

Kurzbericht zum Projekt "BIODÄM"

Untersuchungen zum Verhalten von konventionellen und ökologischen Dämmstoffen gegenüber mikrobiellem Befall unter verschiedenen klimatischen Bedingungen und Bewertung der mikrobiellen Kontamination für die Wohnhygiene und Effizienz der Energieeinsparung

Ziel

Im Rahmen des vom BBR (Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung) geförderten Projekts BIODÄM wurden ausgewählte klassische wie ökologische Dämmstoffe auf ihre Anfälligkeit gegenüber einem Schimmelpilzbefall untersucht. Desweiteren wurde untersucht, inwieweit ein solcher mikrobieller Befall die Dämmeigenschaften verändert.

Dazu wurden die Dämmstoffe unter verschiedenen Klimabedingungen, nämlich ansteigender Feuchte und verschiedenen Temperaturen, inkubiert und der mikrobielle Befallsverlauf auf der Materialoberfläche und im Porenraum mikroskopisch und mikrobiologisch analysiert. In diesem Zusammenhang war entscheidend, sowohl die Präsenz der Mikroorganismen als auch deren tatsächliche Stoffwechselaktivität in den jeweiligen Dämmstoffproben mit geeigneten Verfahren differenziert zu erfassen.

Nach Abschluß der mikrobiellen Beaufschlagung wurden die mikrobiell kontaminierten Dämmstoffproben auf Änderungen der bauphysikalischen Parameter Wärmeleitfähigkeit und Wasserdampfdiffusion untersucht.

Aufgrund der mikrobiologischen Untersuchungen sollte eine Beurteilung der eventuell auftretenden hygienischen Belastung erfolgen.

Durchführung

Für die Forschungsarbeiten wurden folgende Dämmstoffe eingesetzt:

mineralisch	Mineralwolle Bläherlite (nicht bituminiert) Blähton Schaumglas
synthetisch	Polystyrol expandiert (EPS) Polystyrol extrudiert (XPS) Polyurethan Hartschaum (PU – Zellulose-kaschiert)
ökologisch	Zellulosefaser Holzfaser (nicht bituminiert) Kork Flachs

Bis zum Beginn der Simulation wurden die Dämmstoffe unter kontrollierten klimatischen Bedingungen bei Normklima (20 °C, 65 % relative Luftfeuchte) gelagert.

Folgende Prüfpilze wurden eingesetzt:

Aspergillus fumigatus
Aspergillus niger
Aspergillus terreus
Aspergillus versicolor
Aureobasidium pullulans
Chaetomium globosum
Epicoccum nigrum
Penicillium chrysogenum
Stachybotrys chartarum
Trichoderma viride

Aus diesen Pilzen wurde eine Pilzsporenlösung hergestellt (Sporenzahl 10^6 /ml), mit der die Probekörper kontaminiert wurden.

Für die taxonomischen Untersuchungen wurden Abklatschproben von den Probekörpern genommen, d.h. ein Stück Nähragar aus einer Petrischale wird auf den Probekörper aufgedrückt, zurück in die Petrischale gelegt und inkubiert. Die angewachsenen Pilze wurden taxonomisch charakterisiert.

Mikrobiologische Untersuchungen

Die Inkubation erfolgte im Simulationsschrank. Je drei beimpfte Parallelen wurden mit einer nicht beimpften Blindprobe inkubiert. Die Inkubationen erfolgten bei 16 °C, 20 °C, 22 °C bzw. 24 °C und 40 % rLF, wobei die Luftfeuchtigkeit wöchentlich um 5 % rLF bis zu einem Endwert von 90 % rLF gesteigert wurde.



Abb. 1: Simulationsschrank mit Probenhalterungen für die Versuche bei verschiedenen Temperaturen und Luftfeuchten

In der Regel wurden täglich makroskopische oder mikroskopische Untersuchungen durchgeführt. Die Stoffwechselaktivität wurde i.d.R. wöchentlich durch Bestimmung des ATP-Gehaltes ermittelt. Zur Definition eines mikrobiellen Abbaus wurde bei ausgewählten Proben mittels Gaschromatographie die CO_2 -Bildung bestimmt. Ein Hemmstofftest zur Feststellung einer bioziden Beaufschlagung der Proben wurde ebenfalls durchgeführt (Agar-Diffusionstest und Hemmstofftest gem. DIN IEC 68).

Bauphysikalische Untersuchungen

Für die Ermittlung der Wärmeleitfähigkeit fanden plattenförmige quadratische Probekörper mit einer Kantenlänge von 500 bzw. 200 mm Verwendung. Die Schüttgüter wurden in entsprechenden Volumina geprüft. Das gesamte Versuchsmaterial wurde vor der Prüfung bis zur Gewichtskonstanz bei 70 °C getrocknet. Nach der Messung der Wärmeleitfähigkeit in trockenem und feuchtem Zustand wurden die Proben mit der Pilzsporenlösung beaufschlagt. Es erfolgte eine Inkubation für 12 Wochen bei Raumtemperatur und 90 % rLF. Anschließend wurde erneut die Wärmeleitfähigkeit bestimmt.

Die Wasserdampfdiffusion wurde nach den Vorgaben der DIN EN ISO 12572 (Ausgabe 2001) durchgeführt. Nach der ersten Messung der Probekörper zur Wasserdampfdiffusion wurden die Proben ebenfalls mit Pilzsporenlösung besprüht und für 12 Wochen im Klimaschrank bei 20 °C und 90 % rLF inkubiert. Nach dieser Zeit wurde wiederum die Wasserdampfdiffusion gemessen.

Ergebnisse

Die untersuchten **ökologischen Dämmstoffe** (Holzfaser und Kork) waren besonders anfällig für Pilzbefall, ab moderaten Temperaturen (20 °C) und erhöhten Luftfeuchten (75 %) (s. Abb. 2). Die starke **Hydrophobizität** von Holzfaser und Kork wurde durch die Besiedlung mit Pilzen nicht verändert. Die **Wärmeleitfähigkeit** wurde bei Flachs und Holzfaser durch den Bewuchs mit Pilzen offenbar zum negativen beeinflusst. Die **Wasserdampfdiffusion** hingegen wurde durch Pilzbefall offensichtlich nicht beeinflusst. Die Werte für die Wärmeleitfähigkeit von Flachs und Holzfaser waren aber auch in beaufschlagtem Zustand noch innerhalb des Rahmens der Literaturwerte, also ist die Änderung nicht so geartet, daß die Dämmeigenschaften entscheidend verändert werden.

Zellulose nahm innerhalb der ökologischen Dämmstoffe eine Sonderstellung ein, da sie sich als weitgehend inert gegen mikrobiellen Befall erwies. Es zeigte sich eine hemmende Wirkung auf Pilzwachstum im Agar-Hemmstofftest, die im Hemmstofftest nach DIN-IEC 68 (ohne Zugabe von Nährstoffen) bestätigt werden konnte. Es ist davon auszugehen, dass die im Material enthaltenen Stoffe (wahrscheinlich Borate) einem Pilzwachstum entgegenwirken.

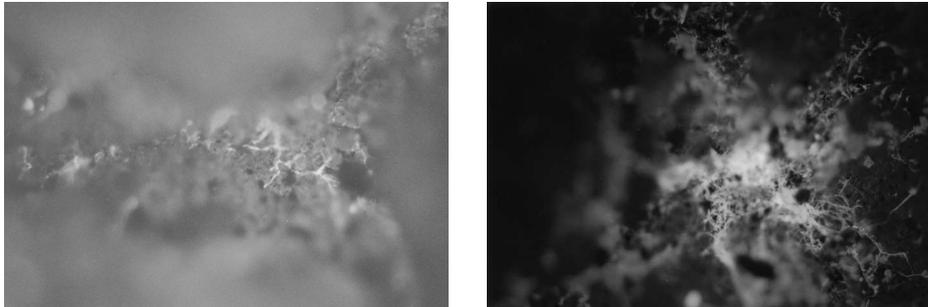


Abb. 2: Kork-Probe unter Axiovert-Mikroskop, die zur Sichtbarmachung des mikrobiellen Befalls mit DAPI (links, nach Inkubation bei 22 °C, 100fache Vergrößerung) und mit Acridinorange (rechts, nach Inkubation bei 24 °C, 100fache Vergrößerung) gefärbt wurde.

Bei den **mineralischen Dämmstoffen** hingegen bedurfte es einer höheren Temperatur (22 °C) bzw. einer längeren Einwirkzeit der höchsten Luftfeuchte (90 %) bis es zu einem makroskopisch sichtbaren Schimmelpilzbefall kam. Lediglich Mineralwolle und Blähton erwiesen sich als anfällig für Pilzbefall. Mineralwolle ist, ebenso wie die organischen Dämmstoffe Kork und Holzfaser, sehr hydrophob. Die Parameter der Dämmwirkung änderten sich durch die Einwirkung von Schimmelpilzen nicht.

Die **synthetischen Dämmstoffe** (EPS, XPS) waren bei Temperaturen bis 24 °C weitestgehend inert gegen Pilzbefall. Bei 24 °C kam es bei EPS und XPS schon bei niedriger Luftfeuchte (45 %) zu einem Bewuchs mit Pilzen. Ein Anwachsen allein aufgrund dieser niedrigen Luftfeuchte ist auszuschließen. Wahrscheinlich ist dagegen, daß die aufgebrachte Feuchtigkeit auf dem Dämmstoff ausreicht, ein Anwachsen der Pilze zu ermöglichen. Die in unbeaufschlagtem Zustand hohe **Hydrophobizität** dieser Dämmstoffe nahm mit steigender Inkubationstemperatur und damit zunehmender Besiedlung mit Pilzen ab. Sie wurde damit erheblich durch den Aufwuchs von Pilzen beeinflusst. Der **Wasserdampf-Diffusionswiderstand** von XPS wurde bei einer Kontamination mit Pilzen erhöht, was in der Praxis zu einer geringeren Feuchtediffusion führen kann. Die Werte liegen dennoch im Rahmen der Literaturangaben.

Bei **Polyurethan (PU – Zellulose-kaschiert)** handelte es sich um einen Sonderfall: Obwohl ein synthetischer Dämmstoff, war er an der Ober- und Unterseite mit einer zellulosehaltigen Schicht belegt, die sich als äußerst attraktiv für Pilze erweist. Sie wurde bereits bei Temperaturen >20 °C angegriffen. Bei 24 °C wurde PU (Zellulose-kaschiert) wie die anderen synthetischen Dämmstoffe EPS und XPS schon bei sehr niedriger Luftfeuchte besiedelt. Ebenso wie bei diesen beiden Dämmstoffen nahm die **Hydrophobizität** von PU (Zellulose-kaschiert) bei zunehmender Temperatur bei Beaufschlagung mit Schimmelpilzen ab. Die

Wasserdampfdiffusion wurde bei PU (Zellulose-kaschiert) durch Pilzbefall stark erniedrigt. Dies ist wahrscheinlich begründet in einer Zerstörung der Zellulosebeschichtung auf dem PU, wodurch diese durchlässiger wird. Daß sie angegriffen wird, während der ökologische Dämmstoff Zellulose nicht derart belastet ist, liegt vermutlich daran, daß der Dämmstoff nicht biozid ausgerüstet war.

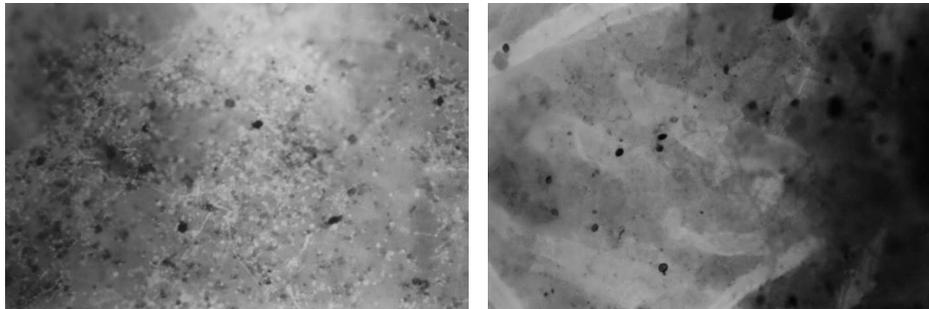


Abb. 3: PU-Probe unter Axiovert-Mikroskop, die zur Sichtbarmachung des mikrobiellen Befalls mit DAPI gefärbt wurde (links, nach Inkubation bei 22 °C, 32fache Vergrößerung) und mit Acridinorange (rechts, nach Inkubation bei 24 °C, 32fache Vergrößerung).

Tab. 1: Zusammenfassende Darstellung der Werte für Wärmeleitfähigkeit, Wasserdampfdiffusion und makroskopisch sichtbaren Schimmelpilzbefall der Dämmstoffe

Dämmstoff	Wärmeleitfähigkeit • [W/m·K]*			Wasserdampfdiffusion μ^*			Pilzbefall Intensität (makros- kopisch)
	vor Befall	nach Befall	Literatur- vergleich	vor Befall	nach Befall	Literatur- vergleich	
Mineralwolle	035	035	035-050	3	2	1-4	0
Blähperlite	040	040	045-060	19	18	3	0
Blähton	050	050	080-160	5	6	k.A.	0
Schaumglas	040	040	050-060	10	10	k.A.	0
EPS	035	035	035-045	24	30	30-70	+
XPS	035	035	030-040	56	155	80-200	+
PU (Zellulose kaschiert)	035	035	020-040	157	93	30-100	+
Zellulosefaser	040	040	040-045	3	3	1-2	+
Holzfaser	040	050	040-055	3	3	2-5	++
Kork	045	045	040-055	13	15	5-20	++
Flachs	050	055	040-045	6	5	1-2	+++

*die Werte wurden gerundet

Literaturvergleich mit: Reyer et al 2001

Die Besiedlung der synthetischen Dämmstoffe bei **45 % rel. LF** ist unserer Ansicht nach auf den relativ langen Verbleib der Flüssigkeit (Sporenlösung) auf dem Material zurückzuführen. Die Dämmstoffe sind die einzigen mit einer sehr ebenen und hydrophoben Oberfläche, so daß die aufgebrachte Sporenlösung nicht sofort einsickern oder sich großflächig verteilen könnte. Dadurch ist es wahrscheinlich möglich, daß den Pilzen, trotz der niedrigen Luftfeuchte, ausreichend Feuchtigkeit für die Auskeimung zur Verfügung steht. Sobald diese Flüssigkeit verbraucht ist - was bei 45 % rel. LF schneller eintreten sollte als bei höheren Luftfeuchten - endet das Wachstum. Dies zeigt sich daran, daß der Pilzbewuchs bei niedriger Luftfeuchte wesentlich "dünner" ausfällt als bei hohen Luftfeuchten. Es steht allerdings außer Frage, daß bei einer niedrigen Luftfeuchte (von z.B. 45 %) allein aufgrund dieser Luftfeuchte KEIN Schimmelpilzwachstum möglich sein kann. Es kann nur stattfinden, wenn zumindest für die Dauer des Anwachsens im Material eine ausreichend hohe Feuchtigkeit (die die Luftfeuchte übersteigt) gegeben ist.

Prinzipiell läßt sich sagen, daß **Temperaturen über 20 °C** und **länger anhaltende Luftfeuchten oberhalb 75 %** ein Schimmelwachstum auf den meisten ökologischen, einigen mineralischen und wenigen synthetischen Dämmstoffen begünstigen.

Bei den **taxonomischen Untersuchungen** war das Vohandensein von *Aspergillus fumigatus* auf so gut wie allen Proben der 22 °C-Inkubation auffällig, was bei 24 °C nicht mehr der Fall war [s. Tab. 2]. Auf den Abklatschproben wurden viele Pilze identifiziert, die nicht für die Inkubation eingesetzt worden waren [s. Tab. 2]. So scheinen *Penicillium decumbens* und *Trichoderma viride* zwei typische korkbesiedelnde Pilze zu sein. Bei 22 °C wuchs besonders *Stachybotrys atra* auf Holzfaser [s. Tab. 2]. Außerdem scheint er bei höheren Temperaturen ein Besiedler von Kunststoffen (Styropor und PU) zu sein. Kork und Holzfaser scheinen schon im Lieferzustand mit Pilzen kontaminiert zu sein, was nicht verwunderlich ist, da die Herstellung der Dämmstoffe nicht unter sterilen Bedingungen erfolgt. Holzfaser begünstigt bei 22 °C das Wachstum des gesundheitlich bedenklichen Pilzes *Stachybotrys atra*. Während bei Temperaturen von 24 °C Holzfaser und PU das Wachstum gesundheitlich bedenklicher Pilze wie *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus niger* und *Aspergillus versicolor* begünstigen [s. Tab. 2].

Bei der Beurteilung von Abklatschproben ist zu bedenken, daß sie ein verzerrtes Bild des tatsächlichen Befalls wiedergeben, da bei einer **Abklatschprobe** alles Pilzmaterial auf dem beprobten Bereich des Prüfguts, abgenommen wird. So kann es sein, daß Sporen auf einer Probe nicht ausgekeimt sind, aber durch diese Methode auf der Abklatschprobe auskeimen. Dennoch ist die Abklatschmethode die einfachste, schnellste und gängigste Methode, eine Kontamination von Festkörpern durch Pilze festzustellen.

Tab. 2: Übersicht über die isolierten Pilze auf den Dämmstoffen bei 22 °C und 24 °C und Einteilung in Gefährdungsklassen [Kähler 2000]

	Blähton	Mineralwolle	Kork	Holz-faser	PU	XPS	EPS	Holz-Kontrolle	Risikogruppe [BG Chemie 1997]
eingesetzte Pilze									
<i>Aspergillus niger</i>	22			24	24				1
<i>A. terreus</i>			22	24					1
<i>A. versicolor</i>				24	22			24	1
<i>A. fumigatus</i>		22	22	22	22			22	2
<i>Penicillium chrysogenum</i>	22			24					k.A.
<i>Trichoderma viride</i>	22		22						k.A.
<i>Chaetomium globosum</i>		22					22		k.A.
<i>Stachybotrys atra</i>				22					k.A.
<i>Epicoccum nigrum</i>		22							k.A.
<i>Aureobasidium pullulans</i>									k.A.
isolierte Pilze, die nicht eingesetzt waren									
<i>Aspergillus clavatus</i>	22								k.A.
<i>A. niveus</i>		24		24					k.A.
<i>A. paradoxus</i>		24							k.A.
<i>A. hollandicus</i>							24		k.A.
<i>Penicillium decumbens</i>			22						k.A.

Isolierte Pilze, die nicht eingesetzt waren									
<i>P. glabrum</i>			22	24				22	k.A.
<i>Cladosporium cladosporoides</i>				24					k.A.
<i>Eurotium amstelodami</i>				24		24	24		k.A.
<i>E. quadrilineata</i>					24				k.A.

Risikogruppe 1: Pilze, bei denen bisher keine Gefährdung des gesunden Menschen beobachtet wurde (fehlendes bis sehr geringes Risiko).

Risikogruppe 2: Pilze, die geeignet sind, bei gesunden Menschen oder bei Menschen mit geringfügigen Störungen der Infektabwehr Mykosen auszulösen. Für die Behandlung stehen wirksame Heilmittel zur Verfügung.

k.A.: ist nicht im Leitfaden erwähnt

22/24: Pilz wurde von Proben bei 22 °C bzw. 24 °C isoliert

Beurteilung der Ergebnisse für die Praxis

Zu einer Kontamination mit Schimmelpilzen kann es bei entsprechenden Milieubedingungen auf nahezu allen Materialien kommen, da Schimmelpilzsporen überall in der Umwelt vorkommen. Ökologisch gesehen haben sie die Aufgabe, organische Substanzen abzubauen und als Nährstoffe dem Nährstoffkreislauf wieder zuzuführen. So kommen Schimmelpilzsporen ubiquitär in der Umwelt vor [LGA-Bericht 2001, Mücke & Lemmen 1999]. Schimmelpilze leben saprophytisch und gedeihen auf zersetzbarem Material. Sporenkeimung, Mycelwachstum und Sporenbildung hängen dabei zum einen vom zur Verfügung stehenden Nährstoff, zum anderen von der Luftfeuchtigkeit ab. Die meisten Schimmelpilze benötigen eine rel. Feuchte von 80-85 % für die Auskeimung. Das erklärt das starke Pilzwachstum bei höherer Luftfeuchte [Mücke & Lemmen 1999, Sedlbaur 2001].

Kommt es z.B. bei einem Bauschaden zu einem Wasser- bzw. Feuchteeintrag in den Dämmstoff und sind über einen längeren Zeitraum gemäßigte Temperaturen über 20 °C gegeben, muß - aufgrund der im Projekt gewonnenen Erkenntnisse - mit einem starken Schimmelbefall auf ökologischen (Holzfaser, Flachs und Kork) und z.T. auch auf mineralischen (Blähton, Mineralwolle) und synthetischen Dämmstoffen (XPS, PU) gerechnet werden. Dabei ist mit einer Veränderung der Struktur insbesondere bei den organischen Dämmstoffen (Flachs, Holzfaser) sowie auch einer negativen Veränderung der Dämmeigenschaften zu rechnen.

Die Untersuchungen der synthetischen Dämmstoffe bei niedriger Luftfeuchte ergaben, daß ein Anwachsen von vorhandenen Sporen möglich ist (vergl. synthetischen Dämmstoffe), SOFERN das Material zum Zeitpunkt der Auskeimung ausreichend feucht war. Wäre es also möglich, daß ein Material feucht wird, ohne daß die Luftfeuchte auf Dauer erhöht ist, könnte es allein aufgrund der hohen Materialfeuchte zu einem Auskeimen eventuell vorhandener Sporen kommen. Die Auskeimung kann dabei nur solange stattfinden, wie Feuchte vorhanden ist. Herrscht eine niedrige Luftfeuchte, wird es zu einer schnellen Trocknung kommen, so daß der Bewuchs wesentlich "dünner" ausfällt als bei hohen Luftfeuchten. Im Allgemeinen ist davon auszugehen, daß, wenn es zu einem Feuchteschaden kommt, die Luftfeuchte ebenfalls entsprechend hoch ist, so daß ein massiver Bewuchs mit Pilzen stattfinden kann. Wir möchten darauf hinweisen, daß auf keinen Fall ein Schimmelpilzwachstum bei solch niedrigen Luftfeuchten (45 %) zustande kommt, solange das Material trocken ist, unabhängig davon, ob es mit Pilzsporen kontaminiert ist, oder nicht.

Im Falle einer Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs (wie bei Holz und Flachs) könnte dies zu einer Verschiebung des Taupunktes an der betreffenden Stelle des Innenmauerwerks führen. Dadurch wiederum könnte ein Schimmelbefall an der Innenwand hervorgerufen werden. Ein solcher kann für die Bewohner, wie jeder andere Schimmelbefall, gleich welcher Herkunft, ein gesundheitliches Problem darstellen [LGA-Bericht 2001, Seifert

2002]. In diesem Fall gilt es, die Ursache - nämlich den Feuchteschaden in der Bausubstanz - zu beseitigen.

Inwieweit eine gesundheitliche Gefährdung durch das Vorhandensein von Pilzen auf den Dämmstoffen besteht, kann nicht umfassend beurteilt werden. Die Frage dabei ist, inwieweit Bewohner mit Sporen der aufgewachsenen Pilze in Kontakt kommen können. Der Dämmstoff wäre in jedem Fall eine ständige, versteckte Kontaminationsquelle. Denkbar wäre auch, dass durch unzureichende Verschalung der Dämmstoffe Schimmelpilzsporen und MVOC¹ in die Innenraumluft gelangen könnten. Ob eine Gefährdung durch von den Pilzen gebildete Toxine besteht, ist allgemein umstritten [LGA-Bericht 2001, Seifert et al 2002] und soll in der Zukunft an der MPA geklärt werden.

Literaturzitate:

- Kähler C. (2000) Vorschlag zur rechnerischen Beurteilung von Schimmelpilzwachstum. Diplomarbeit. TU München
- Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg (2001) Schimmelpilze in Innenräumen – Nachweis, Bewertung, Qualitätsmanagement. LGA-Berichte
- Mücke W. & Lemmen C. (1999) Schimmelpilze – Vorkommen. Gesundheitsgefahren. Schutzmaßnahmen. Ecomed-Verlag, Landsberg
- Reyer E., Schild K., Völkner S. (2001) Kompendium der Dämmstoffe. Fraunhofer IBR Verlag
- Sedlbaur K. (2001) Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen. Dissertation Universität Stuttgart
- Seifert et al. (2002) Leitfaden zur Vorbeugung, Untersuchung, Bewertung und Sanierung von Schimmelpilzwachstum in Innenräumen. Umweltbundesamt, Berlin
- DIN IEC 68 Teil 2-10 (1991) Elektrotechnik - Grundlegende Umweltprüfverfahren, Prüfung J und Leitfaden: Schimmelpilzwachstum
- DIN EN ISO 12572 (2001) Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten: Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit

Die Forschungsarbeiten wurden mit Mitteln des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung gefördert (Aktenzeichen: Z 6 - 5.4-01.12 / II 13 - 80 01 01 -12)

Die Arbeiten wurden durchgeführt an der Amtlichen Materialprüfungsanstalt Bremen, ein Geschäftsbereich der Stiftung Institut für Werkstofftechnik.

Wir danken den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses Herrn Prof. Dr. Sedlbaur, Holzkirchen und Frau Dr. Koch, Jena.

¹ **Microbial Volatile Organic Compounds** – von Mikroorganismen, in dem Fall Pilzen, an die Luft abgegebene, gasförmige, leichtflüchtige Verbindungen, die als unangenehme Gerüche (z.B. Moder) wahrgenommen werden