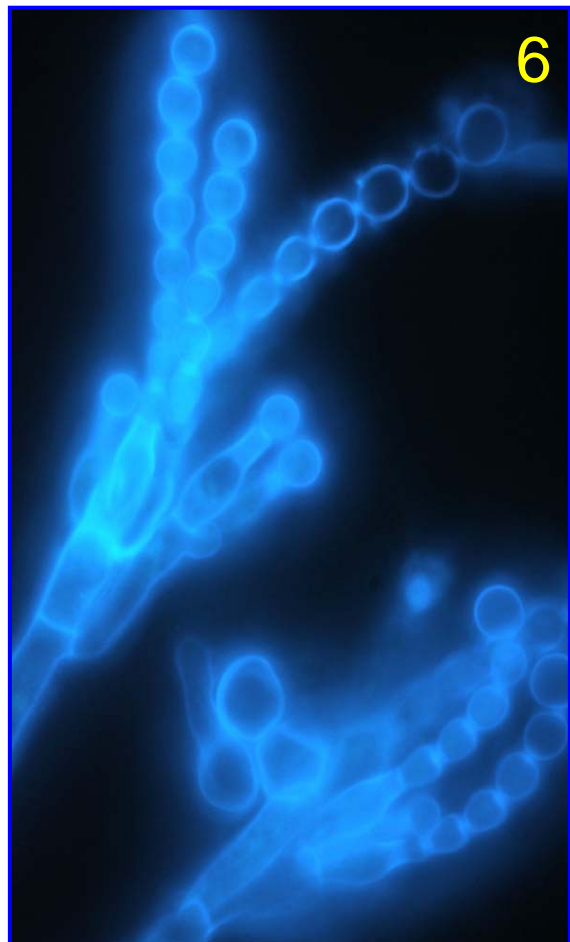
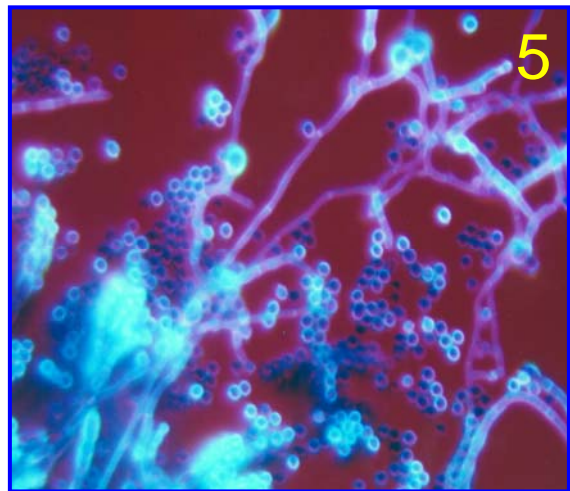
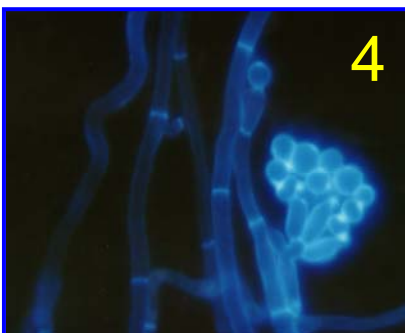
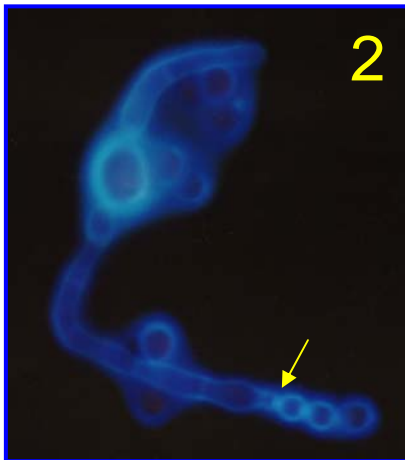
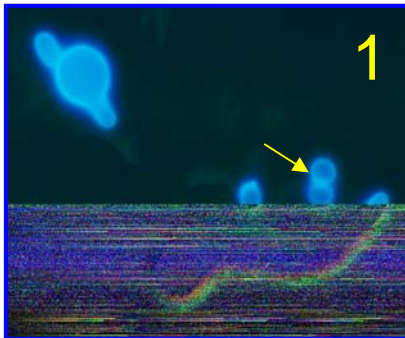
Hannover, 06.08.2004

Dr. Thomas Missel

Abkürzungsverzeichnis

BT	BIOZEM Tapetenhaft
GK	Gipskarton
KBE	Koloniebildene Einheiten
PB	Porenbeton
P.chr.	Penicillium chrysogenum
rF	relative Luftfeuchtigkeit
SS	Schimmelschutz
SS1	Schimmelschutz Grundierung, grau
SS2	Schimmelschutz Anstrich, weiß

Anhang 2: Morphologie des Pilzwachstums



- (1) Gequollene Sporen mit Keimschlauch und nicht gequollene Sporen (Pfeil), ca. 1000-fach; (2) wenigzellige Hyphe gekeimter Spore mit sekundärer Sporenbildung (Pfeil), ca. 1000-fach; (3) junges Myzel, ca. 50-fach; (4) lokale Sporulation bei verborgen wachsendem Myzel, ca. 700-fach; (5) Myzel und Sporen auf bewachsener Oberfläche, ca. 100-fach; (6) Sporenbildung bei oberflächlich wachsendem *Penicillium*-Pilz (Luftmyzel), ca. 1500-fach

Färbemethode: Die Präparate wurden mit einem Fluoreszenzfarbstoff („Mycoval“, Hund, Wetzlar) hergestellt und mit einem Auflicht-Fluoreszenzmikroskop untersucht.

Anhang 3: Testorganismus



Bild 3.1: Wasserschaden auf GK-Decke mit massivem Befall durch *Penicillium chrysogenum*

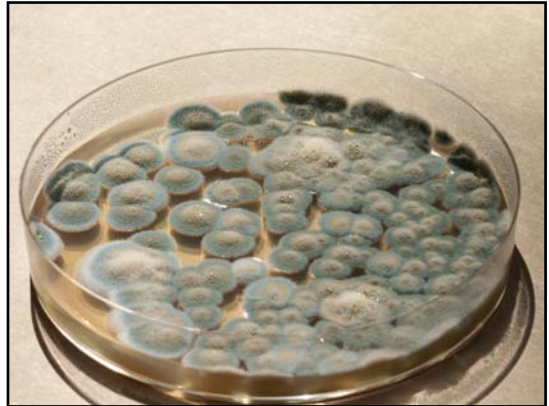


Bild 3.2: *Penicillium chrysogenum* auf Malzextrakt-Agar

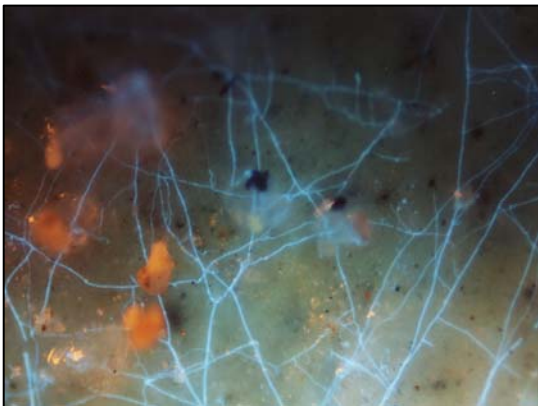


Bild 3.3: Myzel von *P. chrysogenum* auf der Innenseite einer Betonprobe aus einer Geschossdecke (ca. 40-fach)

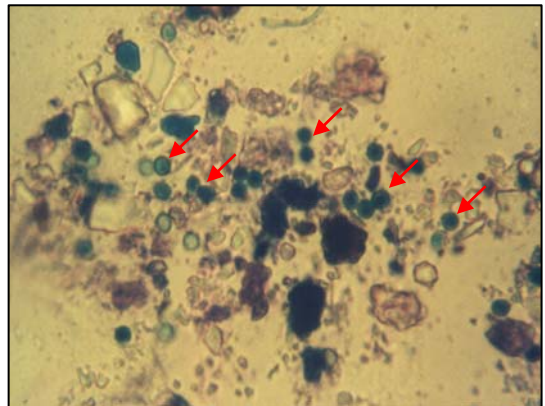


Bild 3.4: Sporen von *P. chrysogenum* (Pfeile) in einer Klebestreifenprobe (ca. 500-fach vergrößert)

Anhang 4: Vorbereitung der Baustoffprüfkörper

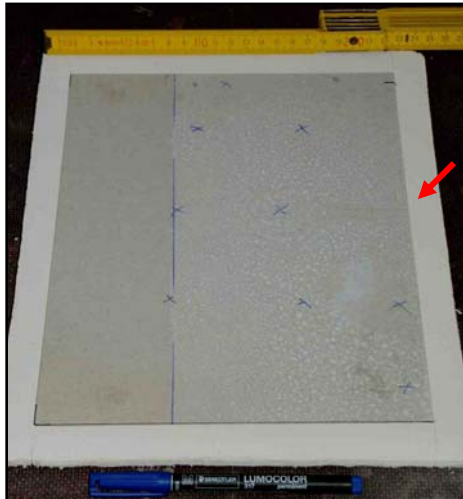


Bild 4.1: GK-Platte mit freigelegtem Rand (Pfeil)



Bild 4.2: Belegung einer Porenbetonprobe mit Tapete



Bild 4.3: Bebrütung der GK-Platten in Transportbehältern



Bild 4.4: Porenbeton-Proben in Transportbehältern

Anhang 5: Mikrobiologische Analyse der Prüfkörper

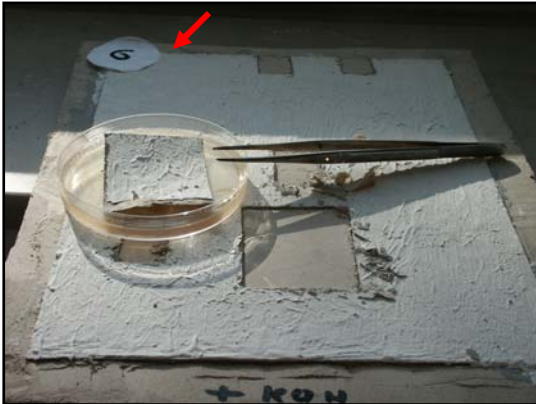


Bild 5.1: Probenahme und Herstellung einer Abdruckprobe (Pfeil) vom Belag einer GK-Platte.



Bild 5.2: Entnahme einer Schicht des Zellulosebelags einer GK-Platte.

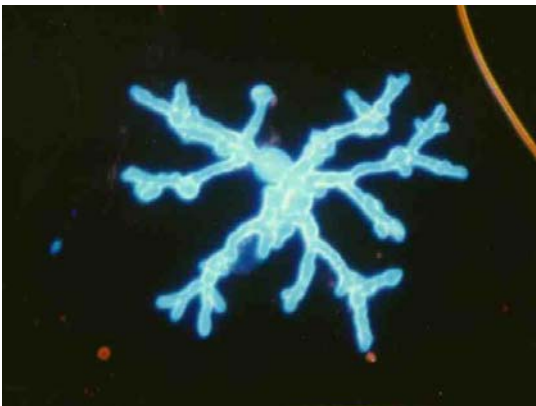


Bild 5.3: Mikrokolonie mit abnormem Wachstum nach 18-monatiger Bebrütung

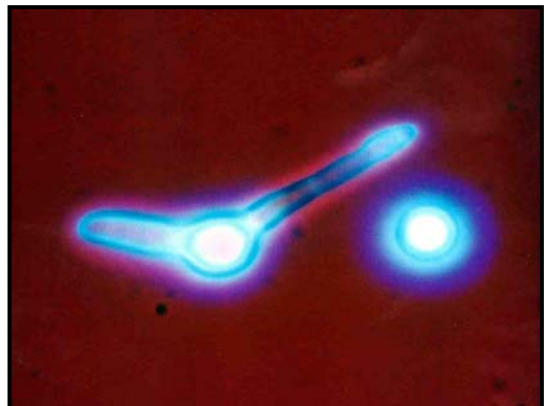


Bild 5.4: Gekeimte Spore nach 18-monatiger Bebrütung.

Anhang 6:

Oberflächenanalyse Materialproben / Eingießversuche



Bild 6.1: Mit Schwärzepilzen bewachsene Porenbetonprobe nach 18-monatiger Bebrütung.



Bild 6.2: Mit Schwärzepilzen bewachsene GK-Probe nach 18-monatiger Bebrütung. Die gelb umrandeten, verfärbten Bereiche sind nicht bewachsen.

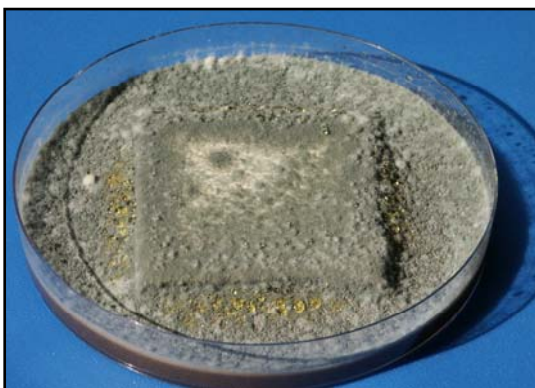


Bild 6.1: Kalziumsilikatdämmplatte im Eingießversuch nach 14-tägiger Bebrütung



Bild 6.2: Mit Schimmelschutz gestrichene Probe im Eingießversuch nach 21-tägiger Bebrütung

Anhang 7:

Abdruckproben von Pappschichten des bewachsenen GK

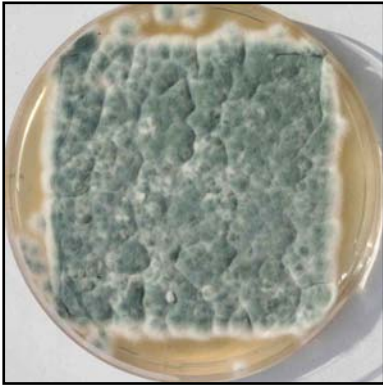


Bild 7.1: 2 Monate nach Überstreichen mit Schimmelschutz (Kontrolle) - Rasenbildung

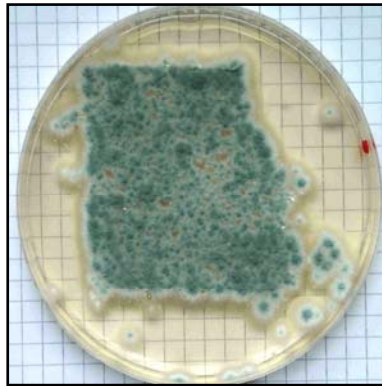


Bild 7.2: 18 Monate nach Überstreichen mit Schimmelschutz. Einzelkolonien sind unterscheidbar - die Bewuchsdichte ist vermindert.



Bild 7.3: 18 Monate nach Überstreichen mit Schimmelschutz. Einzelkolonien sind unterscheidbar - Bewuchsdichte vermindert.

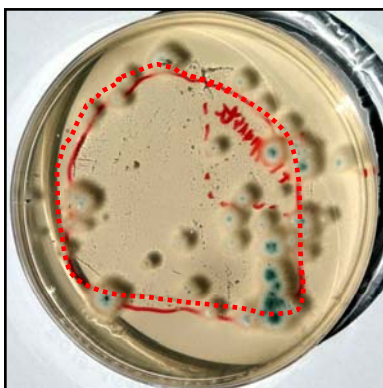


Bild 7.4: 18 Monate nach Überstreichen mit Schimmelschutz - die Pappschicht ist nicht bewachsen.

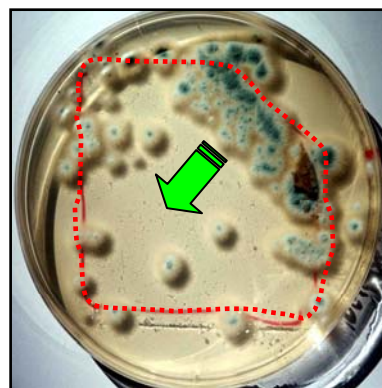


Bild 7.5: 18 Monate nach Überstreichen mit Schimmelschutz - die Pappschicht ist nicht bewachsen. Myzel wächst vom Rand her ein.

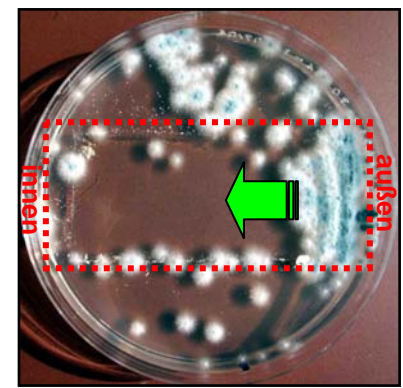


Bild 7.6: 2 Monate nach Überstreichen mit Schimmelschutz - seitliches Einwachsen des Myzels vom Probenrand in die Pappe.

Anhang 8:

Reinigung bewachsener Porenbetonproben



Bild 8.1: Porenbetonoberfläche, Bewuchsstellen mit Schwarzpilzen. Der mit Schimmelschutz gestrichene Porenbeton wurde 18 Monate bei hoher Feuchtigkeit bebrütet.



Bild 8.2: Porenbetonoberfläche nach einer mechanischen Reinigung mit einer Handreinigungsbürste unter fließendem Wasser.