

BBSR-
Online-Publikation
12/2024

Instandsetzung von Schimmelschäden in Fußbodenkonstruktionen nach Wasser- schäden, Pumpeffekt bei Estrichen

von

Prof. Matthias Zöllner
Géraldine Liebert
Silke Sous
Dr. Thomas Warscheid

Aachener Institut für Bauschadenforschung
und angewandte Bauphysik gGmbH

Instandsetzung von Schimmelschäden in Fußbodenkonstruktionen nach Wasserschäden, Pumpeffekt bei Estrichen

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wohnen, Stadtentwicklung
und Bauwesen

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

ZUKUNFT BAU
FORSCHUNGSFÖRDERUNG

Dieses Projekt wurde gefördert vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) aus Mitteln des Innovationsprogramms Zukunft Bau.

Aktenzeichen: 10.08.18.7-20.32

Projektlaufzeit: 12.2020 bis 12.2023

IMPRESSUM

Herausgeber

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Deichmanns Aue 31–37
53179 Bonn

Fachbetreuer

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
Referat WB 3 „Forschung und Innovation im Bauwesen“
Guido Hagel
guido.hagel@bbr.bund.de

Autorinnen und Autoren

Aachener Institut für Bauschadensforschung und angewandte Bauphysik (AlBau) gGmbH, Aachen
Prof. Dipl.-Ing. Matthias Zöller (Projektleitung)
matthias.zoeller@aibau.de

Dipl.-Ing. Géraldine Liebert
g.liebert@aibau.de

Dipl.-Ing. Silke Sous
silke.sous@aibau.de

LBW-Bioconsult, Wiefelstede
Dr. rer. nat. Thomas Warscheid

Redaktion

Aachener Institut für Bauschadensforschung und angewandte Bauphysik (AlBau) gGmbH

Stand

Dezember 2023

Gestaltung

Aachener Institut für Bauschadensforschung und angewandte Bauphysik (AlBau) gGmbH

Bildnachweis

Titelbild: AlBau gGmbH
Die im Bericht dargestellten Abbildungen stammen von den Autoren.

Vervielfältigung

Alle Rechte vorbehalten

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Zitierweise

Zöller, M.; Liebert, G.; Sous, S.; Warscheid, T., 2024: Instandsetzung von Schimmelschäden in Fußbodenkonstruktionen nach Wasserschäden, Pumpeffekt bei Estrichen. BBSR-Online-Publikation 12/2024, Bonn. <https://doi.org/10.58007/9xgr-5685>

DOI 10.58007/9xgr-5685

ISSN 1868-0097

Bonn 2024

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	4
Kurzfassung	7
Abstract	7
1 Einleitung	8
1.1 Aufgabenstellung und Forschungsansatz	8
1.2 Ziel und Eingrenzung der Arbeit	9
1.3 Stand bisheriger Forschungen und Hinweise in Regelwerken	9
1.3.1 Forschungsarbeit "Instandsetzung von Schimmelpilzschäden durch Abschottungen" (Az.: 10.o8.18.7-17.38)	9
1.3.2 Externe Untersuchungen zum Pumpeffekt	9
1.3.3 Technische Empfehlungen und Literatur	10
1.4 Danksagung	10
2 Schadensstatistik - Umfrage	11
2.1 Vorgehensweise und Datenermittlung	11
2.2 Erfahrungen mit Schimmelschäden	11
2.3 Erfahrungen mit Schadensfällen – Praxisbeispiele	12
2.4 Zusammenfassung der Umfrageergebnisse	16
2.4.1 Auswertbarkeit der vorliegenden Umfrageergebnisse	16
2.4.2 Untersuchungsobjektgewinnung aus der Umfrage	16
3 Weitere Recherche zu möglichen Untersuchungsobjekten	17
4 Untersuchungsmethodik	18
4.1 Vorbereitung der Vor-Ort-Untersuchungen	18
4.2 Durchführung der Untersuchungen	19
5 Praxisbeispiele – Vor-Ort- und Laboruntersuchungen	21
5.1 Klassenräume einer Schule	21
5.1.1 Raumnutzung und Raumgröße	21
5.1.2 Feuchteschäden	23
5.1.3 Material und Zustand der Wand- und Bodenoberflächen	23
5.1.4 Lage der Öffnungsstellen und Bodenaufbau	23
5.1.5 Messungen der Luftströmungsgeschwindigkeiten	25
5.1.6 Raumluftmessungen	26
5.2 Foyer und Umkleide einer Mehrzweckhalle	28
5.2.1 Raumnutzung und Raumgröße	28
5.2.2 Feuchteschäden	29
5.2.3 Material und Zustand der Wand- und Bodenoberflächen	29
5.2.4 Lage der Öffnungsstellen und Bodenaufbau	29
5.2.5 Messungen der Luftströmungsgeschwindigkeiten	31
5.2.6 Raumluftmessungen	31
5.3 Büroräume eines Verwaltungsgebäudes	32
5.3.1 Raumnutzung und Raumgröße	32
5.3.2 Feuchteschäden	32
5.3.3 Material und Zustand der Wand- und Bodenoberflächen	33

5.3.4	Lage der Öffnungsstellen und Bodenaufbau	33
5.3.5	Messungen der Luftströmungsgeschwindigkeiten	35
5.3.6	Raumluftmessungen	36
5.4	Wohn- und Schlafräume in einem Zweifamilienhaus	38
5.4.1	Raumnutzung und Raumgröße	38
5.4.2	Feuchteschäden	38
5.4.3	Material und Zustand der Wand- und Bodenoberflächen	38
5.4.4	Lage der Öffnungsstellen und Bodenaufbau	39
5.4.5	Messungen der Luftströmungsgeschwindigkeiten	41
5.4.6	Raumluftmessungen	41
5.5	Wohn- und Schlafräume in einem Mehrfamilienhaus	42
5.5.1	Raumnutzung und Raumgröße	42
5.5.2	Feuchteschäden	43
5.5.3	Material und Zustand der Wand- und Bodenoberflächen	43
5.5.4	Lage der Öffnungsstellen und Bodenaufbau	43
5.5.5	Messungen der Luftströmungsgeschwindigkeiten	46
5.5.6	Raumluftmessungen	49
5.6	Räume in einem Versuchsgebäude	50
5.6.1	Raumnutzung und Raumgröße	50
5.6.2	Feuchteschäden	50
5.6.3	Material und Zustand der Wand- und Bodenoberflächen	50
5.6.4	Lage der Öffnungsstellen und Bodenaufbau	50
5.6.5	Messungen der Luftströmungsgeschwindigkeiten	51
5.6.6	Raumluftmessungen	53
6	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	55
6.1	Umfrageergebnisse	55
6.2	Vor-Ort-Untersuchungen	55
6.2.1	Luftströmungsgeschwindigkeiten in Fußbodenaufbauten	55
6.2.2	Raumluftmessungen nach Belastungsversuchen	57
7	Ergebnis	58
8	Anhang	59
8.1	Erhebungsbogen	59
8.2	Untersuchungsschema	63
8.3	Laborergebnisse der Luftkeim- und Partikelmessungen	65
8.3.1	Objekt: Klassenräume einer Schule	65
8.3.2	Objekt: Umkleide einer Mehrzweckhalle	68
8.3.3	Objekt: Büroräume eines Verwaltungsgebäudes – 1. Versuch	69
8.3.4	Objekt: Büroräume eines Verwaltungsgebäudes – 2. Versuch	72
8.3.5	Objekt: Wohn- und Schlafräume in einem Zweifamilienhaus	77
8.3.6	Objekt: Wohn- und Schlafräume in einem Mehrfamilienhaus	80
8.3.7	Objekt: Räume in einem Versuchsgebäude	87
9	Mitwirkende	90
10	Kurzbiographien	91
11	Literaturverzeichnis	92
11.1	Fachbücher und Fachaufsätze	92
11.2	Normen	93

11.3	Richtlinien, Merkblätter, Leitfäden	93
12	Abbildungsverzeichnis	95
13	Tabellenverzeichnis	101

Kurzfassung

Mit diesem Forschungsprojekt wurden Estriche untersucht, die bestimmungsgemäß trocken sind. Unter hygienischen Aspekten unterscheiden sich diese nicht von solchen Fußbodenaufbauten, die bestimmungsgemäß feucht sind, an denen keine Trocknungen durchgeführt werden und von denen keine Risiken auf die Innenraumhygiene ausgehen.

Mit dem hier vorliegendem Forschungsprojekt wurde erkannt, dass es keine Übertragung aus Schichten unter Estrichen, also von in Dämmschichten befindlichen mikrobiellen Belastungen auf konvektivem Weg, durch den sogenannten Pumpeffekt, in Innenräume gibt. Lediglich von belasteten Randbereichen, die bei Wasserschäden insbesondere bei Gipsputzen, Raufasertapeten, Dispersionsfarbeschichtungen, noch mehr bei Leichtbauwänden mit kartonkaschierten Gipsplatten sehr häufig vorkommen, kann es zu Übertragung von mikrobiellem Bewuchs der Ränder in die Innenraumluft kommen.

Die bei Erhalt von feuchtegeschädigten Estrichen üblicherweise durchgeführte Estrichrandreinigung kann die Freisetzung von Pilzsporen in relevanter Weise vermeiden. Wenn die Estrichrandfugen mit konvektiv dichten Maßnahmen verschlossen, z.B. mit Fugenbändern oder dauerhaften Dichtstoffen überbrückt bzw. gefüllt, werden, lassen sich hygienische Folgebelastungen für die Raumluft dauerhaft ausschließen.

Durch diese Maßnahmen können unter technischen, medizinischen sowie innenraumhygienischen Gesichtspunkte Estriche nach Wasserschäden und Trocknung von Fußbodenaufbauten belassen werden ohne dass sich daraus negative Folgen für die Innenraumhygiene ergeben.

Abstract

This research project investigated screeds that are intended to be dry. From a hygienic perspective, these do not differ from such floor constructions that are intended to be moist, where no drying is performed, and from which no risks to indoor hygiene arise.

The present research project has shown that there is no transfer of microbial contaminations from layers beneath screeds, such as those in insulation layers, to indoor spaces via convective means, through the so-called pumping effect. Contaminations can only transfer from contaminated edge areas, which are particularly common in cases of water damage. This is especially true with materials such as gypsum plasters, woodchip wallpapers, dispersion paint coatings, and in lightweight construction walls with cardboard-laminated gypsum boards, leading to microbial growth from the edges into the indoor air.

The disinfectant cleaning of screed edges, usually conducted when preserving moisture-damaged screeds, can effectively prevent the release of fungal spores. Furthermore, sealing the screed edge joints with convectively dense measures, such as using joint tapes or permanent sealants to bridge or fill them, can permanently prevent hygienic subsequent burdens on the indoor air.

Thus, screeds can be retained after water damage, and the drying of floor constructions is feasible from technical, medical, and indoor hygiene perspectives. These measures ensure no negative consequences for indoor air quality.

1 Einleitung

1.1 Aufgabenstellung und Forschungsansatz

Häufig bestehen Unsicherheiten zum notwendigen Umfang von Schimmelpilzinstandsetzungen in Fußbodenaufbauten. Nicht in allen Fällen sind ein vollständiger und aufwändiger Rückbau sowie Ersatz von Estrichen und Belägen notwendig, da z. B. unter bestimmten Voraussetzungen Abschottungen von mit Schimmel belasteten Bereiche von Innenräumen möglich sind. Allerdings besteht regelmäßig Unkenntnis darüber, wie hoch die Konzentration von Schimmelpilzen und deren Sporen im Fußbodenaufbau vor Eintritt eines Schadens war und damit auch, ob sich diese durch ein Feuchteschaden signifikant erhöht haben können.

Ebenso ist unklar, ob der oft behauptete Pumpeffekt, durch den Hohlräume in schwimmend verlegte Estriche komprimiert werden sollen und damit mikrobiell belastete Luft beim Begehen von Estrichen vergleichbar bei Betätigen eines Blasebalgs konvektiv in Innenräume gelangen soll, existiert.

Ein Anlass dieser Forschungsarbeit bestand in der Erkenntnis, dass seit vielen Jahren und heute noch immer in den Normen für Abdichtungen von Innenräumen DIN 18195 Teil 5 bzw. DIN 18534 Teil 1 in Verbindung mit Teil 2 Fußbodenaufbauten mit Abdichtungsschichten unter dem Schichten von Estrichen bestimmungsgemäß feucht sein können, dies auch sind, ohne dass sich in den bestimmungsgemäß feuchten Dämmschichten sich bildende Mikroben auf die jeweilige Innenraumhygiene auswirkte. Darunter sind auch hygienisch sensible Räume, z.B. Operationssäle in Krankenhäuser, an die hohe Anforderungen an die Innenraumhygiene gestellt werden. Auch in gewerblichen Küchen, in denen Speisen zubereitet und die täglich mindestens einmal nass gereinigt werden, private und öffentlich zugängliche Bereiche von Schwimmbädern, private Wohnbäder mit Duschen über gefliesten Böden ohne Duschwannen sind Räume, in denen sich bestimmungsgemäß feuchte Dämmschichten befinden, zählen zu diesen Räumen. In diesen Räumen werden keine Instandsetzungen eingefordert, da Dämmschichten und Estriche bauweisenbezogen und damit üblicherweise feucht sind.

Unter raumhygienischen Aspekten besteht aber kein Unterschied, ob gleichartige Fußbodenaufbauten bestimmungsgemäß oder -widrig feucht sind. Innenräume dürfen nicht durch in Fußbodenaufbauten befindlichen Schimmel- oder Bakterienbefall mikrobiell belastet werden und werden das offensichtlich auch nicht, da sonst die beispielhaft oben aufgezählten Räumlichkeiten nicht genutzt werden könnten.

Bislang wurden weder die übliche Beschaffenheit bezüglich Schimmelpilze in Fußbodenaufbauten noch der Pumpeffekt untersucht. Die vorliegende Forschungsarbeit beschäftigt sich damit, wie hoch die übliche Hintergrundbelastung durch Schimmel in ehemals feuchten Fußbodenaufbauten sein kann und ob der Pumpeffekt eines schwimmend verlegten Fußbodenaufbaus existiert. Die Arbeit trägt so zur Verringerung bzw. Schließung der Wissenslücke bei, um evtl. bestehende Risiken aufzuzeigen und andererseits unnötige Bauleistungen zu vermeiden, wo keine Risiken bestehen.

Diese Aspekte wurden zweistufig untersucht:

In Fällen, in denen nach Wasserschäden Ursachen beseitigt und Fußbodenaufbauten getrocknet, aber nicht ausgetauscht wurden, wurde die mikrobiologische Beschaffenheit in Fußbodenaufbauten in Gebäuden verschiedener Altersklassen festgestellt. Dazu wurden mittels Umfragen Gebäude ermittelt, in denen Proben entnommen und nach Schimmelbelastungen untersucht werden konnten.

Weiterhin wurden Pumpeffekte an schwimmend verlegten Fußbodenaufbauten auf Stahlbetondecken untersucht. Dazu wurden schwimmend verlegte Estriche in bestehenden Gebäuden sowohl durch Begehen von Personen als auch durch den Aufprall von 10 kg schweren Medizinbällen aus einer Höhe von etwa 1 m in Schwingung gebracht. Währenddessen wurden an Randfugen oder an Öffnungen von Durchdringungen Luftströmungsgeschwindigkeiten gemessen, die ein Indiz für konvektives Einströmen belasteter Partikel aus dem Bereich unter dem Fußboden durch Randfugen in Innenräume sein können. Dafür sind aber Hohlräume an Dämmschichten unter Estrichen erforderlich, die durch die erzeugten Schwingungen komprimiert werden und dadurch Luft aus Dämmschichtebene durch Randfugen in Innenräume gelangen kann. Für Fälle, bei denen Luftströmungen gemessen wurden, werden Maßnahmen vorgeschlagen, die die Luftströmung in den Innenraum unterbinden, um

die im vorgelegten Forschungsbericht von 2019 (s. Kapitel 1.3.1) beschriebene abschottende Wirkung der Fußbodenaufbauten nutzen und den Austausch von Fußbodenaufbauten vermeiden zu können.

1.2 Ziel und Eingrenzung der Arbeit

Bei einem Wasserschaden, bei dem Feuchtigkeit bestimmungswidrig unter einen Estrich gelangt, sollte die Schadensursache zeitnah beseitigt und der Fußbodenaufbau getrocknet werden, um die Gefahr eines Schimmelbefalls zu reduzieren. Davon unterscheiden sich Fußbodenaufbauten, die bestimmungsgemäß feucht sind und bei denen keine Maßnahmen gefordert werden.

In Fällen bestimmungswidrig feuchter Fußbodenaufbauten stellen sich regelmäßig Fragen, wie sachgerecht instandgesetzt werden kann, u.a.:

- Wie hoch ist die Konzentration in einem üblichen Fußbodenaufbau vor Schadenseintritt und unterscheidet sich diese deutlich von einer Konzentration danach?
- Müssen Bauteile wegen der prinzipiellen Gefahr, dass in diesen ein mikrobieller Bewuchs entstehen könnte, ausgetauscht werden oder können trotz Feuchtigkeit gesundheitliche Gefahren ausgeschlossen werden?
- Können sachgerecht ausgeführte Abschottungen dazu beitragen, unnötig hohe Instandsetzungsaufwendungen und -kosten zu vermeiden? Dabei wird vorausgesetzt, dass nicht nur die jeweilige Bauteilflächen, sondern auch die Randanschlüsse, z. B. Fugen von Estrichen, zu berücksichtigen sind.

Dann stellten sich die folgenden Fragen:

- Gibt es eine Übertragungsmöglichkeit von Schimmelsporen durch konvektive Luftströmungen im Bereich von Randfugen, die durch Schwingungen von schwimmend verlegten Estrichen verursacht wird? Müssen daher Nutzer grundsätzlich durch Maßnahmen vor Schimmelsporen geschützt werden?

1.3 Stand bisheriger Forschungen und Hinweise in Regelwerken

1.3.1 Forschungsarbeit "Instandsetzung von Schimmelpilzschäden durch Abschottungen" (Az.: 10.08.18.7-17.38)

Die von der AlBau gGmbH im Juli 2019 vorgelegte Forschungsarbeit "Instandsetzung von Schimmelpilzschäden durch Abschottungen" (Az.: 10.08.18.7-17.38) hat aufgezeigt, dass sachgerecht ausgeführte Abschottungen die Übertragung von Schimmelsporen in die Raumluft vermeiden. Zudem wird unnötiger Bauteilaustausch vermieden, wodurch Ressourcen geschont werden und keine unnötig hohen Instandsetzungskosten entstehen.

Im Forschungsbericht war jedoch nicht geklärt worden, wie hoch Sporenkonzentrationen in Fußbodenaufbauten üblicherweise sind und ob bei von Schimmel geschädigten, schwimmend verlegten Fußbodenaufbauten ein nennenswerter Pumpeffekt zu verzeichnen ist. Die im Rahmen dieser Forschungsarbeit durchgeführten Simulationen durch Luftströmungen und Verwirbelungen in den Prüfkammern ließen keine Rückschlüsse darauf zu, ob und wie stark eine Konvektion die Luft zwischen der Ebene unter und über dem Estrich austauscht und dadurch Partikel unter dem Estrich in Innenräume gelangen können.

1.3.2 Externe Untersuchungen zum Pumpeffekt

1.3.2.1 Albrecht, S.: „Hochsicherheitsestrich für Pilze und Sporen“, in: B+B, Ausgabe 2.2014

Im Rahmen einer Bachelorarbeit wurden Untersuchungen zum Pumpeffekt durchgeführt. Hierzu wurden in Versuchsboxen unterschiedliche schwimmende Estrichaufbauten erstellt. Als Trittschalldämmungen wurde Mineralwolle, expandiertes und extrudiertes Polystyrol verwendet. Diese wurden auf Holzpaletten aufgelegt. Prüfungen der unterschiedlichen Aufbauten auf massiven Untergründen wie z.B. Stahlbetondecken fanden nicht statt.

Nach einem künstlich herbeigeführten Wasserschaden wurden die Versuchsaufbauten begangen und dabei Absenkungen in unterschiedlichem Ausmaß gemessen.

Nach Feinreinigungen erfolgte in jeder Box eine Luftmessung mit Partikelfilter und einer Sporensammlung auf adhäsivem Objektfilter. Die Raumluftmessungen ergaben in jedem Versuch eine Erhöhung der Sporenanzahl, die als Bestätigung eines Pumpeffekts gewertet wurde.

Zur Verhinderung einer Übertragung von in Estrichdämmschichten vorhandenen Schimmelsporen wurden Überlegungen angestellt, die sich mit den Estrichrandfugen befassten. Bei Entfernung des Randstellstreifens in einer Tiefe von etwa 2 cm und Aufweitung der Fuge kann durch fachgerecht ausgeführte Dichtstofffugen die Übertragung wirksam verhindert werden.

1.3.2.2 Becker, N.: „Gibt es einen Pumpeffekt in einer schwimmenden Bodenkonstruktion?“, Deutscher Schimmelpilztag am 21.04.2023, Neuss

In einem Anwendungsfall wurden praktische Untersuchungen zum Pumpeffekt durchgeführt. Bei einer Beanspruchung durch Werfen mit einem Ball in unterschiedlichen Abständen wurden Strömungen mit Rauchgas im Bereich von Estrichrandfugen gemessen. Dem Bericht ist allerdings nicht zu entnehmen, ob Luftströmungsgeschwindigkeiten gemessen wurden.

1.3.3 Technische Empfehlungen und Literatur

Die Schriften, die im am Ende dieses Forschungsberichts angefügten Anhang genannt sind, enthalten keine Hinweise zum Pumpeffekt von schwimmend verlegten Fußbodenaufbauten.

1.4 Danksagung

Eine wichtige Grundlage der Arbeit ist die in Kapitel 2 beschriebene Umfrage unter Sachverständigen.

Die Befragten haben unentgeltlich ihre Erfahrungen und Erkenntnisse mitgeteilt sowie umfangreiches Informationsmaterial zur Verfügung gestellt und dazu beigetragen, geeignete Untersuchungsobjekte zu finden. Ihnen gilt besonderer Dank.

Auch den Beteiligten der Forschergruppe, die sich im Verlauf dieser Projektbearbeitung gebildet hat, möchten wir sehr für ihre Initiative bei der Objektfindung und der tatkräftigen Unterstützung bei der Durchführung der Untersuchungen danken. Der Fachverband Sanierung und Umwelt e.V. hat sich hier mit mehreren Vertretern aus den Reihen seiner Mitgliedsfirmen engagiert.

Insbesondere bedanken wir uns bei Herrn Matthias Preis von der Pinguin-System GmbH, Dornburg, den Herren Mirko Grammel und Frank Wothe von der svt Brandsanierung GmbH, Berlin, Herrn Michael Resch von der Strobl Schadenmanagement GmbH, Holzkirchen und Herrn Dr. Ernst J. Baumann von der BELFOR Deutschland GmbH, Duisburg.

2 Schadensstatistik - Umfrage

2.1 Vorgehensweise und Datenermittlung

Nach einer Literaturrecherche wurden eigene Gutachten und bauphysikalische Beratungen ausgewertet. Zeitgleich wurde zur Ermittlung von Untersuchungsobjekten und von Schadenserfahrungen an Objekten eine bundesweite Umfrage unter den in diesem Bereich tätigen öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen (u. a. Sachgebiete Schäden an Gebäuden, Bauphysik, Wärme- und Feuchtigkeitsschutz, Schadstoffe in Innenräumen, Schimmelpilze) durchgeführt. Dazu wurden 2.300 Personen angeschrieben.

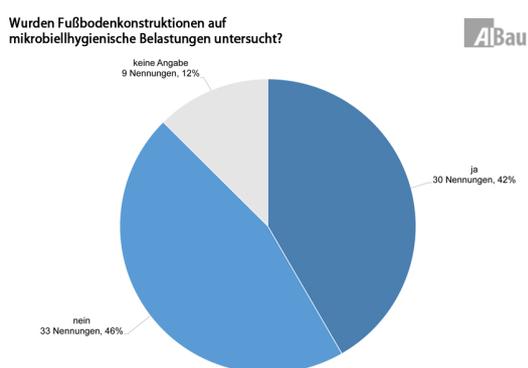
Mithilfe des von AlBau entwickelten Fragebogens (s. Kapitel 8.1) wurde zunächst nur die Bekanntheit der Häufigkeit von Schimmelpilzschäden in den letzten zehn Jahren erfragt. Anschließend wurde auch nach der Lage solcher Schäden und der weiteren Vorgehensweise im Instandsetzungsfall gefragt. Weiterhin wurde um Mitteilung gebeten, ob die benannten Objekte im Rahmen der Forschung besichtigt werden können.

2.2 Erfahrungen mit Schimmelschäden

Auf diese Umfrage des AlBau haben sich 72 Kolleginnen und Kollegen (~ 3 %) gemeldet. Neun Kolleginnen und Kollegen konnten allerdings keine Angaben zu den hier zu untersuchenden Fragestellungen machen, von einem begutachteten mikrobiell-hygienischen Befall in Fußbodenkonstruktionen berichteten 30 Kolleginnen und Kollegen. Das sind etwa 42 % derjenigen, die geantwortet haben, die sich mit mikrobiell-hygienischem Befall in Fußbodenkonstruktionen befasst haben (s. Abbildung 1). Jeder Umfrageteilnehmer befasste sich mit zwischen einem und bis zu 400 Fällen. Im Wesentlichen (18-mal, 25 %) hatten sich Teilnehmer mit bis zu jeweils 10 Fällen beschäftigt (s. Abbildung 2). Insgesamt sammelten die Umfrageteilnehmer Erfahrungen in etwa 500 Fällen.

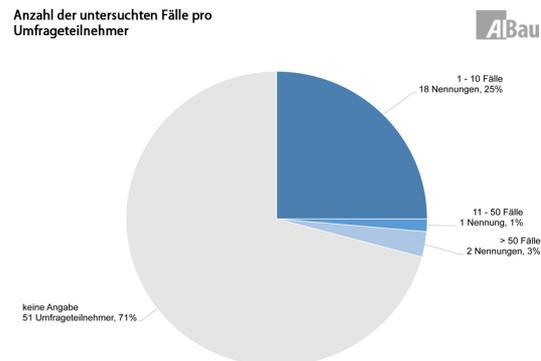
25 Teilnehmer (35 %) hatten einen mikrobiell-hygienischen Befall in Fußbodenkonstruktionen in 350 Fällen festgestellt (s. Abbildung 3). Eine Bestimmung und Quantifizierung des Befalls erfolgte 38-mal, wobei Mehrfachnennungen der unterschiedlichen Methoden möglich waren (s. Abbildung 4). So wurden Keimzahlmessungen (17-mal), Mikroskopie (17-mal) und/oder biochemische Nachweise (viermal) angewendet (s. Abbildung 5).

Abbildung 1
Anzahl der Kolleginnen und Kollegen, die Fußbodenkonstruktionen auf mikrobiell-hygienische Belastungen untersucht haben



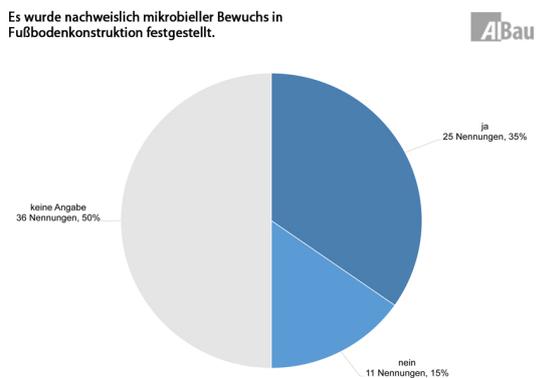
Grafik: AlBau

Abbildung 2
Anzahl der Nennungen, bei denen mikrobiell-hygienische Belastungen in Fußbodenkonstruktionen festgestellt wurden



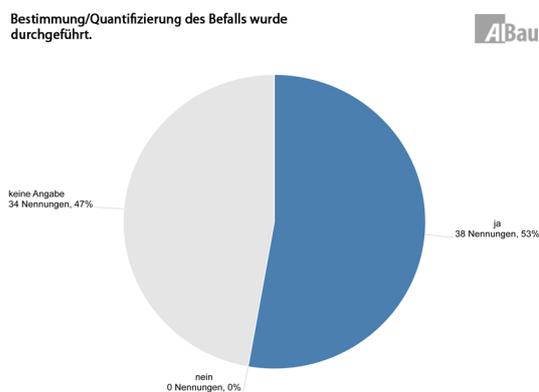
Grafik: AlBau

Abbildung 3
Anzahl der Kolleginnen und Kollegen, die in Fußbodenkonstruktionen mikrobiell-hygienische Befall festgestellt haben



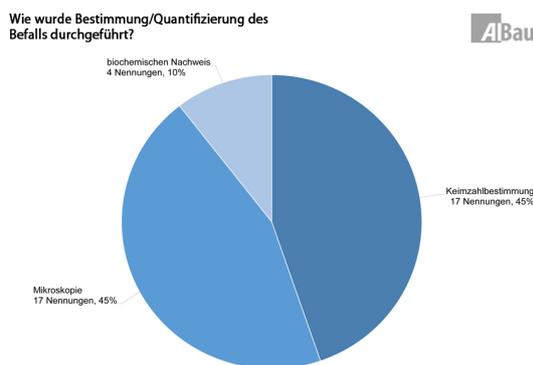
Grafik: AlBau

Abbildung 4
Anzahl der Kolleginnen und Kollegen, die in eine Bestimmung des Befalls durchgeführt wurde



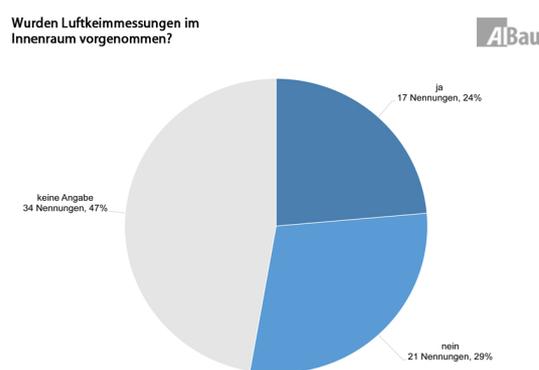
Grafik: AlBau

Abbildung 5
Häufigkeiten der verwendeten Bestimmungsmethoden



Grafik: AlBau

Abbildung 6
Anzahl der Nennungen, bei denen Luftkeimmessungen durchgeführt wurden



Grafik: AlBau

Ein weiteres Befragungsziel war die Häufigkeit von durchgeführten Luftkeimmessungen bei mikrobiell-hygienischem Befall in Fußbodenaufbauten: Diese wurden von 17 Kolleginnen und Kollegen nur 220-mal durchgeführt (s. Abbildung 6).

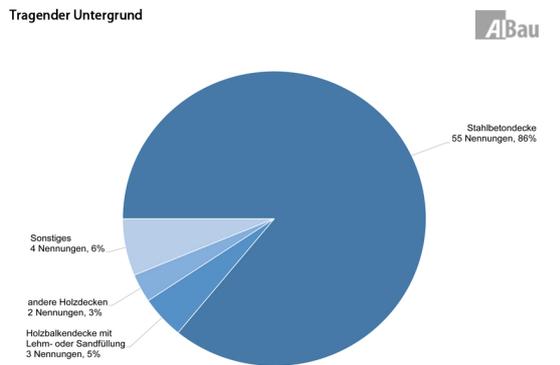
2.3 Erfahrungen mit Schadensfällen – Praxisbeispiele

Im Rahmen der o. g. Umfrage haben die Kolleginnen und Kollegen 64 konkrete Schadensfälle benannt, von denen 36 mit Fotos und Plänen dokumentiert waren. Für eine Besichtigung konnten hieraus 15 Untersuchungsobjekte zur Verfügung gestellt werden.

Erste, detaillierte Angaben zu möglichen Untersuchungsobjekten wurden bereits bei der Befragung erhoben. Diese widmeten sich der Konstruktion, den aufgetretenen Schäden und den Raumnutzungen.

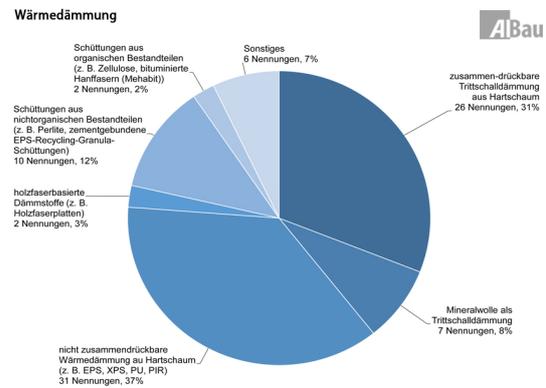
In den untersuchten Schadensfällen bestehen die Decken meistens (86 %) aus Stahlbeton und deutlich seltener aus Holzbalken (5 %, s. Abbildung 7). Die Trittschalldämmung wurde im Wesentlichen aus Hartschaumdämmungen (zusammendrückbar, 27 % bzw. nicht zusammendrückbar, 37 %) hergestellt (s. Abbildung 8). Seltener kamen Schüttungen (12 %) oder Mineralwolldämmungen (8 %) zum Einsatz. Dabei wurden nahezu in der Hälfte Einzelleerrohre in der Dämmschicht verlegt (47 %), deutlich seltener waren darin Fußbodenkanäle untergebracht (11 %, s. Abbildung 9).

Abbildung 7
Angaben zum tragenden Untergrund



Grafik: AlBau

Abbildung 8
Angaben zur Trittschalldämmung



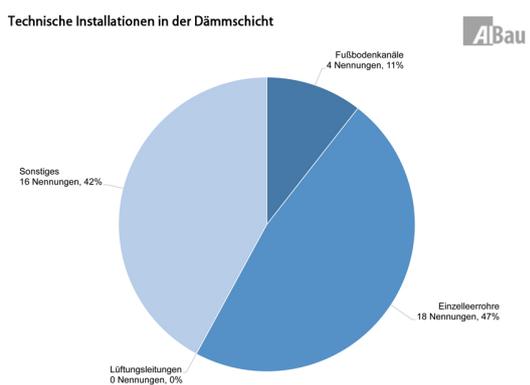
Grafik: AlBau

Am häufigsten sind mineralische Estriche aus Calciumsulfat- oder Zementbasis vorhanden (82 %, s. Abbildung 10).

Deutlich differenzierter sind die Angaben zu den verwendeten Bodenbelägen: neben Fliesenbelägen (33 %) und elastischen Belägen (20 %) kamen Laminare (16 %), Teppichböden (13 %) und Parkette (12 %) nahezu gleich häufig zum Einsatz (s. Abbildung 11).

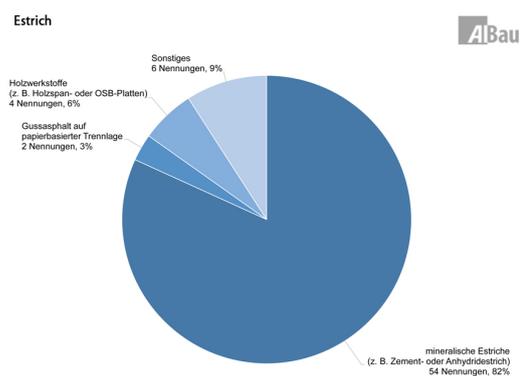
Ähnlich vielfältig waren die im Bereich der Wandsockel vorhandenen Materialien: Am häufigsten wurden Gipsputz (24 %) und kartonbeschichtete Gipsplatten (15 %) eingesetzt, weniger häufig Kalk-Gipsputze (7 %) und Kalk-Zementputze (9 %). Als Oberflächenbeschichtungen waren Dispersionsfarben (23 %) und Raufasertapete (13 %) häufiger als silikatische Beschichtungen (3 %) ausgeführt worden (s. Abbildung 12).

Abbildung 9
Angaben zu in der Dämmschicht vorhandenen Installationen



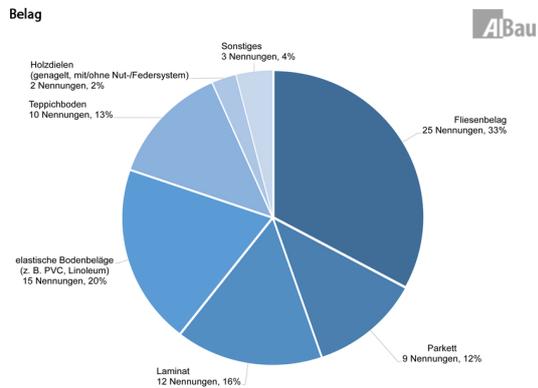
Grafik: AlBau

Abbildung 10
Angaben zur Art des Estrichs



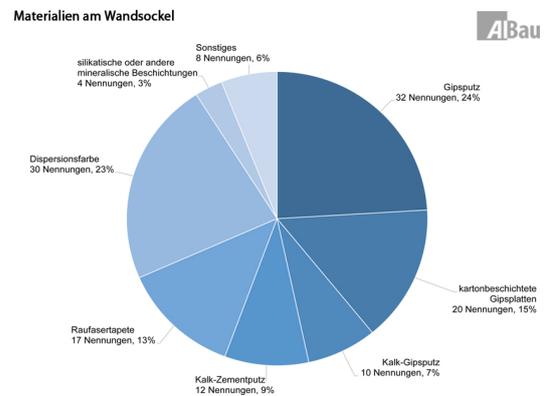
Grafik: AlBau

Abbildung 11
Angaben zum eingebauten Belag



Grafik: AIBau

Abbildung 12
Angaben zu Materialien am Wandsockel



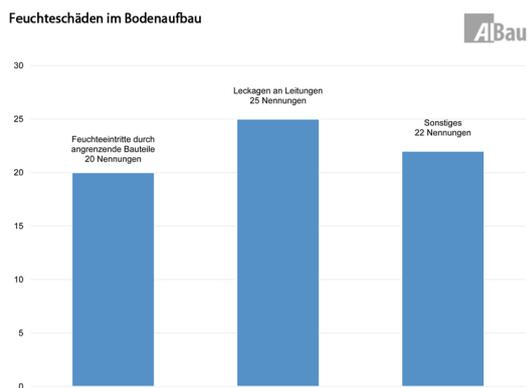
Grafik: AIBau

Auch nach Schäden wurde detaillierter gefragt und Mehrfachnennungen zugelassen. So wurden im Bodenaufbau meistens Leckagen an Leitungen (25 Nennungen) und Feuchteintritte durch angrenzende Bauteile (20 Nennungen) festgestellt (s. Abbildung 13).

Als sonstige Feuchtequellen wurden Überschwemmungsereignisse oder nicht abtrocknende Baufeuchte benannt. In 40 Fällen traten mikrobielle Belastungen im Bodenaufbau bzw. unter dem Estrich oder in der Deckenkonstruktion auf.

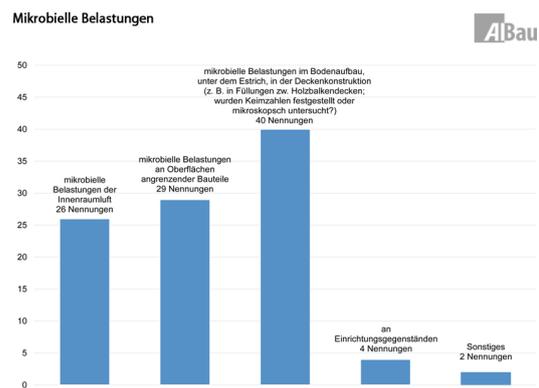
Nahezu gleich häufig waren diese an den Oberflächen der angrenzenden Bauteile (29 Nennungen) bzw. in der Innenraumluft genannt (26 Nennungen), deutlich seltener an Einrichtungsgegenständen (4 Nennungen, s. Abbildung 14).

Abbildung 13
Anzahl und Art der festgestellten Feuchteschäden



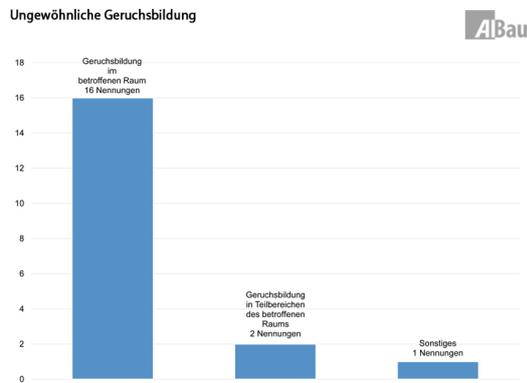
Grafik: AIBau

Abbildung 14
Anzahl und Lage der festgestellten mikrobiellen Belastungen



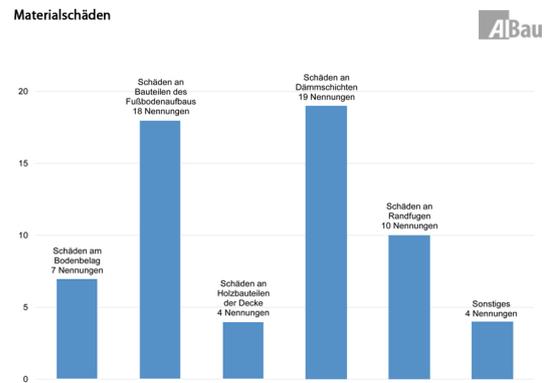
Grafik: AIBau

Abbildung 15
Anzahl des Feststellens eines ungewöhnlichen Geruchs



Grafik: AlBau

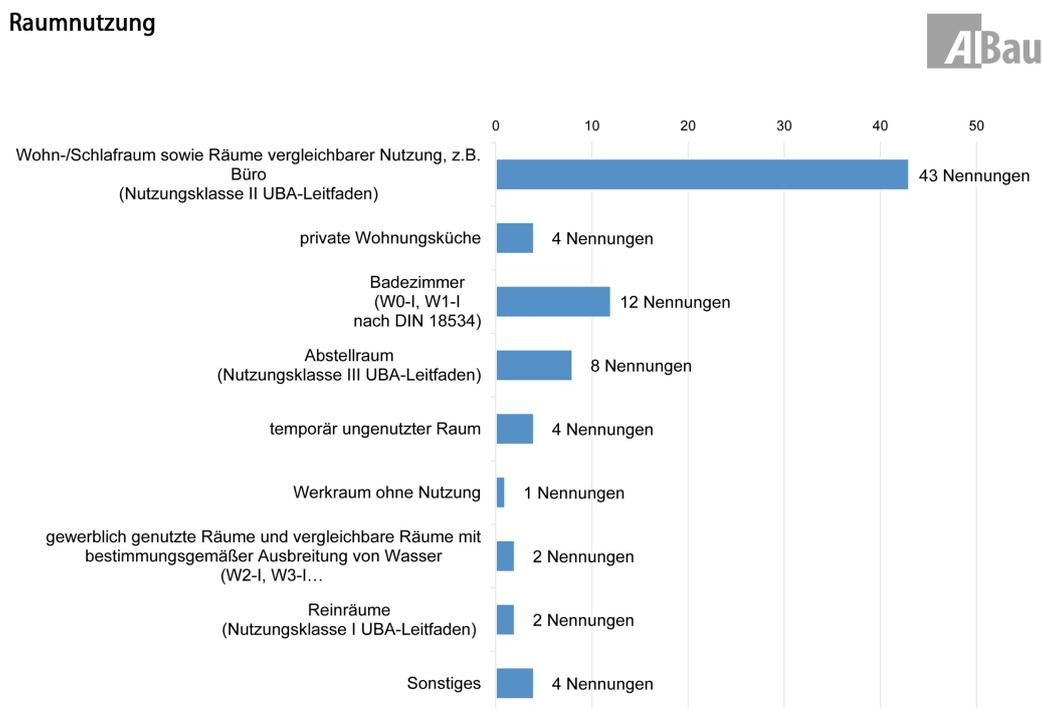
Abbildung 16
Anzahl und Art der festgestellten Materialschäden



Grafik: AlBau

In 16 Fällen war in schadensbetroffenen Räumen ein ungewöhnlicher Geruch vorhanden (s. Abbildung 15). Etwa gleichhäufig wurden Schäden an den unter den Estrichen verlegten Dämmschichten (19 Nennungen) bzw. an im Fußbodenaufbau vorhandenen Materialien (18 Nennungen) festgestellt. Schäden an Randfugen (10 Nennungen), den Bodenbelägen (7 Nennungen) oder Holzbauteilen der Unterkonstruktion (4 Nennungen) traten seltener auf, wobei letztere einen deutlich geringeren Umfang der untersuchten Fälle ausmachten (s. Abbildung 16).

Abbildung 17
Häufigkeiten der unterschiedlichen Raumnutzungen



Grafik: AlBau

Als Raumnutzungen wurden im Wesentlichen übliche Wohn- und Schlafräume oder Büros entsprechend der Nutzungsklasse II des UBA-Schimmelleitfadens angegeben (43 Nennungen). Davon separiert wurden Badezimmer (12 Nennungen) aufgezählt. Nahezu gleich häufig wurden Nebenräume bzw. Abstellräume der Nutzungsklasse III des UBA-Schimmelleitfadens¹ benannt (8 Nennungen), (s. Abbildung 17).

2.4 Zusammenfassung der Umfrageergebnisse

Die Umfrageergebnisse ergaben, dass sich nicht viele Sachverständige mit mikrobiellem Befall in Fußböden und Pumpeffekten beschäftigen. Vermutlich ist dies darauf zurückzuführen, dass feuchte Bodenaufbauten in den meisten Fällen ausgetauscht werden ohne dies nach technischen oder Aspekten raumhygienischen Auswirkungen zu hinterfragen. Eine weitergehende Untersuchung von mikrobiellen Beschaffenheiten erfolgt dann nicht. Wenn aber untersucht wird, liegen Erfahrungen in zahlreichen Schadensfällen vor.

2.4.1 Auswertbarkeit der vorliegenden Umfrageergebnisse

Auf Grundlage der Umfrageergebnisse wurden Aussagen zu Schadensmechanismen in Abhängigkeit von den jeweiligen Einbaurandbedingungen abgeleitet.

Der geringe Umfang der Stichprobe lässt allerdings keine Schlussfolgerungen einer statistisch repräsentativen Aussage zu.

2.4.2 Untersuchungsobjektgewinnung aus der Umfrage

Etwa ein Drittel der Kollegen konnte in untersuchten Fußböden mikrobiellen Befall feststellen und ließ diesen in der Regel auch bestimmen und quantifizieren. Hierbei kamen Keimzahlmessungen und Mikroskopie zum Einsatz. Etwa in der Hälfte der Fälle wurden Luftkeimmessungen vorgenommen.

Darüber hinaus wurden 64 Objekte benannt, zu denen weitere Informationen vorgelegt wurden. Zur weiteren Untersuchung standen 15 Fälle zur Verfügung. Im Hinblick auf die zu untersuchende Fragestellung, bei welchen Gebäuden der bauliche Zustand trotz eines Befalls nach Wasserschaden unverändert seit Feststellung des Schadens geblieben war, mussten weitere Recherchen durchgeführt werden. Diese ergaben nach mehreren telefonischen Rückfragen, dass keines der benannten Objekte tatsächlich zur Verfügung gestellt werden konnte. Die Gründe hierfür waren:

- Der Eigentümer hat seine Einwilligung zu den Untersuchungen verweigert.
- Mit dem Rückbau des Estrichs war bereits begonnen worden.
- Die Instandsetzung war bereits abgeschlossen.

¹ Leitfaden zur Vorbeugung, Erfassung und Sanierung von Schimmelfall in Gebäuden („Schimmelleitfaden“). Umweltbundesamt, Dezember 2017

3 Weitere Recherche zu möglichen Untersuchungsobjekten

Aus den zuvor dargestellten Gründen musste nach Objekten recherchiert werden, in denen eigene Untersuchungen durchgeführt werden konnten. Dazu wurden private und öffentliche Eigentümer von infrage kommenden Gebäuden angesprochen. Teilweise handelte es sich um Gebäude, die von der Hochwasserkatastrophe im Juli 2021 betroffen waren. Andere konnten im Rahmen der Sachverständigentätigkeit der Projektbeteiligten für die Untersuchungen im Rahmen des Forschungsprojekts gewonnen werden.

Zusätzlich haben sich dankenswerterweise Personen gefunden, die bereit waren, nach weiteren, geeigneten Untersuchungsobjekten zu recherchieren. Hieraus resultieren einige der in Kapitel 5 beschriebenen Untersuchungsfälle.

4 Untersuchungsmethodik

4.1 Vorbereitung der Vor-Ort-Untersuchungen

Durch die weitere Recherche nach geeigneten Objekten war es möglich, in Gebäuden, in denen Instandsetzungen bzw. Modernisierungen geplant sind, umfassende Untersuchungen vorzunehmen. Hierzu wurde zunächst festgestellt, ob in den Fußböden signifikanter Schimmelbefall in Dämmschichten von schwimmend verlegten Estrichen nach einem Wasserschaden vorhanden war. Hierzu wurden Bohrkerne entnommen und die Dämmschichten im Labor auf Schimmel untersucht. Außerdem wurden von der Oberseite der Bodenplatte bzw. der Geschossdecke Klebefilm-Kontaktproben entnommen.

Die Lage der Bohrkerne wurde nach der zu erwartenden, größten Belastung des Fußbodenaufbaus gewählt. Das sind Stellen, in denen bei der Gebäudeerrichtung mit einiger Wahrscheinlichkeit aus dem Außenbereich größere Mengen Schmutz eingetragen wurden, also an Türdurchgängen oder an Fensteröffnungen bzw. vor raumhohen Verglasungen (s. Abbildung 18 bis Abbildung 21).

Abbildung 18

Typische Untersuchungsstelle im Bereich eines Türdurchgangs (s. Pfeil)



Foto: AlBau

Abbildung 19

Fußbodenaufbau mit Mineralwollgedämmung
(Detailansicht zu vorherigem Bild)



Foto: AlBau

Abbildung 20

Typische Untersuchungsstelle vor einem Fenster (s. Pfeil)



Foto: AlBau

Abbildung 21

Fußbodenaufbau mit Mineralwollgedämmung
(Detailansicht zu vorherigem Bild)



Foto: AlBau

Sofern sich im Labor kein Schimmelbefall in den entnommenen Proben feststellen ließ, wurden Schimmelpflanzen auf Nährböden in die Bodenöffnungen der entnommenen Bohrkernproben eingebracht, um die Fußbodenaufbauten zu "impfen".

Zwar wurde in einigen Fällen Schimmel im Fußbodenaufbau festgestellt. Allerdings handelt es sich dabei um Schimmelpilzspezies, die durch Referenzmessungen vor den Untersuchungen durch sogenannte „Nullmessungen“ festgestellt wurden und damit an den Oberflächen der Bauteile, insbesondere an Oberseiten von Fußbodenflächen, vorhanden waren. Um Verfälschungen zu vermeiden und auszuschließen, dass in der Raumluft in Innenräumen ohnehin vorhandener Schimmel gemessen wurde, der nicht aus Dämmschichten unter Estrichen stammt, wurde die Vorgehensweise angepasst. Vor den Untersuchungen wurden die Fußbodenaufbauten mit erheblichen Mengen von Schimmelpilzarten „infiziert“, die in Innenräumen praktisch nicht vorkommen. Diese Schimmelpilzspezies konnten so als „Tracer“ genutzt werden. Nach dem Einbringen der Proben wurden die Bodenöffnungen konvektionsdicht zum Innenraum verschlossen.

Einige Wochen nach dem Einbringen des Schimmels wurden die Estriche durch Begehen, Springen und Werfen von 10 kg schweren Medizinbällen in Schwingung versetzt, um einen möglichen Pumpeffekt zu erzeugen. Dazu wurden Luftströmungsgeschwindigkeitsmessungen an Randfugen und neben Bauteilöffnungen mit einem Anemometer durchgeführt.

Bei diesem Vorgehen wurden deutlich höhere Mengen an Schimmel eingesetzt als in der Realität üblicherweise nach einem Wasserschaden auftritt. Beim Einbringen der stark belasteten Schimmelproben kann allerdings nicht vollständig vermieden werden, dass ein kleiner Teil von diesen in Innenräume gelangt und durch die nicht üblichen, starken Anregungen beim Springen und Bewerfen der Fußbodenflächen aufgewirbelt und von den Luftkeimsammlern während der Versuchsdurchführung aufgenommen werden. Um dieses Risiko zu minimieren, wurden die Untersuchungsräume nach der Einbringung gereinigt. Vor der Luftkeimmessung bei den Versuchsdurchführungen wurde die Innenraumluft durch Raumluftwäscher gereinigt, um einen Einfluss von in Innenräumen üblicherweise vorhandenen Belastungen zu minimieren.

4.2 Durchführung der Untersuchungen

An den Fußböden wurden die Untersuchungen zweistufig vorgenommen.

Die Raumluftmessungen wurden im Bereich der Untersuchungsstellen (Kernbohrungen) unter Zuhilfenahme eines 10 kg schweren Medizinballs während des Messvorgangs durchgeführt, der ca. 10- bis 15-mal pro Minute aus einer Höhe von etwa einem Meter auf den Boden geworfen wurde (s. Abbildung 21, Abbildung 22 und Abbildung 24). Zusätzlich wurde die Fußbodenoberfläche begangen bzw. darauf gesprungen.

Abbildung 22
Luftströmungsmessung im Fußboden am Türdurchgang



Foto: AlBau

Abbildung 23
Rauchgasprüfung im Fußboden am Türdurchgang



Foto: AlBau

Abbildung 24
Raumluftmessung vor der Außenwand



Foto: AlBau

Abbildung 25
Entfernte Fußleiste am Wandanschluss, Randstellstreifen vorhanden –
üblicher Verschmutzungsgrad der Randfuge



Foto: AlBau

Durch diese Anregung der in der Dämmschicht der Fußbodenkonstruktion vorhandenen Luft sollte eine Bewegung der Schimmelsporen durch die Randfuge hindurch in die Innenraumluft bewirkt werden (s. Abbildung 25).

Abbildung 26
Luftströmungsmessung im Fußboden vor der Außenwand



Foto: AlBau

Abbildung 27
Rauchgasprüfung im Fußboden vor der Außenwand



Foto: AlBau

Weiterhin wurden jeweils neben der Kernbohrung zusätzliche Löcher im Durchmesser von \varnothing 12 mm durch den Estrich bis zur Dämmschicht gebohrt. In die Löcher wurde der Messfühler eines Anemometers bis in die Dämmschichtebene eingeführt. Der obere Rand der Bohrung um den Messfühler wurde luftdicht verschlossen (s. Abbildung 22 und Abbildung 26). Die Schwingungsanregungen erfolgten in Abständen von etwa 1 m, 0,5 m und 0,1 - 0,2 m zum Bohrloch. Dann wurde versucht, die Luftströmung über das Einfüllen von Rauchgas in das Bohrloch zu visualisieren (s. Abbildung 23 und Abbildung 27). Dabei trat weder an Kernbohrungen noch an Randfugen Rauchgas aus.

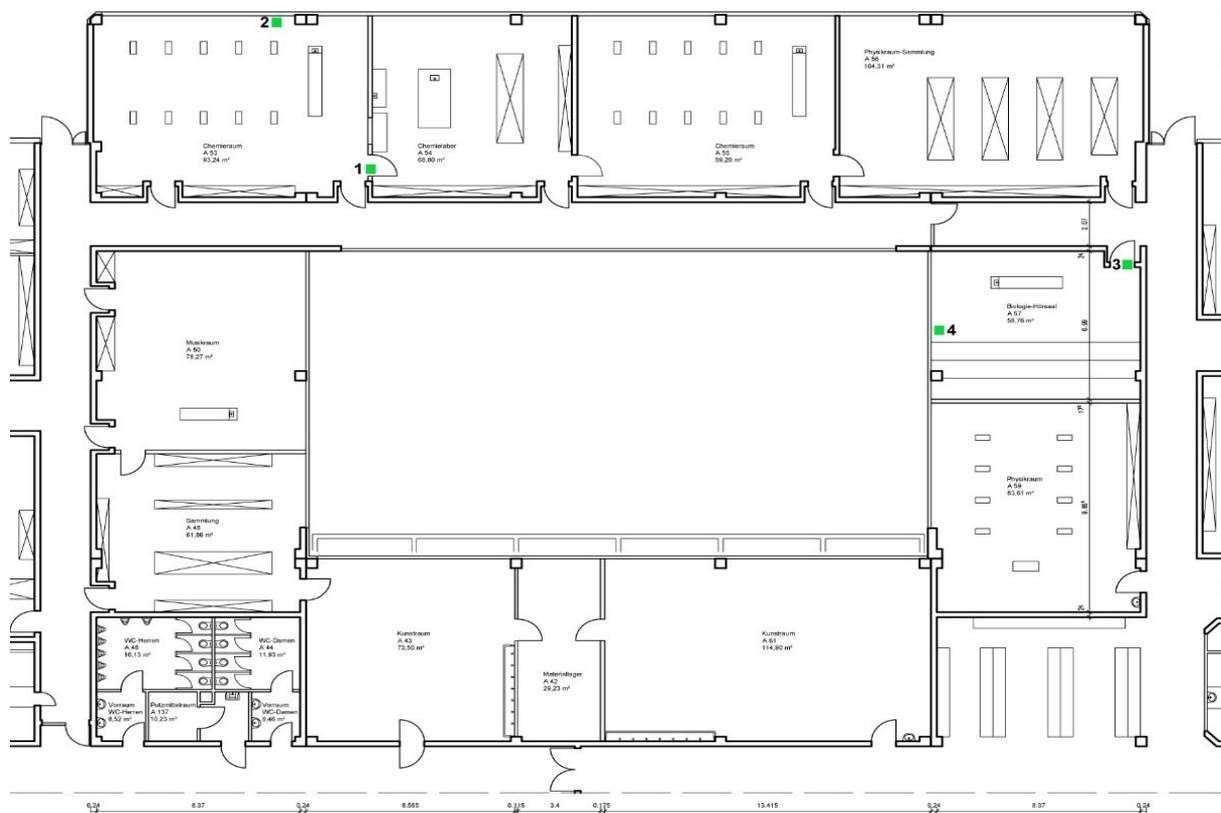
5 Praxisbeispiele – Vor-Ort- und Laboruntersuchungen

5.1 Klassenräume einer Schule

5.1.1 Raumnutzung und Raumgröße

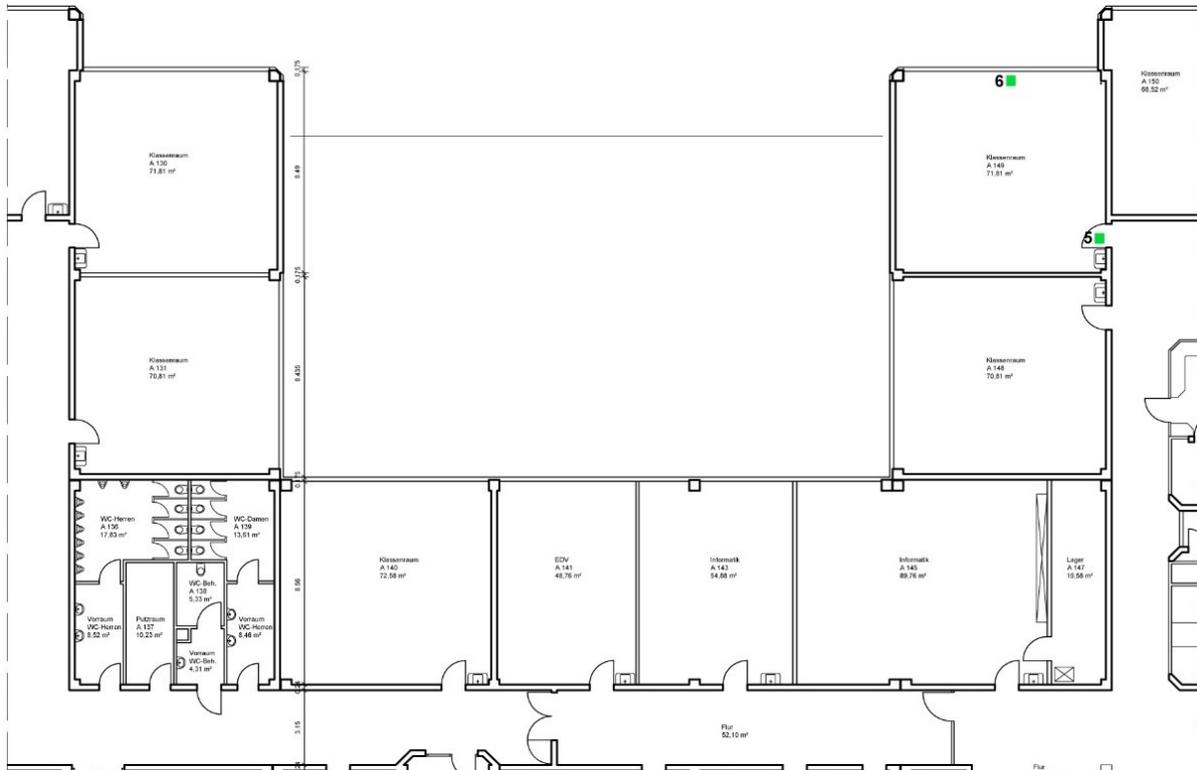
Im Rahmen der energetischen Modernisierung eines Schulgebäudes wurden zwei Fachräume und ein Klassenraum für die zuvor beschriebenen Untersuchungen im Rahmen der Forschungsarbeit zur Verfügung gestellt. Die beiden Fachräume befinden sich im Erdgeschoss, ein Klassenraum im ersten Obergeschoss. Die Raumgrößen variieren zwischen 60 m² und 90 m² (s. Abbildung 28 bis Abbildung 33).

Abbildung 28
Teilgrundriss EG mit Fachräumen und Eintragung der Öffnungsstellen Ö1 bis Ö4



Quelle: AIBau

Abbildung 29
Teilgrundriss OG mit Klassenräumen und Eintragung der Öffnungsstellen Ö5 und Ö6



Quelle: AIBau

Abbildung 30
Teilaußenansicht Klassenraum



Foto: AIBau

Abbildung 31
Teilaußenansicht Klassenraum



Foto: AIBau

Abbildung 32
Innenansicht Klassenraum



Foto: AlBau

Abbildung 33
Innenansicht Fachraum



Foto: AlBau

5.1.2 Feuchteschäden

In den Untersuchungsräumen waren keine Wasserschäden bekannt.

5.1.3 Material und Zustand der Wand- und Bodenoberflächen

Alle Räume sind mit schwimmend verlegten Estrichen ausgestattet, die verputzten Wandflächen sind gestrichen und die Deckenunterseiten mit abgehängten Decken bekleidet.

In allen Untersuchungsräumen waren baustellenbedingte, typische Verschmutzungen vorhanden.

5.1.4 Lage der Öffnungsstellen und Bodenaufbau

In den drei Räumen wurden je zwei Öffnungen mit einem Durchmesser von 8 cm im Estrich angelegt.

Abbildung 34
Ö1 – Türdurchgang: Bodenaufbau mit Gussasphaltestrich



Foto: AlBau

Abbildung 35
Ö2 – vor der Außenwand



Foto: AlBau

Der Bodenaufbau in den im Erdgeschoss untergebrachten Fachräumen besteht aus einem Linoleumbodenbelag, der auf einem zwischen 3 und 5,5 cm dicken Gussasphaltestrich verklebt ist. Darunter befindet sich eine Holzweichfaserdämmung in einer Dicke zwischen 1 und 3 cm. Die Ausgleichsschüttung oberhalb der bituminös abgedichteten Bodenplatte ist etwa 1 cm dick (s. Abbildung 34 und Abbildung 35).

Abbildung 36

Ö3 – Türdurchgang: Bodenaufbau mit Gussasphaltestrich



Foto: AlBau

Abbildung 37

Ö4 – Randbereich vor Außenwand: Bodenaufbau mit Gussasphaltestrich



Foto: AlBau

Im Obergeschoss ist der Fußbodenaufbau abweichend ausgeführt: In den Klassenräumen ist unter dem auf dem Zementestrich verklebten Linoleumbodenbelag eine PE-Folie verlegt. Bei Öffnungsstelle 5 am Türdurchgang zum Klassenraum ist der Estrich 5 cm, die darunter liegende Mineralwollgedämmung etwa 2 cm dick (s. Abbildung 36). Bei Öffnungsstelle 6 ist der Estrich etwa 3 cm, die Mineralwollgedämmung etwa 4 cm dick (s. Abbildung 37).

Die weiteren Untersuchungen wurden an den Öffnungsstellen 5 und 6 im Klassenraum im Obergeschoss durchgeführt (s. Abbildung 38 und Abbildung 39).

Abbildung 38

Ö5 – Türdurchgang: Bodenaufbau mit Zementestrich



Foto: AlBau

Abbildung 39

Ö6 – vor der Außenwand



Foto: AlBau

5.1.5 Messungen der Luftströmungsgeschwindigkeiten

Im Obergeschoss (Öffnungsstellen 5 und 6) wurde mit Hilfe des Anemometers nach dem in Kapitel 4.2 beschriebenen Verfahren in zwei unterschiedlichen Szenarien überprüft, ob Luftströmungen unterhalb des Estrichs feststellbar waren.

Einmal wurden Strömungsgeschwindigkeiten in der Öffnung der Kernbohrung mit einem Durchmesser von 8 cm gemessen (Abbildung 40). Dazu wurde die Bohrungsstelle oberseitig mit Folie abgedeckt, die an den Rändern mit dem Bodenbelag verklebt wurde.

Zum anderen wurde eine zusätzliche Bohrung im Durchmesser von 12 mm durch den Estrich angelegt und dort die Strömungsgeschwindigkeit gemessen (Abbildung 41).

Abbildung 40
Messungen der Luftströmungen bei Öffnungsstelle Ö5



Foto: AlBau

Abbildung 41
Messungen der Luftströmungen in der Bohrung neben Ö5



Foto: AlBau

Bei Öffnungsstelle 5 differierten die Messergebnisse zwischen beiden Szenarien wenig: Bei Abständen von der 8 cm - Kernbohrung bzw. von der 12 mm - Bohrung von 0,5 m bzw. 1 m waren Luftströmungsgeschwindigkeiten zwischen 0,01 m/s und 0,02 m/s messbar, bei einem Abstand von 0,1 m zwischen 0,03 m/s bzw. 0,04 m/s. Auch nach Springen bzw. Hüpfen waren die Messwerte vergleichbar (s. Abbildung 40 und Abbildung 41).

Abbildung 42
Messungen der Luftströmungen bei Öffnungsstelle Ö6



Foto: AlBau

Abbildung 43
Messungen der Luftströmungen in der Bohrung neben Ö6



Foto: AlBau

An Öffnungsstelle 6 lagen die Luftströmungsgeschwindigkeiten an der abgedeckten Kernbohrung bei einem Abstand von 0,5 m bzw. 1 m bei 0,13 m/s, bei einem Abstand von 0,1 m bis zu 0,20 m/s. An der kleinen Bohrung waren bei einem Abstand von 0,5 m bzw. 1 m keine Luftströmungen messbar, bei einem Abstand von 0,1 m ergaben sich bis zu 0,02 m/s. Nach Springen traten an der Kernbohrung Geschwindigkeiten bis zu 0,26 m/s, an der kleinen Bohrung bis zu 0,05 m/s auf (s. Abbildung 42 und Abbildung 43).

Abbildung 44
Rauchgasuntersuchungen bei Öffnungsstelle Ö5



Foto: AlBau

Abbildung 45
Rauchgasuntersuchungen bei Öffnungsstelle Ö6



Foto: AlBau

An keiner der Untersuchungsstellen trat in Strömungswege gegebenes Rauchgas an den offenen Randfugen aus (s. Abbildung 44 und Abbildung 45).

5.1.6 Raumlufmessungen

Vor den Untersuchungen war an Estrichproben ein Altbefall mit "Schwärzepilzen" (u.a. *Ulocladium* spp.) festgestellt worden, jedoch keine weiteren signifikanten mikrobiellen Befallsherde im Estrichaufbau. Vor den Luftkeimmessungen (LK) wurden Schimmelpilze der Gattung *Penicillium chrysogenum* eingebracht (s. Abbildung 46 und Abbildung 47).

Die Luftkeimmessung ergab, dass im Untersuchungsraum bereits vor Einbringen der Schimmelpilzkultur eine leichte Belastung mit *Penicillium chrysogenum* in der Raumluf vorlag (siehe Kontrollmessung). Nach dem Einbringen der Schimmelpilzkulturen in den Estrich und der anschließenden Druckeinwirkung durch Begehen und Springen (Mobilisierung) zeigte sich, dass sich die Luftkeimbelastung insbesondere an *Penicillium*

Abbildung 46
Eingebrachte Schimmelpilzproben bei Ö6



Foto: AlBau

Abbildung 47
wieder verschlossene Kernbohrung bei Ö6

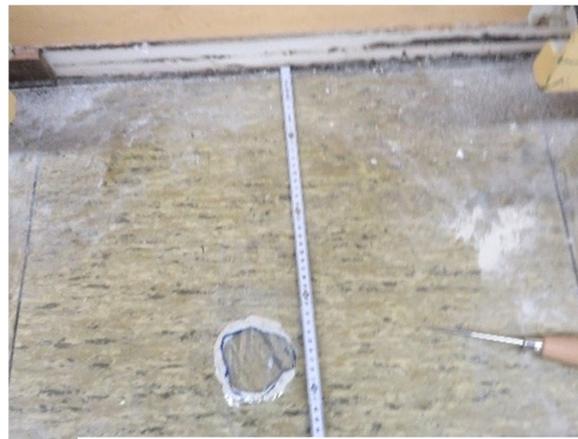


Foto: AlBau

chrysogenum, aber auch allgemein an Penicillien spp. an der Tür (Öffnungsstelle 5) nicht und an den Fenstern (Öffnungsstelle 6) deutlich erhöhte.

Da am Fenster durch die Mobilisierung eine leichte Luftbewegung im Estrichaufbau entstand, könnte die erhöhte Luftkeimbelastung auf einen Pumpeffekt zurückgeführt werden. Die gleichzeitige Zunahme an allgemeinen Penicillium spp. lässt jedoch den Schluss zu, dass die erhöhte Luftkeimbelastung auf eine starke und vor den Untersuchungen nicht beseitigte Verschmutzung am Estrichrand zurückzuführen war.

Abbildung 48
Raumluftmessung an Öffnungsstelle Ö6



Foto: AlBau

Abbildung 49
Medizinbälle, mit denen der Estrich in Schwingung versetzt wurde, hier an Ö6



Foto: AlBau

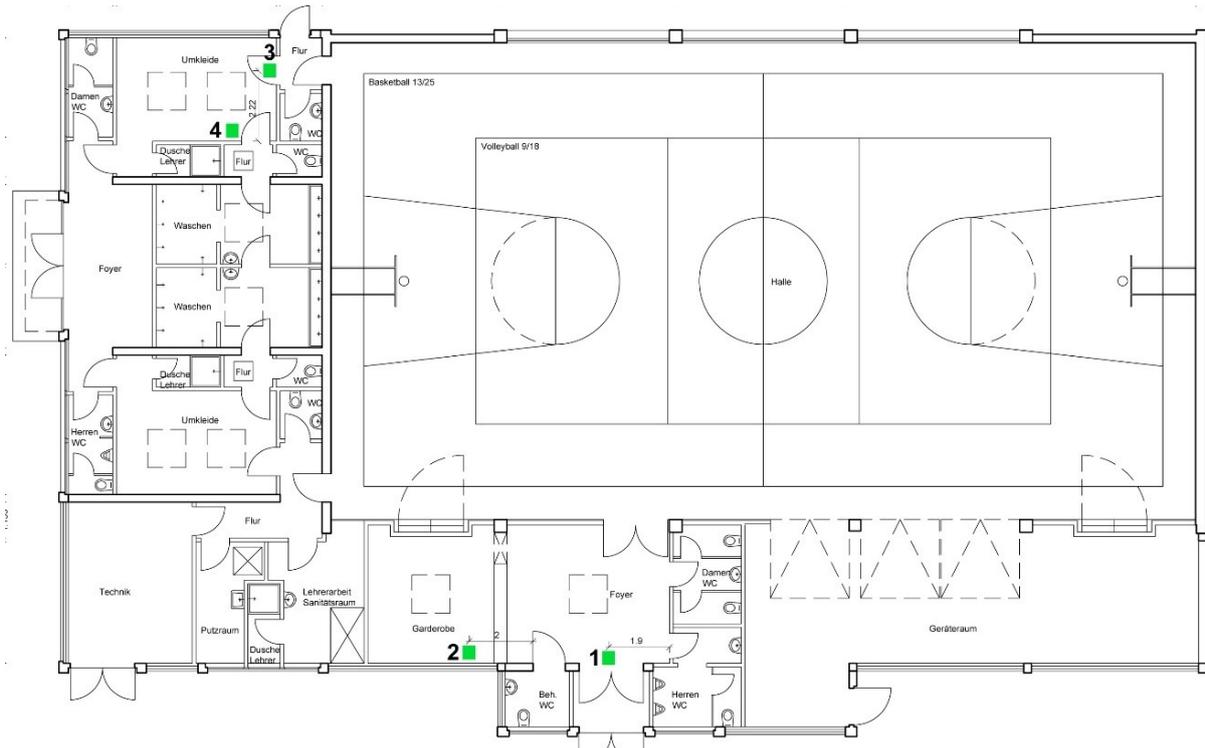
Wegen dieser Unsicherheit wurden bei den folgenden Untersuchungen nur Schimmelpilzkulturen in den Estrichaufbau eingebracht, die in Innenräumen selten bis nicht vorkommen.

5.2 Foyer und Umkleide einer Mehrzweckhalle

5.2.1 Raumnutzung und Raumgröße

Im Rahmen der ohnehin anstehenden Instandsetzungen in Folge des Hochwassers von Juli 2021 konnten Untersuchungen im Foyer und Umkleidebereich einer Mehrzweckhalle (s. Abbildung 50) untersucht werden. Das Foyer weist eine Raumgröße von etwa 36 m², die Umkleide von etwa 16 m² auf (s. Abbildung 51 und Abbildung 52).

Abbildung 50
Grundriss mit Eintragung der Öffnungsstellen



Quelle: AlBau

Abbildung 51
Innenansicht des Foyers und der angrenzenden Garderobe

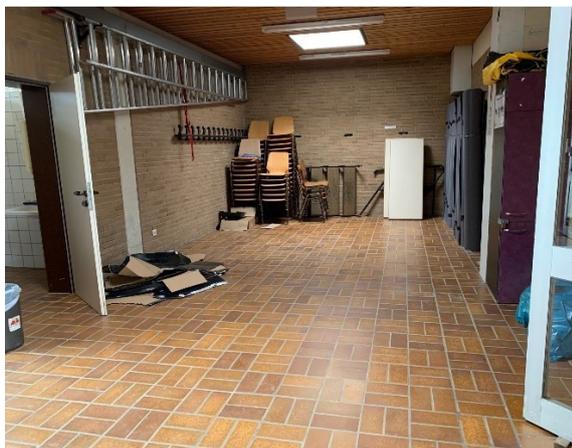


Foto: AlBau

Abbildung 52
Innenansicht des Umkleieraums



Foto: AlBau

5.2.2 Feuchteschäden

Die Mehrzweckhalle sowie die dazugehörigen Nebenräume zur Halle befinden sich im Überflutungsgebiet des Hochwassers von Juli 2021. Die Höhe des Wasserstands lag etwa in Höhe der Geschosdecke der Umkleieräume.

5.2.3 Material und Zustand der Wand- und Bodenoberflächen

In allen Räumen sind die Bodenflächen mit keramischen Spaltplatten belegt, die Wände als Sichtmauerwerk gebaut, die Deckenunterseiten mit abgehängten Deckenkonstruktionen bekleidet.

Nach dem Überflutungsereignis wurden Halle und Nebenräume kurzfristig zur Spendenausgabe genutzt. Seitdem sind alle Flächen nicht genutzt. In allen Untersuchungsräumen waren bedingt durch den Leerstand typische Verschmutzungen vorhanden.

Vor Durchführung der Untersuchungen wurden die Umkleieräume gesaugt und feucht gewischt. Eine Feinreinigung wurde nicht durchgeführt.

5.2.4 Lage der Öffnungsstellen und Bodenaufbau

Die Öffnungsstellen 1 und 2 wurden im Foyer im Bereich des Haupteingangs (Ö₁) und vor der von innen gesehen rechts angrenzenden Wandfläche angelegt (s. Abbildung 53 und Abbildung 54). Die keramischen Bodenfliesen sind auf einem 7-8 cm dicken Zementestrich auf Trennlage zur Bodenplatte verlegt. Im Foyer ist keine Dämmschicht unter dem Estrich verlegt worden. Daher sind diese beiden Öffnungsstellen für weitere Untersuchungen ungeeignet.

Abbildung 53
Übersicht zu Öffnungsstelle Ö₁



Foto: AlBau

Abbildung 54
Übersicht zu Öffnungsstelle Ö₂



Foto: AlBau

Öffnungsstellen 3 und 4 befanden sich im vor der rückseitigen Außenwand gelegenen Umkleieraum. Öffnungsstelle 3 wurde am Türdurchgang zum Flur an außen angelegt, Öffnungsstelle 4 vor der Innenwand zum Duschbereich. Bei Öffnungsstelle 3 weist der Zementestrich eine Dicke von etwa 8 cm, die zweilagige Wärmedämmung aus extrudiertem Polystyrol eine Schichtdicke von jeweils 2 cm auf. Bei Öffnungsstelle 3 ist unter den Spaltplatten der etwa 7 cm dicke Zementestrich ebenfalls auf einer zweilagigen Trittschalldämmung verlegt. Die Dämmschichtdicke beträgt hier 2 und 2,5 cm. In der unteren Dämmebene sind Rohrleitungen verlegt.

Die weiteren Untersuchungen wurden an den Öffnungsstellen 3 und 4 durchgeführt (s. Abbildung 55 bis Abbildung 58).

Abbildung 55
Übersicht zu Öffnungsstelle Ö3



Foto: AlBau

Abbildung 56
Detailaufnahme der Kernbohrung bei Öffnungsstelle Ö3



Foto: AlBau

Abbildung 57
Übersicht zu Öffnungsstelle Ö4



Foto: AlBau

Abbildung 58
Offene Randfuge bei Öffnungsstelle Ö4



Foto: AlBau

5.2.5 Messungen der Luftströmungsgeschwindigkeiten

An Bohrungen neben den Öffnungsstellen 3 und 4 wurden Luftströmungsgeschwindigkeiten gemessen. Bei keiner Messung konnten nach Beaufschlagung mit dem Medizinball im Abstand von 0,1 m, 0,5 m oder 1,0 m Luftbewegungen im Bodenaufbau festgestellt werden (s. Abbildung 59 und Abbildung 60).

Abbildung 59
Messungen der Luftströmungen in der Bohrung neben Ö3



Foto: AlBau

Abbildung 60
Messungen der Luftströmungen in der Bohrung neben Ö4



Foto: AlBau

5.2.6 Raumlufmessungen

Vor den Untersuchungen konnten an Estrichproben aus dem Bodenaufbau trotz des beträchtlichen Wasserschadens aus dem vorangegangenen Hochwasser bis auf vereinzelte Sporen und Hyphenbruchstücke kein signifikanter, mikrobieller Befall im Fußbodenaufbau festgestellt werden.

Vor den Luftkeimmessungen (s. 31Abbildung 61 und Abbildung 62) wurden Schimmelpilze der Gattungen *Aspergillus fumigatus* und *Penicillium roquefortii* eingebracht.

Die Luftkeimmessungen zeigten, dass die Mobilisierung keine zusätzliche Luftkeimbelastung durch die eingebrachten Schimmelpilzkulturen ergab. Dies kann mit einem möglicherweise kontaktärmeren Einbringen der bewachsenen Schimmelpilzmedien zusammenhängen, aber auch auf den trotz Druckbelastung kaum zu bewegendem Estrich zurückgeführt werden.

Abbildung 61
Raumlufmessung in der Umkleide



Foto: AlBau

Abbildung 62
Messungen der Luftströmungen in der Bohrung neben Ö3



Foto: AlBau

5.3 Büroräume eines Verwaltungsgebäudes

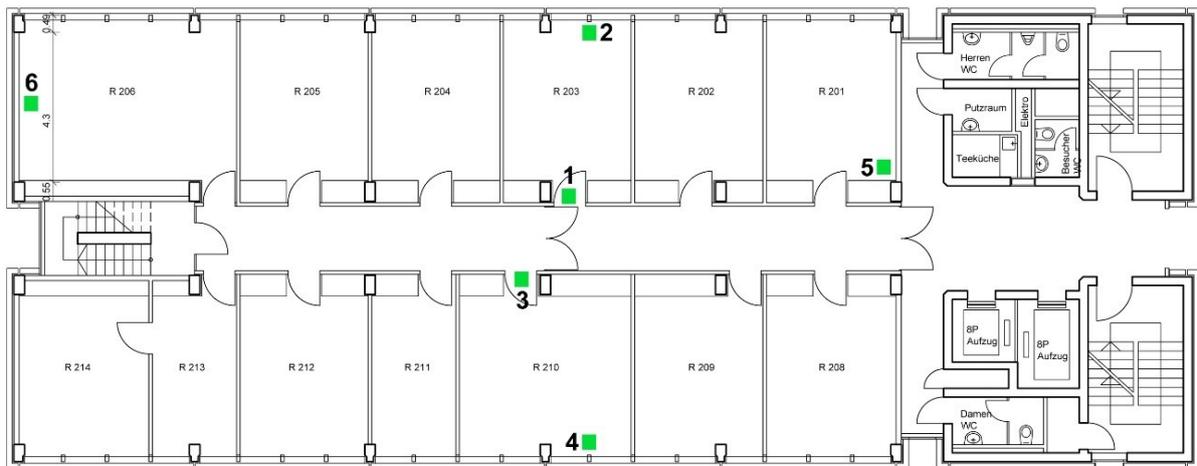
5.3.1 Raumnutzung und Raumgröße

Durch das Hochwasserereignis im Juli 2021 waren Keller und Erdgeschoss eines Verwaltungsgebäudes vollständig überflutet worden. Deswegen wurde die weitere Nutzung sämtlicher Räume auch in den oberen Geschossen untersagt. In den oberen Etagen waren die Büroräume der Verwaltung untergebracht, deren Fußböden untersucht werden konnten (s. Abbildung 63 bis Abbildung 65).

Die Raumgrößen der Büros variieren zwischen etwa 18 m² und 31 m².

Abbildung 63

Grundriss des Verwaltungsgebäudes im 2. Obergeschoss mit Eintragung der Öffnungsstellen



Quelle: AlBau

Abbildung 64

Typische Innenansicht eines Büros

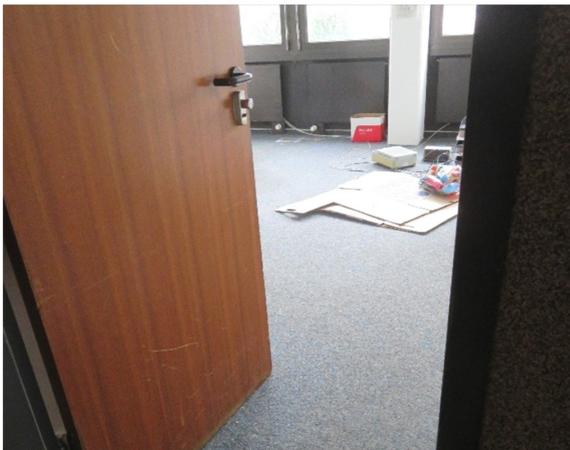


Foto: AlBau

Abbildung 65

Typische Innenansicht eines weiteren Büros



Foto: AlBau

5.3.2 Feuchteschäden

Wasserschäden waren in den Untersuchungsräumen im 2. Obergeschoss nicht aufgetreten.

5.3.3 Material und Zustand der Wand- und Bodenoberflächen

Alle Räume sind mit schwimmenden Estrichen und einem Teppichbodenbelag ausgestattet. Nur der Büroraum, in dem sich Öffnungsstelle 6 befindet, weist einen PVC-Bodenbelag auf. Die verputzten Wandflächen sind gestrichen, die Deckenunterseiten mit abgehängten Deckenkonstruktionen bekleidet.

In allen Untersuchungsräumen waren, bedingt durch den Leerstand, typische Verschmutzungen vorhanden. Die Bodenflächen wurden vor Durchführung der Untersuchungen gesaugt bzw. feucht gewischt.

Während der ersten örtlichen Untersuchungen befand sich Mobiliar in den Untersuchungsräumen. Vor der Durchführung der Pumpversuche wurde dieses weitgehend entfernt.

5.3.4 Lage der Öffnungsstellen und Bodenaufbau

In zwei Büroräumen wurde je eine Öffnungsstelle im Türdurchgang zum Erschließungsflur (Öffnungsstellen 1 + 3) bzw. vor der Fensterfront der längsseitigen Außenwand (Öffnungsstellen 2 + 4) angelegt. In einem weiteren Büro wurde eine Öffnungsstelle vor der Innenwand zum Treppenhausflur vorgesehen. Öffnungsstelle 6 befand sich vor der stirnseitigen Außenwand einer weiteren Büroeinheit (s. Abbildung 67 bis Abbildung 77).

Die Bodenflächen der Erschließungsflure und der Büroeinheit bei Ö6 waren mit einem PVC-Bodenbelag, die sonstigen Büros mit Teppichboden versehen.

Die Gesamtaufbauhöhe des Fußbodens variierte zwischen 15,5 und 17,5 cm Dicke: Bei den Öffnungsstellen Ö1 und Ö4 wurden Dicken von jeweils 15,5 cm, bei den Öffnungsstellen Ö2 und Ö3 jeweils 17,5 cm, bei Öffnungsstelle Ö5 eine von 17 cm und bei Öffnungsstelle Ö6 eine von 16,5 cm gemessen.

Auf den Stahlbetondecken waren kaschierte Wärmedämmplatten aus Polyurethan (PUR) bzw. Polyisocyanurat (PIR) verlegt. Auf einer Trennlage aus Bitumenpapier folgte ein bewehrter Zementestrich, dessen Materialstärke zwischen 9 cm und 11 cm schwankte. Auf dem Estrich wurde der jeweilige Bodenbelag verklebt.

Abbildung 66
Übersicht zu Öffnungsstelle Ö1



Foto: AlBau

Abbildung 67
Die Gesamtaufbauhöhe des Fußbodens beträgt 15,5 cm.



Foto: AlBau

Abbildung 68
Übersicht zu Öffnungsstelle Ö₂



Foto: AlBau

Abbildung 69
Die Gesamtaufbauhöhe des Fußbodens beträgt 17,5 cm.



Foto: AlBau

Abbildung 70
Übersicht zu Öffnungsstelle Ö₃



Foto: AlBau

Abbildung 71
Die Gesamtaufbauhöhe des Fußbodens beträgt 17,5 cm.



Foto: AlBau

Abbildung 72
Übersicht zu Öffnungsstelle Ö₄



Foto: AlBau

Abbildung 73
Die Gesamtaufbauhöhe des Fußbodens beträgt 15,5 bis 16 cm.



Foto: AlBau

Abbildung 74
Übersicht zu Öffnungsstelle Ö5



Foto: AlBau

Abbildung 75
Die Gesamtaufbauhöhe des Fußbodens beträgt 17 cm.



Foto: AlBau

Abbildung 76
Übersicht zu Öffnungsstelle Ö6



Foto: AlBau

Abbildung 77
Die Gesamtaufbauhöhe des Fußbodens beträgt 16,5 cm.



Foto: AlBau

5.3.5 Messungen der Luftströmungsgeschwindigkeiten

Die Luftströmungsgeschwindigkeiten wurden an den Öffnungsstellen 1 bis 4 gemessen (s. Abbildung 78 bis Abbildung 81).

Bei Öffnungsstelle 1 war festzustellen, dass mit einem Abstand vom Bohrloch von 0,5 m bzw. 1 m keine Luftströmungen messbar waren. Bei einem Abstand von 0,1 m waren Messwerte von 0,01 m/s vorhanden.

An Öffnungsstelle 2 waren bei einem Abstand vom Bohrloch von 1 m keine Luftströmungen messbar, bei einem Abstand von 0,5 m ergaben sich bis zu 0,01 m/s bei einem Abstand von 0,1 m bis zu 0,02 m/s.

Bei Öffnungsstelle 3 war festzustellen, dass mit einem Abstand vom Bohrloch von 1 m keine Luftströmungen messbar waren. Bei einem Abstand von 0,5 m bzw. 0,1 m waren Messwerte von 0,01 m/s vorhanden.

An Öffnungsstelle 4 waren bei einem Abstand vom Bohrloch von 1 m Luftströmungen bis zu 0,01 m/s messbar, bei einem Abstand von 0,5 m und 0,1 m bis zu 0,02 m/s.

Auch nach einer Beanspruchung durch Springen konnten an keiner Öffnungsstelle höhere Messwerte ermittelt werden.

Abbildung 78

Messungen der Luftströmung bei Ö₁ mit einem Abstand zwischen Beanspruchung und Bohrloch von 0,1 m



Foto: AlBau

Abbildung 79

Messungen der Luftströmung bei Ö₂ mit einem Abstand zwischen Beanspruchung und Bohrloch von 0,5 m

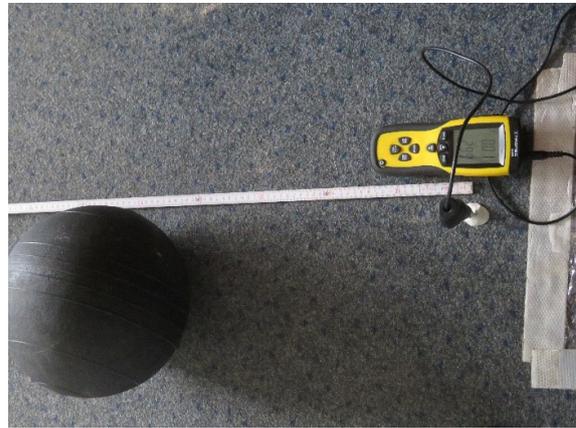


Foto: AlBau

Abbildung 80

Messungen der Luftströmung bei Ö₃ mit einem Abstand zwischen Beanspruchung und Bohrloch von 0,5 m



Foto: AlBau

Abbildung 81

Messungen der Luftströmung bei Ö₄ mit einem Abstand zwischen Beanspruchung und Bohrloch von 0,1 m



Foto: AlBau

5.3.6 Raumluftmessungen

Beim ersten Versuchsdurchlauf wurden unmittelbar vor der Luftkeimmessung Schimmelpilze der Gattungen *Aspergillus fumigatus* und *Penicillium roquefortii* eingebracht.

Die Luftkeimmessungen zeigten in den beiden untersuchten Räumen vorab eine leichte, nach Einbringen der Schimmelpilzkulturen in den Estrichaufbau eine deutliche Luftkeimbelastung mit *Aspergillus fumigatus*. Offenbar waren die Räume bereits vorab belastet oder beim Einbringen der Schimmelpilzkulturen aus der besonders stark sporulierenden *Aspergillus*-Kultur in bedeutendem Maß in die Raumluft gelangt. Es kann ausgeschlossen werden, dass sie aus der Dämmschicht unter dem bei Druckbelastung kaum zu bewegendem Estrich stammten (s. Abbildung 82 bis Abbildung 85).

Um bei nachfolgenden Untersuchungen eine unkontrollierte Sporenbelastung in die zu untersuchenden Räume zu vermeiden, wurden ab dann die Schimmelpilzkulturen bereits einige Wochen vor den Luftkeimmessungen

in die Estriche eingebracht, die Räumlichkeiten etwa eine Woche vor den Luftkeimmessungen gründlich gereinigt und ein Tag zuvor einen HEPA-Luftwäscher (mind. Filterklasse H 12) aufgestellt, um damit eine Entfernung aller Pilzsporen zu gewährleisten, die zu Fehlmessungen führen können.

Im zweiten Versuchsdurchlauf wurden 10 Wochen vor der Luftkeimmessung Schimmelpilze der Gattungen *Aspergillus fumigatus* und *Penicillium glabrum* eingebracht.

Etwa eine Woche vor der Durchführung der Raumluftmessungen wurden nach Reinigungsmaßnahmen Raumluftwäscher in den Untersuchungsräumen in Betrieb genommen, um eine Kontamination durch von außen eingetragene Schimmelsporen zu verhindern.

Die Ergebnisse der Luftkeimmessungen zeigten nun in allen drei untersuchten Räumen vor und nach den nachfolgenden Mobilisierungen keine Luftkeimbelastungen der vor Wochen eingebrachten Schimmelpilzspezies. Die vorangegangenen Messungen der ersten Reihe waren damit verfälscht. Bei der neuen Vorgehensweise war kein Pumpeffekt festzustellen.

Abbildung 82
Raumluftmessungen bei den Öffnungsstellen 1 und 2



Foto: AlBau

Abbildung 83
Raumluftmessungen bei Öffnungsstelle 6



Foto: AlBau

Abbildung 84
Verschlossene Öffnungsstelle während der Raumluftmessung



Foto: AlBau

Abbildung 85
Wieder entnommene Schimmelpilzproben



Foto: AlBau

5.4 Wohn- und Schlafräume in einem Zweifamilienhaus

5.4.1 Raumnutzung und Raumgröße

Aufgrund des ohnehin anstehenden Abrisses des Zweifamilienhauses konnten mehrere Räume des Gebäudes zu Untersuchungszwecken im Rahmen der Forschungsarbeit genutzt werden. Die Untersuchungsräume befinden sich im ersten Obergeschoss (s. Abbildung 86 bis Abbildung 89).

Es handelt sich um ein etwa 10 m² großes Zimmer und das etwa 14 m² große Schlafzimmer der Wohnung.

Abbildung 86
Grundriss des Zweifamilienhauses im 1. Obergeschoss mit Eintragung der Öffnungsstellen

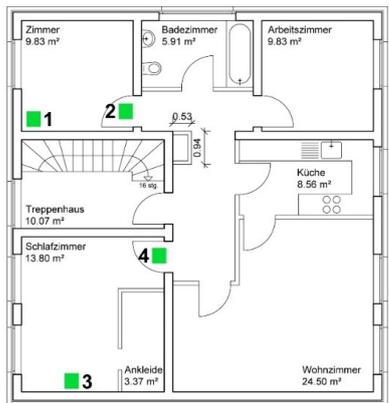


Foto: AlBau

Abbildung 87
Außenansicht des Zweifamilienhauses



Foto: AlBau

Abbildung 88
Innenansicht des Zimmers



Foto: AlBau

Abbildung 89
Innenansicht des Schlafzimmers



Foto: AlBau

5.4.2 Feuchteschäden

Wasserschäden waren in den Untersuchungsräumen des Zweifamilienhauses nicht aufgetreten.

5.4.3 Material und Zustand der Wand- und Bodenoberflächen

Alle Räume sind mit schwimmenden Estrichen und einem Laminatbodenbelag ausgestattet. Dieser wurden im Bereich der Öffnungsstellen großflächig entfernt. Die verputzten Wandflächen und Deckenunterseiten sind gestrichen.

In allen Untersuchungsräumen waren bedingt durch den Leerstand typische Verschmutzungen vorhanden. Die Bodenflächen wurden vor Durchführung der Untersuchungen gesaugt und feucht gewischt. Eine Feinreinigung der Räume wurde nicht durchgeführt.

5.4.4 Lage der Öffnungsstellen und Bodenaufbau

In beiden Untersuchungsräumen wurde je eine Öffnungsstelle im Bereich des Türdurchgangs und vor der Außenwand angelegt. Die Höhe des Gesamtaufbaus des Fußbodens schwankte zwischen 6 cm und 6,7 cm.

Unter dem entfernten Laminatbodenbelag ist auf der Estrichoberfläche ein PVC-Bodenbelag verklebt worden. Der Calciumsulfatestrich ist auf einem Bitumenpapier als Trennlage und einer Trittschalldämmung aus Mineralwolle eingebaut worden. Die Schichtdichten der Baustoffe variieren: Bei den Öffnungsstelle 1 ist eine Estrichdicke von 4 cm und eine Dicke der Trittschalldämmung von 3 cm messbar. Bei Öffnungsstelle Ö2 beträgt die Estrichdicke etwa 5,7 cm, die Dämmschichtdicke ebenfalls 1 cm. Bei Öffnungsstelle Ö3 sind 3,5 cm bis 4 cm Estrichdicke und 2 cm Dämmschichtdicke messbar. Bei Öffnungsstelle Ö4 beträgt die Estrichdicke etwa 5,5 cm, die Dämmschichtdicke ebenfalls 1 cm (s. Abbildung 90 bis Abbildung 97).

Abbildung 90
Übersicht zu Öffnungsstelle Ö1



Foto: AlBau

Abbildung 91
Die Gesamtaufbauhöhe des Fußbodens beträgt 6 cm.



Foto: AlBau

Abbildung 92
Übersicht zu Öffnungsstelle Ö2



Foto: AlBau

Abbildung 93
Die Gesamtaufbauhöhe des Fußbodens beträgt 6,5 cm.



Foto: AlBau

Abbildung 94
Übersicht zu Öffnungsstelle Ö₃



Foto: AlBau

Abbildung 95
Die Gesamtaufbauhöhe des Fußbodens beträgt 6 cm.



Foto: AlBau

Abbildung 96
Übersicht zu Öffnungsstelle Ö₄



Foto: AlBau

Abbildung 97
Die Gesamtaufbauhöhe des Fußbodens beträgt 6 cm.



Foto: AlBau

5.4.5 Messungen der Luftströmungsgeschwindigkeiten

An Bohrungen neben allen Öffnungsstellen wurden Luftströmungsgeschwindigkeiten gemessen. Bei keiner Messung konnten nach Beaufschlagung mit dem Medizinball im Abstand von 0,1 m, 0,5 m oder 1,0 m Luftbewegungen im Bodenaufbau festgestellt werden (s. Abbildung 99).

Als einzige Ausnahme waren bei Öffnungsstelle Ö₁ bei einem Wurfabstand vom Bohrloch von 0,1 m und 0,5 m etwa 0,01 m/s messbar (s. Abbildung 98).

Auch bei einer Beanspruchung durch Springen konnten keine höheren Messwerte erzielt werden.

Abbildung 98
Messungen der Luftströmung bei Ö₁ mit einem Abstand zwischen Beanspruchung und Bohrloch von 0,5 m



Foto: AlBau

Abbildung 99
Messungen der Luftströmung bei Ö₃ mit einem Abstand zwischen Beanspruchung und Bohrloch von 0,1 m



Foto: AlBau

5.4.6 Raumluftmessungen

Unmittelbar vor der Luftkeimmessung (s. Abbildung 100 und Abbildung 101) wurden als Schimmelpilze *Aspergillus fumigatus* und *Penicillium roquefortii* eingebracht.

Die Ergebnisse der Luftkeimmessungen zeigen in beiden untersuchten Räumen vorab keine, nach Einbringen der Schimmelpilzkulturen in den Estrichaufbau insbesondere eine deutliche Luftkeimbelastung mit *Aspergillus fumigatus*. Es ist davon auszugehen, dass beim Einbringen der Schimmelpilzkulturen unmittelbar vor den Luftkeimmessungen die besonders stark sporulierende *Aspergillus*-Kultur in bedeutendem Maß in die Raumluft ge-

Abbildung 100
Raumluftmessung im Schlafzimmer



Foto: AlBau

Abbildung 101
Raumluftmessung



Foto: AlBau

langt ist und nicht aus dem trotz Druckbelastung kaum zu bewegendem Fußbodenaufbau kommen. Eine Belastung der Raumluft durch Sporen von *Penicillium roquefortii* konnte nach der Mobilisierung nicht nachgewiesen werden.

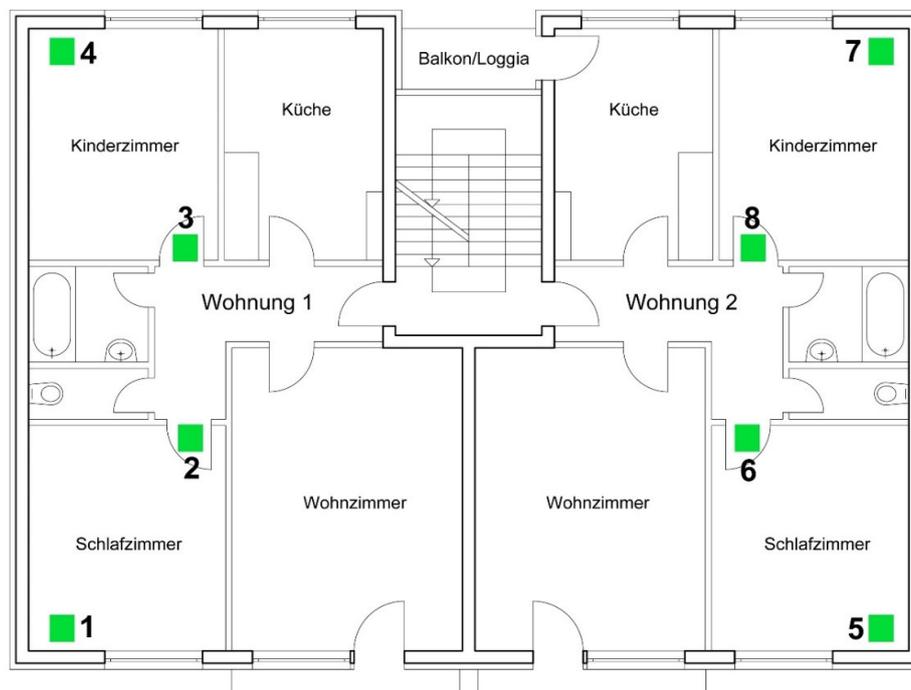
5.5 Wohn- und Schlafräume in einem Mehrfamilienhaus

5.5.1 Raumnutzung und Raumgröße

Aufgrund des ohnehin anstehenden Abrisses eines Mehrfamilienhauses konnten Fußböden in zwei Wohnungen für die Forschungsarbeit untersucht werden. Die Räume befinden sich im zweiten Obergeschoss. Sie sind etwa 15 m² groß und waren Kinder- bzw. Schlafzimmer (s. Abbildung 102 bis Abbildung 104).

Abbildung 102

Grundriss des Mehrfamilienhauses im 2. Obergeschoss mit Eintragung der Öffnungsstellen



Quelle: AlBau

Abbildung 103

Teilaußenansicht des leerstehenden Mehrfamilienhauses



Foto: AlBau

Abbildung 104

Typische Innenansicht eines Zimmers



Foto: AlBau

5.5.2 Feuchteschäden

In den Räumen, in denen Fußbodenaufbauten untersucht wurden, waren keine Wasserschäden bekannt. Nach dem teilweisen Entfernen des Laminatbodens im Untersuchungsraum der Öffnungsstellen 3 und 4 war allerdings festzustellen, dass die darunter befindliche Oberfläche im Bereich des Türrdurchgangs (Öffnungsstelle Ö3) abgetrocknete Feuchtekränze aufwies.

5.5.3 Material und Zustand der Wand- und Bodenoberflächen

Alle Räume sind mit schwimmenden Estrichen ausgestattet, die verputzten Wandflächen sind ebenso wie die verputzten die Deckenunterseiten tapeziert und gestrichen. Die Holzfensterrahmen sind teilweise durch eindringende Feuchte geschädigt.

Teilweise fehlte der Bodenbelag (s. Öffnungsstellen Ö3 und Ö4), die Randfugen sind offen und nicht abgedeckt.

In allen Untersuchungsräumen waren bedingt durch den Leerstand typische Verschmutzungen vorhanden. Daher wurde eine Feinreinigung aller raumumschließenden Bauteile vorgenommen. Abschließend erfolgten Desinfektionsmaßnahmen.

5.5.4 Lage der Öffnungsstellen und Bodenaufbau

In den vier Untersuchungsräumen wurde je eine Öffnungsstelle im Bereich des Türrdurchgangs und vor der Außenwand angelegt. Die Höhe des Gesamtaufbaus des Fußbodens schwankt zwischen 5,5 cm und 7,5 cm (s. Abbildung 105 bis Abbildung 120).

In drei der vier Untersuchungsräume ist ein Linoleumbodenbelag auf der Oberfläche des Zementestrichs verklebt worden, dessen Dicke inkl. des Klebers 0,5 cm beträgt. Im vierten Raum ist dieser Bodenbelag entfernt worden und durch einen Laminatboden, der auf einer aufgeschäumten Trennlage verlegt wurde, ersetzt worden. Der Zementestrich ist auf einer bituminösen Trennlage auf Mineralwolledämmung eingebaut worden. Die Dicke von Estrich und Wärmedämmung variieren: Bei Öffnungsstelle Ö1 sind eine Estrichdicke von 4 cm und eine Dämmstoffdicke von 2 cm messbar. Bei Öffnungsstelle Ö2 weist der Estrich eine Stärke von 4,5 cm, die Dämmung eine Stärke von 1,5 cm auf. Bei Öffnungsstelle Ö3 beträgt die Estrichdicke 4 cm, die Dicke der Mineralwolledämmung 1,5 cm. Bei Öffnungsstelle Ö4 sind eine Estrichdicke von 4 cm und eine Dämmstoffdicke von 2,5 cm vorhanden. Bei Öffnungsstelle Ö5 weist der Estrich eine Stärke von 4,5 cm, die Dämmung eine Stärke von 1,5 cm auf. Bei Öffnungsstelle Ö6 beträgt die Estrichdicke 5,5 cm, die Dicke der Mineralwolledämmung 1 cm. Bei Öffnungsstelle Ö7 sind eine Estrichdicke von 4,5 cm und eine Dämmstoffdicke von 1,5 cm messbar. Bei Öffnungsstelle Ö8 beträgt die Estrichdicke 5,5 cm, die Dicke der Mineralwolledämmung 1,5 cm.

Abbildung 105
Übersicht zu Öffnungsstelle Ö1



Foto: AlBau

Abbildung 106
Die Gesamtaufbauhöhe des Fußbodens beträgt 6,5 cm.



Foto: AlBau

Abbildung 107
Übersicht zu Öffnungsstelle Ö2



Foto: AlBau

Abbildung 108
Die Gesamtaufbauhöhe des Fußbodens beträgt 6,5 cm.



Foto: AlBau

Abbildung 109
Übersicht zu Öffnungsstelle Ö3



Foto: AlBau

Abbildung 110
Die Gesamtaufbauhöhe des Fußbodens beträgt ohne Bodenbelag
5,5 cm.



Foto: AlBau

Abbildung 111
Übersicht zu Öffnungsstelle Ö4



Foto: AlBau

Abbildung 112
Die Gesamtaufbauhöhe des Fußbodens beträgt ohne Bodenbelag 6,5 cm.



Foto: AlBau

Abbildung 113
Übersicht zu Öffnungsstelle Ö5



Foto: AlBau

Abbildung 114
Die Gesamtaufbauhöhe des Fußbodens beträgt 6 cm.



Foto: AlBau

Abbildung 115
Übersicht zu Öffnungsstelle Ö6



Foto: AlBau

Abbildung 116
Die Gesamtaufbauhöhe des Fußbodens beträgt 7 cm.



Foto: AlBau

Abbildung 117
Übersicht zu Öffnungsstelle Ö7



Foto: AlBau

Abbildung 118
Die Gesamtaufbauhöhe des Fußbodens beträgt 6,5 cm.



Foto: AlBau

Abbildung 119
Übersicht zu Öffnungsstelle Ö8



Foto: AlBau

Abbildung 120
Die Gesamtaufbauhöhe des Fußbodens beträgt 7,5 cm.



Foto: AlBau

5.5.5 Messungen der Luftströmungsgeschwindigkeiten

Bei den Öffnungsstellen Ö₁, Ö₂ und Ö₄ konnten bei Messpunktabständen von 0,5 m oder 1,0 m weder bei einer Beanspruchung durch den Medizinball noch im Rahmen der Spring-Versuche Luftströmungen in der Wärmedämmung des Fußbodenaufbaus festgestellt werden. Bei einem Abstand zwischen der Beanspruchung und dem Bohrloch von 0,1 m waren nur beim Sprungversuch bei den Öffnungsstellen Ö₁ und Ö₂ bis zu 0,02 m/s messbar. Bei Öffnungsstelle Ö₄ waren bei einem Abstand von 0,1 m eine Luftströmung von 0,01 m/s, beim Sprungversuch bis zu 0,09 m/s zu verzeichnen (s. Abbildung 121 bis Abbildung 124).

Bei den Öffnungsstellen Ö₃ sowie den Öffnungsstellen Ö₅ bis Ö₈ konnten weder bei einer Beanspruchung durch den Medizinball noch im Rahmen der Spring-Versuche Luftströmungen in der Wärmedämmung des Fußbodenaufbaus festgestellt werden (s. Abbildung 125 und Abbildung 126).

Abbildung 121
Messungen der Luftströmungsgeschwindigkeit bei Ö₁ mit einem Abstand zwischen der Beanspruchungsstelle durch Ballwurf und Bohrloch von 0,1 m



Foto: AlBau

Abbildung 122
Messungen der Luftströmungsgeschwindigkeit bei Ö₁ mit einem Abstand zwischen Beanspruchung und Bohrloch von 0,1 m nach Springen



Foto: AlBau

Abbildung 123

Messungen der Luftströmung bei Ö₄ mit einem Abstand zwischen Beanspruchung und Bohrloch von 0,1 m nach Ballwurf.



Foto: AlBau

Abbildung 124

Messungen der Luftströmung bei Ö₄ mit einem Abstand zwischen Beanspruchung und Bohrloch von 0,1 m nach Springen.



Foto: AlBau

Abbildung 125

Messungen der Luftströmung bei Ö₇ mit einem Abstand zwischen Beanspruchung und Bohrloch von 0,1 m nach Ballwurf.



Foto: AlBau

Abbildung 126

Messungen der Luftströmung bei Ö₇ mit einem Abstand zwischen Beanspruchung und Bohrloch von 0,1 m nach Springen.



Foto: AlBau

Bei einer weiteren Untersuchung wurden die Luftströmungsgeschwindigkeiten an der Oberseite der Estrichrandfuge neben Öffnungsstelle Ö₄ gemessen. Der Messfühler wurde nach dem Entfernen der Fußleiste auf den Randdämmstreifen gelegt. Anschließend wurde zunächst in einer Entfernung von 0,5 m und 0,1 m der Ball auf den Boden geworfen (s. Abbildung 127 bis Abbildung 132).

Bei einem Abstand zwischen der Beanspruchung und dem Messfühler von 0,1 m waren zwischen 0,08 m/s bis zu 0,25 m/s messbar. Bei einem Abstand von 0,5 m war eine Geschwindigkeit von maximal 0,05 m/s zu verzeichnen, teilweise jedoch war bei einem Abstand von 0,5 m auch gar keine Luftströmung zu messen.

Um auszuschließen, dass die gemessenen Luftbewegungen durch das Werfen des Balls entstanden waren, wurde der Bereich zwischen Messfühler und Ball durch einen nach oben offenen Karton strömungstechnisch abgeschirmt. Die zur Ballseite orientierte Fuge zwischen Bodenbelag und Karton wurde mit einem Streifen Klebeband abgeklebt, um eine mögliche „Unterströmung“ des Kartons zu verhindern. Bei einem Abstand zwischen der Aufschlagstelle des Balls und dem Messfühler von etwa 0,3 m waren in allen Versuchen maximale Luftströmungsgeschwindigkeiten zwischen 0,02 m/s bzw. 0,03 m/s messbar.

Abbildung 127

Messungen der Luftströmung bei Ö4 Randfuge mit einem Abstand zwischen Beanspruchung und Bohrloch von $\leq 0,1$ m (Ball)



Foto: AlBau

Abbildung 128

Messungen der Luftströmung bei Ö4 Randfuge mit einem Abstand zwischen Beanspruchung und Bohrloch von $\leq 0,1$ m (Ball)



Foto: AlBau

Abbildung 129

Messungen der Luftströmung bei Ö4 Randfuge mit einem Abstand zwischen Beanspruchung und Bohrloch von 0,5 m (Ball)



Foto: AlBau

Abbildung 130

Messungen der Luftströmung bei Ö4 Randfuge mit einem Abstand zwischen Beanspruchung und Bohrloch von 0,5 m (Ball)



Foto: AlBau

Abbildung 131

Messungen der Luftströmung bei Ö4 Randfuge mit einem Abstand zwischen Beanspruchung und Bohrloch von 0,3 m (Ball), mit Abschirmung



Foto: AlBau

Abbildung 132

Messungen der Luftströmung bei Ö4 Randfuge mit einem Abstand zwischen Beanspruchung und Bohrloch von 0,3 m (Ball), mit Abschirmung



Foto: AlBau

5.5.6 Raumlufmessungen

Etwa 5 Wochen vor der Luftkeimmessung wurden als Schimmelpilze: *Penicillium glabrum* und *Penicillium rugulosum* eingebracht (s. Abbildung 133 und Abbildung 134).

Etwa eine Woche vor der Durchführung der Raumlufmessungen wurde eine Feinreinigung der Untersuchungsräume durchgeführt und anschließend einen Tag lang Raumluftwäscher in allen Untersuchungsräumen in Betrieb genommen, um eine Kontamination durch von außen eingetragene Schimmelsporen, durch Verfrachtung, zu verhindern.

Die Ergebnisse der Luftkeimmessungen zeigen in allen untersuchten Räumen nach der Mobilisierung eine gegenüber der vorlaufenden Kontrollmessung leichte Luftkeimbelastung mit den vorab eingebrachten Schimmelpilzkulturen. Ursache können die offenen Randfugen mit dort vorhandenen Verschmutzungen oder Vorbelastungen durch Schimmel sein. Es ist davon auszugehen, dass durch die wenig steife Mineralwollgedämmung im Fußbodenaufbau die Luftbewegung in den Randbereichen des Fußbodenaufbaus und damit eine Verfrachtung der Pilzsporen durch die Mobilisierung aufgetreten ist (s. Abbildung 135 und Abbildung 136).

Abbildung 133
Schimmelproben in Öffnungsstelle Ö2



Foto: AlBau

Abbildung 134
Schimmelproben in Öffnungsstelle Ö2



Foto: AlBau

Abbildung 135
Durchführung der Raumlufmessung



Foto: AlBau

Abbildung 136
Für die Raumlufmessung verwendete und anschließend wieder entfernte Schimmelproben



Foto: AlBau

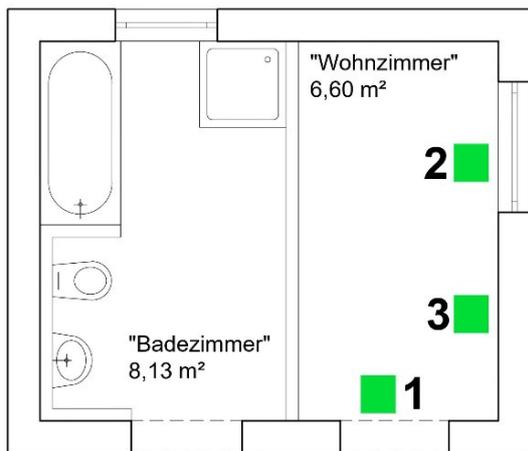
5.6 Räume in einem Versuchsgebäude

5.6.1 Raumnutzung und Raumgröße

In einem insbesondere zu Schulungszwecken von Bodenaufbautrocknungen errichteten Versuchsgebäude sind zwei etwa 7 m² und 8 m² große Räume vorhanden. Zum Zeitpunkt der Untersuchungen ist der Bodenaufbau trocken. Die Räume sind sonst nicht genutzt (s. Abbildung 137 und Abbildung 138).

Abbildung 137

Grundriss des Versuchshauses mit Eintragung der Öffnungsstellen



Quelle: AlBau

Abbildung 138

Blick in den Untersuchungsraum „Wohnzimmer“



Foto: AlBau

5.6.2 Feuchteschäden

Das Versuchshaus dient der Untersuchung unterschiedlicher Schadensszenarien und Instandsetzungsmöglichkeiten. Typisch dafür sind Untersuchungen zur Trocknung von feuchten Estrichdämmschichten. Daher waren die Fußböden im Versuchshaus bereits feucht und sind anschließend getrocknet worden.

5.6.3 Material und Zustand der Wand- und Bodenoberflächen

Die Fußbodenaufbauten sind schwimmende Estriche auf Dämmschichten ohne Bodenbelag. Die Wandoberflächen und die Deckenunterseiten sind verputzt.

Alle Randfugen zwischen Fußbodenaufbau und raumumschließenden Wänden sind mit einem Randstellstreifen abgestellt. Darüberhinausgehende Abdichtungsmaßnahmen (z.B. richtig ausgebildete Dichtstofffugen) wurden nicht ausgeführt. Teilweise fehlt auch der Randstellstreifen, so dass die Randfugen vollständig offen sind.

Die Räume wurden vor Durchführung der Untersuchungen feingereinigt.

5.6.4 Lage der Öffnungsstellen und Bodenaufbau

Im „Wohnzimmer“ des Versuchsgebäudes wurden drei Öffnungsstellen mit einem Durchmesser von 5 cm angelegt: Öffnungsstelle Ö₁ befindet sich im Bereich des Türdurchgangs, Öffnungsstelle Ö₂ vor dem Fenster des Gebäudes, Öffnungsstelle Ö₃ vor der Außenwand.

Die Gesamtdicke des Fußbodenaufbaus beträgt 8,5 cm – 9 cm. Unter dem 4,5 cm – 5 cm dicken Calciumsulfatestrich, der auf einer Trennlage eingebaut wurde, sind 4 cm dicken Polystyrolämmplatten auf der Stahlbetonbodenplatte verlegt (s. Abbildung 139 bis Abbildung 142).

Abbildung 139
Übersicht zu Öffnungsstelle Ö₁ am Türdurchgang

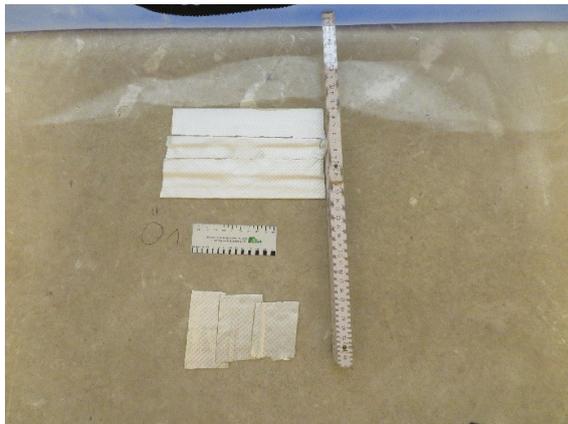


Foto: AlBau

Abbildung 140
Der Gesamfußbodenaufbau beträgt etwa 8,5 cm.



Foto: AlBau

Abbildung 141
Übersicht zu Öffnungsstelle Ö₂



Foto: AlBau

Abbildung 142
Übersicht zu Öffnungsstelle Ö₃

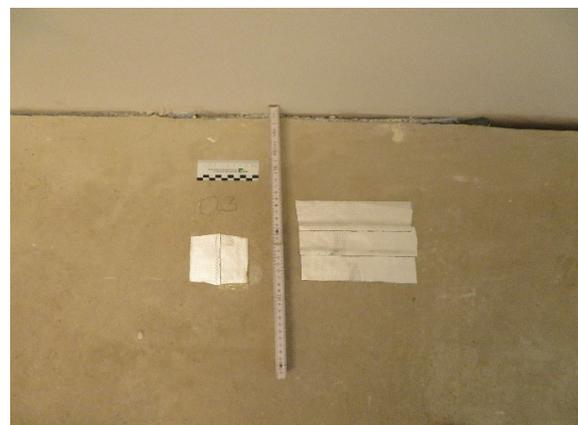


Foto: AlBau

5.6.5 Messungen der Luftströmungsgeschwindigkeiten

Bei Öffnungsstelle Ö₁ konnten weder beim Werfen des Medizinballs noch bei den Spring-Versuchen Luftbewegungen in der Wärmedämmung des Fußbodenaufbaus festgestellt werden. Bei Öffnungsstelle Ö₂ war bei einem Abstand von 0,1 m eine Luftströmungsgeschwindigkeit von 0,04 m/s, bei Öffnungsstelle Ö₃ bei demselben Abstand eine Geschwindigkeit von 0,05 m/s messbar. Eine Luftströmungsgeschwindigkeit in derselben Größenordnung war bei den Spring-Versuchen zu verzeichnen (s. Abbildung 143 bis Abbildung 146).

Zusätzlich wurden unterschiedliche Messungen im Bereich der Randfugen des Wohnzimmers durchgeführt: Die erste Messung erfolgte jeweils mit einem Randstellstreifen aus Polyethylen zwischen der Wandoberfläche und dem Fußbodenaufbau, die zweite Messung mit einem zusätzlichen oberseitigen Verschluss aus Dichtstoff. Im Bereich der Randfuge zwischen Estrich und Wandoberfläche unterhalb des Fensters konnten bei einem Abstand der Beanspruchung zum Messpunkt von 0,1 m Luftströmungsgeschwindigkeiten bis 0,09 m/s verzeichnet werden. Bei einer Beanspruchung durch Springen waren bei demselben Abstand 0,19 m/s messbar. Bei einem größeren Abstand von 0,5 m zwischen Beanspruchung und Messpunkt verringerte sich die Geschwindigkeit auf 0,02 m/s bzw. 0,15 m/s, bei einer Distanz von 1,0 m auf 0,01 m/s bzw. 0,06 m/s (s. Abbildung 147 und Abbildung 148).

In der Raumecke wurden ebenfalls Geschwindigkeitsmessungen durchgeführt. An dieser Stelle waren geometrisch bedingt Abstände zwischen Beanspruchung und Messpunkt von 0,5 m und 1,0 m möglich. Bei einem Abstand von 0,5 m waren Luftströmungsgeschwindigkeiten bis zu 0,12 m/s bzw. beim Sprung 0,15 m/s messbar. Bei einem vergrößerten Abstand von 1,0 m betrug die festzustellenden Luftbewegungen 0,01 m/s bzw. beim Sprung 0,05 m/s (s. Abbildung 149 und Abbildung 150).

Abbildung 143
Messung der Luftströmung bei Öffnungsstelle Ö₁ mit einem Abstand von
0,1 m vom Bohrloch (Sprung)



Foto: AlBau

Abbildung 144
Messung der Luftströmung bei Öffnungsstelle Ö₂ mit einem Abstand von
0,1 m vom Bohrloch (Ball)



Foto: AlBau

Abbildung 145
Messung der Luftströmung bei Öffnungsstelle Ö₃ mit einem Abstand von
0,1 m vom Bohrloch (Ball)



Foto: AlBau

Abbildung 146
Messung der Luftströmung bei Öffnungsstelle Ö₃ mit einem Abstand von
0,1 m vom Bohrloch (Sprung)



Foto: AlBau

Abbildung 148
Messung der Luftströmung unterhalb des Fensters mit einem Abstand von
0,1 m vom Rand (Ball)



Foto: AlBau

Abbildung 147
Messung der Luftströmung unterhalb des Fensters mit einem Abstand von
0,1 m vom Rand (Sprung)



Foto: AlBau

Abbildung 149

Messung der Luftströmung in der Raumecke mit einem Abstand von 0,5 m vom Rand (Ball)



Foto: AlBau

Abbildung 150

Messung der Luftströmung im Bereich der Ecke mit einem Abstand von 0,5 m vom Rand (Sprung)



Foto: AlBau

5.6.6 Raumlufmessungen

Etwa eine Woche vor der Luftkeimmessung wurden als Schimmelpilze *Penicillium glabrum* und *Penicillium rugulosum* eingebracht. Vor der Durchführung der Raumlufmessungen wurde im zu untersuchenden „Wohnzimmer“ ein Raumlufwäscher in Betrieb genommen, um eine Kontamination durch von außen eingetragene Schimmelsporen zu verhindern (Abbildung 151 bis Abbildung 154).

Die Ergebnisse der Luftkeimmessungen zeigen in dem untersuchten Raum nach der Mobilisierung eine gegenüber der vorlaufenden Kontrollmessung leichte Luftkeimbelastung mit den vorab eingebrachten Schimmelpilzkulturen. Ursache hierfür sind die teilweise völlig offenen Randfugen in Kombination mit den in den Randbereichen des Estrichs festgestellten Luftbewegungen unter Druckbeanspruchung.

Abbildung 151

Versuchsaufbau zur Raumlufmessung



Foto: AlBau

Abbildung 152

Referenzmessung der Außenluft



Foto: AlBau

Abbildung 153
Probe der verwendeten Schimmelart

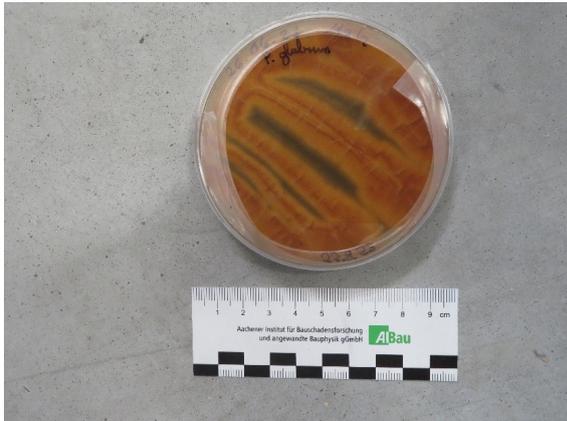


Foto: AlBau

Abbildung 154
Probe der verwendeten Schimmelart

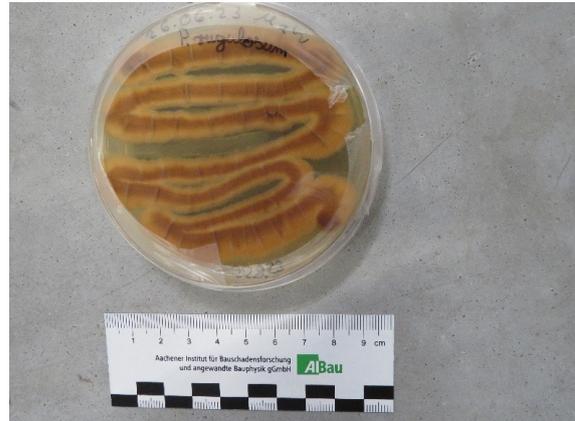


Foto: AlBau

6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

6.1 Umfrageergebnisse

Die im Rahmen dieses Forschungsprojekts befragten Sachverständigen waren nach jeweiligen Wasserschäden in etwa 500 Fällen mit der Untersuchung von Fußbodenkonstruktionen betraut, bei denen ein mikrobiell-hygiener Befall befürchtet wurde. Durch Keimzahlmessungen, Mikroskopie oder biochemisch nachgewiesen wurde ein Befall in 350 der Fälle. In nur 220 Fällen wurden Luftkeimmessungen durchgeführt.

Für mögliche weiterführende Untersuchungen dieses Forschungsvorhabens gingen aus der Umfrage 64 Schadenfälle hervor. Allerdings stellte sich heraus, dass diese aus unterschiedlichen Gründen, z.B. wegen Verweigerung der Zustimmung seitens des Eigentümers, begonnener oder bereits erfolgter Estrichrückbau oder bereits abgeschlossene Instandsetzung, nicht mehr zur Verfügung standen.

6.2 Vor-Ort-Untersuchungen

6.2.1 Luftströmungsgeschwindigkeiten in Fußbodenaufbauten

An zusätzlich recherchierten Gebäuden wurden mehrstufige Untersuchungen durchgeführt:

Zunächst wurde untersucht, ob und in welchem Umfang sich Luftströmungen im Fußbodenaufbau durch unterschiedlich starke Anregungen an der Oberseite des Bodenaufbaus messen lassen.

In den meisten Fällen waren keine Luftströmungen in den geprüften Fußbodenaufbauten unabhängig von der Distanz zwischen Anregungsstelle und Messpunkt (Bohrung) sowie der Intensität der Beanspruchung (Ballwurf oder Sprung) gemessen worden. Sehr geringe und jeweils nur ca. ein bis zwei Sekunden anhaltende Luftströmungsgeschwindigkeiten mit sehr geringem Massetransport verbundene Luftbewegungen waren bei einem Abstand von 0,1 m gemessen worden. Die Luftströmungsgeschwindigkeiten entsprechen nach Beaufortskala Windstärke 0.

An Randfugen waren Geschwindigkeiten zwar höher als im Fußbodenaufbau. Aber auch diese sind noch der Windstärke 0 zuzuordnen (s. folgende Tabelle 1).

Tabelle 1
 Zusammenstellung der gemessenen Luftströmungsgeschwindigkeiten in Fußbodenaufbauten

Objekt	Messort:		Abstand	gemessene Luftströmung durch:	
	Bohrung	Randfuge		Ballwurf	Springen
Klassenräume Schule	Ö5		1,0 m und 0,5 m	keine Luftströmungen	keine Luftströmungen
	Ö5		0,1 m	0,03 m/s	0,03 m/s
	Ö6		1,0 m und 0,5 m	keine Luftströmungen	keine Luftströmungen
	Ö6		0,1 m	0,02 m/s	0,05 m/s

Objekt	Messort:		Abstand	gemessene Luftströmung durch:	
	Bohrung	Randfuge		Ballwurf	Springen
Umkleide Mehrzweckhalle	Ö ₃ und Ö ₄		1,0 m und 0,5 m und 0,1 m	keine Luftströmungen	keine Luftströmungen
Büro Verwaltung	Ö ₁		1,0 m und 0,5 m	keine Luftströmungen	keine Luftströmungen
	Ö ₁		0,1 m	0,01 m/s	0,01 m/s
	Ö ₂		1,0 m	keine Luftströmungen	keine Luftströmungen
	Ö ₂		0,5 m	0,01 m/s	0,01 m/s
	Ö ₂		0,1 m	0,02 m/s	0,02 m/s
	Ö ₃		1,0 m	keine Luftströmungen	keine Luftströmungen
	Ö ₃		0,5 m und 0,1 m	0,01 m/s	0,01 m/s
	Ö ₄		1,0 m	0,01 m/s	0,01 m/s
	Ö ₄		0,5 m und 0,1 m	0,02 m/s	0,02 m/s
	Wohn-/Schlafräume Zweifamilienhaus	Ö ₁		1,0 m	keine Luftströmungen
Ö ₁			0,5 m und 0,1 m	0,01 m/s	0,01 m/s
Ö ₂ , Ö ₃ , Ö ₄			1,0 m und 0,5 m und 0,1 m	keine Luftströmungen	keine Luftströmungen
Wohnräume Mehrfamilienhaus	Ö ₁ , Ö ₂ , Ö ₄		1,0 m und 0,5 m	keine Luftströmungen	keine Luftströmungen
	Ö ₁ , Ö ₂		0,1 m	keine Luftströmungen	0,02 m/s
	Ö ₄		0,1 m	0,01 m/s	0,09 m/s
		Ö ₄	0,5 m	bis 0,05 m/s	
		Ö ₄ (ohne Unterströmung)	0,3 m	bis 0,03 m/s	
		Ö ₄	0,1 m	bis 0,25 m/s	
	Ö ₃ , Ö ₅ , Ö ₆ , Ö ₇ , Ö ₈		1,0 m und 0,5 m und 0,1 m	keine Luftströmungen	keine Luftströmungen

Objekt	Messort:		Abstand	gemessene Luftströmung durch:	
	Bohrung	Randfuge		Ballwurf	Springen
Versuchsgebäude	Ö ₁		1,0 m und 0,5 m und 0,1 m	keine Luftströmungen	keine Luftströmungen
	Ö ₂ , Ö ₃		1,0 m und 0,5 m	keine Luftströmungen	keine Luftströmungen
	Ö ₂		0,1 m	0,04 m/s	0,04 m/s
	Ö ₃		0,1 m	0,05 m/s	0,05 m/s
		unter Fenster	0,5 m	bis 0,02 m/s	bis 0,15 m/s
		unter Fenster	0,1 m	bis 0,09 m/s	bis 0,19 m/s
		in Raumecke	1,0 m	bis 0,01 m/s	bis 0,05 m/s
		in Raumecke	0,5 m	bis 0,12 m/s	bis 0,15 m/s

Quelle: AlBau

6.2.2 Raumluftmessungen nach Belastungsversuchen

Zum Nachweis einer möglicherweise auf einem Pumpeffekt basierenden Übertragung von Schimmelsporen an die Innenraumluft wurde der ursprüngliche Forschungsansatz modifiziert: Zunächst wurde untersucht, ob in Fußbodenaufbauten nach Wasserschäden ein nennenswerter Schimmelbefall vorliegt. Um Beeinflussungen von Vorbelastungen auszuschließen, wurden aber bei den folgenden Untersuchungen zwei Schimmelpilzarten in Bauteilschichten als „Tracer“ eingebracht, die, wenn es zu über eine Übertragung kommt, detektiert werden können. Damit war sichergestellt, dass eine ggf. festgestellte Belastung tatsächlich aus dem Bodenaufbau durch einen Pumpeffekt übertragen wird und nicht aus sonstigen Quellen kommt.

Die Freisetzung von Schimmelpilzsporen aus Estrichdämmschichten durch Mobilisierung hängt offenbar von mehreren Faktoren ab, u.a. vom Estrichaufbau, dessen Dicke, der Art des Dämmstoffs und dessen Druckstabilität, der Steifheit und Reinigungsfähigkeit der Bodenbeläge. Das verdeutlicht die geringe Vergleichbarkeit der bislang zur Verfügung stehenden Objekte.

Die mikrobiologischen Untersuchungen werden durch vorherige Verschmutzungen und durch die Messorte erheblich beeinflusst. Insbesondere kommt es auf die Reinigung von Bauteiloberflächen und der Raumluft an. Darüber hinaus waren die Menge der lokal eingebrachten Pilzsporen und die Intensität der jeweiligen Mobilisierungen sehr unterschiedlich, wobei sie für die Untersuchungen übertrieben verstärkt und nicht üblicher Nutzung entsprechend durchgeführt wurden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass bei druckstabilen Fußbodenaufbauten kein Pumpeffekt eintritt. Die im Fußbodenaufbau gemessenen Luftströmungsgeschwindigkeiten entsprechen der Windstärke 0 nach Beaufort. An Randfugen sind zwar Geschwindigkeiten größer als in der Fläche, aber auch diese sind als windstill bewertbar. Bleiben allerdings, wie bei der überwiegenden Anzahl der Untersuchungsobjekte, Randfugen offen, können bei weichen Dämmschichten unter dünneren und damit wenig biegesteifen Estrichen an den Fugen vorhandene Pilzsporen begrenzt freigesetzt werden.

7 Ergebnis

Mit diesem Forschungsprojekt wurden nur Estriche untersucht, die bestimmungsgemäß trocken sind. Unter hygienischen Aspekten unterscheiden sich diese aber nicht von solchen Fußbodenaufbauten, die bestimmungsgemäß feucht sind, an denen daher keine Trocknungen durchgeführt werden und von denen keine Risiken auf die Innenraumhygiene ausgehen.

In Innenräumen mit Wassereinwirkung werden sehr häufig Abdichtungen im Verbund mit Fliesenbelägen auf Estrichen eingesetzt. Diese Fußbodenflächen werden oft mit reinigungsmittelhaltigem Wasser beansprucht. Da die Fugen zwischen den Fliesen nicht wasserdicht sind, gelangt dieses Wasser durch die Ebene der Fliesen in die Mörtel Ebene unter den Fliesen über der Abdichtung. Da Abdichtungen dieser Art flexibel sein müssen, können keine rein mineralischen Verlegemörtel verarbeitet werden, sondern müssen kunststoffvergütete verwendet werden. Diese aber sind mit nennenswerten Anteilen organischer Bestandteile versetzt, die einen vergleichsweise guten Nährboden für Mikroben bilden. Aber selbst aus diesen Bereichen, die sehr nahe zu Innenräumen liegen und von diesen nur durch die etwa 1 cm dicken Fliesen mit dazwischenliegenden Fugenmörteln getrennt sind, wurden bislang keine mikrobiellen Belastungen der Innenraumhygiene festgestellt.

Mit der vorliegenden Forschungsarbeit waren leider keine umfangreichen Erkenntnisse zur üblichen Grundbelastung mit Schimmelpilzsporen in Fußbodenaufbauten zu gewinnen. Das ist Gegenstand eines weiteren, parallel zu diesem Projekt von der Initiative Zukunft Bau geförderten Forschungsprojekts: Der Bericht zur „Erfassung der Hintergrundkonzentrationen von Schimmelbefall in nicht geschädigten Bodenaufbauten vor Modernisierung oder Abriss von Gebäuden oder Gebäudeteilen“ wird im Jahr 2024 veröffentlicht.

Mit dem hier vorliegendem Forschungsprojekt wurde erkannt, dass die Vorbereitung von Untersuchungsräumen und die Durchführung der Messungen vergleichsweise komplex sind. So wurde die Vorgehensweise während der Untersuchungen modifiziert. Das größte Problem sind Vorbelastungen in Räumen, weswegen die Fußbodenaufbauten mit in Gebäuden sehr selten vorkommenden Schimmelpilzspezies infiziert wurden. Aber selbst beim Einbringen dieser Kulturen konnte eine Verschleppung von Schimmelsporen an Bauteiloberflächen nicht in allen Fällen ganz ausgeschlossen werden.

In Fällen, in denen die Untersuchungsbedingungen hinreichend gut waren, konnte nachgewiesen werden, dass es keine Übertragung aus Schichten unter Estrichen, also von in Dämmschichten befindlichen mikrobiellen Belastungen auf konvektivem Weg, durch den sogenannten Pumpeffekt, in Innenräume gibt.

Lediglich von belasteten Randbereichen, die bei Wasserschäden insbesondere bei Gipsputzen, Raufasertapeten, Dispersionsfarbbeschichtungen, noch mehr bei Leichtbauwänden mit kartonkaschierten Gipsplatten sehr häufig vorkommen, kann es zu Übertragung von mikrobiellem Bewuchs der Ränder in die Innenraumluft kommen.

Die bei Erhalt von feuchtegeschädigten Estrichen üblicherweise durchgeführte desinfizierende Estrichrandreinigung kann die Freisetzung von Pilzsporen in relevanter Weise vermeiden. Wenn die Estrichrandfugen mit konvektiv dichten Maßnahmen verschlossen, z.B. mit Fugenbändern oder dauerhaften Dichtstoffen überbrückt bzw. gefüllt, werden, lassen sich hygienische Folgebelastungen für die Raumluft dauerhaft ausschließen.

Durch diese Maßnahmen können unter technischen, medizinischen sowie innenraumhygienischen Gesichtspunkte Estriche nach Wasserschäden und Trocknung von Fußbodenaufbauten belassen werden, ohne dass sich daraus negative Folgen für die Innenraumhygiene ergeben.

8 Anhang

8.1 Erhebungsbogen

Dipl.-Ing. Martin Oswald, M.Eng.
Prof. Dipl.-Ing. Matthias Zöller

Aachener Institut für
Bauschadensforschung und
angewandte Bauphysik gGmbH 

ALBau gGmbH – Theresienstraße 19 – 52072 Aachen

Aachen, im März 2021

Umfrage zum Forschungsprojekt: „Schimmelpilzinzustandsetzung von Fußbodenkonstruktionen – Untersuchung der üblichen mikrobiellen Beschaffenheit und des Pumpeffekts bei Estrichen“

Sehr geehrte Kollegin, sehr geehrter Kollege,

mit Unterstützung des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung und der Forschungsinitiative Zukunft Bau bearbeiten wir in Kooperation mit dem LBW-Bioconsult das o. a. Forschungsprojekt.

Im Mai 2019 haben wir bereits einen Forschungsbericht zur Schimmelpilzinzustandsetzung durch Abschottung veröffentlicht. Diesen können Sie kostenfrei auf unserer Webseite www.aibau.de (<http://www.aibau.de/aibau/forschung/veroeffentlichungen.php>) herunterladen.

Im aktuellen Projekt beschäftigen wir uns mit dem notwendigen Untersuchungs- sowie Instandsetzungsumfang bei der Beseitigung von Wasserschäden in und unter Estrichen im Neubau und Bestand. Es soll untersucht werden, ob mikrobielle Belastungen unter schwimmenden Estrichen oder anderen Fußbodenkonstruktionen üblich und wie hoch diese sind. Weiterhin soll untersucht werden, ob Mikroben aus dem Bereich unterhalb des Fußbodenbelags durch beispielsweise einen Pumpeffekt über Randfugen in die Raumluft gelangen können und, falls ja, wie hoch deren Konzentration dann in der Luft ist.

Wir bitten Sie freundlich, uns bei der Forschung zu unterstützen und uns Ihre Erfahrungen zu von Ihnen untersuchten Fußbodenkonstruktionen mitzuteilen. Wir wären Ihnen sehr dankbar, wenn Sie den beiliegenden Fragebogen ausfüllen (Antwortbogen Seite 1). Gerne können Sie zusätzliche Angaben machen (Antwortbogen Seite 2 und 3).

Selbstverständlich werden Ihre Angaben vertraulich behandelt. Vorsorglich bitten wir aber darum, dass uns zugesandte Fotos im Bericht anonymisiert verwendet werden dürfen, Sie uns also das Recht einräumen, Ihre Fotos im Bericht abbilden zu dürfen. Es werden dabei weder Namen noch Standorte der Objekte im Bericht genannt. Wenn Sie dem nicht zustimmen, teilen Sie uns dies bitte mit.

Bei Rückfragen können Sie sich gerne an meine Mitarbeiterinnen Frau Dipl.-Ing. Liebert oder Frau Dipl.-Ing. Sous entweder telefonisch unter 0241 / 9 10 50 70 oder per E-Mail an g.liebert@aibau.de bzw. silke.sous@aibau.de wenden. Für Ihre Bemühungen bedanken wir uns im Voraus. Alle Teilnehmer der Umfrage werden von uns nach Fertigstellung des Berichts über die Ergebnisse informiert.

Mit freundlichem Gruß

(Prof. Matthias Zöller)

Anlagen

Übliche Beschaffenheit unter Estrichen und Pumpeffekt von Fußbodenkonstruktionen



Rückantwort

AlBau

Aachener Institut für Bauschadensforschung
und angewandte Bauphysik gGmbH
Theresienstraße 19
52072 AACHEN

per Fax: 0241 / 91 05 07 20
per Mail: g.liebert@aibau.de / silke.sous@aibau.de /
prof.zoeller@aibau.de

Absender:

Ansprechpartner für evtl. Rückfragen:

Zutreffendes bitte ankreuzen bzw. ausfüllen!

I. Ich habe Fußbodenkonstruktionen auf mikrobiell-hygienische Belastungen untersucht.

Ja

Nein

Falls ja, Anzahl:

II. Gab es nachweislich mikrobiellen Bewuchs in der Fußbodenkonstruktion?

Ja

Nein

Falls ja, Anzahl:

III. Wie wurde der Befall bestimmt und quantifiziert?

Keimzahlbestimmung

Mikroskopie

Biochemischer Nachweis

IV. Wurden Luftkeimmessungen im Innenraum vorgenommen?

Ja (s. Tabelle)

Nein

Falls ja, Anzahl:

V. Können Sie die untersuchten Fußbodenkonstruktionen und/oder den Anlass der Untersuchung detaillierter beschreiben?

Ja (s. Tabelle und Antwortseiten 2 - 3)

Nein

	Adresse/Kurzbezeichnung des Gebäudes	Raumnutzung, Baujahr der Fußbodenkonstruktion	Gibt es Pläne/Fotos?
Fall 1			
Fall 2			
Fall 3			

VI. Können die Räumlichkeiten besichtigt und untersucht werden?

Ja (s. Tabelle)

Nein

Für Rückfragen stehe ich zur Verfügung.

Ja

Nein

Übliche Beschaffenheit unter Estrichen und Pumpeffekt von Fußbodenkonstruktionen



Detailangaben zu Frage V

(Zutreffendes bitte ankreuzen!)

V.1. Angaben zur Konstruktion

Untergrund

- Stahlbetondecke
- Holzbalkendecke mit Lehm- oder Sandfüllung
- Andere Holzdecken
- Sonstiges:.....

Fall 1	Fall 2	Fall 3

Wärmedämmung

- Zusammendrückbare Trittschalldämmung aus Hartschaum
- Mineralwolle als Trittschalldämmung
- Nicht zusammendrückbare Wärmedämmung aus Hartschaum (z. B. EPS, XPS, PU, PIR)
- Holzfaserbasierte Dämmstoffe (z. B. Holzfaserplatten)
- Schüttungen aus nichtorganischen Bestandteilen (z. B. Perlite, zementgebundene EPS-Recycling-Granulat-Schüttungen)
- Schüttungen aus organischen Bestandteilen (z. B. Zellulose, bituminierte Hanffasern (Mehabit))
- Sonstiges:.....

Technische Installationen in der Dämmschicht

- Fußbodenkanäle
- Einzelleerrohre
- Lüftungsleitungen
- Sonstiges:.....

Estrich

- Mineralische Estriche (z. B. Zement- oder Anhydritestrich)
- Gussasphalt auf papierbasierter Trennlage
- Holzwerkstoffe (z. B. Holzspan- oder OSB-Platten)
- Sonstiges:.....

Belag

- Fliesenbelag
- Parkett
- Laminat
- Elastische Bodenbeläge (z. B. PVC, Linoleum)
- Teppichbodenbelag
- Holzdielen (genagelt, mit/ohne Nut-/Federsystemen)
- Sonstiges:.....

Materialien am Wandsockel

- Gipsputz
- Kartonbeschichtete Gipsplatten
- Kalk-Gipsputz
- Kalk-Zementputz
- Raufasertapete
- Dispersionsfarbe
- Silikatische oder andere mineralische Beschichtung
- Sonstiges:.....

Übliche Beschaffenheit unter Estrichen und Pumpeffekt von Fußbodenkonstruktionen



Detailangaben zu Frage V

(Zutreffendes bitte ankreuzen!)

V.2. Welche Fehler und / oder Schäden lagen vor?

Feuchteschäden im Bodenaufbau

- Feuchteintritte durch angrenzende Bauteile
- Leckagen an Leitungen
- Sonstiges:.....

Fall 1 Fall 2 Fall 3

Mikrobielle Belastungen

- ...der Innenraumluft
- ...an Oberflächen angrenzender Bauteile
- ...im Bodenaufbau, unter dem Estrich, in der Deckenkonstruktion (z. B. in Füllungen zwischen Holzbalken; wurden Keimzahlen festgestellt oder mikroskopisch untersucht? Gerne Details auf Beiblatt)
- ...an Einrichtungsgegenständen
- Sonstiges:.....

Ungewöhnliche Geruchsbildung

- ...im betroffenen Raum
- ...in Teilbereichen des betroffenen Raums
- Sonstiges:.....

Materialschäden

- ...am Bodenbelag
- ...an Bauteilen des Fußbodenaufbaus
- ...an Holzbauteilen der Decke
- ...an Dämmschichten
- ...an Randfugen
- Sonstiges:.....

V.3. Raumnutzung

- Wohn- oder Schlafräum sowie Räume vergleichbarer Nutzung, z. B. Büro (Nutzungs-kategorie II des UBA-Leitfadens)
- Private Wohnungsküche
- Badezimmer (W0-I, W1-I nach DIN 18534)
- Abstellraum (Nutzungs-kategorie III des UBA-Leitfadens)
- Temporär ungenutzte Räume
- Werkräume ohne Nutzung
- Gewerblich genutzte Räume und vergleichbare Räume mit bestimmungsgemäßer Ausbreitung von Wasser (W2-I, W3-I nach DIN 18534)
- Reinräume (Nutzungs-kategorie I des UBA-Leitfadens)
- Sonstiges:.....

8.2 Untersuchungsschema

Schimmelpilzinzustandsetzungen von Fußbodenkonstruktionen –
Untersuchung der üblichen mikrobiellen Beschaffenheit unter Estrichen und des Pumpeffekts bei
Estrichen auf Dämmschichten



Ablaufschema für Vor-Ort-Untersuchungen

Bitte alle Situationen und Arbeitsschritte dokumentieren, wünschenswert sind auch Fotos, aus denen sich die Vorgehensweise der Untersuchung nachvollziehen lässt.

Fall 1:

Schimmelbefall unter Estrich nachgewiesen und
Trocknung der (Dämm-)Schicht unterhalb des
Estrichs ist abgeschlossen

Die Fußbodenoberfläche im Prüfraum sollte zur
Vermeidung von Fehlmessungen ganz und in
sehr großen Räumen in der Umgebung der
Messstelle „sauber“ sein, d.h. der Boden sollte
mit einem Hepa-Staubsauger gereinigt und
feucht gewischt sein.

Fall 2:

Ob es einen Schimmelbefall unter dem Estrich
gibt, ist ungewiss und
Trocknung der (Dämm-)Schicht unterhalb des
Estrichs ist abgeschlossen

Die Fußbodenoberfläche im Prüfraum sollte zur
Vermeidung von Fehlmessungen ganz und in
sehr großen Räumen in der Umgebung der
Messstelle „sauber“ sein, d.h. der Boden sollte
mit einem Hepa-Staubsauger gereinigt und
feucht gewischt sein.

<p>1. Vorbereitende Arbeiten</p> <ul style="list-style-type: none">- Raumluft-Referenzmessung vor Beginn der Bohrarbeiten durchführen	<p>1. Vorbereitende Arbeiten</p> <ul style="list-style-type: none">- Raumluft-Referenzmessung vor Beginn der Öffnungsarbeiten durchführen- Aus dem Estrich einen Bohrkern \varnothing 80 mm bis zur Dämmebene entnehmen- Vorhandene Dämmung entnehmen und gegen gleichartigen Dämmstoff ersetzen, Dämmstoffprobe im Labor auf mikrobiellen Befall untersuchen- Estrich-Bohrkern wieder in die Öffnungsstelle luftdicht einbauen: Den Bohrkern mit einem wirksamen Abdichtband, z.B. Terostat-Band, umwickeln oder mit z.B. MS-Polymerdicht- und Klebmassen, einsetzen und die Öffnungsstelle oberseitig mit gut anhaftendem Klebeband luftdicht abschließen
<p>2. Untersuchungsstellen: Anzahl + Lage festlegen</p> <p>mind. eine Untersuchungsstelle ca. 20 cm vom Estrichrand entfernt sowie eine weitere in 2 m Entfernung vom Rand, ggf. eine weitere Messstelle im Laufweg der Türöffnung, um Pumpeffekt im Gebrauchszustand zu prüfen</p>	
<p>3. Vorbereitung der Untersuchungsstellen zur Raumluftmessung</p> <ul style="list-style-type: none">- Randfuge freilegen, d.h. Fußleiste im Randbereich in der Nähe der Untersuchungsstelle entfernen, vorh. Randstellstreifen belassen, falls vorhanden, sonst offenlassen (ggf. Randstreifen zu einer zweiten Messung entfernen)	<p>2. Schimmelbefall in Dämmplatte im Labor nachgewiesen:</p> <ul style="list-style-type: none">- Mit den unter „Fall 1“ beschriebenen Messungen, ab Schritt 2. fortfahren

Schimmelpilzinzustellungen von Fußbodenkonstruktionen –
Untersuchung der üblichen mikrobiellen Beschaffenheit unter Estrichen und des Pumpeffekts bei
Estrichen auf Dämmschichten



<p>4. Durchführung der Raumlufmessungen</p> <ul style="list-style-type: none">- Raumlufmessung im Bereich der unter 2. beschriebenen Stellen durchführen <p>(Sind Öffnungen von z.B. Messungen aus Arbeitsschritt 6. im Fußboden vorhanden, bitte diese luftdicht verschließen, z.B. mit Bohrkern in MS-Polymerdicht- und Klebemassen; Öffnungsstelle oberseitig mit gut anhaftendem Klebeband luftdicht abkleben)</p> <p>Während des Messvorgangs einen 10 kg schweren Medizinball ca. 10-15 Mal/Minute an den unter 2. beschriebenen Stellen aus einer Höhe von etwa 1 m auf den Boden werfen</p>	<p>3. <u>Kein</u> Schimmelbefall im Labor nachgewiesen:</p> <ul style="list-style-type: none">- Bohrkern an Untersuchungsstelle erneut entnehmen- Dämmschicht unterhalb des Estrichs mit einer Kultur „infizieren“- Estrich-Bohrkern wieder in die Öffnungsstelle luftdicht einbauen (s. o.) <p>- Danach mit den unter „Fall 1“, ab Schritt 2. beschriebenen Untersuchungen fortfahren</p>
<p>5. Vorbereitung der Untersuchungsstellen zu Luftströmungen durch Pumpeffekt</p> <ul style="list-style-type: none">- Mit einem Bohrer Ø 12 mm ein Loch in den Estrich bis zur Dämmschicht bohren <p>Messfühler eines Anemometers bis in die Dämmschichtebene einführen, den oberen Rand der Bohrung um den Messfühler luftdicht verschließen (als sehr gut praktikabel hat sich hierfür Terostat-Band erwiesen)</p>	<p>4. Laboruntersuchung nicht durchführbar:</p> <ul style="list-style-type: none">- Bohrkern an Untersuchungsstelle entnehmen.- Dämmschicht unterhalb des Estrichs mit einer Kultur „infizieren“. <p>Estrich-Bohrkern wieder in die Öffnungsstelle luftdicht einbauen (s.o.) Danach mit den unter „Fall 1“, ab Schritt 2. beschriebenen Untersuchungen fortfahren</p>
<p>6. Messungen Luftströmungen durch Pumpeffekt</p> <ul style="list-style-type: none">- Einen ca. 10 kg schweren Medizinball aus einer Höhe von etwa 1 m auf den Boden werfen in Abständen von etwa 1 m, 0,5 m <u>und</u> 0,1-0,2 m zum Bohrloch- Dabei bitte alle am Anemometer angezeigten Strömungsgeschwindigkeiten dokumentieren	

Materialliste für die Durchführung der Messungen/Untersuchungen vor Ort:

- Bohrmaschine mit ausreichend langem Stein-Bohrer Ø 12 mm
- Anemometer
- Medizinball (ca. 10 kg schwer)
- Terostat-Band
- einseitig gut klebendes Band, z.B. stärkeres Paketklebeband
- Gliedermaßstab

LBW-Bioconsult - Schwarzer Weg 27 - 26215 Wiefelstede

Auftragsnummer:	AlBau-Projekt Pumpeffekt 001
Objekt:	Klassenräume in einer Schule
Messdatum	10.09.2021
Messpunkt	Bereich Tür

Raumklimatische Daten Temp [° C] rel. Luftfeuchte [%] Taupunkt [° C]

Luftkeimsammlung

Probenvolumen: 100 Liter

Gattung / Art	Medium		
	DG 18 KBE / m ³	MEA KBE / m ³	PC KBE / m ³
<i>Alternaria spp.</i>	30	40	
<i>Aspergillus spp</i>	60	50	
<i>Aspergillus glaucus</i>	20		
<i>Aspergillus versicolor</i>	450	160	
<i>Cladosporium spp.</i>	790	770	
<i>Penicillium chrysogenum</i>	110	170	
<i>Penicillium spp.</i>	250	180	
<i>Syncephalastrum racemosum</i>		40	
<i>Epicoccum purpurascens</i>		10	
Summe	1710	1420	340

Auftragsnummer:	AlBau-Projekt Pumpeffekt 001
Objekt:	Klassenräume in einer Schule
Messdatum	10.09.2021
Messpunkt	Bereich Fenster

Raumklimatische Daten Temp [° C] rel. Luftfeuchte [%] Taupunkt [° C]

Luftkeimsammlung

Probenvolumen: 100 Liter

Gattung / Art	Medium		
	DG 18 KBE / m ³	MEA KBE / m ³	PC KBE / m ³
<i>Alternaria spp</i>	10		
<i>Aspergillus spp</i>	50	50	
<i>Aspergillus glaucus</i>	40		
<i>Aspergillus versicolor</i>	270	130	
<i>Cladosporium spp.</i>	750	820	
<i>Penicillium chrysogenum</i>	1090	620	
<i>Penicillium spp.</i>	530	180	
<i>Syncephalastrum racemosum</i>		30	
Summe	2740	1830	750

LBW-Bioconsult - Schwarzer Weg 27 - 26215 Wiefelstede

Ergebnis der halbquantitativen Partikeluntersuchung der Raumluft

Auftragsnummer: AlBau-Projekt Pumpeffekt 001
Objekt: Klassenräume einer Schule
Messdatum: 10.09.2021
Analyse durch: C. Rudolph am: 20.09.2021

Volumenstrom: 30 Liter/min
Probenvolumen: 200 Liter
Probenahmemedium: beschichtete Standard-Objektträger

Ergebnis

Messpunkt:	Anzahl			
	Bereich Tür	Bereich Fenster		Kontrolle vor Mobilisierung
Parameter:	pro 1000 l	pro 1000 l	pro 1000 l	pro 1000 l
Sporen: Typ Alternaria/Ulocladium	40	15		45
Sporen: Typ Aspergillus glaucus				
Sporen: Typ Aspergillus/Penicillium	1065	2455		1015
Sporen: Typ Chaetomium		10		
Sporen: Typ Cladosporium	855	925		1695
Sporen: Typ Fusarium	10			5
Sporen: Typ Geotrichum				
Sporen: Stachybotris chartarum				
andere Pilzsporen	70	45		85
Mycelbruchstücke	125	110		95
Fasern	95	100		85
Hautschuppen				
Pollen	20	30		25
Tierhaare				
Sonstiges				

Bemerkung:

Auf allen Proben sehr viel Staub !!!

8.3.2 Objekt: Umkleide einer Mehrzweckhalle

LBW-Bioconsult - Schwarzer Weg 27 - 26215 Wiefelstede

Auftragsnummer:	AIBau-Projekt Pumpeffekt 003
Objekt:	Umkleide einer Mehrzweckhalle
Messdatum	26.08.2022
Messpunkt	Umkleide vor Mobilisierung

Raumklimatische Daten Temp [° C] rel. Luftfeuchte [%] Taupunkt [° C]

Luftkeimsammlung

Probevolumen: 100 Liter

Gattung / Art	Medium		
	DG 18 KBE / m ³	MEA KBE / m ³	PC KBE / m ³
<i>Aspergillus spp</i>	40	20	
<i>Aspergillus glaucus</i>	20		
<i>Aspergillus versicolor</i>	30	30	
<i>Cladosporium spp.</i>	430	230	
<i>Geotrichum spp</i>	10	80	
<i>Penicillium spp.</i>	70	60	
Summe	600	420	400

Auftragsnummer:	AIBau-Projekt Pumpeffekt 003
Objekt:	Umkleide einer Mehrzweckhalle
Messdatum	26.08.2022
Messpunkt	Umkleide nach Mobilisierung

Raumklimatische Daten Temp [° C] rel. Luftfeuchte [%] Taupunkt [° C]

Luftkeimsammlung

Probevolumen: 100 Liter

Gattung / Art	Medium		
	DG 18 KBE / m ³	MEA KBE / m ³	PC KBE / m ³
<i>Aspergillus spp</i>	60		
<i>Aspergillus glaucus</i>	30		
<i>Aspergillus versicolor</i>	80	30	
<i>Cladosporium spp.</i>	1250	890	
<i>Geotrichum spp</i>	20		
<i>Penicillium spp.</i>	170	200	
<i>Epicoccum purpurascens</i>	20		
<i>Trichoderma viride</i>		30	
Summe	1630	1150	380

LBW-Bioconsult - Schwarzer Weg 27 - 26215 Wiefelstede

Auftragsnummer: AlBau-Projekt Pumpeffekt004a
Objekt: Bürräume eines Verwaltungsgebäudes
Messdatum 26.08.2022
Messpunkt Raum 203 vor der Mobilisierung

Raumklimatische Daten Temp [° C] rel. Luftfeuchte [%] Taupunkt [° C]

Luftkeimsammlung

Probevolumen: 100 Liter

Gattung / Art	Medium		
	DG 18 KBE / m ³	MEA KBE / m ³	PC KBE / m ³
<i>Aspergillus fumigatus</i>		670	
<i>Aspergillus spp</i>	60		
<i>Aspergillus glaucus</i>	50		
<i>Aspergillus versicolor</i>	70		
<i>Cladosporium spp</i>	1220	110	
<i>Geotrichum spp</i>	10		
<i>Penicillium spp</i>	130		
<i>Ulocladium spp</i>	40		
<i>Epicoccum purpurascens</i>	30		
Summe	1610	780	210

Auftragsnummer: AlBau-Projekt Pumpeffekt 004a
Objekt: Bürräume eines Verwaltungsgebäudes
Messdatum 26.08.2022
Messpunkt Raum 203 nach der Mobilisierung

Raumklimatische Daten Temp [° C] rel. Luftfeuchte [%] Taupunkt [° C]

Luftkeimsammlung

Probevolumen: 100 Liter

Gattung / Art	Medium		
	DG 18 KBE / m ³	MEA KBE / m ³	PC KBE / m ³
<i>Aspergillus fumigatus</i>	2010	4070	
<i>Aspergillus glaucus</i>	40		
<i>Aspergillus versicolor</i>	30		
<i>Cladosporium spp</i>	1210	110	
<i>Penicillium spp</i>	170	40	
Summe	3460	4220	330

LBW-Bioconsult - Schwarzer Weg 27 - 26215 Wiefelstede

Auftragsnummer: AlBau-Projekt Pumpeffekt 004a
Objekt: Büroräume in einem Verwaltungsgebäude
Messdatum 26.08.2022
Messpunkt Raum 210 vor der Mobilisierung

Raumklimatische Daten Temp [° C] rel. Luftfeuchte [%] Taupunkt [° C]

Luftkeimsammlung

Probenvolumen: 100 Liter

Gattung / Art	Medium		
	DG 18 KBE / m ³	MEA KBE / m ³	PC KBE / m ³
<i>Aspergillus fumigatus</i>	160	410	
<i>Aspergillus spp</i>	110	20	
<i>Aspergillus glaucus</i>	50		
<i>Aspergillus versicolor</i>	30		
<i>Cladosporium spp</i>	650	90	
<i>Penicillium spp</i>	100	10	
<i>Ulocladium spp</i>	10		
Summe	1110	530	200

Auftragsnummer: AlBau-Projekt Pumpeffekt 004a
Objekt: Büroräume in einem Verwaltungsgebäude
Messdatum 26.08.2022
Messpunkt Raum 210 nach der Mobilisierung

Raumklimatische Daten Temp [° C] rel. Luftfeuchte [%] Taupunkt [° C]

Luftkeimsammlung

Probenvolumen: 100 Liter

Gattung / Art	Medium		
	DG 18 KBE / m ³	MEA KBE / m ³	PC KBE / m ³
<i>Aspergillus fumigatus</i>	3680		
<i>Aspergillus glaucus</i>	30		
<i>Aspergillus versicolor</i>	50	20	
<i>Cladosporium spp</i>	470	380	
<i>Penicillium spp</i>	390	210	
<i>Epicoccum purpurascens</i>	40	10	
Summe	4660	620	190

LBW-Bioconsult - Schwarzer Weg 27 - 26215 Wiefelstede

Auftragsnummer: AlBau-Projekt Pumpeffekt 004b
Objekt: Bürräume eines Verwaltungsgebäudes
Messdatum 29.03.2023
Messpunkt Raum 1 vor der Mobilisierung

Raumklimatische Daten Temp [° C] rel. Luftfeuchte [%] Taupunkt [° C]

Luftkeimsammlung

Probenvolumen: 100 Liter

Gattung / Art	Medium		
	DG 18 KBE / m ³	MEA KBE / m ³	PC KBE / m ³
<i>Cladosporium spp.</i>		40	
<i>Geotrichum spp</i>		30	
<i>Penicillium spp.</i>		20	
<i>Ulocladium spp</i>		30	
Summe	0	120	1090

Auftragsnummer: AlBau-Projekt Pumpeffekt 004b
Objekt: Bürräume eines Verwaltungsgebäudes
Messdatum 29.03.2023
Messpunkt Raum 1 nach der Mobilisierung

Raumklimatische Daten Temp [° C] rel. Luftfeuchte [%] Taupunkt [° C]

Luftkeimsammlung

Probenvolumen: 100 Liter

Gattung / Art	Medium		
	DG 18 KBE / m ³	MEA KBE / m ³	PC KBE / m ³
<i>Aspergillus fumigatus</i>		10	
<i>Aspergillus spp</i>	20	30	
<i>Aspergillus glaucus</i>	30		
<i>Botrytis spp</i>	40	50	
<i>Cladosporium spp.</i>	580	540	
<i>Geotrichum spp</i>		20	
<i>Penicillium spp.</i>	60	70	
<i>Ulocladium spp</i>	20	30	
<i>Penicillium glabrum</i>	10		
<i>Trichthecium roseum</i>		60	
Summe	760	810	1170

LBW-Bioconsult - Schwarzer Weg 27 - 26215 Wiefelstede

Auftragsnummer: AlBau-Projekt Pumpeffekt 004b
Objekt: Büroräume eines Verwaltungsgebäudes
Messdatum 29.03.2023
Messpunkt Raum 2 vor der Mobilisierung

Raumklimatische Daten Temp [° C] rel. Luftfeuchte [%] Taupunkt [° C]

Luftkeimsammlung

Probenvolumen: 100 Liter

Gattung / Art	Medium		
	DG 18 KBE / m ³	MEA KBE / m ³	PC KBE / m ³
<i>Cladosporium spp</i>	20	40	
<i>Geotrichum spp</i>		60	
<i>Penicillium spp</i>	20	30	
Summe	40	130	690

Auftragsnummer: AlBau-Projekt Pumpeffekt 004b
Objekt: Büroräume eines Verwaltungsgebäudes
Messdatum 29.03.2023
Messpunkt Raum 2 nach der Mobilisierung

Raumklimatische Daten Temp [° C] rel. Luftfeuchte [%] Taupunkt [° C]

Luftkeimsammlung

Probenvolumen: 100 Liter

Gattung / Art	Medium		
	DG 18 KBE / m ³	MEA KBE / m ³	PC KBE / m ³
<i>Aspergillus spp</i>	90	110	
<i>Aspergillus glaucus</i>	50		
<i>Botrytis spp</i>	30	50	
<i>Clkadosporium spp</i>	480	420	
<i>Penicillium chrysogenum</i>		60	
<i>Penicillium spp</i>	30	280	
Summe	680	920	1220

LBW-Bioconsult - Schwarzer Weg 27 - 26215 Wiefelstede

Auftragsnummer: AlBau-Projekt Pumpeffekt 004b
Objekt: Büroräume in einem Verwaltungsgebäude
Messdatum 29.03.2023
Messpunkt Raum 3 vor der Mobilisierung

Raumklimatische Daten Temp [° C] rel. Luftfeuchte [%] Taupunkt [° C]

Luftkeimsammlung

Probevolumen: 100 Liter

Gattung / Art	Medium		
	DG 18 KBE / m ³	MEA KBE / m ³	PC KBE / m ³
<i>Aspergillus spp</i>		10	
<i>Cladosporium spp</i>	20	20	
<i>Geotrichum spp</i>		40	
<i>Penicillium spp</i>	20	30	
Summe	40	100	580

Auftragsnummer: AlBau-Projekt Pumpeffekt004b
Objekt: Büroräume in einem Verwaltungsgebäude
Messdatum 29.03.2023
Messpunkt Raum 3 nach der Mobilisierung

Raumklimatische Daten Temp [° C] rel. Luftfeuchte [%] Taupunkt [° C]

Luftkeimsammlung

Probevolumen: 100 Liter

Gattung / Art	Medium		
	DG 18 KBE / m ³	MEA KBE / m ³	PC KBE / m ³
<i>Cladosporium spp</i>	60	20	
<i>Geotrichum spp</i>		40	
<i>Penicillium chrysogenum</i>		10	
<i>Penicillium spp</i>	10	20	
Summe	70	90	720

LBW-Bioconsult - Schwarzer Weg 27 - 26215 Wiefelstede

Ergebnis der halbquantitativen Partikeluntersuchung der Raumluft

Auftragsnummer: AlBau-Projekt Pumpeffekt 004b
Objekt: Büroräume eines Verwaltungsgebäudes
Messdatum 29.03.2023
Analyse durch: C. Rudolph am: 30.03.2023

Volumenstrom: 30 Liter/min
Probevolumen: 200 Liter
Probenahmemedium: beschichtete Standard-Objektträger

Ergebnis

Messpunkt:	Raum 1 vor Mobilisierung	Raum 1 nach Mobilisierung	Raum 2 vor Mobilisierung	Raum 2 nach Mobilisierung	Raum 3 vor Mobilisierung	Raum 3 nach Mobilisierung	Außenluft
	Anzahl						
Parameter:	pro 1000 l	pro 1000 l	pro 1000 l	pro 1000 l	pro 1000 l	pro 1000 l	pro 1000 l
Sporen: Typ Alternaria/Ulocladium	35	30					
Sporen: Typ Aspergillus glaucus							
Sporen: Typ Aspergillus/Penicillium	30	125	30	515	45	45	30
Sporen: Typ Botrytis		45		55			
Sporen: Typ Cladosporium	45	670	45	565	30	70	145
Sporen: Typ Fusarium							
Sporen: Typ Geotrichum	25	20	70	10	40	45	230
Sporen: Stachybotris chartarum							
andere Pilzsporen		80	10				5
Mycelbruchstücke	5	90	5	95	10	15	20
Fasern	110	120	95	105	100	110	60
Hautschuppen							
Pollen							15
Tierhaare							
Sonstiges		viel Staub !		viel Staub !		viel Staub !	

Bemerkung:

LBW-Bioconsult - Schwarzer Weg 27 - 26215 Wiefelstede

Auftragsnummer:	<u>AlBau-Projekt Pumpeffekt 002</u>
Objekt:	<u>Wohn- und Schlafräume in einem Zweifamilienhaus</u>
Messdatum	<u>25.08.2022</u>
Messpunkt	<u>Raum Links vor Mobilisierung</u>

Raumklimatische Daten Temp [° C] rel. Luftfeuchte [%] Taupunkt [° C]

Luftkeimsammlung

Probevolumen: 100 Liter

Gattung / Art	Medium		
	DG 18 KBE / m ³	MEA KBE / m ³	PC KBE / m ³
<i>Aspergillus spp</i>	80	30	
<i>Aspergillus glaucus</i>	60		
<i>Aspergillus versicolor</i>	50	40	
<i>Cladosporium spp.</i>	380	130	
<i>Geotrichum spp</i>		20	
<i>Penicillium spp.</i>	150	60	
<i>Ulocladium spp</i>	30	10	
Summe	750	290	160

Auftragsnummer:	<u>AlBau-Projekt Pumpeffekt 002</u>
Objekt:	<u>Wohn- und Schlafräume in einem Zweifamilienhaus</u>
Messdatum	<u>25.08.2022</u>
Messpunkt	<u>Raum Links nach Mobilisierung</u>

Raumklimatische Daten Temp [° C] rel. Luftfeuchte [%] Taupunkt [° C]

Luftkeimsammlung

Probevolumen: 100 Liter

Gattung / Art	Medium		
	DG 18 KBE / m ³	MEA KBE / m ³	PC KBE / m ³
<i>Aspergillus fumigatus</i>	3540	4840	
<i>Aspergillus spp</i>	80	90	
<i>Aspergillus glaucus</i>	60		
<i>Aspergillus versicolor</i>	80		
<i>Cladosporium spp.</i>	640	70	
<i>Penicillium spp.</i>	180		
<i>Ulocladium spp</i>	30		
Summe	4610	5000	270

LBW-Bioconsult - Schwarzer Weg 27 - 26215 Wiefelstede

Auftragsnummer: AlBau-Projekt Pumpeffekt 002
Objekt: Wohn- und Schlafräume in einem Zweifamilienhaus
Messdatum 25.08.2022
Messpunkt Raum Rechts vor Mobilisierung

Raumklimatische Daten Temp [° C] rel. Luftfeuchte [%] Taupunkt [° C]

Luftkeimsammlung

Probevolumen: 100 Liter

Gattung / Art	Medium		
	DG 18 KBE / m ³	MEA KBE / m ³	PC KBE / m ³
<i>Alternaria alternata</i>	10		
<i>Aspergillus spp</i>	70	60	
<i>Aspergillus glaucus</i>	40		
<i>Aspergillus versicolor</i>	40	30	
<i>Cladosporium spp</i>	420	100	
<i>Geotrichum spp</i>	20	20	
<i>Penicillium spp</i>	170	160	
<i>Ulocladium spp</i>	20	10	
<i>Epicoccum purpurascens</i>		10	
Summe	790	390	250

Auftragsnummer: AlBau-Projekt Pumpeffekt002
Objekt: Wohn- und Schlafräume in einem Zweifamilienhaus
Messdatum 25.08.2022
Messpunkt Raum Rechts nach Mobilisierung

Raumklimatische Daten Temp [° C] rel. Luftfeuchte [%] Taupunkt [° C]

Luftkeimsammlung

Probevolumen: 100 Liter

Gattung / Art	Medium		
	DG 18 KBE / m ³	MEA KBE / m ³	PC KBE / m ³
<i>Aspergillus fumigatus</i>	4790	4820	
<i>Cladosporium spp</i>	290	180	
Summe	5080	5000	280

LBW-Bioconsult - Schwarzer Weg 27 - 26215 Wiefelstede

Auftragsnummer: AIBau-Projekt Pumpeffekt 005
Objekt: Wohn- und Schlafräume in einem Mehrfamilienhaus
Messdatum: 22.05.2023
Messpunkt: Wohnung Rechts WZ vor der Mobilisierung

Raumklimatische Daten Temp [° C] rel. Luftfeuchte [%] Taupunkt [° C]

Luftkeimsammlung

Probevolumen: 100 Liter

Gattung / Art	Medium		
	DG 18 KBE / m ³	MEA KBE / m ³	PC KBE / m ³
<i>Aspergillus glaucus</i>	20		
<i>Aspergillus versicolor</i>	20		
<i>Cladosporium spp.</i>	80	30	
<i>Geotrichum spp</i>		370	
<i>Penicillium chrysogenum</i>		10	
<i>Penicillium brevicompactum</i>	30	20	
<i>Aureobasidium pullulans</i>	10		
<i>Penicillium expansum</i>	10		
Summe	170	430	680

Auftragsnummer: AIBau-Projekt Pumpeffekt 005
Objekt: Wohn- und Schlafräume in einem Mehrfamilienhaus
Messdatum: 22.05.2023
Messpunkt: Wohnung Rechts WZ nach der Mobilisierung

Raumklimatische Daten Temp [° C] rel. Luftfeuchte [%] Taupunkt [° C]

Luftkeimsammlung

Probevolumen: 100 Liter

Gattung / Art	Medium		
	DG 18 KBE / m ³	MEA KBE / m ³	PC KBE / m ³
<i>Aspergillus spp</i>		20	
<i>Aspergillus versicolor</i>		80	
<i>Cladosporium spp.</i>	210	290	
<i>Penicillium chrysogenum</i>		120	
<i>Penicillium brevicompactum</i>	1950	1810	
<i>Penicillium expansum</i>	2020	1830	
<i>Penicillium glabrum</i>	310	380	
<i>Penicillium rugulosum</i>	510	470	
Summe	5000	5000	1170

LBW-Bioconsult - Schwarzer Weg 27 - 26215 Wiefelstede

Auftragsnummer: AlBau-Projekt Pumpeffekt005
Objekt: Wohn- und Schlafräume in einem Mehrfamilienhaus
Messdatum 22.05.2023
Messpunkt Wohnung Rechts SZ vor der Mobilisierung

Raumklimatische Daten Temp [° C] rel. Luftfeuchte [%] Taupunkt [° C]

Luftkeimsammlung

Probenvolumen: 100 Liter

Gattung / Art	Medium		
	DG 18 KBE / m ³	MEA KBE / m ³	PC KBE / m ³
<i>Aspergillus glaucus</i>	10		
<i>Aspergillus versicolor</i>	110	70	
<i>Cladosporium spp</i>	50	60	
<i>Geotrichum spp</i>	30	50	
<i>Penicillium chrysogenum</i>		10	
<i>Penicillium brevicompactum</i>	20	30	
Summe	220	220	660

Auftragsnummer: AlBau-Projekt Pumpeffekt005
Objekt: Wohn- und Schlafräume in einem Mehrfamilienhaus
Messdatum 22.05.2023
Messpunkt Wohnung Rechts SZ nach der Mobilisierung

Raumklimatische Daten Temp [° C] rel. Luftfeuchte [%] Taupunkt [° C]

Luftkeimsammlung

Probenvolumen: 100 Liter

Gattung / Art	Medium		
	DG 18 KBE / m ³	MEA KBE / m ³	PC KBE / m ³
<i>Aspergillus spp</i>		20	
<i>Aspergillus versicolor</i>		100	
<i>Cladosporium spp</i>	140	180	
<i>Geotrichum spp</i>	60		
<i>Penicillium brevicompactum</i>	2130	2070	
<i>Penicillium expansum</i>	2150	2150	
<i>Penicillium glabrum</i>	150	120	
<i>Penicillium rugulosum</i>	370	300	
<i>Mucor hiemalis</i>		60	
Summe	5000	5000	2120

LBW-Bioconsult - Schwarzer Weg 27 - 26215 Wiefelstede

Auftragsnummer: AlBau-Projekt Pumpeffekt 005
Objekt: Wohn- und Schlafräume in einem Mehrfamilienhaus
Messdatum 22.05.2023
Messpunkt Wohnung Links WZ vor der Mobilisierung

Raumklimatische Daten Temp [° C] rel. Luftfeuchte [%] Taupunkt [° C]

Luftkeimsammlung

Probevolumen: 100 Liter

Gattung / Art	Medium		
	DG 18 KBE / m ³	MEA KBE / m ³	PC KBE / m ³
<i>Aspergillus fumigatus</i>		10	
<i>Cladosporium spp</i>	30	40	
<i>Geotrichum spp</i>	10	30	
<i>Penicillium glabrum</i>	10	20	
Summe	50	100	430

Auftragsnummer: AlBau-Projekt Pumpeffekt 005
Objekt: Wohn- und Schlafräume in einem Mehrfamilienhaus
Messdatum 22.05.2023
Messpunkt Wohnung Links WZ nach der Mobilisierung

Raumklimatische Daten Temp [° C] rel. Luftfeuchte [%] Taupunkt [° C]

Luftkeimsammlung

Probevolumen: 100 Liter

Gattung / Art	Medium		
	DG 18 KBE / m ³	MEA KBE / m ³	PC KBE / m ³
<i>Aspergillus niger</i>		30	
<i>Aspergillus versicolor</i>	60		
<i>Cladosporium spp</i>	170	160	
<i>Geotrichum spp</i>		60	
<i>Penicillium brevicompactum</i>	1490	780	
<i>Penicillium expansum</i>	810	1110	
<i>Penicillium glabrum</i>	60	50	
<i>Penicillium rugulosum</i>	210	410	
Summe	2800	2600	3210

LBW-Bioconsult - Schwarzer Weg 27 - 26215 Wiefelstede

Auftragsnummer:	AlBau-Projekt Pumpeffekt 005
Objekt:	Wohn- und Schlafräume in einem Mehrfamilienhaus
Messdatum	22.05.2023
Messpunkt	Wohnung Links SZ vor der Mobilisierung

Raumklimatische Daten Temp [° C] rel. Luftfeuchte [%] Taupunkt [° C]

Luftkeimsammlung

Probevolumen: 100 Liter

Gattung / Art	Medium		
	DG 18 KBE / m ³	MEA KBE / m ³	PC KBE / m ³
<i>Aspergillus spp</i>		40	
<i>Aspergillus glaucus</i>	10		
<i>Aspergillus versicolor</i>		30	
<i>Cladosporium spp</i>	80	90	
<i>Penicillium chrysogenum</i>		30	
<i>Penicillium brevicompactum</i>	20	40	
<i>Ulocladium spp</i>	10	10	
<i>Aureobasidium pullulans</i>	20	10	
Summe	140	250	350

Auftragsnummer:	AlBau-Projekt Pumpeffekt 005
Objekt:	Wohn- und Schlafräume in einem Mehrfamilienhaus
Messdatum	22.05.2023
Messpunkt	Wohnung Links nach der Mobilisierung

Raumklimatische Daten Temp [° C] rel. Luftfeuchte [%] Taupunkt [° C]

Luftkeimsammlung

Probevolumen: 100 Liter

Gattung / Art	Medium		
	DG 18 KBE / m ³	MEA KBE / m ³	PC KBE / m ³
<i>Aspergillus versicolor</i>		40	
<i>Cladosporium spp</i>	290	250	
<i>Geotrichum spp</i>		70	
<i>Penicillium chrysogenum</i>		160	
<i>Penicillium brevicompactum</i>	1820	1590	
<i>Ulocladium spp</i>	30	40	
<i>Penicillium expansum</i>	2020	1960	
<i>Penicillium glabrum</i>	160	150	
<i>Penicillium rugulosum</i>	280	340	
Summe	4600	4600	2550

LBW-Bioconsult - Schwarzer Weg 27 - 26215 Wiefelstede

Ergebnis der halbquantitativen Partikeluntersuchung der Raumluft

Auftragsnummer: AlBau-Projekt Pumpeffekt 005

Objekt: Wohn- und Schlafräume in einem Mehrfamilienhaus

Messdatum: 22.05.2023

Analyse durch: C. Rudolph am: 28.06.2023

Volumenstrom: 30 Liter/min

Probenvolumen: 200 Liter

Probenahmemedium: beschichtete Standard-Objektträger

Ergebnis

Messpunkt:

Wohnung Rechts WZ vor Mobilisierung	Wohnung Rechts WZ nach Mobilisierung	Wohnung Rechts SZ vor Mobilisierung	Wohnung Rechts SZ nach Mobilisierung	Wohnung Links WZ vor Mobilisierung	Wohnung Links WZ nach Mobilisierung	
---	--	---	--	--	---	--

Parameter:	Anzahl						
	pro 1000 l	pro 1000 l	pro 1000 l	pro 1000 l	pro 1000 l	pro 1000 l	
Sporen: Typ Alternaria/Ulocladium							
Sporen: Typ Aspergillus glaucus							
Sporen: Typ Aspergillus/Penicillium	95	6490	165	5290	40	3295	
Sporen: Typ Chaetomium							
Sporen: Typ Cladosporium	95	360	65	210	45	200	
Sporen: Typ Fusarium							
Sporen: Geotrichum	425		60	70	40	70	
Sporen: Stachybotris chartarum							
andere Pilzsporen	20		5	65			
Mycelbruchstücke	85	320	75	275	25	195	
Fasern	110	285	105	245	70	255	
Hautschuppen		30					
Pollen	5		10	35	10	25	
Tierhaare							
Sonstiges		sehr viel Staub !		sehr viel Staub !		sehr viel Staub !	

Bemerkung:

Die deutlichen Staubbelastungen in den mobilisierten Proben erschwerten die genaue Auszählung beträchtlich !

LBW-Bioconsult - Schwarzer Weg 27 - 26215 Wiefelstede

Ergebnis der halbquantitativen Partikeluntersuchung der Raumluft

Auftragsnummer: AIBau-Projekt Pumpeffekt 005
Objekt: Wohn- und Schlafräume in einem Mehrfamilienhaus
Messdatum: 22.05.2023
Analyse durch: C. Rudolph am: 28.06.2023

Volumenstrom: 30 Liter/min
Probevolumen: 200 Liter
Probenahmemedium: beschichtete Standard-Objektträger

Ergebnis

Messpunkt:	Wohnung Links SZ vor Mobilisierung	Wohnung Links SZ nach Mobilisierung					Außenluft
------------	------------------------------------	-------------------------------------	--	--	--	--	-----------

Anzahl

Parameter:	pro 1000 l	pro 1000 l					
Sporen: Typ Alternaria/Ulocladium		45					40
Sporen: Typ Aspergillus glaucus							
Sporen: Typ Aspergillus/Penicillium	160	5195					305
Sporen: Typ Botrytis							35
Sporen: Typ Cladosporium	105	330					785
Sporen: Typ Fusarium							10
Sporen: Typ Geotrichum	5	75					340
Sporen: Stachybotris chartarum							
andere Pilzsporen	20						20
Mycelbruchstücke	50	310					140
Fasern	95	250					85
Hautschuppen							
Pollen	5	20					55
Tierhaare							
Sonstiges		sehr viel Staub !					

Bemerkung:

Die deutlichen Staubbelastungen in den mobilisierten Proben erschwerten die genaue Auszählung beträchtlich !

LBW-Bioconsult - Schwarzer Weg 27 - 26215 Wiefelstede

Auftragsnummer: AlBau-Projekt Pumpeffekt006
Objekt: Räume in einem Versuchsgebäude
Messdatum 22.05.2023
Messpunkt „Wohnraum“ vor der Mobilisierung

Raumklimatische Daten Temp [° C] rel. Luftfeuchte [%] Taupunkt [° C]

Luftkeimsammlung

Probevolumen: 100 Liter

Gattung / Art	Medium		
	DG 18 KBE / m ³	MEA KBE / m ³	PC KBE / m ³
<i>Aspergillus versicolor</i>	10		
<i>Cladosporium spp.</i>		20	
<i>Penicillium brevicompactum</i>		20	
Summe	10	40	110

Auftragsnummer: AlBau-Projekt Pumpeffekt 006
Objekt: Räume in einem Versuchsgebäude
Messdatum 22.05.2023
Messpunkt „Wohnraum“ nach der Mobilisierung

Raumklimatische Daten Temp [° C] rel. Luftfeuchte [%] Taupunkt [° C]

Luftkeimsammlung

Probevolumen: 100 Liter

Gattung / Art	Medium		
	DG 18 KBE / m ³	MEA KBE / m ³	PC KBE / m ³
<i>Aspergillus glaucus</i>	30		
<i>Aspergillus versicolor</i>	20		
<i>Cladosporium spp</i>	460	1190	
<i>Ulocladium spp</i>		20	
<i>Penicillium chrysogenum</i>		60	
<i>Penicillium brevicompactum</i>		150	
<i>Penicillium glabrum</i>	220	310	
<i>Penicillium rugulosum</i>	300	520	
Summe	1030	2250	910

LBW-Bioconsult - Schwarzer Weg 27 - 26215 Wiefelstede

Ergebnis der halbquantitativen Partikeluntersuchung der Raumluft

Auftragsnummer: AIBau-Projekt Pumpeffekt 006
Objekt: Räume in einem Versuchsgebäude
Messdatum: 25.09.2023
Analyse durch: C. Rudolph am: 23.10.2023

Volumenstrom: 30 Liter/min
Probevolumen: 200 Liter
Probenahmemedium: beschichtete Standard-Objektträger

Ergebnis

Messpunkt:	Wohnung vor Mobilisierung	Wohnung nach Mobilisierung					Außenluft
------------	---------------------------	----------------------------	--	--	--	--	-----------

Anzahl

Parameter: pro 1000 l pro 1000 l pro 1000 l

Parameter:	pro 1000 l	pro 1000 l					pro 1000 l
Sporen: Typ Alternaria/Ulocladium							75
Sporen: Typ Aspergillus glaucus							
Sporen: Typ Aspergillus/Penicillium	25						520
Sporen: Typ Botrytis							45
Sporen: Typ Cladosporium	30						1055
Sporen: Typ Fusarium							10
Sporen: Typ Geotrichum							20
Sporen: Stachybotris chartarum							
andere Pilzsporen							15
Mycelbruchstücke	10						120
Fasern	55						30
Hautschuppen							
Pollen							
Tierhaare							
Sonstiges		zu viel Staub !					

Bemerkung:

Die deutlichen Staubbelastungen in der mobilisierten Probe ließ eine genaue Auszählung nicht zu !

9 Mitwirkende

Autorinnen und Autoren

Prof. Dipl.-Ing. Matthias Zöller

Dipl.-Ing. Géraldine Liebert

Dipl.-Ing. Silke Sous

Dr. rer. nat. Thomas Warscheid

10 Kurzbiographien



Prof. Dipl.-Ing. Matthias Zöller

Honorarprofessor für Bauschadensfragen am KIT (Universität Karlsruhe), Architekt und ö. b. u. v. SV für Schäden an Gebäuden; Leitung der Aachener Bausachverständigentage und der Bauschadensforschung am AIBau; Mitarbeit in Fachgremien, die sich mit Regelwerken der Abdichtungstechniken, den Wassereinwirkungen im Baugrund und der Gebäudedränung beschäftigen; Autor von Fachveröffentlichungen und jeweils Mitherausgeber der "IBR Immobilien- & Baurecht", der „Baurechtlichen und -technischen Themensammlung“ und des „Handbuchs für den BauSV“; Leitung des Fortbildungslehrgangs für die Vorbereitung zur öffentlichen Bestellung im Sachgebiet Schäden an Gebäuden, der vom Institut für Sachverständigenwesen (IfS) in Köln sowie dem AIBau veranstaltet wird.



Dipl.-Ing. Géraldine Liebert

Architektin; seit 2001 wissenschaftliche Mitarbeiterin im Büro von Prof. Dr.-Ing. Oswald und beim AIBau; seit 2009 s. a. SV f. Schall- und Wärmeschutz; seit 2017 DGNB Consultant; seit 2021 Lehrauftrag an der HAWK Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst, Hildesheim/Holzminden/Göttingen; seit 2021 Mitglied im NABau Solaranlagen auf/an Gebäuden; Referententätigkeit bei unterschiedlichen Fachveranstaltungen und Kongressen; diverse Fachveröffentlichungen.



Dipl.-Ing. Silke Sous

Architektin; seit 1997 wissenschaftliche Mitarbeiterin im Büro von Prof. Dr.-Ing. Oswald und später beim AIBau; seit 2009 s. a. SV f. Schall- und Wärmeschutz; seit 2018 Lehrauftrag an der HAWK Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst, Hildesheim/Holzminden/Göttingen; seit 2018 ö. b. u. v. SV für Schäden an Gebäuden; seit 2020 Mitglied im NABau Innenraumabdichtung; Referententätigkeit u. a. bei Architekten- und Ingenieurkammern, IfS Institut für Sachverständigenwesen; diverse Fachveröffentlichungen.



Dipl.- Biol. Dr. rer. nat. Thomas Warscheid

Dissertation über die mikrobiell induzierten Einflüsse bei der Verwitterung von mineralischen Werkstoffen; Wissenschaftlicher Mitarbeiter und Assistenz-Professor an der Universität Oldenburg; Berater für Bauten- und Materialschutz in unterschiedlichen Forschungslaboren; 1995 – 2002 Leiter der Abteilung Mikrobiologie an der MPA Bremen; seit 2003 ist er Leiter der LBW Bioconsult und Sachverständiger im Bereich des mikrobiologischen Materialschutzes im Bauwesen, der Denkmalpflege und der Wohnraumhygiene; Lehrbeauftragter an der TU München; Mitglied und aktiver Mitarbeiter bei einer Vielzahl von Gesellschaften und Vereinigungen, die sich mit der Mikrobiologie und der Bauwerksinstandsetzung beschäftigen; Vorsitzender des Netzwerks Schimmel.

11 Literaturverzeichnis

11.1 Fachbücher und Fachaufsätze

[Albrecht 2014]

Albrecht, S.: Hochsicherheitsstrich für Pilze und Sporen, in: B+B – Bauen im Bestand, Ausgabe 2/2014

[Anda Gonzales 2011]

Anda Gonzales, L.; Spitzner, M.: Schimmelpilze in Wohnräumen vermeiden, Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag, Berlin 2011

[AlBau 2008]

Liebert, G.; Spilker, R.; Oswald, R.: Schimmelpilzbefall bei hochwärmedämmten Neu- und Altbauten, Bau-
forschung für die Praxis Band 84, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2008

[AlBau 2019]

Zöller, M.; Sous, S.; Warscheid, T.: Instandsetzung von Schimmelpilzschäden durch Abschottungen, For-
schungsarbeit gefördert von der Initiative Zukunft Bau, abgeschlossen 2021

[Becker 2023]

Becker & Partner – Institut für Feuchtigkeitsschäden und Schimmelpilzbefall GbR: Vortrag – „Pumpeffekt?“ –
Deutscher Schimmelpilztag 21.04.2023, Neuss

[Böhmer 2015]

Böhmer, H.; Simon, J.: Kurzstudie Schimmelpilzschäden. Schadensbilder - Ursachen – Folgen, Bauherren-
Schutzbund e.V., Berlin 2015

[Fischer 2015]

Fischer, G.: Bestimmung von Hintergrundkonzentration von Schimmelpilzen in Dämmstoffen und anderen Ma-
terialien im Innenraum im Hinblick auf Sanierungsempfehlungen, Abschlussbericht, Landesgesundheitsamt Ba-
den-Württemberg, Stuttgart 2015

[Kraus-Johnsen 2018]

Kraus-Johnsen, I.: Schimmelpilz-Handbuch – Praxiswissen zu Schimmelpilzschäden in Gebäuden, Bundesanzei-
ger Verlag, Köln, 2018

[Lorenz 2005]

Lorenz u.a.: Sanierung von Feuchte- und Schimmelpilzschäden, Rudolf Müller Verlag, Köln 2005

[Lotz 2006]

Lotz, A.; Hammacher, P.: Schimmelschäden vermeiden - Bauphysikalische Grundlagen, Analyse und Ursachen,
Hinweise zur Vermeidung und Sanierung, Fraunhofer IRB, Stuttgart 2006

[Strohmeyer 2018]

Strohmeyer, M.: WTA-Merkblatt 4-12 „Ziele und Kontrolle von Schimmelpilzschadensanierungen in Innenräu-
men“ – kritische Anmerkungen, in: Gebäudeschadstoffe und Innenraumluft, Rudolf Müller Verlag Köln, 2018

[Trautmann 2005]

Trautmann, C.: Aussagekraft von Schimmelpilzuntersuchungen, in: Tagungsband der 9. Pilztagung des VDB:
Schimmel sicher erkennen, bewerten und sanieren, hrsg. vom Berufsverband Deutscher Baubiologen VDB e.V.,
AnBUS e. V., Fürth 2005

[Warscheid 2016]

Warscheid, T.: Schimmelbewuchs – gilt noch das 80% r.F Kriterium?, In: Aachener Bausachverständigentage
2016, Springer Fachmedien, Wiesbaden 2016

11.2 Normen

[DIN 4108-2]

DIN 4108 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz, 2013-02

[DIN 4108-3]

DIN 4108 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz – Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung, 2014-11 / 2018-10 / Entwurf 2023-04

[DIN 4108-4]

DIN 4108 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte, 2013-02 / 2020-11

[DIN 4108-7]

DIN 4108 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden – Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele, 2011-01

[DIN EN ISO 13788]

DIN EN ISO 13788 Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren – Berechnungsverfahren, Ausgabe Mai 2013

11.3 Richtlinien, Merkblätter, Leitfäden

[AWMF-Schimmelpilz-Leitlinie]

AWMF-Schimmelpilz-Leitlinie "Medizinisch klinische Diagnostik bei Schimmelpilzexposition in Innenräumen", Gesundheitsamt Köln, Köln 2016 / Oktober 2023

[DHBV 2010]

Merkblatt 01/10/S: Fachgerechte Schimmelpilzbeseitigung in Innenräumen, Deutscher Holz- und Bautenschutzverband e.V., Köln, 2010 (Zurückgezogen)

[DHBV 2018]

Merkblatt 02/15/S: Schimmelpilzbefall an Holz und Holzwerkstoffen in Dachstühlen, Deutscher Holz- und Bautenschutzverband e.V., 3. Auflage, Köln, Oktober 2018

[DGUV 201-028]

DGUV Information 201-028: Handlungsanleitung – Gesundheitsgefährdungen durch biologische Arbeitsstoffe bei der Gebäudesanierung, Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft, 2006-10 / 2022-11

[LGA 2006]

Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg im Regierungspräsidium Stuttgart: Leitfaden Handlungsempfehlung für die Sanierung von mit Schimmelpilzen befallenen Innenräumen, 2. Auflage, Stuttgart 2006

[Innenraumhygiene 2008]

Umweltbundesamt: Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden, Berlin 2008

[Netzwerk Schimmel 2022]

Netzwerk Schimmel e.V.: Richtlinie zum sachgerechten Umgang mit Schimmelpilzschäden in Gebäuden des Netzwerk Schimmel e.V., 3. Auflage, Wiefelstede 2022

[UBA 2002]

Umweltbundesamt: Leitfaden Vorbeugung, Untersuchung, Bewertung und Sanierung von Schimmelpilzwachstum in Innenräumen, Berlin 2002

[UBA 2005]

Umweltbundesamt: Leitfaden zur Ursachensuche und Sanierung bei Schimmelpilzwachstum in Innenräumen, Dessau 2005

[UBA 2017]

Umweltbundesamt: Leitfaden zur Vorbeugung, Erfassung und Sanierung von Schimmelbefall in Gebäuden, Dessau-Roßlau 2017

[TRBA 430]

Technische Regeln für biologische Arbeitsstoffe: Verfahren zur Bestimmung der Schimmelpilzkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz, 1997 (Aufhebung 2003)

[Ufoplan 2004]

Umweltbundesamt: Erhebung von Hintergrundwerten für die Bewertung von Schimmelpilzen im Innenraum, Stuttgart 2004

[VdS 3151]

Richtlinie zur Schimmelpilzbeseitigung nach Leitungswasserschäden, Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV), VdS 3151: 2014-06 / 2020-03

[WTA 4-12]

WTA Merkblatt 4-12-21/D: Ziele und Kontrolle von Schimmelpilzschadensanierungen in Innenräumen

[WTA 6-15]

WTA Merkblatt 6-15-13/D: Technische Trocknung durchfeuchteter Bauteile – Teil 1: Grundlagen

[WTA 6-16]

WTA Merkblatt 6-16-19/D: Technische Trocknung durchfeuchteter Bauteile: Planung, Ausführung und Kontrolle

12 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Anzahl der Kolleginnen und Kollegen, die Fußbodenkonstruktionen auf mikrobiell-hygienische Belastungen untersucht haben	11
Abbildung 2 Anzahl der Nennungen, bei denen mikrobiell-hygienische Belastungen in Fußbodenkonstruktionen festgestellt wurden	11
Abbildung 3 Anzahl der Kolleginnen und Kollegen, die in Fußbodenkonstruktionen mikrobiell-hygienische Befall festgestellt haben	12
Abbildung 4 Anzahl der Kolleginnen/Kollegen, die in eine Bestimmung des Befalls durchgeführt haben	12
Abbildung 5 Häufigkeiten der verwendeten Bestimmungsmethoden	12
Abbildung 6 Anzahl der Nennungen, bei denen Luftkeimmessungen durchgeführt wurden	12
Abbildung 7 Angaben zum tragenden Untergrund	13
Abbildung 8 Angaben zur Trittschalldämmung	13
Abbildung 9 Angaben zu in der Dämmschicht vorhandenen Installationen	13
Abbildung 10 Angaben zur Art des Estrichs	13
Abbildung 11 Angaben zum eingebauten Belag	14
Abbildung 12 Angaben zu Materialien am Wandsockel	14
Abbildung 13 Anzahl und Art der festgestellten Feuchteschäden	14
Abbildung 14 Anzahl und Lage der festgestellten mikrobiellen Belastungen	14
Abbildung 15 Anzahl des Feststellens eines ungewöhnlichen Geruchs	15
Abbildung 16 Anzahl und Art der festgestellten Materialschäden	15
Abbildung 17 Häufigkeiten der unterschiedlichen Raumnutzungen	15
Abbildung 18 Typische Untersuchungsstelle im Bereich eines Türdurchgangs (s. Pfeil)	18
Abbildung 19 Fußbodenaufbau mit Mineralwolledämmung (Detailansicht zu vorherigem Bild)	18
Abbildung 20 Typische Untersuchungsstelle vor einem Fenster (s. Pfeil)	18
Abbildung 21 Fußbodenaufbau mit Mineralwolledämmung (Detailansicht zu vorherigem Bild)	18
Abbildung 22 Luftströmungsmessung im Fußboden am Türdurchgang	19
Abbildung 23 Rauchgasprüfung im Fußboden am Türdurchgang	19
Abbildung 24 Raumluftmessung vor der Außenwand	20
Abbildung 25 Entfernte Fußleiste am Wandanschluss, Randstellstreifen vorhanden – üblicher Verschmutzungsgrad der Randfuge	20
Abbildung 26 Luftströmungsmessung im Fußboden vor der Außenwand	20
Abbildung 27 Rauchgasprüfung im Fußboden vor der Außenwand	20
Abbildung 28 Teilgrundriss EG mit Fachräumen und Eintragung der Öffnungsstellen Ö1 bis Ö4	21
Abbildung 29 Teilgrundriss OG mit Klassenräumen und Eintragung der Öffnungsstellen Ö5 und Ö6	22
Abbildung 30 Teilaußenansicht Klassenraum	22

Abbildung 31 Teilaußenansicht Klassenraum	22
Abbildung 32 Innenansicht Klassenraum	23
Abbildung 33 Innenansicht Fachraum	23
Abbildung 34 Ö1 – Türdurchgang: Bodenaufbau mit Gussasphaltestrich	23
Abbildung 35 Ö2 – vor der Außenwand	23
Abbildung 36 Ö3 – Türdurchgang: Bodenaufbau mit Gussasphaltestrich	24
Abbildung 38 Ö4 – Randbereich vor Außenwand: Bodenaufbau mit Gussasphaltestrich	24
Abbildung 37 Ö5 – Türdurchgang: Bodenaufbau mit Zementestrich	24
Abbildung 39 Ö6 – vor der Außenwand	24
Abbildung 40 Messungen der Luftströmungen bei Öffnungsstelle Ö5	25
Abbildung 41 Messungen der Luftströmungen in der Bohrung neben Ö5	25
Abbildung 42 Messungen der Luftströmungen bei Öffnungsstelle Ö6	25
Abbildung 43 Messungen der Luftströmungen in der Bohrung neben Ö6	25
Abbildung 44 Rauchgasuntersuchungen bei Öffnungsstelle Ö5	26
Abbildung 45 Rauchgasuntersuchungen bei Öffnungsstelle Ö6	26
Abbildung 46 Eingebrachte Schimmelpilzproben bei Ö6	26
Abbildung 47 wieder verschlossene Kernbohrung bei Ö6	26
Abbildung 48 Raumlufmessung an Öffnungsstelle Ö6	27
Abbildung 49 Medizinbälle, mit denen der Estrich in Schwingung versetzt wurde, hier an Ö6	27
Abbildung 50 Grundriss mit Eintragung der Öffnungsstellen	28
Abbildung 51 Innenansicht des Foyers und der angrenzenden Garderobe	28
Abbildung 52 Innenansicht des Umkleieraums	28
Abbildung 53 Übersicht zu Öffnungsstelle Ö1	29
Abbildung 54 Übersicht zu Öffnungsstelle Ö2	29
Abbildung 55 Übersicht zu Öffnungsstelle Ö3	30
Abbildung 56 Detailaufnahme der Kernbohrung bei Öffnungsstelle Ö3	30
Abbildung 57 Übersicht zu Öffnungsstelle Ö4	30
Abbildung 58 Offene Randfuge bei Öffnungsstelle Ö4	30
Abbildung 59 Messungen der Luftströmungen in der Bohrung neben Ö3	31
Abbildung 60 Messungen der Luftströmungen in der Bohrung neben Ö4	31
Abbildung 61 Raumlufmessung in der Umkleide	31
Abbildung 62 Messungen der Luftströmungen in der Bohrung neben Ö3	31
Abbildung 63 Grundriss des Verwaltungsgebäudes im 2. Obergeschoss mit Eintragung der Öffnungsstellen	32
Abbildung 64 Typische Innenansicht eines Büros	32

Abbildung 65 Typische Innenansicht eines weiteren Büros	32
Abbildung 66 Übersicht zu Öffnungsstelle Ö ₁	33
Abbildung 67 Die Gesamtaufbauhöhe des Fußbodens beträgt 15,5 cm.	33
Abbildung 68 Übersicht zu Öffnungsstelle Ö ₂	34
Abbildung 69 Die Gesamtaufbauhöhe des Fußbodens beträgt 17,5 cm.	34
Abbildung 70 Übersicht zu Öffnungsstelle Ö ₃	34
Abbildung 71 Die Gesamtaufbauhöhe des Fußbodens beträgt 17,5 cm.	34
Abbildung 72 Übersicht zu Öffnungsstelle Ö ₄	34
Abbildung 73 Die Gesamtaufbauhöhe des Fußbodens beträgt 15,5 bis 16 cm.	34
Abbildung 74 Übersicht zu Öffnungsstelle Ö ₅	35
Abbildung 75 Die Gesamtaufbauhöhe des Fußbodens beträgt 17 cm.	35
Abbildung 76 Übersicht zu Öffnungsstelle Ö ₆	35
Abbildung 77 Die Gesamtaufbauhöhe des Fußbodens beträgt 16,5 cm.	35
Abbildung 78 Messungen der Luftströmung bei Ö ₁ mit einem Abstand zwischen Beanspruchung und Bohrloch von 0,1 m	36
Abbildung 79 Messungen der Luftströmung bei Ö ₂ mit einem Abstand zwischen Beanspruchung und Bohrloch von 0,5 m	36
Abbildung 80 Messungen der Luftströmung bei Ö ₃ mit einem Abstand zwischen Beanspruchung und Bohrloch von 0,5 m	36
Abbildung 81 Messungen der Luftströmung bei Ö ₄ mit einem Abstand zwischen Beanspruchung und Bohrloch von 0,1 m	36
Abbildung 82 Raumlufmessungen bei den Öffnungsstellen 1 und 2	37
Abbildung 83 Raumlufmessungen bei Öffnungsstelle 6	37
Abbildung 84 Verschlussene Öffnungsstelle während der Raumlufmessung	37
Abbildung 85 Wieder entnommene Schimmelpilzproben	37
Abbildung 86 Grundriss des Zweifamilienhauses im 1. Obergeschoss mit Eintragung der Öffnungsstellen	38
Abbildung 87 Außenansicht des Zweifamilienhauses	38
Abbildung 88 Innenansicht des Zimmers	38
Abbildung 89 Innenansicht des Schlafzimmers	38
Abbildung 90 Übersicht zu Öffnungsstelle Ö ₁	39
Abbildung 91 Die Gesamtaufbauhöhe des Fußbodens beträgt 6 cm.	39
Abbildung 92 Übersicht zu Öffnungsstelle Ö ₂	39
Abbildung 93 Die Gesamtaufbauhöhe des Fußbodens beträgt 6,5 cm.	39
Abbildung 94 Übersicht zu Öffnungsstelle Ö ₃	40
Abbildung 95 Die Gesamtaufbauhöhe des Fußbodens beträgt 6 cm.	40
Abbildung 96 Übersicht zu Öffnungsstelle Ö ₄	40

Abbildung 97 Die Gesamtaufbauhöhe des Fußbodens beträgt 6 cm.	40
Abbildung 98 Messungen der Luftströmung bei Ö ₁ mit einem Abstand zwischen Beanspruchung und Bohrloch von 0,5 m	41
Abbildung 99 Messungen der Luftströmung bei Ö ₃ mit einem Abstand zwischen Beanspruchung und Bohrloch von 0,1 m	41
Abbildung 100 Raumluftmessung im Schlafzimmer	41
Abbildung 101 Raumluftmessung	41
Abbildung 102 Grundriss des Mehrfamilienhauses im 2. Obergeschoss mit Eintragung der Öffnungsstellen	42
Abbildung 103 Teilaußenansicht des leerstehenden Mehrfamilienhauses	42
Abbildung 104 Typische Innenansicht eines Zimmers	42
Abbildung 105 Übersicht zu Öffnungsstelle Ö ₁	43
Abbildung 106 Die Gesamtaufbauhöhe des Fußbodens beträgt 6,5 cm.	43
Abbildung 107 Übersicht zu Öffnungsstelle Ö ₂	44
Abbildung 108 Die Gesamtaufbauhöhe des Fußbodens beträgt 6,5 cm.	44
Abbildung 109 Übersicht zu Öffnungsstelle Ö ₃	44
Abbildung 110 Die Gesamtaufbauhöhe des Fußbodens beträgt ohne Bodenbelag 5,5 cm.	44
Abbildung 111 Übersicht zu Öffnungsstelle Ö ₄	44
Abbildung 112 Die Gesamtaufbauhöhe des Fußbodens beträgt ohne Bodenbelag 6,5 cm.	44
Abbildung 113 Übersicht zu Öffnungsstelle Ö ₅	45
Abbildung 114 Die Gesamtaufbauhöhe des Fußbodens beträgt 6 cm.	45
Abbildung 115 Übersicht zu Öffnungsstelle Ö ₆	45
Abbildung 116 Die Gesamtaufbauhöhe des Fußbodens beträgt 7 cm.	45
Abbildung 117 Übersicht zu Öffnungsstelle Ö ₇	45
Abbildung 118 Die Gesamtaufbauhöhe des Fußbodens beträgt 6,5 cm.	45
Abbildung 119 Übersicht zu Öffnungsstelle Ö ₈	46
Abbildung 120 Die Gesamtaufbauhöhe des Fußbodens beträgt 7,5 cm.	46
Abbildung 121 Messungen der Luftströmungsgeschwindigkeit bei Ö ₁ mit einem Abstand zwischen der Beanspruchungsstelle durch Ballwurf und Bohrloch von 0,1 m	46
Abbildung 122 Messungen der Luftströmungsgeschwindigkeit bei Ö ₁ mit einem Abstand zwischen Beanspruchung und Bohrloch von 0,1 m nach Springen	46
Abbildung 123 Messungen der Luftströmung bei Ö ₄ mit einem Abstand zwischen Beanspruchung und Bohrloch von 0,1 m nach Ballwurf.	47
Abbildung 124 Messungen der Luftströmung bei Ö ₄ mit einem Abstand zwischen Beanspruchung und Bohrloch von 0,1 m nach Springen.	47
Abbildung 125 Messungen der Luftströmung bei Ö ₇ mit einem Abstand zwischen Beanspruchung und Bohrloch von 0,1 m nach Ballwurf.	47
Abbildung 126 Messungen der Luftströmung bei Ö ₇ mit einem Abstand zwischen Beanspruchung und Bohrloch von 0,1 m nach Springen.	47

Abbildung 127 Messungen der Luftströmung bei Ö ₄ Randfuge mit einem Abstand zwischen Beanspruchung und Bohrloch von ≤ 0,1 m (Ball)	48
Abbildung 128 Messungen der Luftströmung bei Ö ₄ Randfuge mit einem Abstand zwischen Beanspruchung und Bohrloch von ≤ 0,1 m (Ball)	48
Abbildung 129 Messungen der Luftströmung bei Ö ₄ Randfuge mit einem Abstand zwischen Beanspruchung und Bohrloch von 0,5 m (Ball)	48
Abbildung 130 Messungen der Luftströmung bei Ö ₄ Randfuge mit einem Abstand zwischen Beanspruchung und Bohrloch von 0,5 m (Ball)	48
Abbildung 131 Messungen der Luftströmung bei Ö ₄ Randfuge mit einem Abstand zwischen Beanspruchung und Bohrloch von 0,3 m (Ball), mit Abschirmung	48
Abbildung 132 Messungen der Luftströmung bei Ö ₄ Randfuge mit einem Abstand zwischen Beanspruchung und Bohrloch von 0,3 m (Ball), mit Abschirmung	48
Abbildung 133 Schimmelproben in Öffnungsstelle Ö ₂	49
Abbildung 134 Schimmelproben in Öffnungsstelle Ö ₂	49
Abbildung 135 Durchführung der Raumluftmessung	49
Abbildung 136 Für die Raumluftmessung verwendete und anschließend wieder entfernte Schimmelproben	49
Abbildung 137 Grundriss des Versuchshauses mit Eintragung der Öffnungsstellen	50
Abbildung 138 Blick in den Untersuchungsraum „Wohnzimmer“	50
Abbildung 139 Übersicht zu Öffnungsstelle Ö ₁ am Türdurchgang	51
Abbildung 140 Der Gesamtfußbodenaufbau beträgt etwa 8,5 cm.	51
Abbildung 141 Übersicht zu Öffnungsstelle Ö ₂	51
Abbildung 142 Übersicht zu Öffnungsstelle Ö ₃	51
Abbildung 143 Messung der Luftströmung bei Öffnungsstelle Ö ₁ mit einem Abstand von 0,1 m vom Bohrloch (Sprung)	52
Abbildung 144 Messung der Luftströmung bei Öffnungsstelle Ö ₂ mit einem Abstand von 0,1 m vom Bohrloch (Ball)	52
Abbildung 145 Messung der Luftströmung bei Öffnungsstelle Ö ₃ mit einem Abstand von 0,1 m vom Bohrloch (Ball)	52
Abbildung 146 Messung der Luftströmung bei Öffnungsstelle Ö ₃ mit einem Abstand von 0,1 m vom Bohrloch (Sprung)	52
Abbildung 147 Messung der Luftströmung unterhalb des Fensters mit einem Abstand von 0,1 m vom Rand (Ball)	52
Abbildung 148 Messung der Luftströmung unterhalb des Fensters mit einem Abstand von 0,1 m vom Rand (Sprung)	52
Abbildung 149 Messung der Luftströmung in der Raumecke mit einem Abstand von 0,5 m vom Rand (Ball)	53
Abbildung 150 Messung der Luftströmung im Bereich der Ecke mit einem Abstand von 0,5 m vom Rand (Sprung)	53
Abbildung 151 Versuchsaufbau zur Raumluftmessung	53

Abbildung 152 Referenzmessung der Außenluft	53
Abbildung 153 Probe der verwendeten Schimmelart	54
Abbildung 154 Probe der verwendeten Schimmelart	54

13 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Zusammenstellung der gemessenen Luftströmungsgeschwindigkeiten in Fußbodenaufbauten	55
---	----