

Wolfgang Karl Hofbauer, Nicole Krueger
Thorsten Rennebarth, Horst-Reiner Schwengels

Applikation eines Raumschleusen- Systems zur Abtrennung bei Schimmelpilzarbeiten

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2019

ISBN 978-3-7388-0293-1

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00

Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/bauforschung

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Forschung, Entwicklung,
Demonstration und Beratung auf
den Gebieten der Bauphysik

Zulassung neuer Baustoffe,
Bauteile und Bauarten

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle für
Prüfung, Überwachung und Zertifizierung

Institutsleitung

Prof. Dr. Philip Leistner

Prof. Dr. Klaus Peter Sedlbauer

IBP-Bericht Nr. UHS-041/2018/282

Applikation eines Raumschleusen-Systems zur Abtrennung bei Schimmelpilzarbeiten

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert

(Aktenzeichen: SWD-10.08.18.7-16.22)

Der Bericht umfasst

41 Seiten Text

17 Bilder

4 Tabellen

Wolfgang Karl Hofbauer

Nicole Krueger

Thorsten Rennebarth

Horst-Reiner Schwengels

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt bei den Autoren.

Valley, 13. November 2018

Abteilungsleiter



Dr. Ing. Christian Scherer

Bearbeiter



Dr. rer. nat. Wolfgang Hofbauer

Inhalt

1	Stand der Technik	5
1.1	Systeme	6
1.1.1	Konventionelle Abschottung („Baustellenabschottung“)	6
1.1.2	Vorgefertigte Systeme	6
1.1.3	Schleusensysteme	7
1.2	Kontaminationsmechanismen	9
2	Material und Methoden	12
2.1	Zielsetzungen	12
2.2	Literatur- und Internetrecherche	12
2.3	Untersuchungen	13
2.3.1	Untersuchte Systeme	13
2.3.2	Konzeption des Untersuchungs-Setups	15
2.3.3	Vorversuche und Testablauf unter den Testbedingungen	19
2.3.4	Durchführung der Messungen	20
2.3.5	Laborauswertung	21
3	Ergebnisse	22
3.1	Literaturrecherche	22
3.1.1	Literatur	22
3.1.2	Regelwerke	24
3.2	Untersuchungen	26
3.2.1	Vorversuche	26
3.2.2	Durchführung der Messungen	27
3.2.3	Folienabschottung (Baustellen-Abschottung)	29
3.2.4	Vorgefertigte Abschottungen mit Reißverschluss	29
3.2.5	Modulares Schleusensystem mit Absaugung	31
3.3	Evaluation der Ergebnisse	32
3.3.1	Vergleich der Abschottungssysteme	32
3.3.2	Wichtige Erkenntnisse / Empfehlungen	34
4	Zusammenfassung und Fazit	35
4.1	Weiterentwicklung von modularen Schleusensystemen mit integrierter Absaugung	35
4.2	Vergleich verschiedener Möglichkeiten zur Abschottung und Schleusen Anwendung im Sanierungsfall	35
5	Literatur	39

1 Hintergrund

Schimmelschäden können im umbauten Raum aufgrund vielfältiger Ursachen auftreten. Häufige Ursachen sind beispielsweise Rohrleitungsschäden, unzureichende oder falsche Lüftung bei dichter Bauweise, hohe Feuchtebelastungen im Innenraum oder Wärmebrücken in der Gebäudehülle. Wichtigste Voraussetzungen für das Schimmelwachstum sind ausreichend hohe Feuchte und Nährstoffe in einem geeigneten Temperaturbereich. In von Menschen genutzten Gebäuden herrschen in jedem Fall für Schimmelpilze geeignete Temperaturen, auch Nährstoffe sind meist vorhanden ([1] bis [3]). Das bedeutet, dass ein Schimmelbefall immer auf ein Feuchteproblem hinweist. Generell wird Schimmelpilzwachstum verbunden mit Feuchte in Räumen als gesundheitsschädlich eingestuft, denn Schimmelpilze besitzen ein allergenes Potential [4]. Schimmelsporenstäube belasten die Atemwege, was besonders für Asthmatiker problematisch sein kann [5] und stehen im Verdacht selbst asthmaähnliche Symptome auszulösen ([6], [7]). Bei einigen Schimmelarten gibt es Anzeichen, dass toxikologisch relevante Mengen von Toxinen in den Innenraum freigesetzt werden könnten ([8], [9]). Darüber hinaus kann in seltenen Fällen eine Infektion von Menschen durch Schimmelpilze erfolgen ([10], [11]). Wegen dieser möglichen gesundheitlichen Belastungen infolge des Schimmelwachstums ist ein Schimmelschaden durch geeignete Sanierungsmaßnahmen zu beseitigen. Die dauerhafte Sanierung eines Schimmelbefalls besteht immer aus zwei Schritten, der Ermittlung und Beseitigung der bauphysikalischen Ursachen sowie der Entfernung des eigentlichen Befalls. Details zur Einstufung eines Schimmelschadens und der sich daraus ergebenden Maßnahmen sind in verschiedenen Regelwerken ([12] bis [14]) und Leitfäden beschrieben ([1], [3], [15], bis [18]).

Zum Beispiel heißt es hierzu im Leitfaden zur Ursachensuche und Sanierung bei Schimmelpilzwachstum in Innenräumen des Umweltbundesamts aus dem Jahr 2005 ([1]): »Neben dem Arbeitsschutz kommt dem Schutz des Gebäudenutzers und der Vermeidung der Verschleppung von Schimmelpilzsporen während der Sanierung eine große Bedeutung zu. Folgende Punkte sind dabei zu beachten:

- Anwendung von Arbeitstechniken, bei denen die Freisetzung von Staub oder Aerosolen und damit auch von Schimmelpilzsporen und gegebenenfalls von anderen Mikroorganismen möglichst gering ist.
- Vermeidung der Ausbreitung (Verschleppung) von Schimmelpilzsporen und gegebenenfalls von anderen Mikroorganismen. Um eine Kontamination von unbelasteten Bereichen zu vermeiden, muss bei bestimmten Arbeiten der Sanierungsbereich von den übrigen Gebäudeteilen abgeschottet werden. Je nach Sanierungsumfang können dafür unterschiedliche Maßnahmen erforderlich sein (...). Bei einer technischen Be- und Entlüftung des „Schwarzbereiches“ ist sicherzustellen, dass durch die Abluftführung keine Gefährdung Dritter entsteht. Dies kann z. B. durch den Einsatz von Abluftfiltern bzw. Luftführung in den Außenbereichen gewährleistet werden«.

Das Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg schlägt in [15] vor: »Bei sämtlichen Abbruch-, Reinigungs- und Transportmaßnahmen ist die Aufwirbelung von Schimmelpilzsporen und sonstigen Schimmelpilzbestandteilen zu vermeiden. Auch von abgetöteten Schimmelpilzsporen können allergische oder reizende Wirkungen ausgehen. Je nach Schwere des Schimmelpilzbefalls sind zusätzlich zu den aus Sicht des Arbeitsschutzes durchzuführenden technischen und baulichen sowie organisatorischen Maßnahmen zur Minimierung der Freisetzung von Schimmelpilzsporen folgende Maßnahmen durchzuführen:

- Festlegung und Abgrenzung des Sanierungsbereiches
- Entfernung von Lebensmitteln
- Entfernung bzw. Abdecken schwer von Schimmelpilzsporen zu reinigenden Gegenständen (z. B. Teppiche und andere Raumtextilien)
- Staub- und luftdichte Abschottung besonders belasteter Bereiche ggf. mit Schleuse und Entlüftung«

Laut dem Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg [16] gilt für das Vorgehen bei Sanierungen von Schimmelpilzschäden: »Die Gefahr des Auftretens von Allergien oder toxischen Wirkungen ist gegeben. Sie ist von der Menge und der Art vorhandener Stäube abhängig«. Entsprechend sind eine Risikoabwägung und ein Arbeitsschutz durchzuführen.

Für Tätigkeiten bei der Schimmelsanierung gilt die Biostoffverordnung (BioStoffV, [12]). Sie regelt Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten und beschreibt Maßnahmen zum Schutz anderer Personen, die durch die Sanierungstätigkeit gefährdet werden können. Sanierungs- und Reinigungsarbeiten zur Beseitigung von Schimmelfall sind nicht gezielte Tätigkeiten im Sinne der Biostoffverordnung, bei denen Arbeitnehmer überwiegend gegenüber Mikroorganismen der Risikogruppe 1 (von 4) exponiert sind. Nur sehr wenige bei einem Schimmelfall potenziell auftretende Pilze, wie z. B. *Aspergillus fumigatus*, werden der Schutzstufe 2 oder in anderen Fällen einer noch höheren Schutzstufe zugeordnet. Vor Beginn der Sanierung ist eine Gefährdungsbeurteilung durchzuführen und die erforderlichen Schutzmaßnahmen sind festzulegen. Potentielle sensibilisierende und toxische Wirkungen müssen bei der Gefährdungsbeurteilung betrachtet werden. Zu den sensibilisierenden Biostoffen zählen u.a. Schimmelpilze und bestimmte Bakterien. Toxische Wirkungen können z. B. von Stoffwechselprodukten und/oder Zellwandbestandteilen ausgehen. Bei der Festlegung der Schutzmaßnahmen ist eine besondere Rangfolge einzuhalten. Die Exposition der Beschäftigten ist zunächst durch technische und organisatorische Maßnahmen wie z. B. den Einsatz von Maschinen mit wirksamer Absaugung oder technische Lüftungsmaßnahmen zu minimieren. Wenn diese Maßnahmen nicht ausreichen ist zusätzlich der Einsatz von persönlicher Schutzausrüstung erforderlich.

In den Technischen Regeln für Biologische Arbeitsstoffe – Grundlegende Maßnahmen bei Tätigkeiten mit Biologischen Arbeitsstoffen (TRBA 500, [13]) sind die notwendigen Schutzmaßnahmen festgehalten. Wird in der Gefährdungsbeurteilung festgestellt, dass Gefährdungen vorhanden sind, hat der Arbeitgeber zuerst die erforderlichen technischen und baulichen sowie die organisatorischen Maßnahmen zu ergreifen. Dabei sind Arbeitsverfahren nach dem Stand

der Technik einzusetzen, die zur Vermeidung bzw. Reduktion von Bioaerosolen führen. Zum Stand der Technik zählen unter anderem eine räumliche Trennung von belasteten und unbelasteten Arbeitsbereichen (siehe auch unten) und raumluftechnische Maßnahmen. In den Technischen Regeln für biologische Arbeitsstoffe und Gefahrstoffe – Sensibilisierende Stoffe für die Atemwege (TRBA/TRGS 406, [14]) ist vermerkt: »Bereiche mit hoher Freisetzung von atemwegssensibilisierenden Arbeitsstoffen [...] sind soweit möglich von anderen Betriebsteilen räumlich zu trennen (z. B. Einkapselung in Kabinen). Die Lüftung ist dabei so zu gestalten, dass gegenüber den übrigen Arbeitsbereichen ein leichter Unterdruck erzeugt wird, um die Ausbreitung sensibilisierender Arbeitsstoffe zu verhindern«.

Je nach Umfang des Schadens und der Sanierungsarbeiten wird neben der Vermeidung der Staubbildung eine Trennung in einen (potenziell) kontaminierten Arbeitsbereich („Schwarzbereich“) und nicht kontaminierten Bereichen, in die kein kontaminiertes Material eingetragen werden soll („Weißbereich“), gefordert. Die Möglichkeiten, diese Trennung zu erzielen, sind vielfältig und auch stark von den jeweiligen Gegebenheiten abhängig - eindeutige Hinweise auf spezielle technische Ausführungen sind daher nicht in den zitierten Regelwerken gegeben. Allerdings wird in der Handlungsanleitung „Gesundheitsgefährdungen durch biologische Arbeitsstoffe bei der Gebäudesanierung“ der Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft [17] ausdrücklich folgendes aufgeführt: »Sind aufgrund der Ermittlung der Gefahren nach Abschnitt 5 die Tätigkeiten der Gefährdungsklasse 3 zuzuordnen, müssen zusätzlich zu den in den Abschnitten 6.3, 6.4 und 6.5 beschriebenen Maßnahmen folgende Schutzmaßnahmen beachtet werden: [...] Je nach Exposition und Kontamination kann die Schwarz-Weiß-Trennung über eine Ein- oder Mehrkammerschleuse erfolgen, ggf. können hierfür vorhandene Räume mit einbezogen werden«. Auch die Information 201-028 der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung [18] bezieht sich auf diese Handlungsanleitung und führt unter den Schutzmaßnahmen – Gefährdungsklasse 1 – 3 eine Personenschleuse auf.

2 Stand der Technik

Bei lokalisierten Schimmelpilzschäden in abgeschlossenen Bereichen eines Gebäudes ist bei deren Beseitigung eine Kontamination angrenzender, nicht befallener Gebäudebereiche zu verhindern. Deziert ist in verschiedenen Regelwerken ([12] bis [14]) und Leitfäden ([1], [3], [15], bis [18]) ab einem bestimmten Umfang des Schimmelschadens eine effektive Abschottung gefordert. Dies ist an der Baustelle oft mit Schwierigkeiten und großem Aufwand verbunden. Um die geforderte Abschottung angrenzender Bereiche zu gewährleisten, stehen unterschiedliche technische Maßnahmen zur Verfügung. Im Folgenden wird versucht dazu einen Überblick zu geben und die unterschiedlichen System-Ansätze soweit möglich zu systematisieren. Darüber hinaus werden auch die Kontaminationsmechanismen diskutiert.

2.1 Systeme

2.1.1 Konventionelle Abschottung („Baustellenabschottung“)

In der Praxis wenden die sanierenden Firmen häufig eine einfache Folienabschottung an. Diese wird je nach baulicher Situation und Präferenz der ausführenden Firma durch eingekeilte Holzrahmenkonstruktionen, durch Befestigen der Folien mit Hilfe von Klebebändern oder mit Spreizzwingen realisiert. In Fällen, in denen bei einer längeren Sanierungs- bzw. Bauzeit höhere Anforderungen an die Abschottung gestellt werden, können diese auch aus Gipskartonplatten auf einer Aluminiumprofil-Konstruktion aufgebaut sein [17].

Die nötigen Durchgänge zum Betreten bzw. Verlassen des Schwarzbereiches werden meistens einfach und ohne Schleusenkammer ausgeführt. Oft werden Durchgänge in den Abschottungen dadurch hergestellt, indem man zwei Folienbahnen sich um ca. 15 - 40 cm lose überlappen lässt, um so ein Betreten und Verlassen zu ermöglichen. Dies ist die einfachste und verbreitetste Art der Abschottung und hat die Vorteile, dass sie jeweils unmittelbar vor Ort und an die jeweilige Situation angepasst ausgeführt werden kann. Allerdings wird bei dieser einfachen Ausführung mit sich überlappenden Folienbahnen nur die größte Schmutzübertragung verhindert. Diese Art Durchgang vermittelt zumindest den Eindruck, einen anderen, verschmutzten bzw. saubereren Bereich zu betreten und dient als Erinnerung bestimmte Sicherheitsvorkehrungen vorzunehmen. Eine wirkliche Barriere für Verunreinigungen bildet sie nicht. Natürlich ist es auch möglich, in dieser Art aufwändigere Folienkonstruktionen auch mit Schleusenvorraum herzustellen. Diese sind jedoch nur einmalig verwendbar und benötigen entsprechend Zeit und Aufwand zu ihrer Herstellung.

Die Firma ZipWall bietet unter dem Namen FoamRail™ ein Leistensystem an, das in Kombination mit den passenden Spreizzwingen eine Rahmenkonstruktion oder eine Verklebung zur Erstellung der Folien-Abschottung überflüssig macht.

2.1.2 Vorgefertigte Systeme

Aufwändiger ist die Verwendung von sogenannten Staubschutztüren. Diese Systeme funktionieren oft mit Reißverschlüssen und werden meist vor bzw. in eine Öffnung der Abschottung eingeklebt. Ebenfalls von der Firma ZipWall werden selbstklebende Reißverschlüsse angeboten, die auf die Folienabschottung aufgeklebt werden. Der aufgeklebte Reißverschluss wird dann geöffnet und die dahinterliegende Folie zwischen den Hälften des Reißverschlusses aufgeschnitten.

Von vielen Herstellern werden Folientüren angeboten, die entweder auf drei Seiten umlaufend mit einem Reißverschluss (z. B. Fa. Würth, Fa. Novatoo, Fa. Berner) oder rechts und links mit separaten Reißverschlüssen (z. B. Fa. Meister) ausgestattet sein können. Verschiedene Anbieter liefern vergleichbare Staubschutztüren auch mit Klettverschluss oder Magnetleisten, die als selbstschließend angeboten werden (z. B. Fa. Toweil).

Türen mit festem Blatt und Scharnieren werden wegen des in vielen baulichen Situationen höheren Aufwandes bei der Herstellung der Abschottung seltener eingesetzt. Fertig aufgebaute Schwingtüren mit einer Alurahmenkonstruktion werden als Staubschutztüre aber von verschiedenen Firmen angeboten (z. B. Fa. Heylo).

Die Vorteile dieser Systeme liegen darin, dass sie schnell aufgebaut und meist auch preiswert sind. Sie sparen damit Zeit und Aufwand. Im Gegensatz zum Foliendurchschlupf (Baustellenabschottung) sind sie wesentlich stabiler und langlebiger und könnten unter Umständen mehrfach verwendet werden. Allerdings ist bei diesen Systemen mit etwas mehr Aufwand in der Aufstellung und Anpassung zu rechnen, auch sind sie durch die Vorfertigung wenig flexibel und an die baulichen Gegebenheiten in der Regel nicht anpassbar. In diesen Fällen müssen sie zusätzlich mit einer Folienabschottung kombiniert werden. Verunreinigungen können beim Durchschreiten der vorgefertigten Systeme leicht mit ein- und ausgetragen werden. Es ist aber unter Umständen möglich, bei Bedarf eine Absaugung zur Erhöhung der Sicherheit anzubringen, was zusätzlichen Installationsaufwand und die Notwendigkeit einer Stromversorgung mit sich bringt.

2.1.3 Schleusensysteme

Eine Erweiterung der vorgefertigten Systeme stellen Schleusensysteme dar, die quasi einen eigenen abgetrennten Vorraum darstellen. Die Konstruktion dieser Schleusensysteme kann unterschiedlich ausgeführt sein. Der Vorraum bzw. die Schleuse kann von den im Schwarzbereich arbeitenden Personen zum An- und Ablegen der Schutzkleidung verwendet werden, so dass auch ein Austrag von Sporen über kontaminierte Kleidung verhindert wird.

Die Fa. Böck Staubschutzsysteme KG bietet verschiedene Varianten von aufblasbaren Staubschutztüren an. Im Angebot der Firma findet sich auch eine aufblasbare komplette Einkammerschleuse (Bild 1). Die Systeme passen sich beim Aufblasen an vorhandene Türöffnungen an, der Verschluss der Durchgänge erfolgt mit Magnetleisten.



Bild 1:
Aufblasbare Sanierungsschleuse. Quelle: Fa. Böck Staubschutzsysteme KG, mit freundlicher Genehmigung.

Die Fa. HS Schwengels hat ein schnell aufbaubares modular flexibles Raumschleusensystem zum Schutz angrenzender Räume gegen Baustaub bei Renovierungen entwickelt (Bild 2). Basierend auf einem patentierten Kabinensystem kann das Raumschleusensystem mit modularen Elementen ergänzt und vielen räumlichen Situationen angepasst werden. Darüber hinaus wird durch eine Absaugung ein Unterdruck erzeugt, der zusätzlich verhindert, dass angrenzende Räumlichkeiten kontaminiert werden.



Bild 2:
Beispiel für ein Schleusensystem der Fa. Schwengels, mit freundlicher Genehmigung.

Der Vorteil dieser Art Schleusensystem liegt darin, dass durch die Bereitstellung eines gesonderten Raumes für das An- und Ablegen der Kleidung bzw. einer zusätzlichen Absaugung das Ein- und Austragen von Kontaminationen zwischen den Räumen erschwert wird. Die verwendeten Oberflächen sind möglichst glatt und damit leicht reinig- und desinfizierbar. Durch die Verwendung von möglichst leichten und stabilen Materialien besitzen die einzelnen Elemente ein Gewicht, das von einer Einzelperson bewältigt werden kann, dennoch sind für die Aufstellung zwei Personen wünschenswert. Grundsätzlich sind die Elemente so gefertigt, dass sie sich einfach und logisch verbinden lassen. Vor der Anwendung der Schleuse sollte eine Einweisung gegeben werden und für die zügige Applikation ist etwas Übung notwendig. Die Konstruktionen sind modular anpassbar, aber erfordern einen gewissen Mindest-Raum für ihre Anwendung. Besondere Vorteile sind die Stabilität und die Möglichkeit durch das Anbringen einer zusätzlichen Absaugung die Funktionalität deutlich zu erhöhen sowie die Nachhaltigkeit bedingt durch die wiederholte Einsatzmöglichkeit.

2.2 Kontaminationsmechanismen

Eine Definition von Kontamination bzw. Kontaminierung liefern die Richtlinien zur Schimmelpilzsanierung nach Leitungswasserschäden [19], in denen sie als »Luftgetragene sekundäre Verunreinigung mit Mikroorganismen« beschrieben werden. Als *Sekundäre Verunreinigung* wird eine »Verteilung von Schimmelpilzsporen z. B. über die Luft aus einem aktiven Befall und Ablagerung auf Materialien ohne dort aktiv zu wachsen« bezeichnet. Im Gegensatz dazu steht der *Primäre Befall*, »hierbei wachsen und vermehren sich die Schimmelpilze auf dem Material (aktiver Befall)«. Auch Schimmelpilzkontaminationen, bei denen

das Wachstum nicht mehr aktiv ist (ausgetrocknete primär befallene Gegenstände) zählen zu primärem Befall (inaktiver Befall)«.

Schimmelpilzsporen und Hyphenfragmente können über die Luft verbreitet werden aber auch über Anhaftung an Schmutzpartikeln und Kleidung. Beim Betreten und Verlassen eines belasteten Raumes können die Sporen sowohl alleine durch die Luftbewegung übertragen werden, als auch in Form von Anhaftungen an die Kleidung der in diesem Raum arbeitenden Personen.

Im Falle eines Schimmelschadens stellen sich folgende Fragen:

- Welche Kontaminationsquellen sind zu beachten?
- Wie groß sind die potenziellen Kontaminationsquellen. (Ausdehnung und Intensität der Sporulation)?
- Welche Gefahrenmomente sind gegeben?
- Wie können die Mitarbeiter vor gesundheitsschädlichen Partikeln bzw. Schimmelsporen geschützt werden?
- Wie kann eine Kontamination der angrenzenden Räume durch Schimmelpilzsporen haltiges Material vermieden werden.

Das Umweltbundesamt [3] nennt folgende Wirkungen von Schimmel in Innenräumen auf die Gesundheit des Menschen:

»Bei der Beurteilung der Auswirkung von Schimmelbefall auf die Gesundheit der Raumnutzer muss einerseits deren gesundheitliche Situation (Prädisposition) und andererseits das Ausmaß des Schimmelbefalls mit der Freisetzung von Bioaerosolen (Exposition) berücksichtigt werden. Die AWMF-Schimmelpilz-Leitlinie gibt wichtige Hinweise für die medizinische Diagnostik bei Schimmelbefall. Bevölkerungsbezogene Studien haben hinreichend gezeigt, dass Menschen, die Feuchte/Schimmel in Innenräumen ausgesetzt sind, einem erhöhten Risiko vielfältiger Atemwegserkrankungen unterliegen«.

Neben dem Schutz der angrenzenden Räume ist der Schutz der in den betroffenen Räumen arbeitenden Personen zu berücksichtigen. Hier kann durch das Tragen von entsprechender Schutzkleidung und dem Ablegen der getragenen Kleidung in einem gesonderten Bereich (Schwarz- Weiß- Trennung) eine deutliche Reduzierung der Kontaminationsmöglichkeiten erreicht werden.

Im Falle von Sanierungsarbeiten bei Schimmelpilzbefall unterscheidet das Umweltbundesamt ([1], [3]) Sanierungen von Schimmelbefall kleinen bis mittleren Umfangs (< 0,5m², nur oberflächlicher Befall...) mit bekannter Ursache und Sanierungen eines großen Schimmelschadens. Bei kleineren Schäden sollten folgende Maßnahmen ausreichen.

Persönliche Schutz- und Vorsichtsmaßnahmen bei der Beseitigung eines kleinen Schimmelbefalls ([1], [3]):

- Schimmelpilze nicht mit bloßen Händen berühren – Schutzhandschuhe aus Kunststoff tragen (in Drogerien oder Baumärkten erhältlich),
- Schimmelbestandteile möglichst nicht einatmen – einfachen Atemschutz tragen (in Baumärkten erhältlich) und nach Gebrauch entsorgen!
- Bei Arbeiten über Kopf oder Spritzgefahr Schutzbrille tragen!
- Kleidung nach Durchführung der Maßnahmen gründlich waschen!
- Nicht mehr verwendbare befallene Gegenstände und Materialien in reißfesten Foliensäcken (z. B. Müllsäcke) luft- und staubdicht verpacken und mit dem Hausmüll entsorgen! Um die Sporen nicht unnötig in der Raumluft zu verteilen, sollte die Luft beim Verschließen der Säcke nicht „heraus gedrückt“ werden.

Umfangreichere Sanierungsarbeiten sollten allerdings laut Umweltbundesamt von Fachfirmen durchgeführt werden. Kann eine Sanierung nicht zeitnah begonnen werden, so können folgende Sofortmaßnahmen eingeleitet werden ([1], [3]):

- Betroffene informieren
- Aufenthaltsdauer beschränken
- Nutzung aussetzen und kontaminierte Räume abschotten, Fugen an Türen mit Klebeband abkleben (Kennzeichnung der Räume mit „Zutritt verboten“)
- Verschleppen mikrobieller Partikel und Stäube vermeiden und daher befallene Gegenstände vor Ort belassen oder verpackt entsorgen
- Befall abschotten durch (vorrübergehende) dichte Abdeckung mit Folie; Kondensat unter der Abschottung vermeiden
- Befall binden (Überstreichen mit Farben/Lacken als Übergangsmaßnahme)
- Verunreinigte, nicht mikrobiell befallene Gegenstände, die aus den Räumen geholt werden, reinigen.
- Luftreiniger betreiben oder Lüftungsmaßnahmen durchführen, dabei ist eine Verschleppung von mikrobiellen Bestandteilen in andere nicht befallene Bereiche und die Gefährdung Dritter zu vermeiden

Es finden sich ausdrücklich folgende Hinweise: »Der Sanierungsbereich ist unbedingt von nicht betroffenen Gebäudeteilen abzuschotten und durch technische Be- und Entlüftung ggf. in Unterdruck zu halten«.

Als wichtiger Aspekt bei der Entfernung und Bearbeitung von Materialien wird genannt: »Bei Entfernung schimmelbefallener Materialien können größere Mengen an Staub, Schimmelpilzsporen sowie weitere biogene Partikel und Substanzen freigesetzt werden«.

3 Material und Methoden

3.1 Zielsetzungen

Ziel des Forschungsvorhabens war es, die Leistungsfähigkeit unterschiedlicher Schleusen- und Durchgangssysteme für die Baustellenabschottung bei der Sanierung von Schimmelpilzschäden zu untersuchen und zu bewerten. Besonderes Augenmerk wurde auf die Abschottungseffizienz/Sicherheit in der Anwendung, Einfach- und Robustheit in der Aufstellung/Applikation sowie Wirtschaftlichkeit/Nachhaltigkeit der Systeme gelegt. Bedingt durch die hohe Zahl der am Markt befindlichen Produkte sollten in den Vergleich möglichst praxisrelevante Verfahren (Baustellenabschottung, vorgefertigte Systeme) sowie das Schleusensystem des Projektpartners (Fa. Schwengels) einbezogen werden. Das Schleusensystem des Projektpartners war ursprünglich als Baustaubschleuse konzipiert, eine Anwendung als flexibles modulares Schleusensystem im Sinne einer Abschottungsschleuse bei der Sanierung von Schimmelpilzschäden wird getestet und mit anderen Lösungen verglichen. Soweit möglich sollen allgemeine Verbesserungshinweise bzw. Ratschläge zur Anwendung von Abschottungen/Schleusen bei der Sanierung von Schimmelpilzschäden im Allgemeinen sowie von modularen Schleusensystemen im speziellen ermittelt werden.

Das Vorhaben „Applikation eines Raumschleusen-Systems zur Abtrennung bei Schimmelpilzarbeiten“ gliedert sich in folgende wesentlichen Teilbereiche:

3.2 Literatur- und Internetrecherche

Durch eine gezielte Literaturrecherche wurden die Anforderungen an ggf. notwendigen Abschottungen bzw. Schleusensystemen beim Einsatz bei der Schimmelschadenbeseitigung erhoben. Auch geltende Regelwerke wurden überprüft. Zusätzlich wurden weitere Literaturquellen sowie die marktgängigen Systeme auch mit Hilfe von Internetrecherchen erhoben.

Entsprechend der Gliederung der verschiedenen Systeme in 1.1 wurden repräsentative Beispiele für die Vergleichsuntersuchungen ausgewählt. Dazu wurden wiederholte Recherchen im Internet herangezogen.

3.3 Untersuchungen

Im Folgenden sind die verschiedenen Teilbereiche der durchgeführten Untersuchungen detailliert dargestellt.

3.3.1 Untersuchte Systeme

Die Messungen wurden mit unterschiedlichen Varianten von Abschottungen/Schleusen durchgeführt. Im Einzelnen wurden getestet:

- Zwei vorgefertigte Abschottungen unterschiedlicher Marken aus Kunststofffaservlies mit Reißverschluss, käuflich erworben (Bild 3 und Bild 4)
- Eine einfache, vor Ort angefertigte Baustellen-Abschottung aus überlappenden Plastikfolien, selbst aufgebaut (entsprechend der Praxis an vielen Baustellen)
- Modulares Schleusensystem mit Absaugung, zur Verfügung gestellt vom Projektpartner (Bild 5). Durch die installierte Absaugung ist ein ca. 20-facher Luftwechsel im Schleusenbereich erzielbar. Die Funktionalität der Absaugung wurde im Vorfeld durch den Projektpartner mittels Smoker geprüft und in einem Video festgehalten (<http://www.innenraum-luft.de/videos/video-03/index.php>), siehe auch Bild 6.



Bild 3:
Abschottung aus Kunststofffaservlies mit geöffnetem Reißverschluss.



Bild 4:
Blick durch den Vorraum auf Abschottung mit Reißverschluss.



Bild 5:
Modulares Schleusensystem mit Absaugung, mit „Versuchsperson“.



Bild 6:
 Test der Absaugeffizienz des modularen Schleusensystems mittels Smoker
 (Quelle: <http://www.innenraum-luft.de/videos/video-03/index.php>, aufgerufen am 28.9.2018).

3.3.2 Konzeption des Untersuchungs-Setups

Setup-Planung

Im Zuge der Konzeption wurde eine Auswahl von Abschottungs-/ Schleusensystemen, die in den Vergleich der Abschottungseffizienz einbezogen werden, getroffen.

Für die Durchführung der Versuche wurde ein Versuchskonzept erstellt, das eine zeitlich parallele Messung an zwei Systemen erlaubt. Hierzu wurden im Versuchskonzept zwei identische Räume, deren Innenraumluft mit Sporen beaufschlagt werden können und zwei Vorräume, die auch groß genug sind für den Aufbau des modularen Schleusensystems mit Absaugung, geplant. Die Testräume wurden so dimensioniert, dass mit einem Raumvolumen von mindestens 5 m^3 bei einer Probenahme mit einem Gesamtvolumen von 500 l Luft nicht mehr als 10% des Raumvolumens beprobt werden, um eine Abreicherung durch die Probennahme zu vermeiden.

Darüber hinaus waren die notwendigen Abläufe festzulegen, die benötigten Messdurchgänge zu quantifizieren und die Messpunkte festzulegen (Testraum, Schleuse, Umkleide, etc.).

Ebenfalls Teil der Konzeption war die terminliche Abstimmung zwischen allen beteiligten Projektpartnern.

Aufbau des Testraums

Aufbauend auf den vorangegangenen Arbeiten konnte das abgestimmte experimentelle Setup aufgebaut werden. Die Planung sah hierzu die Erstellung mindestens eines Testraumes vor, an dem verschiedene Abschottungen oder Schleusen praxisnah angebracht werden können.

Entsprechend wurden zwei gleichartige Räume mittels beschichteter Spanplatten in einer Holzrahmenkonstruktion (außenseitig) aufgebaut. Das Raumvolumen wurde mit ca. 8 m^3 so ausgelegt, dass bei den Probenahmen weniger als 10 % des Raumvolumens beprobt werden. In jedem dieser Versuchsräume wurde mit 3 handelsüblichen PC-Lüftern mit je 120 mm Durchmesser, Nennvolumenstrom 76,6 CFM (entspricht $2,17 \text{ m}^3/\text{min}$), die Luft umgewälzt und Sporen von der Oberfläche sporulierender Kolonien durch die Anströmung mit Luft freigesetzt (Bild 9). Den so dotierten Räumen war jeweils ein Vorräum vorgebaut. Die Vorräume waren in der Größe so dimensioniert, dass sie für die Aufstellung eines modularen Schleusensystems mit Absaugung ausreichend waren. Die Abtrennung zwischen dem sporenbeaufschlagten Raum und dem Vorräum wurde entweder durch ein modulares Schleusensystem mit Absaugung oder eine einfache Folienabschottung auf Holzrahmen bzw. mit der zu testenden Schleuse hergestellt. Der Aufbau des Untersuchungs-Setups erfolgte durch den Projektpartner. Strom und Beleuchtung wurde in den Testräumen bereitgestellt. Die Testräume wurden entsprechend der Konzeption in der Setup-Planung aufgebaut (Bild 7). Um eine weitgehende Gleichheit der Volumina der Test- und Vorräume zu gewährleisten, wurde beim Vorräum, in den die Schleuse des modularen Systems hineinragt, außen eine weitere baugleiche, aber nach innen offene Schleuse vorgebaut.



Bild 7:
Gesamter Versuchsaufbau mit Blick auf die Vorräume, dahinter erkennbar die Testräume mit Baustellenabschottungen.

Prüfpilze, Vorbereitung der Testsituation

Für die planmäßige Durchführung der Untersuchungen war weiter die terminlich koordinierte Anzucht ausreichender Mengen sporulierender Schimmelpilze als Testorganismen für die Erzeugung einer „Schimmelbelastung“ in den Testräumen notwendig.

Aus der lebenden Datenbank mit bauteilrelevanten Organismen, die am IBP vorgehalten wird, wurde eine Reihe von typischen Pilzen, die bei Schimmelpilzschäden auftreten können, ausgewählt.

Die für den Test einsetzbaren Prüfpilze müssen verschiedene Anforderungen erfüllen. Zum einen müssen die Pilze Bezug zur Praxis haben, also entweder selbst häufig bei Schimmelschäden auftreten oder den Arten, die bei Schimmelschäden häufig auftreten, sehr ähnlich sein. Dies gilt insbesondere für die luftgetragenen Verbreitungseinheiten (in der Regel Sporen). Des Weiteren dürfen aus Gründen des Arbeitsschutzes von den verwendeten Arten keine besonderen gesundheitlichen Gefahren (Virulenz) ausgehen. Außerdem ist es für die praktische Durchführung sinnvoll, wenn die ausgewählten Prüfpilze leicht anzuzüchten und in der Handhabung nicht allzu empfindlich sind. Anhand dieser Kriterien wurden die in Tabelle 1 dargestellten Pilze ausgewählt.

Tabelle 1:

Pilztaxa, die für die Durchführung der Versuche ausgewählt wurden (Bild 8).

<i>Eurotium rubrum</i>	Häufig in Verbindung mit abtrocknenden Wasserschäden, Sporen vom <i>Aspergillus</i> -Typ
<i>Penicillium roquefortii</i>	Ungefährlicher Stamm aus der Nahrungsmittelproduktion, entspricht morphologisch häufigen <i>Penicillium</i> -Arten in Gebäuden
<i>Cladosporium cladosporioides</i>	Sehr häufiger Pilz, Sporen größer, heterogener und komplexer als <i>Aspergillus</i> / <i>Penicillium</i>



Bild 8:

Die verwendeten Isolate der Testpilze aus der lebenden Datenbank des IBP.

Drei Wochen vor den jeweiligen Versuchen wurden die Testpilze auf geeigneten Nährböden flächig angeimpft und herangezogen. Die Kulturen wurden durch ein abgestimmtes Temperatur- und Feuchtereime zur Sporulation angeregt.

Für die Freisetzung der Sporen der Testpilze wurde ein Ventilationssystem entworfen, das durch Luftströmung Sporen von der Oberfläche sporulierender Kolonien freisetzt.



Bild 9:
Ventilationssystem mit sporulierenden Pilzkulturen in den Testräumen.

Zur Vorbereitung der Versuche erfolgte zunächst die technische Abstimmung der Versuchsaufbauten, um die Messungen zu ermöglichen.

Zur Herstellung einer Testsituation wurden in den Versuchsräumen die jeweiligen Abschottungen aufgebaut. Für das modulare Schleusensystem wurde die Absaugung auf Flussraten von ca. $0,23 \text{ m}^3/\text{s}$ eingestellt.

3.3.3 Vorversuche und Testablauf unter den Testbedingungen

Vor den eigentlichen Testläufen wurden der Versuchsaufbau hinsichtlich seiner Funktionsfähigkeit und Stabilität getestet und der zeitliche Ablauf der Versuche mit den zeitlichen Erfordernissen der analytischen Laborarbeiten abgestimmt.

Versuchsdurchführung und experimentelles Setup entsprachen hierbei ohne wesentlichen Optimierungsbedarf den Erwartungen. Die Sporenkonzentrationen, die durch Luftumwälzung nach Aufstellung der geöffneten Kulturschalen in den Testräumen erreicht wurden, lagen zwischen 250 und 6000 KBE/m^3 und entsprachen somit den Konzentrationen, die nach unseren Erfahrungen in realen Belastungssituationen in Gebäuden häufig auftreten.

Insgesamt war der Aufwand für die Versuche beträchtlich. Insbesondere der zeitliche und personelle Aufwand für Anzucht und Pflege der Prüfpilze, Vorbereitung und anschließender Hygienisierung des Setups und die notwendigen Laborarbeiten war umfangreich. Dennoch konnten im Rahmen dieser Untersuchungen eine Reihe von Messungen durchgeführt werden.

3.3.4 Durchführung der Messungen

Basierend auf den vorangegangenen Arbeiten waren im Untersuchungskonzept Messungen der Sporenkonzentrationen in verschiedenen Bereichen des Testsetups vorgesehen. Um eine möglichst hohe Ergebnissicherheit gewährleisten zu können, wurden hierbei Wiederholungsmessungen zur statistischen Absicherung durchgeführt.

Die Luftproben wurden mit einem Filtrationssammler (Sartorius AirPort MD8) unter der Verwendung von Gelatinefiltern entnommen. Pro Luftfilter wurden 50 l Luft beprobt. Bei jeder Messung wurden sechs Luftproben in zeitlich möglichst großer Nähe gesammelt und die Luftfilter unmittelbar nach der Probenahme steril und luftdicht verpackt. Die Luftkeimmessung wurde entsprechend VDI 4300-10 [22] bzw. DIN EN ISO 16000-17 [23] durchgeführt.

Zu Beginn jedes Messdurchganges wurde die Hintergrundkonzentration in den jeweiligen Vorräumen gemessen. Nach der Messung der Hintergrundkontamination wurden die Nährboden mit den sporulierenden Schimmelpilzen in den Testräumen geöffnet aufgestellt und die Luftzirkulation eingeschaltet. Nach 10 min. Luftumwälzung wurden Messungen in den Testräumen durchgeführt. Während der Messungen in den Testräumen wurden diese dreimal durch die Schleuse verlassen und wieder betreten, um die Praxis an den Baustellen zu simulieren. Außer während des Verlassens oder Betretens wurden die Absichtungen geschlossen gehalten. Nach den Messungen in den Testräumen wurden die Messungen in den Vorräumen durchgeführt.

Insgesamt wurden 156 Einzelmessungen zur Sporenkonzentration in der einsatzbereiten Versuchseinrichtung durchgeführt.

Luftfeuchte und Lufttemperatur an den verschiedenen Messpunkten wurden zu Beginn der Messungen aufgezeichnet und stichprobenhaft kontrolliert, um gleichbleibende Bedingungen sicherzustellen.

Beim modularen Schleusensystem mit Absaugung wurden die Messungen wiederholt, da beim ersten Messdurchgang die Absaugung aus der Schleuse nicht korrekt installiert war.

3.3.5 Laborauswertung

Die erfassten Sporen wurden auf Selektivmedien inkubiert und aus der Zahl der aufwachsenden Kolonien die Sporenkonzentrationen der verschiedenen Messpunkte und Messzeitpunkte errechnet. Anhand der ermittelten Sporenkonzentrationen wurden die unterschiedlichen Abschottungsvorrichtungen/Schleusen verglichen.

Die Anzucht der Sporen auf den Filtern erfolgte (transportbedingt) jeweils am Tag nach den Messdurchgängen. Die verwendeten Gelatinefilter wurden unter sterilen Arbeitsbedingungen auf Dichloran-Glyzerin-Agar (DG18) und Malzextrakt-Agar (MEA) aufgelegt und bei 25 °C im Dunklen inkubiert. Nach 5 und 10 Tagen wurden die angewachsenen Kolonien auf den Selektivmedien gezählt und daraus resultierenden Konzentration von Keimen in KBE/m³ (koloniebildende Einheiten pro Kubikmeter) ausgerechnet. Wegen der unterschiedlichen Selektivität der Nährmedien wurden die Daten in der folgenden Auswertung für MEA und DG18 separat betrachtet.

Zunächst wurde für jeden Messpunkt und Nährboden der Mittelwert errechnet und die Standardabweichung für die Keimzahlen basierend auf der vorliegenden Stichprobe statistisch geschätzt. Um festzustellen, ob sich die Messwerte unterschiedlicher Systeme unter Berücksichtigung der Messungenauigkeiten tatsächlich unterscheiden, wurde das Intervall von je zwei Standardabweichungen unterhalb und oberhalb des Mittelwertes errechnet. Dieses deckte bei normalverteilten Werten etwa 95 % der Messwerte bei der festgestellten Streuung ab, die Intervallgrenzen entsprachen also in guter Näherung den 95 %-Quantilen. Messungen deren Bereiche der zweifachen Standardabweichung sich überschneiden wurden in der Auswertung als „nicht unterscheidbar“ behandelt, Messungen deren Bereiche sich nicht überschneiden als „unterscheidbar“.

Auf die Anwendung von weiteren statistischen Tests zur Absicherung der gefundenen Unterschiede wurde wegen der relativ kleinen Zahl der Wiederholungen verzichtet.

Abschließend war eine Evaluation der Ergebnisse vorgesehen. Basierend auf der Evaluation sollte eine Optimierung des Betriebes der Schleusen bzw. deren technischer Ausführung diskutiert werden.

Bei den zuerst durchgeführten Messungen konnte ein Vergleich zwischen dem modularen Schleusensystem mit Absaugung und einer Baustellenabschottung mit Reißverschluss gezogen werden. Hierbei zeigte sich eine höhere Effizienz des modularen Schleusensystems. Beim Abbau der Anlage wurde jedoch festgestellt, dass beim modularen Schleusensystem während der Messungen der Absaugschlauch nicht korrekt installiert war, wodurch eine Wiederholung der Messungen nötig wurde. Darüber hinaus wurden im Zuge der Wiederholungsmessungen eine weitere Baustellenabschottung mit Reißverschluss sowie die einfache Folienabschottung untersucht.

4 Ergebnisse

4.1 Literaturrecherche

4.1.1 Literatur

In der Literatur zur Thematik finden sich zum einen Regelwerke über das Arbeiten mit biologischen oder allergen wirkenden Arbeitsstoffen allgemein, Leitfäden und Handlungsempfehlungen mit Bezug zur Sanierung von Schimmelpilzschäden, sowie zu Hygienemaßnahmen in Krankenhäusern und Arbeiten in Reinräumen. Im Folgenden werden, neben bereits zitierten Arbeiten und Richtlinien, besonders wichtige Arbeiten und Regelwerke hervorgehoben.

Schmidt, M.; Seipel, A.; Madlener, K.: Technische Hygiene im Krankenhaus: Baumaßnahmen im laufenden Betrieb, Krankenhaus-Hygiene und Infektionsverhütung. 35 Heft 4 (2013): 119–124. [22]

»Zu den Infektions- und Streuquellen zählen insbesondere Erdaushubarbeiten, Abbrucharbeiten von Mauerwerk und Öffnen von Zwischendecken in hygienisch sensiblen Bereichen. Dies stellt eine besondere Gefahr für immunsupprimierte Patienten, wie z. B. hämatoonkologische Patienten und Transplantationspatienten dar. Daher erfordern Bautätigkeiten eine frühzeitige und weitreichende Planung. Sie sollte technische, organisatorische und brandschutztechnische Aspekte umfassen. Eine Risikoanalyse erleichtert bei der Entscheidung geeignete Schutzmaßnahmen zu treffen«. Hier wird ausdrücklich empfohlen: »Um die Patienten vor Baustaubassozierten Schimmelpilzen der Gattung *Aspergillus* effektiv schützen zu können, bieten luft- und staubdichte Staubschutzwände aus Folie oder Gipskarton eine praktikable bauliche Barriere« [22].

Explizite Angaben zu Baustellenabschottungen und Schleusensystemen finden sich relativ selten wie z. B.:

Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft: „Handlungsanleitung Gesundheitsgefährdung durch biologische Arbeitsstoffe bei der Gebäudesanierung“, BG-Information 858, Berlin 2006 [17]

»Diese Handlungsanleitung dient als Hilfe zur Ermittlung und Beurteilung der Gefährdungen bei Gebäudesanierungsarbeiten mit Kontamination durch biologische Arbeitsstoffe. Sie dient insbesondere der Auswahl geeigneter Schutzmaßnahmen unter Berücksichtigung der Biostoffverordnung (BioStoffV). [...] Die in dieser Handlungsanleitung aufgeführten Gefährdungen und daraus abgeleiteten Schutzmaßnahmen beruhen auf dem heutigen Stand der technischen und arbeitsmedizinischen Erkenntnisse« [17].

»Bei Aufräum-, Abbruch- und Sanierungsarbeiten werden Staub und Sporen aufgewirbelt und können eingeatmet werden. Die Sensibilisierungsbereitschaft ist größer bei hoher Staub-/Sporenexposition und bei länger andauernder oder häufig wiederholter Einwirkung. Unter bestimmten Voraussetzungen kann sich bei entsprechend veranlagten Personen eine Erkrankung einstellen. Wie unter Abschnitt 4 erwähnt, reicht allein das Vorhandensein von Schimmelpilzen noch

nicht aus, um die konkrete Gefährdung der Beschäftigten bei der Tätigkeit zu beurteilen. Relevant sind insbesondere Expositionsart, Konzentration und Dauer der Einwirkung« [17].

Im Kapitel „Spezielle Anforderungen bei biologischen Arbeitsstoffen“ findet sich ein Abschnitt:

»Gefährdungsbeurteilung: Gebäudesanierungsarbeiten zur Beseitigung von Schimmelpilzbefall sind nicht gezielte Tätigkeiten im Sinne der BioStoffV. Auf Grund des wenig relevanten Infektionsrisikos der hier anzutreffenden Schimmelpilze sind diese Tätigkeiten der Schutzstufe 1 zuzuordnen. Wegen ihres allergisierenden und toxischen Potenzials sind jedoch zusätzlich weitergehende Schutzmaßnahmen erforderlich. Über die Haupteinflussfaktoren Dauer der Tätigkeit und zu erwartende Expositionshöhe kann [...] eine sogenannte Gefährdungsklasse abgeleitet werden. Ziel ist, durch die Auswahl geeigneter Sanierungsverfahren in eine möglichst niedrige Gefährdungsklasse zu gelangen.

Insbesondere bei der Einstufung der zu erwartenden Expositionshöhe [...] sollten im Einzelfall folgende Faktoren berücksichtigt werden:

- Größe der befallenen Fläche,
- Feuchte des befallenen Materials,
- Vorliegen eines Feuchteschadens mit Befall tieferliegender Schichten,
- Zeitpunkt des Schadenseintritts,
- Ausgewähltes Arbeits-/Sanierungsverfahren und dessen Einfluss auf die Sporenverbreitung« [17].

Zur Vermeidung der Kontamination unbelasteter Bereiche werden verschiedene Schutzmaßnahmen empfohlen. Unter den Schutzmaßnahmen der Gefährdungsklasse 1 findet sich folgende Anweisung:

»Da bei der Sanierung arbeitsbedingt Schimmelpilzsporen aufgewirbelt bzw. freigesetzt werden können, ist eine Verbreitung von Sporen und damit die Kontamination unbelasteter Bereiche zu verhindern. Diesbezüglich kommen in Abhängigkeit von der konkreten Schadenssituation vor allem folgende Maßnahmen in Frage:

- Beräumung des näheren Schadensumfeldes und gründliche Reinigung nach der Sanierung,
- Abdeckung von Mobiliar, Wänden und Böden (insbesondere Teppichböden) des (näheren) Schadensumfeldes,
- Staubdichte Abtrennung des Schadensbereiches« [17].

Zu den Schutzmaßnahmen der Gefährdungsklasse 2 gehört die sogenannte Schwarz-Weiß-Trennung.

»Die kontaminierten Bereiche sind als Schwarz-Bereiche zu kennzeichnen. Der Übergang vom belasteten Schwarz-Bereich in den unbelasteten Weißbereich hat über eine Schwarz-Weiß-Trennung zu erfolgen. Je nach Sanierungsumfang kann diese Trennung unterschiedlich ausgestaltet sein. Bei kleinen Räumen ist es u. U. ausreichend, die Räume abzudichten« [17].

4.1.2 Regelwerke

Biostoffverordnung (BioStoffV): Verordnung zur Neufassung der Biostoffverordnung an die Richtlinie 2010/32/EU des Rates vom 10. Mai 2010. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2013 Teil I Nr. 40. Abgerufen am 28.11.2017. [12]

»Die Verordnung gilt für Tätigkeiten mit Biologischen Arbeitsstoffen (Biostoffen). Sie regelt Maßnahmen zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten vor Gefährdung durch diese Tätigkeiten. Sie regelt zugleich auch Maßnahmen zum Schutz anderer Personen, soweit diese aufgrund des Verwendens von Biostoffen durch Beschäftigte oder durch Unternehmer ohne Beschäftigte gefährdet werden können« [12].

Sie definiert den Anwendungsbereich, Begriffe und die Einstufung von Biostoffen in Risikogruppen. Sie regelt die Gefährdungsbeurteilung und legt Tätigkeiten mit und ohne Schutzstufenzuordnungen fest. Des Weiteren nennt sie Grundpflichten und Schutzmaßnahmen, sowie Maßnahmen zur arbeitsmedizinischen Vorsorge.

TRBA 500: Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe. Grundlegende Maßnahmen bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen. Ausgabe 2012. Abgerufen am 28.11.2017 [13]

»Diese TRBA beschreibt grundlegende Maßnahmen, die bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen anzuwenden sind. Sie stellen einen Mindestschutz der Beschäftigten bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen bezüglich ihrer infektiösen, toxischen und sensibilisierenden Eigenschaften sicher« [13].

Sie beinhaltet den Anwendungsbereich, Begriffsbestimmungen, Gefährdungsbeurteilung, Schutzmaßnahmen und weiterführende Literatur und Informationsquellen.

»Unter grundlegenden Maßnahmen im Sinne dieser TRBA sind Hygienemaßnahmen zu verstehen, die dem Schutz der Beschäftigten vor biologischen Arbeitsstoffen dienen. Hygienemaßnahmen umfassen neben Maßnahmen der persönlichen Körperhygiene bauliche, technische, organisatorische und persönliche Schutzmaßnahmen zur Verringerung der Belastung der Luft, von Materialien, Produkten oder Oberflächen durch biologische Arbeitsstoffe mit dem Ziel, Infektionen, sensibilisierende und toxische Wirkungen zu verhindern« [13].

Zu diesen Schutzmaßnahmen kann der Einbau und die Verwendung einer Foliensabschottung, vorgefertigter Systeme oder Schleusensystemen gerechnet werden. Als Beispiele für Tätigkeiten mit möglicher Exposition sind explizit »Tätigkeiten bei Reinigung, Wartung, Inspektion oder Instandhaltung in mikrobiell besiedelten oder belasteten Bereichen« sowie die »Entfernung und Entsorgung verunreinigter Materialien« genannt. Unter den technischen und baulichen Maßnahmen werden unter anderem »räumliche Trennung von belasteten und unbelasteten Arbeitsbereichen« und »Kapselung und Absaugung am Ort der Freisetzung« aufgeführt [13].

TRBA/TRGS 406: Technische Regeln für biologische Arbeitsstoffe und Gefahrstoffe. Sensibilisierende Stoffe für die Atemwege. Ausgabe 2008. Abgerufen am 28.11.2017. [14]

»Diese TR gibt dem Arbeitgeber Hilfen bei der Gefährdungsbeurteilung, der Auswahl von Schutzmaßnahmen, bei der Beratung der Beschäftigten sowie für die arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen bei Tätigkeiten mit atemwegssensibilisierenden Arbeitsstoffen« [14].

»In dieser TR sind die Schutzmaßnahmen gegen atemwegssensibilisierende Arbeitsstoffe dargestellt« [14].

Unter den technischen Maßnahmen sind folgende Punkte aufgeführt:

»Luftbewegungen (z. B. Zugluft, Thermik), durch die Allergene an andere Arbeitsplätze gelangen können sind zu verhindern« und »Bereiche mit hoher Freisetzung von atemwegssensibilisierenden Arbeitsstoffen (z. B. Wiege-, Mischplätze) sind soweit möglich von anderen Betriebsstellen räumlich zu trennen (z. B. Einkapselung in Kabinen). Die Lüftung ist dabei so zu gestalten, dass gegenüber den übrigen Arbeitsbereichen ein leichter Unterdruck erzeugt wird, um die Ausbreitung sensibilisierender Arbeitsstoffe zu verhindern« [14].

Umweltbundesamt: Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes: Leitfaden zur Vorbeugung, Erfassung und Sanierung bei Schimmelfall in Gebäuden, 2017, Umweltbundesamt Dessau-Roßlau. [3]

In diesem Leitfaden wird die Thematik „Schimmelfall in Gebäuden“ ausführlich diskutiert und insbesondere auch auf die Sanierung eingegangen. Wesentliche Voraussetzung für die Auslegung von Schutzmaßnahmen ist die Gefährdungsbeurteilung (Tabelle 2).

»Abhängig von der ermittelten Gefährdungsklasse werden folgende Schutzmaßnahmen erforderlich [...]« [3].

Tabelle 2:
Gefährdungsklassen und erforderliche Maßnahmen (Auszug aus [3])

Maßnahmen	Gefährdungs- klasse 1	Gefährdungs- klasse 2	Gefährdungs- klasse 3
Abtrennung des Arbeitsbereiches	-	staubdichte Abtrennung, ggf. Übergangsbereich/ Personenschleuse	Schwarz-Weiß-Trennung mit Personenschleuse
Lüftung	-	ggf. technische Lüftung	technische Lüftung
Atemschutz	-	Halbmaske mit P2-Filter	Gebläse unterstützte Hauben oder Masken mit P3-Filter
Augenschutz	bei Spritzwasserbildung oder Arbeiten über Kopf		immer erforderlich
Schutzanzug	-	staubdichter Schutzanzug	staubdichter Schutzanzug
Handschutz	flüssigkeitsdichte Handschuhe, z. B. aus Nitril		

4.2 Untersuchungen

In den folgenden Unterkapiteln sind die Ergebnisse der verschiedenen Untersuchungen detailliert dargestellt.

4.2.1 Vorversuche

Um eine Belastung mit Schimmelsporen zu simulieren, wurden die Testräume mit Sporen kultivierter Pilzstämmen „künstlich kontaminiert“, wie oben beschrieben. Für eine realistische Abschätzung der Wirksamkeit unterschiedlicher Abschottungen waren Sporenkonzentrationen zu erreichen, die in der Praxis üblicherweise auftreten können.

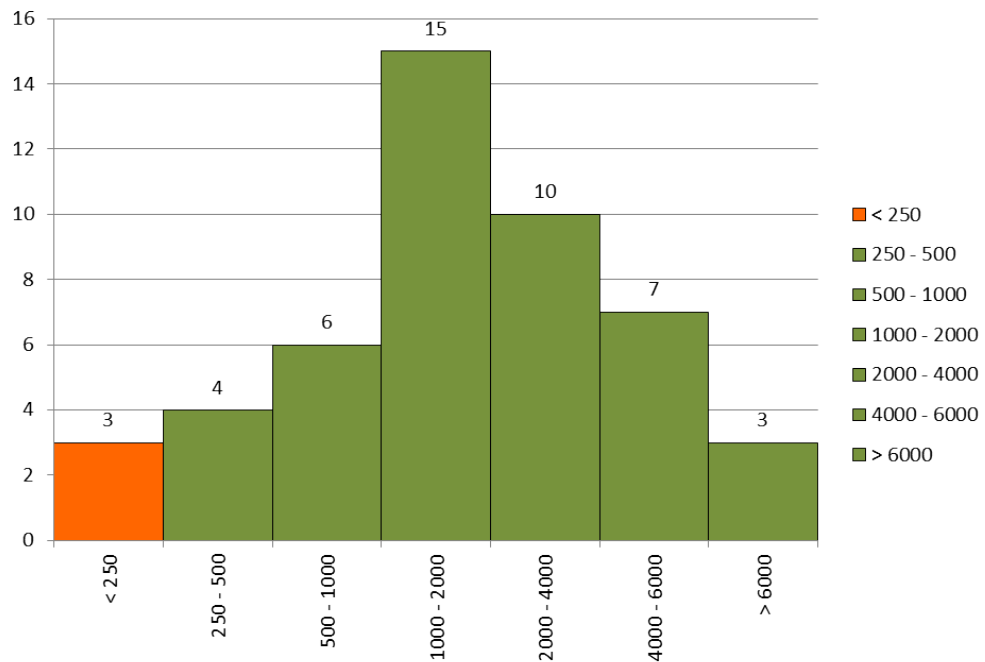


Bild 10:
Häufigkeitsverteilung von Sporenkonzentrationen in den kontaminierten Testräumen. Für die korrekte Versuchsdurchführung zu geringe Konzentrationen sind orange gekennzeichnet.

Die Häufigkeitsverteilung der Keimzahlen der Einzelmessungen ist in (Bild 10) wiedergegeben. Wie aus dem Diagramm zu ersehen, lagen die meisten Einzelmessungen zwischen 250 und 6000 KBE/m³ und waren somit für die Zwecke der Untersuchung prinzipiell geeignet. Drei Messungen lagen unter 250 KBE/m³ und waren somit aus der Auswertung auszuschließen (im Histogramm orange dargestellt). Hierbei handelte es sich um drei Einzelmessungen am modularen Schleusensystem mit Absaugung bei dem (wie sich im Nachhinein herausstellte) das Absaugsystem an der Schleuse nicht korrekt angeschlossen war, so dass aus dem Testraum ein großes Luftvolumen abgesaugt wurde und infolge der hohen Luftwechselrate die Sporen im Raum verdünnt wurden.

4.2.2 Durchführung der Messungen

Eine Übersicht über alle durchgeführten Versuche und die gemessenen Ergebnisse gibt Tabelle 3 wieder. Hier sind alle getesteten Varianten der Abschottung aufgelistet. Es ist jeweils angegeben, ob es sich um die Hintergrundmessung handelt oder die Messung nach der Kontamination. Bei den gefundenen Kolonie bildenden Einheiten (KBE) handelt es sich um Mittelwerte aus 3 Einzelmessungen.

Tabelle 3:
Ergebnisübersicht über die durchgeführten Versuche.

Zeile	Variante der Abschottung	Messung	KBE/m³ MEA	KBE/m³ DG18
1	Modulares Schleusensystem mit Absaugung*	Hintergrund	126,7	113,3
2	Modulares Schleusensystem mit Absaugung*	nach Kontamination	513,3	993,3
3	Modulares Schleusensystem mit Absaugung*	Hintergrund	80,0	60,0
4	Modulares Schleusensystem mit Absaugung*	nach Kontamination	126,7	1220,0
5	Reißverschluss A	Hintergrund	153,3	133,3
6	Reißverschluss A	nach Kontamination	390,0	1306,7
7	Reißverschluss A 2	Hintergrund	106,7	626,7
8	Reißverschluss A 2	nach Kontamination	900,0	1980,0
9	Modulares Schleusensystem mit Absaugung**	Hintergrund	200,0	60,0
10	Modulares Schleusensystem mit Absaugung**	nach Kontamination	200,0	153,3
11	Modulares Schleusensystem mit Absaugung**	Hintergrund	660,0	640,0
12	Modulares Schleusensystem mit Absaugung**	nach Kontamination	220,0	233,3
13	Reißverschluss B	Hintergrund	453,3	280
14	Reißverschluss B	nach Kontamination	1153,3	1573,3
15	Folienschleuse	Hintergrund	420,0	200,0
16	Folienschleuse	nach Kontamination	1046,7	860,0

*mit nicht korrekt angeschlossener Absaugung

**erneuter Durchgang mit korrekt angeschlossener Absaugung

4.2.3 Folienabschottung (Baustellen-Abschottung)

Eine einfache Folienabschottung auf einer Holzrahmenkonstruktion mit zwei ca. 20 cm überlappende Folienbahnen ist auf vielen Baustellen gängige Praxis. In unserer Untersuchung war bei einer einfachen Folienabschottung im Vorraum ein Anstieg der Sporenkonzentration nachweisbar (Tabelle 3, Bild 11), Die Abschottung ist somit nicht als dicht anzusehen.

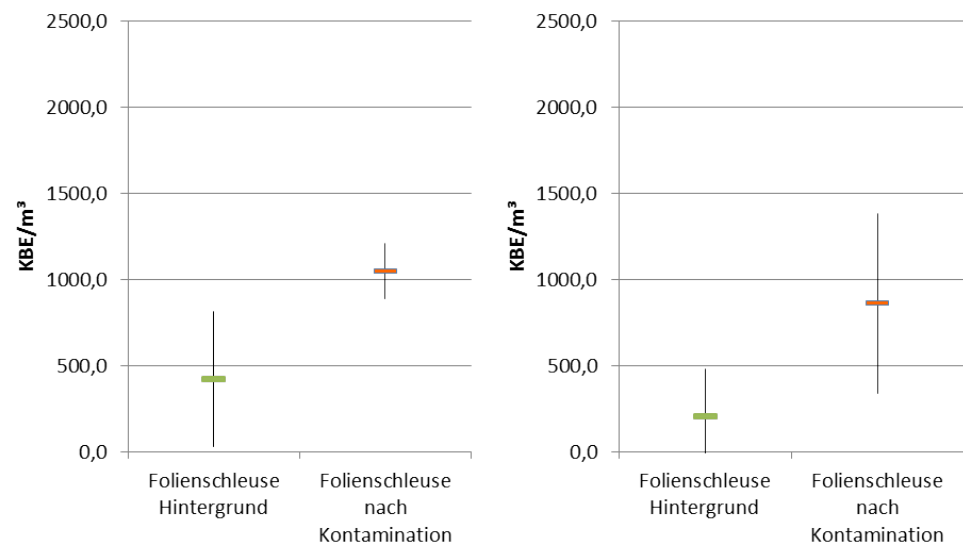


Bild 11:

Untersuchung an der Folienabschottung, Vergleich der Keimzahlen (KBE/m³) im Vorraum vor und nach Kontamination des Testraumes, farbige Balken: Mittelwert, schwarze vertikale Linien: 95 %-Quantilen, linke Bildhälfte Ergebnisse bei Inkubation auf MEA, rechte Bildhälfte Ergebnisse bei Inkubation auf DG18.

4.2.4 Vorgefertigte Abschottungen mit Reißverschluss

Für den Vergleich unterschiedlicher Systeme zur Baustellenabschottung wurden neben der einfachen Folienabschottung auch zwei Systeme mit Reißverschluss getestet. Bei beiden untersuchten Systemen war eine deutliche Erhöhung der Sporenbelastung im Vorraum zu messen, nachdem eine Person die Schleuse dreimal passiert hatte (Tabelle 3 (Zeile 6 und 8)). Die deutlichen Abstände der 95 %-Quantilen (Bild 12 und Bild 13) belegen, dass der Nachweis eines Austrages statistisch relativ gut gesichert ist.

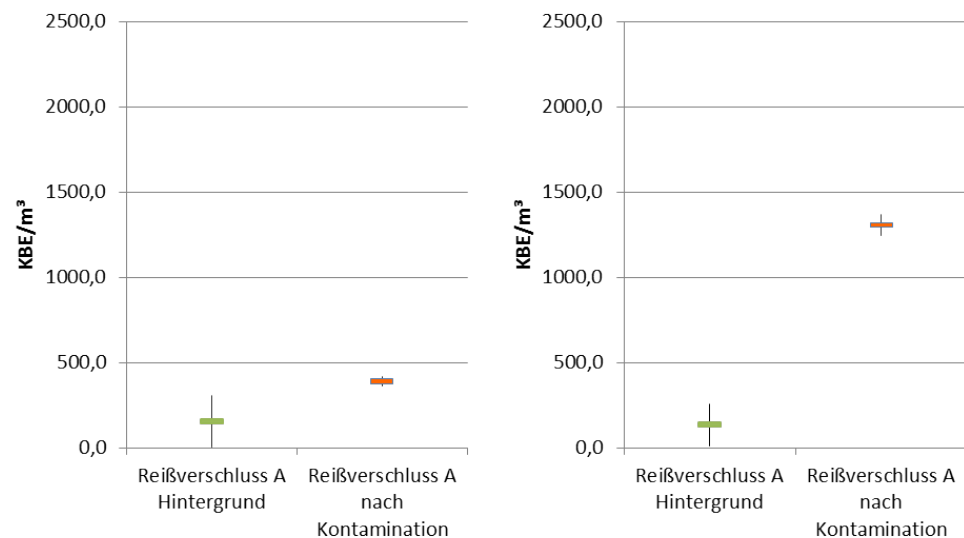


Bild 12:

Untersuchung an Reißverschluss-Abschottung A, Vergleich der Keimzahlen (KBE/m³) im Vorraum vor und nach Kontamination des Testraumes, farbige Balken: Mittelwert, schwarze vertikale Linien: 95 %-Quantilen, linke Bildhälfte Ergebnisse bei Inkubation auf MEA, rechte Bildhälfte Ergebnisse bei Inkubation auf DG18.

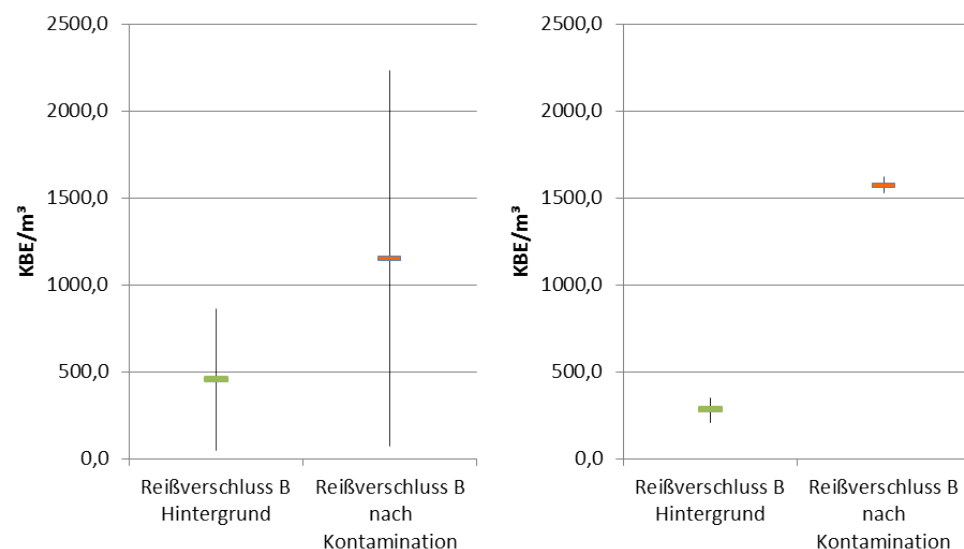


Bild 13:

Untersuchung an Reißverschluss-Abschottung B, Vergleich der Keimzahlen (KBE/m³) im Vorraum vor und nach Kontamination des Testraumes, farbige Balken: Mittelwert, schwarze vertikale Linien: 95 %-Quantilen, linke Bildhälfte Ergebnisse bei Inkubation auf MEA, rechte Bildhälfte Ergebnisse bei Inkubation auf DG18.

4.2.5 Modulares Schleusensystem mit Absaugung

Das modulare Schleusensystem mit Absaugung besteht aus einer dichten Faltwand, an deren Rändern flexible Dichtungen für eine Abdichtung sorgen. Der Zugang zum Schwarzbereich erfolgt durch eine Schleuse mit zwei Türen, aus dem Schleusenraum zwischen den beiden Türen wird kontinuierlich Luft abgesaugt. Das Schleusensystem bietet den Vorteil, dass es sehr schnell installierbar ist. In keiner der Messungen konnte eine Kontamination aus dem Testraum heraus sicher nachgewiesen werden (Tabelle 3 (Zeilen 10 und 12), Bild 14). Die Untersuchungen zur Abschottungseffizienz zeigen somit, dass die Schleuse bei korrekter Installation sehr dicht ist. Bei den Filtern, die auf MEA inkubiert wurden, ergaben sich im Vorraum exakt gleiche Keimzahlen nach der Kontamination des Testraumes wie bei der zuvor im Testraum gemessenen Hintergrundkonzentration (Bild 12, linke Bildhälfte). Anzumerken ist, dass in einer ersten Versuchsreihe die Luftabsaugung nicht korrekt angeschlossen war, wodurch ein Großteil der Luft aus dem Testraum statt aus der Schleuse gezogen wurde. Bei diesen Messungen war ein Austrag von Sporen messbar (Tabelle 2 (Zeilen 2 und 4), Bild 15). Dieser lag in der Größenordnung ähnlich, wie bei der Folienabschottung.

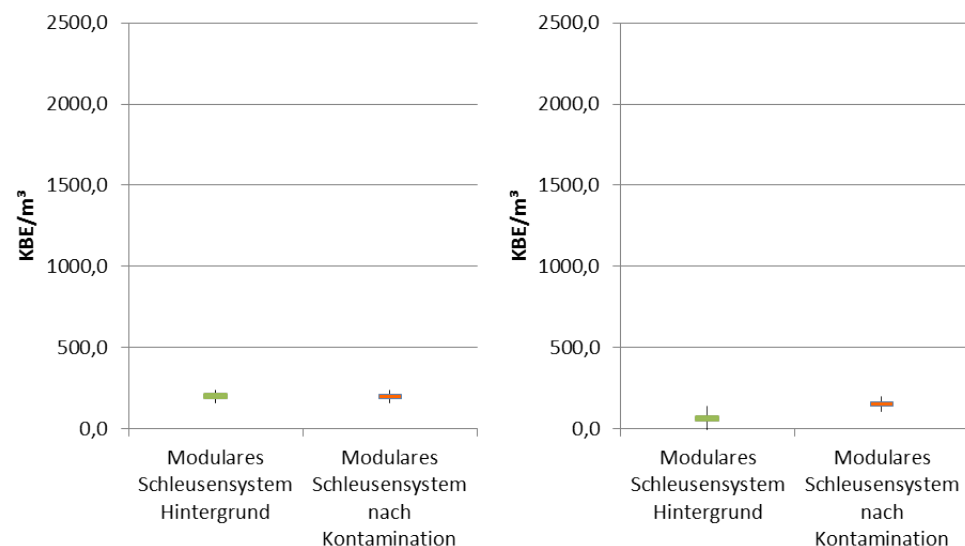


Bild 14:

Untersuchung am modularen Schleusensystem mit Absaugung, Vergleich der Keimzahlen (KBE/m³) im Vorraum vor und nach Kontamination des Testraumes, farbige Balken: Mittelwert, schwarze vertikale Linien: 95 %-Quantilen, linke Bildhälfte Ergebnisse bei Inkubation auf MEA, rechte Bildhälfte Ergebnisse bei Inkubation auf DG18.

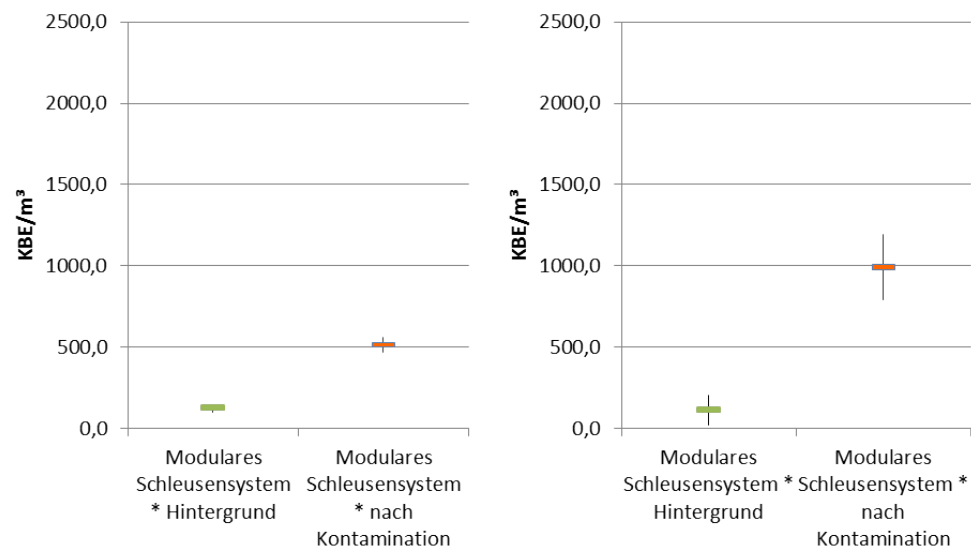


Bild 15:

Untersuchung am modularen Schleusensystem mit Absaugung mit nicht korrekt angeschlossener Absaugung, Vergleich der Keimzahlen (KBE/m³) im Vorraum vor und nach Kontamination des Testraumes, farbige Balken: Mittelwert, schwarze vertikale Linien: 95 %-Quantilen, linke Bildhälfte Ergebnisse bei Inkubation auf MEA, rechte Bildhälfte Ergebnisse bei Inkubation auf DG18.

4.3 Evaluation der Ergebnisse

4.3.1 Vergleich der Abschottungssysteme

Der direkte Vergleich der unterschiedlichen Abschottungssysteme und Schleusen (Bild 16) verdeutlicht, dass beide Reißverschlussvarianten und die einfach Folienabschottung nicht ausreichend sind, um einen Austrag aus einem kontaminierten Arbeitsbereich („Schwarzbereich“) in einen sauberen Bereich („Weißbereich“) vollständig zu verhindern. Bei der nicht korrekt angeschlossenen Schleuse mit Absaugung ist ebenfalls ein gewisser Austrag aus dem Schwarzbereich feststellbar. Dieser ist jedoch niedriger, als bei den übrigen Schleusen. Diese Tatsache belegt, dass das Vorhandensein einer doppelten Tür in der Schleuse alleine nicht ausreichend ist, um eine vollständige Abschottung zu gewährleisten.

Alle Messdaten des korrekt angeschlossenen modularen Schleusensystems mit Absaugung belegen, dass kein Austrag aus dem kontaminierten Bereich in den Vorraum statistisch gesichert gemessen werden kann. Die Messwerte vor und nach der Kontamination liegen jeweils im Bereich des Hintergrundwertes. Somit ist diese Art der Abschottung als die sicherste dieses Vergleiches zu nennen.

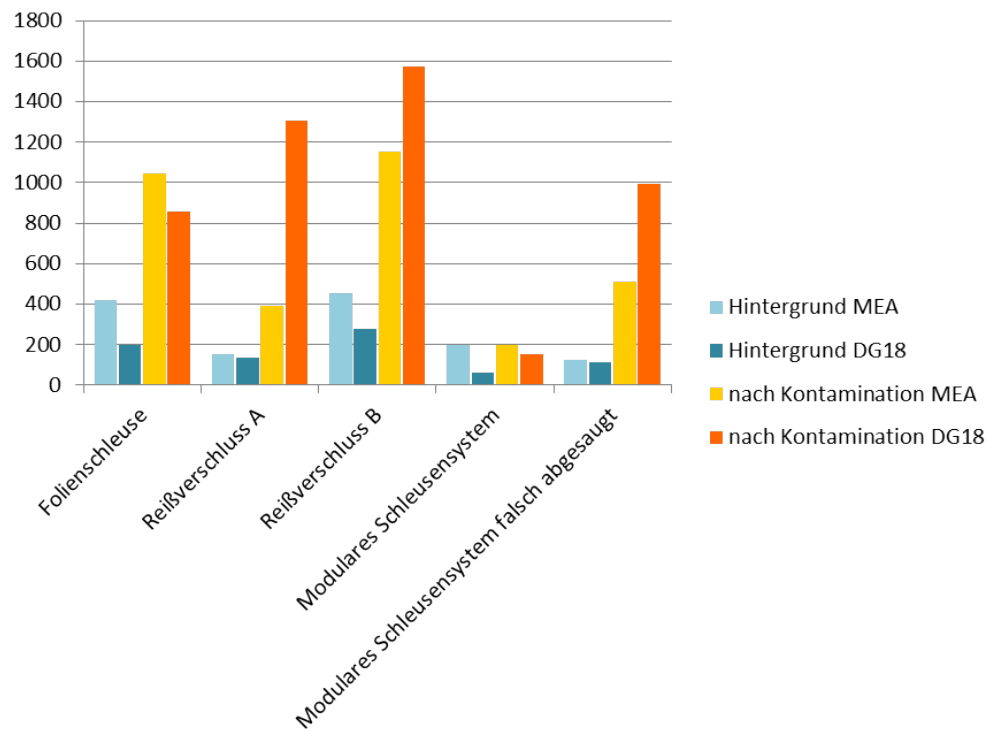


Bild 16:

Vergleich der Keimzahlen im Vorraum („Weißbereich“) vor der Kontamination des Testraumes (Hintergrund) und nach der Kontamination.

Bezieht man die Konzentrationen von Schimmelsporen vor den Abschottungen auf die Konzentration an Schimmelsporen im Schwarzbereich (als 100 %), wird das Ausmaß des Austrags deutlicher (Bild 17). So werden vor dem Durchgang aus überlappenden Folien im Mittel 52 % der Konzentrationen im Schwarzbereich und vor den Reißverschluss-Staubtüren 46 % der Konzentration im Schwarzbereich erreicht. Das korrekt angeschlossene modulare Schleusensystem mit Absaugung erreicht im Mittel lediglich 6 % der Konzentration im Schwarzbereich, wobei diese Werte im Bereich der gemessenen Hintergrundkonzentrationen liegen (in Bild 17 blau hinterlegt). Somit wird auch hier bestätigt, dass kein messbarer Austrag über die Schleuse mit der Absaugung stattfindet.

Interessant ist im Vergleich der Abschottungssysteme auch die hohe Streuung der Werte insbesondere bei den Reißverschlussstüren. Dies kann als Hinweis darauf gewertet werden, dass vor allem bei den Reißverschluss-Staubtüren der Austrag stark vom Benutzerverhalten abhängig ist.

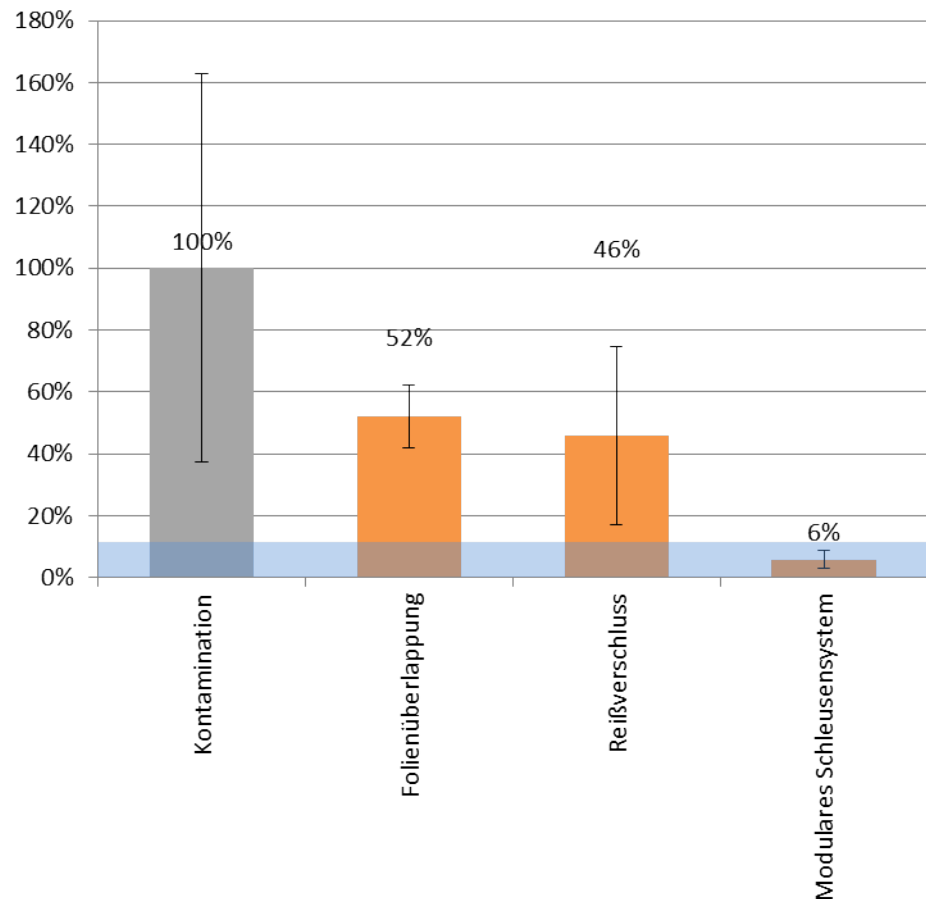


Bild 17:

Vergleich der Konzentration von Schimmelsporen der verschiedenen Abschottungssysteme, bezogen auf die Kontamination im Schwarzbereich (= 100 %). Blau hinterlegt: Konzentrationsbereich der Hintergrundkontamination; Schwarze Balken: Einfache Standardabweichung.

4.3.2 Wichtige Erkenntnisse / Empfehlungen

Der Vergleich der Ergebnisse zeigt zum einen, dass eine einfache Folien- bzw. Reißverschlussabschottung eine Ausbreitung von Sporen oft nicht in ausreichendem Maß verhindern können (Tabelle 3 (letzte Zeile), Bild 16) und durch weitere Maßnahmen ergänzt werden sollten.

Zum anderen wird erkennbar, dass alleine die Einrichtung eines zusätzlichen Vorraumes nicht ausreicht, um die Ausbreitung von Sporen zu verhindern (Tabelle 3 (Zeilen 2 und 4)). Erst der (korrekte) Anschluss einer Absaugung bringt die gewünschten Ergebnisse, eine nahezu vollständige Verhinderung der Ausbreitung von Sporen (Tabelle 3 (Zeilen 10 und 12, Bild 17)).

Aufgrund unserer Ergebnisse schließen wir, dass, wenn die anderen Systeme (Folienabschottung, vorgefertigte Systeme) ebenfalls mit einem Vorraum mit angeschlossener Absaugung ausgestattet werden, sich auch hier der Austrag von Sporen deutlich verringern würde. Notwendig dafür ist eine korrekt funktionierende Absaugung, sowie die nötige Stabilität der Konstruktion, um dem

entstehenden Unterdruck Stand zu halten. Bei einer Folienkonstruktion würden diese zusätzlichen Ausstattungen eine wesentlich aufwändigere Rahmenkonstruktion nötig machen.

5 Zusammenfassung und Fazit

5.1 Weiterentwicklung von modularen Schleusensystemen mit integrierter Absaugung

Bei einem Messdurchgang zur Untersuchung des modularen Schleusensystems mit integrierter Absaugung wurde irrtümlich ein Teilabschnitt (Klappe) nicht richtig geschlossen. Aufgrund dieser Fehlbedienung und der darüber hinaus gewonnenen Erkenntnisse im Projekt wurden verschiedene Verbesserungen/Verbesserungsempfehlungen abgeleitet:

- Die Schleuse wurde noch einmal neu konfiguriert, sodass es der Aufbau insgesamt noch ergonomischer und dichter gestaltet ist.
- Zudem wurde eine detailliertere Einweisung der Anwender angeregt, bei der auch mögliche Schwächen bzw. Undichtigkeiten explizit angesprochen werden. Bei modularen Schleusensystemen mit integrierter Absaugung ist bereits in der Grundausstattung eine ausreichend leistungsfähige Absaugungspumpe vorzusehen. Beim verwendeten Modell wurde deshalb nach den Versuchen die Pumpenausstattung optimiert.
- Es ist empfehlenswert, ein modulares Schleusensystem mit regelbaren Pumpen oder Pumpen unterschiedlicher Leistung anzubieten, um die Anpassung an unterschiedliche Raumvolumina der Schleusen zu ermöglichen, die von den zu sichernden/schließenden Querschnitten abhängig sind.
- Ein einfacher „Unterdruckanzeiger“ sollte an einer exponierten, gut sichtbaren Stelle angebracht werden, der eine einfache Überprüfung des korrekten Aufbaus und der notwendigen Pumpenleistung zulässt. Dies würde die Betriebssicherheit des Schleusensystems steigern und das Risiko von Fehlbedienungen verringern.

5.2 Vergleich verschiedener Möglichkeiten zur Abschottung und Schleusen Anwendung im Sanierungsfall

Die Untersuchungen zeigen, dass es zwischen den unterschiedlichen Baustellenabschottungen und Schleusen deutliche Effizienzunterschiede hinsichtlich der Reduzierung der Sporenausbreitung gibt. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Reißverschlussysteme und die Folienüberlappung bei den gegebenen Testbedingungen und unter Berücksichtigung der Streuung der Messwerte eine in etwa vergleichbare Wirkung zeigen. Gegenüber der oft als „Billiglösung“ gering geschätzte Folienabschottung weisen die Reißverschlussysteme eine höhere Streuung der Messdaten auf, was auf eine starke Abhängigkeit vom Benutzerverhalten hinweist. Beide Systeme verhindern nicht vollständig die Ausbreitung von Sporen; ein messbarer Eintrag in den Vorraum fin-

det statt. Das modulare Schleusensystem mit integrierter Absaugung ist bei korrekter Installation in der Lage, eine Kontamination aus einem Schwarzbereich in einen Weißbereich nahezu vollständig zu verhindern. Tabelle 4 zeigt in einer Übersicht den Installationsaufwand und die Effizienz der verschiedenen Abschottungssysteme.

Tabelle 4:
Übersicht über die untersuchten Abschottungssysteme.

Abschottungsart	Aufwand der Installation	Effizienz
Folienabschottung	Gering bis hoch	Gefahr der Sporenausbreitung bei nachlässiger Ausführung und beim Betreten und Verlassen des kontaminierten Bereiches
Reißverschluss	Gering	Gefahr der Sporenausbreitung beim Betreten und Verlassen des kontaminierten Bereiches
Schleuse mit Vorraum	Gering bis hoch (je nach Ausführung)	Geringe Gefahr der Sporenausbreitung selbst bei nachlässiger Ausführung und beim Betreten und Verlassen des kontaminierten Bereiches
Schleuse mit Vorraum und Absaugung	Gering bis hoch (je nach Ausführung)	Kontamination angrenzender Bereiche wird hocheffizient verhindert

Das modulare Schleusensystem mit integrierter Absaugung ist sehr gut dazu geeignet, den Austrag von schimmelpilzhaltigem Staub in angrenzende Räume zu unterbinden. Die Schleuse erfüllt die wichtige Aufgabe, bei lokalisierten Schimmelpilzschäden in abgeschlossenen Bereichen eines Gebäudes bei deren Beseitigung eine Kontamination angrenzender, nicht befallener Gebäudebereiche zu verhindern. Die neu entwickelte Raumlufschleuse stellt sich als ein flexibles, adaptives, sicheres und nachhaltiges All-in-one System zur Abschottung dar.

Die in verschiedenen Regelwerken und Leitfäden ab einem bestimmten Umfang des Schimmelschadens geforderte effektive Abschottung wird damit mit wenig Arbeitsaufwand erreicht ([1], [15], [20]).

Für den Praxiseinsatz lassen sich folgende Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen ableiten:

Deutlich sichtbar ist der Unterschied zwischen einfacher Abschottung und der modularen Schleuse. Erwartungsgemäß bringt ein flexibles Schleusensystem eine bessere Abschottungseffizienz.

Wie sich aus dem Versuch mit der falsch angeschlossenen Schleuse belegen lässt, kann auch trotz Schleuse ein Austrag erfolgen. Diese Tatsache zeigt, wie wichtig eine funktionierende Absaugung aus der Schleuse für die zuverlässige Abschottung eines Schwarzbereiches ist. Auf potenzielle Undichtigkeiten oder Fehlstellen soll bei der Konstruktion und Anwendung von flexiblen Schleusensystemen besonders Augenmerk gelegt werden.

Insbesondere bei den Reißverschlussystemen gibt es eine starke Streuung der Messwerte. Denkbar ist, dass hier die Zeit, in der je nach Verhalten des Benutzers der Durchgang geöffnet ist und auch der Grad der Öffnung wichtige Einflussgrößen darstellen.

Folienabschottung und Reißverschlussystem bieten eine einfache Alternative bei Arbeiten, bei denen kein großflächiger Schimmelschaden vorliegt. Grundsätzlich können sämtliche Alternativen, die nicht standardmäßig mit Absaugung ausgestattet sind mit einer Absaugung ertüchtigt und damit in ihrer Leistung verbessert werden. Damit sind aber bei der „Baustellenabschottung“ bzw. bei den einfachen Reißverschlussystemen die Probleme, die aus möglichen Verwirbelungen beim Betreten und Verlassen des kontaminierten Raumes sowie dem Transport von Kontaminanten durch Arbeitskleidung und –gerät auftreten können, nicht gelöst. Die zusätzliche und nachträgliche Installation von Absaugungseinrichtungen bedeutet einen Mehraufwand. Diese Einrichtungen müssen aus technischen Gründen bei der Ertüchtigung einfacher Systeme auch örtlich getrennt installiert werden. Die Schleusenkonstruktion mit bereits mitgelieferter und auf den Betrieb und die Dimensionen ausgelegter Absaugung bietet hinsichtlich Handhabung und Schutzwirkung eindeutig Vorteile.

Darüber hinaus könnten modulare Schleusensysteme mit integrierbarer und anpassbarer Absaugung bei besonders komplexen Querschnitten, wie sie in historischen Bauten und Krankenhäusern sowie Pflegeeinrichtungen auftreten, besondere Vorteile bieten indem sie es erlauben für eine längere Dauer bei aufwendigen Sanierungen angrenzende Bereiche vor Verkeimung zu schützen.

Die in der Fachliteratur gegebenen Empfehlungen und die entsprechenden Vorgaben der geltenden Regelwerke lassen den Schluss zu, dass bei „großen Schimmelpilzschäden“ [3], generell Schleusen und Absaugung anzuwenden sind, neben anderen Personenschutzmaßnahmen nach Maßgabe der Gefährdungsbeurteilung. Dabei ist ein mindestens 10-facher Luftwechsel anzustreben. Ob nun die Ausführung der notwendigen technischen Maßnahmen für den Einzelfall speziell angepasst wird, oder ob ein marktgängiges modulares Schleusensystem mit integrierter Absaugung eingesetzt wird, bleibt Ermessenssache. Zieht man Abfallaufkommen und Nachhaltigkeit mit in die Betrachtung ein, bietet ein modulares System Vorteile aufgrund seiner vielfachen Verwendbar-

keit, auch wenn ein Mehraufwand durch die nötige Reinigung eines Schleusensystems nach dem Einsatz anfällt. Falls die modulare Schleuse so konzipiert ist, dass beim zusammenfallen der potenziell kontaminierte Bereich innen zu liegen kommt, bedeutet das für den Einsatzort eine zusätzliche Sicherheit. Eine vorhandene Kontamination des Schleuseninnenraumes kann anschließend an einem anderen Ort leicht durch Absaugen und anschließende Desinfektion abgereinigt werden. Folgende Modellrechnung soll die Kosteneffizienz verdeutlichen: Annahmen: abzudeckende Fläche durch die Abschottung/Schleuse: 12,5 m²; Stundensatz Handwerker € 45,--; Kosten der Modulare Schleuse € 15000,--, mindestens 500-mal einsetzbar; Energie- bzw. Kostenaufwand für elektrischen Strom bzw. Gerätekosten vernachlässigt. Für eine Folienabschottung ergeben sich folglich, bei 8 Stunden Arbeitszeit (Auf- und Abbau), Materialkosten von geschätzten € 70,-- und Entsorgungskosten von geschätzten € 30,-- insgesamt Kosten von € 460,--. Falls durch das Abkleben an der Wandbeschichtung/Einrichtung Schaden entsteht, muss dieser zusätzlich saniert werden. Im Gegensatz dazu ergeben sich für das Modulare Schleusensystem bei einem Einsatz bei ¼ Stunde Arbeitszeit (Auf- und Abbau), Anlagenumlage umgerechnet € 30,-- Gesamtkosten von € 41,25, keine Material- und Entsorgungskosten. Ein Sanierer wird seiner Kaufentscheidung für oder gegen ein modulares Schleusensystem mit Absaugung sicherlich noch betriebswirtschaftliche Größen wie z. B. Anschaffungs-, Unterhalts-, Reinigungs- und Reparaturkosten mit einfließen lassen. Da die Arbeitszeit ebenfalls einen großen Kostenblock in der betriebswirtschaftlichen Kalkulation darstellt, müssen auch die Zeiten für den Auf- und Abbau, die Verladung und die Transportkosten mit berücksichtigt werden.

6 Literatur

- [1] Umweltbundesamt, Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes: Leitfaden zur Ursachensuche und Sanierung bei Schimmelpilzwachstum in Innenräumen („Schimmelpilzsanierungs-Leitfaden“) 2005, Umweltbundesamt Dessau
- [2] Adan, O.C.G. Samson, R.A. (2011): Fundamentals of mold growth in indoor environments and strategies for healthy living. Wageningen Academic Publishers, Wageningen.
- [3] Umweltbundesamt, Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes: Leitfaden zur Vorbeugung, Erfassung und Sanierung von Schimmelbefall in Gebäuden, 2017 Dessau-Roßlau.
- [4] Mendell, M.J., Mirer, A.G., Cheung, K., Tong, M., Douwes, J.: Respiratory and Allergic Health Effects of Dampness, Mold, and Dampness-Related Agents: A Review of the Epidemiologic Evidence. *Environmental Health Perspectives*. (2011) 119(6): 748–756.
- [5] Portnoy, J.M., Barnes, C.S., Kennedy K.: Importance of mold allergy in asthma. *Current allergy and asthma reports* (2008) 8:71–78
- [6] Fung, F., Hughson, W. G.: Health Effects of Indoor Fungal Bioaerosol Exposure; *Applied Occupational and Environmental Hygiene* (2003) 18: 535–5442
- [7] Walser, S.M., Brenner, B., Heinze, S., Szewczyk, R., Wolter, E., Herr, C.E.W. (2017): Umweltmedizinische Relevanz von luftgetragenen Mikroorganismen im Außen- und Innenbereich. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz* 60: 618-624.
- [8] Bünger, J. (2005): Gesundheitsrisiken durch eine inhalative Exposition gegenüber mykotoxinbildenden Schimmelpilzen. *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft* 65(9): 341-344.
- [9] Fromme, H., Gareis, M., Völkel, W., Gottschalk, C. (2016): Overall internal exposure to mycotoxins and their occurrence in occupational and residential settings – An overview. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 219: 143-165.
- [10] Wiesmüller, G.A., Heinzow, B., Aurbach, U., Bergmann, K.-C., Bufe, A., Buzina, W., Cornely, O.A., Engelhart, S., Fischer, G., Gabrio, T., Heinz, W., Herr, C.E.W., Kleine-Tebbe, J., Klimek, L., Köberle, M., Lichtnecker, H., Lob-Corziilius, T., Merget, R., Mülleneisen, N., Nowak, D., Rabe, U., Raulf, M., Seidl, H.P., Steiß, J.-O., Szewczyk, R., Thomas, P., Valtanen, K., Hurraß, J. (2016): Medizinisch klinische Diagnostik bei Schimmelpilzexposition in Innenräumen. *Pneumologie* 70: 699-741.
- [11] Hurraß, J., Heinzow, B., Aurbach, U., Bergmann, K.-C., Bufe, A., Buzina, W., Cornely, O.A., Engelhart, S., Fischer, G., Gabrio, T., Heinz, W., Herr,

C.E.W., Kleine-Tebbe, J., Klimek, L., Köberle, M., Lichtnecker, H., Lob-Corzillius, T., Merget, R., Mülleneisen, N., Nowak, D., Rabe, U., Raulf, M., Seidl, H.P., SteiB, J.-O., Szewczyk, R., Thomas, P., Valtanen, K., Wiesmüller, G.A. (2017): Medical diagnostics for indoor mold exposure. International Journal of Hygiene and Environmental Health 220: 305-328.

[12] Biostoffverordnung (BioStoffV): Verordnung zur Neufassung der Biostoffverordnung an die Richtlinie 2010/32/EU des Rates vom 10. Mai 2010. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2013 Teil I Nr. 40. Abgerufen am 28.11.2017.

[13] TRBA 500: Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe. Grundlegende Maßnahmen bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen. Ausgabe 2012. Abgerufen am 28.11.2017.

[14] TRBA/TRGS 406 Technische Regeln für biologische Arbeitsstoffe und Gefahrstoffe. Sensibilisierende Stoffe für die Atemwege. Ausgabe 2008. Abgerufen am 28.11.2017.

[15] Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg: „Sanierung bei Schimmelpilzbefall - Was muss ich beachten?“ Eine Information des Öffentlichen Gesundheitsdienstes Baden-Württemberg 2010

[16] Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg: „Schimmelpilze in Innenräumen – Nachweis, Bewertung, Qualitätsmanagement“ Abgestimmtes Arbeitsergebnis des Arbeitskreises „Qualitätssicherung – Schimmelpilze in Innenräumen“ 2004

[17] Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft: „Handlungsanleitung Gesundheitsgefährdung durch biologische Arbeitsstoffe bei der Gebäudesanierung“, BG-Information 858, Berlin 2006

[18] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung: „Gesundheitsgefährdungen durch Biostoffe bei der Schimmelpilzsanierung“, DGUV-Information 201-028 (2017)

[19] Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V., VdS Schadenverhütung GmbH, Richtlinien zur Schimmelpilzsanierung nach Leitungswasserschäden, 2014 Köln.

[20] Schmidt, M.; Seipel, A.; Madlener, K.: Technische Hygiene im Krankenhaus: Baumaßnahmen im laufenden Betrieb, Krankenhaus-Hygiene und Infektionsverhütung. 35 Heft 4 (2013): 119–124.

[21] Heseltine E. und Rosen J. (2009): WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould. WHO Regional Office for Europe, Kopenhagen, Dänemark: 228 pp.

[22] VDI 4300 Blatt 10: Messen von Innenraumluftverunreinigungen - Messstrategien zum Nachweis von Schimmelpilzen im Innenraum

[23] DIN EN ISO 16000-7:2007-11:Innenraumluftverunreinigungen - Teil 7: Probenahmestrategie zur Bestimmung luftgetragener Asbestfaserkonzentrationen (ISO 16000-7:2007); Deutsche Fassung EN ISO 16000-7:2007