

13 Biologische Einwirkungen

C. Deininger, Würzburg

E. Danhamer, Mannheim

A. Kolk, Sankt Augustin

I. Warfolomeow, Mainz

13.1 Einführung

Gesundheitliche Probleme wie z. B. Augen-tränen, Nies- und Hustenreiz, Unwohlsein oder auch unangenehme Gerüche werden oftmals mit dem Vorhandensein von Organismen wie z. B. Schimmelpilzen, Bakterien, Milben oder deren Stoffwechsel- und Ausscheidungsprodukten in Verbindung gebracht. Häufig wird dabei eine mikrobiologische Belastung der Raumluft auf den Betrieb von Klimaanlage oder erkennbare oder vermutete Feuchteschäden im Gebäude zurückgeführt und zur Aufklärung der Ursache eine Messung gefordert.

Zur Verbesserung der Arbeitsplatzsituation notwendige Maßnahmen können jedoch oftmals bereits nach einer Begehung des Arbeitsplatzes durch Sachverständige und Beseitigung der Ursachen auch ohne Messungen eingeleitet werden. Ergibt sich dennoch die Notwendigkeit von Messungen, muss eine an die Fragestellung angepasste Messplanung erfolgen.

Dieses Kapitel bündelt den Kenntnisstand der Unfallversicherungsträger zu Ermittlungen im Zusammenhang mit Innenraumproblemen durch „biologische Einwirkungen“. Es werden beispielhafte Empfehlungen zur Vorgehensweise bei der Beurteilung von

Innenraumarbeitsplätzen mit Blick auf das Vorkommen von biologischen Agenzien ausgesprochen. Der Schwerpunkt liegt auf Untersuchungsergebnissen und Erfahrungen aus messtechnischen Ermittlungen bei Feuchteproblemen durch bauliche Mängel und vorangegangene Wasserschäden sowie hygienischen Untersuchungen an raumlufttechnischen Anlagen [1] (siehe hierzu auch Abschnitt 6.2 Raumlufttechnische Anlagen).

13.2 Vorkommen von biologischen Agenzien

Biologische Agenzien kommen überall in der Umwelt vor. Sie gewährleisten als Bestandteil der menschlichen Haut- und Schleimhautflora einen natürlichen Schutz vor Krankheitserregern. Mikroorganismen an Innenraumarbeitsplätzen werden auch vom Menschen selbst, z. B. beim Ausatmen oder beim Abschilfern von Hautschuppen, in die Umgebung abgegeben. Diese natürliche Keimemission, die auch potenziell pathogene Mikroorganismen enthalten kann oder auch die Ausscheidung von pathogenen Mikroorganismen durch kranke Personen, ist jedoch nicht Gegenstand dieser Vorgehensempfehlung. Aufgrund der bislang nicht eindeutig gesicherten wissenschaftlichen Datenlage werden auch keine Ein-

13 Biologische Einwirkungen

wirkungen von mikrobiologischen Stoffwechselprodukten, z. B. MVOCs und Mykotoxine, bzw. Zellbestandteilen wie Endotoxinen berücksichtigt.

Mögliche Ursachen und Quellen für biologische Agenzien an Innenraumarbeitsplätzen sind in Tabelle 33 aufgelistet.

Bei Arbeitsplatzbelastungen durch biologische Einwirkungen in Innenräumen kommt den raumluftechnischen Anlagen (RLT-Anlagen) häufig eine besondere Bedeutung zu. In Tabelle 34 sind mögliche Quellen für biologische Agenzien bei RLT-Anlagen und daraus entstehende hygienische Probleme zusammengefasst. Atemwegserkrankungen treten aufgrund verbesserter Hygienevorschriften für die Wartung von RLT-Anlagen [2] heutzutage nur noch selten auf.

Tabelle 33:
Beispiele für eine mögliche Herkunft von biologischen Agenzien an Innenraumarbeitsplätzen

Ursache/Quelle	Folgen
Außenluft	
Landwirtschaftliche Betriebe, Kompostier-/ Wertstoffsortieranlagen, Abwassertechnische Anlagen in unmittelbarer Nachbarschaft	Eintrag von Mikroorganismen aus der Umwelt z. B. durch freie Lüftung über Fenster, Türen oder die Außenluftansaugung von RLT-Anlagen
Innenraumluf	
unzureichend gepflegte Blumentöpfe, Hydrokulturen; Überlagerung von Biomüll	Besiedlung durch Mikroorganismen (z. B. fauliges Wasser in Blumentöpfen), insbesondere Ansiedlung von Schimmelpilzen
Tauwasserniederschlag aufgrund von Wärmebrücken; Bauschäden z. B. durch Wassereintritt oder aufgrund der Baukonstruktion	bei entsprechender Feuchtigkeit: Besiedlung von Tapeten, Papier, Pappe, Trockenbauwänden, Dämmstoffen, Mauerwerk, Holz, Fugen mit Mikroorganismen, vor allem Schimmelpilzen
unzureichender Abtransport von Feuchtigkeit bei fehlerhafter Lüftung	siehe Tauwasserniederschlag
Verunreinigungen wie z. B. verschüttete Lebensmittel oder Haare, Hautschuppen im Staub	Wachstumsgrundlage für verschiedene Mikroorganismen an Ort und Stelle; siehe Tauwasserniederschlag zusätzlich Besiedlung durch Hausstaubmilben insbesondere von gepolsterten Bürostühlen oder Teppichen

Tabelle 34:
Mögliche Quellen von biologischen Agenzien an Innenraumarbeitsplätzen durch fehlerhaft installierte bzw. betriebene raumlufttechnische Anlagen [2]

Quelle	Folgen
Außenluftansaugung Ansaug- und Umluftfilter fehlen Absperrgitter vor Ansaugöffnung fehlen	Ansaugen von Mikroorganismen und Stäuben aus Quellen in der Umwelt wie z. B. landwirtschaftlichen Betrieben, Anlagen zur Aufbereitung von Abfall oder Abwasser oder zur Kompostierung; Kurzschluss von Nebeln aus Kühltürmen und Rückkühlwerken; Zugang für Tiere, Tierkot in Außenluftleitungen
Fortluftaustritt	Wiederansaugen von belasteter Abluft; Kurzschluss zwischen Außenluft und Fortluft
Luftbefeuchter Abscheidebleche Ventilatoren	Besiedlung des Umlaufwassers mit Mikroorganismen, Bildung von Biofilmen auf geeigneten Oberflächen
Luftkühler Wärmerückgewinner	Besiedlung des Kondenswassers mit Mikroorganismen; Bildung von Biofilmen auf geeigneten Oberflächen
Luftleitungen	Besiedlung von Staubablagerungen und Kondenswasser mit Mikroorganismen
Luftfilter	hoher Staubanfall, Eintrag von Mikroorganismen oder mikrobiellen Bestandteilen in die Raumluft
Wartung und Instandsetzung	Staubfreisetzung, Eintrag von Mikroorganismen oder mikrobiellen Bestandteilen in die Raumluft bei unsachgemäßer Ausführung

13.3 Aufnahme und Wirkung von biologischen Agenzien

Für eine Exposition gegenüber biologischen Agenzien an Innenraumarbeitsplätzen ist vorrangig eine Aufnahme über die Atemwege von Bedeutung. Andere Aufnahmewege werden in diesem Abschnitt nicht berücksichtigt. Aufgrund ihrer geringen Größe können die meisten biologischen Agenzien eingeatmet werden. Dies gilt insbesondere für die

Hauptkomponenten mikrobieller Aerosole wie Luftsporen von Schimmelpilzen und für Bakterienzellen bzw. Bruchstücke der Bakterienzellwand, für die größtenteils auch Lungengängigkeit vorausgesetzt werden kann. In Tabelle 35 (siehe Seite 178) sind die Größenverhältnisse von biologischen Agenzien und verschiedenen Partikeln biologischer Herkunft angegeben, die Bestandteile eines einatembaren Bioaerosols sein können.

13 Biologische Einwirkungen

Tabelle 35:
Größenordnung von möglichen Bioaerosolbestandteilen (nach [3])

Biologischer Partikel	Aerodynamischer Durchmesser in μm
Viren	0,02 bis 0,03
Actinomyceten, Luftsporen	0,5 bis 1,5
Bakterien	0,2 bis 10
Schimmelpilze, Luftsporen	2 bis 8
Moossporen	5 bis 30
Pilzzellen, Pilzfäden	10
Amöben	10 bis 40
Milben, Kot-, Körperpartikel	10 bis 40
Farnsporen	20 bis 60
Pollen	5 bis 250
Mikrobiologische Zellwandbestandteile (z. B. Endotoxine, Glucane)	deutlich kleiner als die jeweiligen Organismen

Zum Vergleich:
Partikel $> 100 \mu\text{m}$ inhalierbar, $> 10 \mu\text{m}$ tracheo-bronchialgängig, $> 4 \mu\text{m}$ alveolengängig (Johannesburger Konvention)

Die Zusammenhänge zwischen dem Vorhandensein biologischer Agenzien an Innenraumarbeitsplätzen und der Entstehung von Erkrankungen sind vielfach noch nicht geklärt.

Nach derzeitigem Kenntnisstand wird jedoch angenommen, dass vor allem Allergiker und Personen mit chronischen Atemwegs- und Hauterkrankungen durch den Aufenthalt in feuchten und/oder schimmelbelasteten Innenräumen gefährdet sind. Von den schimmelpilzassoziierten Gesundheitsstörungen haben allergische Reaktionen und Schleimhautirritationen von Augen und Atemwegen wahrscheinlich die größte Bedeutung [4].

Allergische Wirkungen

Ob ein Mensch eine Allergie entwickelt, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Dies sind

- die allergologische Relevanz, d. h. die Stärke des sensibilisierenden Potenzials des Allergens,
- die individuelle Veranlagung des Menschen,
- die Höhe der Allergenkonzentration in der Atemluft,
- die Dauer und Häufigkeit der Exposition sowie
- zusätzliche verstärkende Bedingungen wie das gleichzeitige Vorkommen von anderen allergenen Substanzen.

Eine Sensibilisierung stellt noch keine Erkrankung dar, bildet aber die Grundlage für die spätere Entwicklung und Ausprägung

einer Allergie. Für die Entstehung einer Sensibilisierung sind in der Regel hohe und länger andauernde Allergenkontakte erforderlich. Bei bereits sensibilisierten Personen können schon geringe Mengen von Allergenen allergische Reaktionen auslösen.

Allergische Wirkungen von Schimmelpilzen und Actinomyceten

Für eine Allergieauslösung in besonderem Maße von Bedeutung sind die Luftsporen von Actinomyceten und Schimmelpilzen. Actinomyceten sind grampositive¹ Bakterien mit „schimmelpilzartigem“ Wachstum, die deshalb auch als „Strahlenpilze“ bezeichnet werden. Nach Feuchteschäden können Baumaterialien ein vielfältiges Spektrum unterschiedlicher Actinomyceten in teilweise hohen Konzentrationen aufweisen [5]. Ihre Luftsporen gelangen aus diesen Materialien jedoch nicht ohne Weiteres in nachweisbaren Konzentrationen in die Innenraumluft.

Die bislang an schimmelpilzbelasteten Innenraumarbeitsplätzen in der Luft gemessenen Allergenmengen sind im Vergleich zu mikrobiell hoch belasteten Arbeitsbereichen wie z. B. in der Landwirtschaft oder Wertstoffsortierung deutlich niedriger. Die Gefahr einer Sensibilisierung kann nicht völlig ausgeschlossen werden ist jedoch eher gering.

Die Häufigkeit von Schimmelpilzallergien lag bei Personen mit Atemwegssymptomen in verschiedenen Studien zwischen 1 und 10 %

und bei Personen mit einer Neigung zu allergischen Überempfindlichkeitsreaktionen (Atopikern) bei bis zu 30 %. Ungefähr 5 % der Bevölkerung sollen gegen Schimmelpilze sensibilisiert sein.

Abgesicherte Ursachen-Wirkungs-Zusammenhänge bei Schimmelpilzbelastungen wurden bislang nur für hoch belastete Arbeitsplätze hinsichtlich Allergien, Infektionen und Atemwegserkrankungen beschrieben. Nach den „Guidelines on Dampness and Mould“ der WHO liegt eine ausreichende Evidenz für einen Zusammenhang zwischen dem Vorhandensein von Schimmelpilzen/Feuchtigkeit im Innenraum und dem Auftreten von Symptomen wie Asthma, bestimmten Atemwegsbeschwerden und respiratorischen Infektionen vor. Das Vorhandensein von übermäßiger Feuchtigkeit und/oder Schimmelpilzen im Innenraum ist demnach als potenzielle Gefährdung anzusehen [6]. Richtwerte für gesundheitlich bedenkliche Schimmelpilzkonzentrationen im Innenraum können aus diesen Erkenntnissen jedoch nicht abgeleitet werden. Es besteht lediglich die Möglichkeit, die Gefährdung der Raumnutzer grob einzustufen, wobei die individuelle Veranlagung der Betroffenen, mit einer Erkrankung zu reagieren, berücksichtigt werden muss – wie z. B. im Falle von Allergikern, Personen mit eingeschränkter Immunabwehr oder Personen mit chronischen Atemwegserkrankungen [7].

¹ Gramfärbung bezeichnet nach dem Namen ihres Erfinders (Hans Christian Gram, 1884) ein bakteriologisches Färbeverfahren. Grampositive Bakterien behalten aufgrund ihrer mehrschichtigen Zellwandstruktur den Farbstoff und erscheinen lichtmikroskopisch blauviolett. Gramnegative Bakterien geben dagegen den Farbstoff aufgrund ihrer nur einschichtigen Zellwandstruktur wieder ab und erscheinen lichtmikroskopisch hellrot.

13 Biologische Einwirkungen

Allergische Wirkungen von Milben

Milben kommen u. a. in Matratzen, Bettzeug und textilen Polstermöbeln vor. Die optimalen Klimabedingungen für die Entwicklung der meisten Milbenarten liegen bei etwa 25 °C Raumtemperatur und circa 70 % relativer Luftfeuchte. Über das Vorkommen von Milbenallergenen an Innenraumarbeitsplätzen liegen derzeit nur wenige Studien vor. Als Ergebnis einer Untersuchung von 14 Büroräumen, in denen die Mitarbeiter über Beschwerden im Sinne eines Sick-Building-Syndroms klagten, schlagen *Janko et al.* eine regelmäßige Reinigung der gepolsterten Bürostühle vor [8]. Um das Vorliegen einer Belastung durch Milbenallergene abzuklären, werden bisher abgelagerte Stäube untersucht. Messverfahren zum Milben-(Allergen)-Nachweis sind in der Literatur beschrieben [9].

Bisher werden Luftproben zur Erfassung einer Belastung durch Allergene am Arbeitsplatz vorrangig mithilfe des Filtrationsverfahrens gewonnen. Ein neu entwickeltes Probenahmeverfahren soll im Rahmen eines Forschungsprojektes des IFA getestet werden [10].

Irritative und toxische Wirkungen

Zu den irritativen bzw. irritativ-toxischen Beschwerdebildern im Zusammenhang mit einer Exposition gegenüber biologischen Agenzien gehört die Mucous Membrane Irritation (MMI) [11]. Sie tritt bei mittleren Schimmelpilzkonzentrationen ($> 10^3$ Sporen /m³ Luft) auf und wird auch im Innenraum beobachtet [4; 10; 12]. Mögliche Symptome der MMI sind unspezifische Reizungen der Schleimhäute der

Augen, z. B. Brennen oder Tränen, der Nase, z. B. Niesreiz, Sekretion und Obstruktion der Nasennebenhöhlen und des Rachens, z. B. Trockenheitsgefühl oder Räuspern.

Infektionen

Das Infektionspotenzial von an Innenraumarbeitsplätzen vorkommenden biologischen Agenzien ist gering. Infektionen mit z. B. Schimmelpilzen treten nur bei einer verschlechterten Abwehrlage bei exponierten Personen auf. Infektionen durch Bakterien an Innenraumarbeitsplätzen sind ebenfalls äußerst selten. Sie werden oftmals mit kontaminierten raumlufttechnischen Anlagen, hier insbesondere mit Legionellen, in Verbindung gebracht. Im Rahmen von Untersuchungen der Unfallversicherungsträger konnten bislang im Befeuchterwasser von RLT-Anlagen keine Legionellen nachgewiesen werden [1].

13.4 Ermittlung und Messverfahren

Um die Notwendigkeit einer aufwendigen mikrobiologischen Untersuchung abzuklären, müssen zunächst die Beschwerden aufgenommen werden. Anschließend sind die Bedingungen im Arbeitsumfeld (Gebäude, Räume, Einrichtung usw.) auf einen möglichen Zusammenhang mit den Beschwerden zu prüfen. Dabei sind Informationen zu erheben, wie sie beispielhaft für Schimmelpilze in dem im Internet verfügbaren speziellen Ermittlungsbogen S10 (www.dguv.de, Webcode d6274) zusammengestellt sind. Im Vorfeld einer solchen Ermittlung sollten in jedem Fall das Arbeitsumfeld erkundet (siehe Ermittlungsbogen G2 in Anhang III) und Fragen zur Gebäudesituation mit dem im Internet verfügbaren

Ermittlungsbogen S2 (www.dguv.de, Webcode d6274) geklärt werden.

Bei vielen Ermittlungen ist aufgrund der vorliegenden Informationen und des visuellen Befunds auch ohne Messung eine abschließende Beurteilung des Falles möglich. Dies gilt insbesondere dann, wenn ein visuell eindeutiger Befund eines Schimmelpilz- oder Feuchteschadens vorliegt und sich daraus ein offensichtlicher Handlungsbedarf ableiten lässt.

In Fällen, in denen eine Begehung nicht ausreicht, um die vorliegenden Verhältnisse zu klären, kann u. a. aus folgenden Gründen eine mikrobiologische Probenahme erforderlich werden:

- wenn Handlungsbedarf aus Gründen der Gesundheitsvorsorge besteht, z. B. um eine notwendige Sanierung anzustoßen,
- in Fällen, in denen die Keimemissionsquellen nicht eindeutig sind, z. B. Kontamination von RLT-Anlagen, oder
- im Rahmen von Berufskrankheiten-Feststellungsverfahren.

Das weitere Vorgehen hängt u. a. davon ab, ob sichtbare Veränderungen im Raum wie z. B. Schimmelpilzbefall oder Wasserränder wahrzunehmen sind, und wird an zwei Fallbeispielen erläutert:

Fallbeispiel 1

Es werden gesundheitliche Beeinträchtigungen im Zusammenhang mit dem Aufenthalt in bestimmten Räumen geäußert. Es liegen keine sichtbaren Veränderungen wie z. B.

Schimmelpilzbefall oder Wasserränder vor; häufig besteht jedoch eine subjektive Geruchswahrnehmung.

In solchen Fällen geht man zunächst dem Geruch nach. Riecht es nach chemischen Substanzen wie z. B. Lösungsmitteln, Farben, Klebern, Gummi, Karton oder frisch behandeltem Holz ist keine mikrobiologische Messung erforderlich. Zur weiteren Ursachenermittlung sei hier auf Kapitel 12 „Chemische Einwirkungen“ verwiesen.

Riecht es dagegen nach Substanzen, die typisch für die Stoffwechselaktivität von Mikroorganismen sind, z. B. modrig, faulig, schimmelig oder alkoholisch-gärend, so sollte man bei einer Ortsbegehung versuchen, die Geruchsquelle zu finden. Möglicherweise liegt ein verdeckter Schaden vor, z. B. hinter Verkleidungen, Einbauschränken, in Doppelböden oder abgehängten Decken. Auch fauliges Wasser in Blumentöpfen kommt als Geruchsquelle infrage.

Findet man trotz intensiver Ermittlungen keine Geruchsquelle und bleibt der Verdacht auf eine Belastung durch biologische Agenzien weiter bestehen, so können orientierende mikrobiologische Messungen veranlasst werden. Dazu können folgende mikrobiologischen Messverfahren herangezogen werden:

- Luftmessung

Ermittlung der Schimmelpilz-Sporenzahl (Partikelsammlung, z. B. mit einem Partikelsammler PS 30, „Holbach-Sammler“) im Vergleich zur Schimmelpilz-Gesamtkoloniezahl (Siebplattenimpaktor, z. B. Microbial Air Sampler MAS) und zu den jeweiligen Referenzwerten in der Außen-

13 Biologische Einwirkungen

luft oder in augenscheinlich unbelasteten Räumen.

Standardisierte Messverfahren für eine Luftprobenahme von Bakterien, Actinomyceten und Schimmelpilzen werden in verschiedenen Quellen beschrieben [13 bis 18].

- Beprobung von Oberflächen

Abklatschproben („Rodac-Platten“) möglichst in Verbindung mit Klebefilmabrisspräparaten im Vergleich zu nicht verdächtigen Flächen.

Weiterhin möglich: Materialfeuchtebestimmung (siehe [19])

Eine Bestimmung der vorkommenden Schimmelpilzarten erfolgt im Rahmen von orientierenden Untersuchungen in der Regel nicht. Aussagen zur individuellen Gesundheitsgefährdung oder zum konkreten Sanierungsbedarf können aus diesen Ergebnissen nicht abgeleitet werden. Sie zeigen lediglich an, ob an dem untersuchten Standort Schimmelpilze vorhanden sind und wenn ja, in welcher Größenordnung.

Fallbeispiel 2

Es liegen sichtbare Verfärbungen wie z. B. Schimmelpilze oder Wasserränder vor, die mit gesundheitlichen Beschwerden bei den Beschäftigten in Zusammenhang gebracht werden.

Ist die Verfärbung der Wand offensichtlich auf eindringende Feuchtigkeit zurückzuführen, sind zur Erhaltung der Bausubstanz erforderliche Gegenmaßnahmen notwendig.

Eine mikrobiologische Messung oder Probenahme ist in solchen Fällen nicht erforderlich. In begründeten Einzelfällen kann mithilfe von Abklatschproben oder durch die Untersuchung einer Materialprobe bestimmt werden, ob es sich bei den Verfärbungen um Schimmelpilze handelt oder auch, welche Schimmelpilzarten vorliegen. Hinweise zum standardisierten Vorgehen bei der Probenahme von Materialproben sind in der Literatur beschrieben [16; 19].

13.5 Beurteilung

Da an Innenraum Arbeitsplätzen keine Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen stattfinden, ist für die Beurteilung der Arbeitsplatzsituation nicht die Biostoffverordnung [20], sondern die Arbeitsstättenverordnung ausschlaggebend [21].

Der Arbeitskreis „Qualitätssicherung – Schimmelpilze in Innenräumen“ am Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg in Stuttgart hat ein umfangreiches Grundsatzpapier zu dieser Thematik erarbeitet [19]. Die Veröffentlichung „Schimmelpilze in Innenräumen – Nachweis, Bewertung, Qualitätsmanagement“ beschreibt verschiedene Probenahmeverfahren und die Beurteilung von Untersuchungsergebnissen solcher Proben aus hygienischer Sicht.

Auch die Kommission Innenraumlufthygiene des Umweltbundesamtes veröffentlichte im Dezember 2002 einen „Schimmelpilz-Leitfaden“, der sich mit der Beurteilung von Schimmelpilzproblematiken in Innenräumen auseinandersetzt [12]. Ob ein sichtbarer Schimmelpilzbefall ein gesundheitliches Risiko für Raumnutzer darstellt, kann demnach nicht allgemeingültig beurteilt werden.

Unter Einbeziehung des Betriebsarztes sollte geklärt werden, ob bei guter Lüftung in solchen Räumen bis zur Sanierung weitergearbeitet werden kann.

Beurteilung von Materialproben bezüglich Schimmelpilzen

Aus langjährigen Untersuchungen des IFA sowie der Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (BGW) und den auf der Bewertung dieser Ergebnisse beruhenden Erfahrungen bei der Beurteilung von Innenraumproblemen im Zusammenhang mit dem Auftreten von Schimmelpilzen wurden die in den Tabellen 36 und 37 wiedergegebenen Vorschläge für Bewertungsschemata aufgestellt [22]. Gesundheitliche

Beschwerden finden in diesem Zusammenhang keine Berücksichtigung.

Bei Sanierungen nach Wasserschäden ohne Ursachenbeseitigung (z. B. Erneuerung von Tapete/Putz, Aufbringen eines fungizidhaltigen Anstrichs o. Ä.) treten nach wenigen Wochen erneut Schimmelpilzgehalte im Baumaterial auf.

Idealerweise sollten bei der Untersuchung von Materialien neben Proben des verdächtigen Materials auch Proben von neuwertigem/unbenutztem Material oder aus vergleichbaren Räumen, in denen entsprechende gesundheitliche Probleme nicht bestehen, untersucht werden. Ergebnisse aus der Untersuchung dieser Vergleichs-

Tabelle 36:
Bewertungsschema für Untersuchungsergebnisse von Materialproben aus Innenräumen [22]

Gesamt-Schimmelpilze in KBE *)/g Material	Bewertung
$< 10^3$	normale Hintergrund- bis geringe Schimmelpilzbelastung, in der Regel keine Feuchteprobleme
10^3 bis 10^5	starke Schimmelpilzbelastung Vorhandensein von Feuchteproblemen/Wasserschäden etc.
10^6 bis 10^8	sehr starke Schimmelpilzbelastung Vorhandensein von Feuchteproblemen/Wasserschäden etc.

*) KBE = Kolonie bildende Einheit

Tabelle 37:
Bewertungsschema für sichtbar mit Schimmelpilz befallene Flächen in Innenräumen [19]

Sichtbar mit Schimmelpilz befallene Flächen	Bewertung
$< 20 \text{ cm}^2$	geringfügiger Schaden
$< 0,5 \text{ m}^2$	mittlerer Schaden
$> 0,5 \text{ m}^2$	großer Schaden

13 Biologische Einwirkungen

proben dienen dann als Beurteilungsgrundlage (Referenz) für die zu bewertenden Materialien.

Mit Klebefilmabrisspräparaten kann man einen aktiven Pilzbefall von sogenannten Aufflugsporen auf Flächen unterscheiden und damit auf einen akuten Schimmelpilzbefall hinweisen. Dies ist mit Abklatschuntersuchungen nicht möglich.

In die Bewertung sollten weiterhin die Artenspektren der Schimmelpilze aus den verschiedenen Materialproben einbezogen werden, da so beispielsweise Aussagen über das Vorhandensein von Feuchteschäden getroffen werden können. Schimmelpilzarten, die für eine sehr hohe Materialfeuchte charakteristisch sind, oder Schimmelpilzarten mit erhöhtem pathogenem Potenzial müssen bei der Bewertung einer Innenraumsituation besonders berücksichtigt werden. Als Schimmelpilze mit hohem Zeigerwert für Feuchteschäden in Innenräumen werden beispielsweise die nachfolgend aufgeführten Gattungen und Arten beschrieben [19]:

- *Acremonium spp.*
- *Aspergillus penicillioides*
- *Aspergillus restrictus*
- *Aspergillus versicolor*
- *Chaetomium spp.*
- *Phialophora spp.*
- *Scopulariopsis brevicaulis/fusca*
- *Stachybotrys chartarum*

- *Tritirachium album* und
- *Trichoderma spp.*

Weitere Schimmelpilzarten, die im Zusammenhang mit Feuchteschäden in Innenräumen besonders häufig auftreten, sind z. B. *Penicillium chrysogenum* und *Cladosporium sphaerospermum*.

Beurteilung des Vorkommens von Schimmelpilzen in Luftproben

Biologische Agenzien, die an Innenraumarbeitsplätzen in Konzentrationen auftreten, die mehr als eine Zehnerpotenz die natürliche Hintergrundbelastung überschreiten, d. h. über dem Mikroorganismengehalt der Außenluft oder eines als Referenz geeigneten vergleichbaren Innenraumes liegen, sind als Hinweis auf eine mögliche Belastung zu bewerten.

Während der Nachweis einer hohen Anzahl von einschlägigen Schimmelpilzarten in Materialproben aus Innenräumen ein deutlicher Hinweis auf Feuchteschäden ist, muss im Falle von Luftproben eine besondere Prüfung der Schimmelpilzquellen erfolgen, da die Pilzsporen in der Luft diffus verteilt sind und aus verschiedenen Quellen stammen können.

Mit der Sporensammlung können auch solche Schimmelpilzsporen erfasst werden, die im Labor nicht kultivierbar sind und deshalb bei der Koloniezahlbestimmung nicht nachgewiesen werden können.

Die Bestimmung der Sporenkonzentration und der Gesamtkoloniezahl in der Luft kann immer nur den momentanen Zustand zum

Zeitpunkt der Messung abbilden. Schimmelpilze geben ihre Sporen jedoch nicht gleichmäßig in die Raumluft ab, d. h., die Messergebnisse können eine Schimmelpilzexposition in der Raumluft sowohl unter- als auch überschätzen.

In Deutschland existieren derzeit keine verbindlichen Grenzwerte oder Richtkonzentrationen zur Beurteilung der Luft an Innenraumarbeitsplätzen hinsichtlich biologischer Messgrößen. Zur Charakterisierung der mikrobiellen Belastung der Luft in Innenräumen wird empfohlen, die Kriterien „Referenzaußenluftwert“ und „Normale Innenraumluftbelastung“ heranzuziehen. Nach Absatz 3.6 „Lüftung“ im Anhang der Arbeitsstättenverordnung [21] ist *„in Arbeitsbereichen ausreichend gesundheitlich zuträgliche Atemluft zu gewährleisten“*. Dies ist in Räumen mit offensichtlichem Schimmelpilzbefall nicht sichergestellt, da eine Freisetzung von Schimmelpilzsporen und somit eine inhalative Belastung der Atemluft durch Schimmelpilze nicht ausgeschlossen werden kann. Auch Messergebnisse von Luftproben mit negativen Befunden dürfen nicht darüber hinwegtäuschen, dass jederzeit ein Sporenflug erfolgen kann.

In Tabelle 38 (siehe Seite 186) sind die bei betrieblichen Messungen der Unfallversicherungsträger und des IFA in der Außenluft gemessenen Mikroorganismenkonzentrationen für eine allgemeine Orientierung dargestellt.

In der wärmeren Jahreszeit kann durch stärkeren Schimmelpilzsporenflug die Konzentration in der Außenluft und damit auch in der Innenraumluft höhere Werte annehmen, wenn zur freien Lüftung die Fenster und/oder Türen geöffnet werden. So sind Werte im Bereich von mehreren Tausend KBE an Schimmelpilzen pro m³ Außenluft in diesen Monaten keine Besonderheit (vgl. auch [16]).

Besteht die Vermutung, dass externe Quellen eine Schimmelpilzquelle im Innenraum (z. B. Außenluft oder Eintrag aus einem anderen Betriebsbereich) überlagern, so kann der Vergleich der Artenspektren in den jeweiligen Luftproben dies ggf. klären.

Tabelle 39 (siehe Seite 187) enthält den Vorschlag eines Bewertungsschemas für Ergebnisse von Schimmelpilzmessungen in der Innenraumluft [22].

Weitere Vorschläge für Bewertungsschemata enthalten die Leitfäden des LGA Stuttgart und des Umweltbundesamtes [12; 19; 24; 25].

13 Biologische Einwirkungen

Tabelle 38:
Konzentrationen von Schimmelpilzen und Bakterien in der Außenluft [23]

Monat	Anzahl aus- gewerteter Ergebnisse	Minimum	Arithmetischer Mittelwert	Median	Maximum
Schimmelpilze in KBE/m³					
Januar	54	4	195	188	1 286
Februar	60	28	314	132	3 457
März	59	10	551	157	17 571
April	57	4	812	809	25 715
Mai	51	4	2 201	1 005	28 571
Juni	59	26	1 715	2 429	10 512
Juli	79	316	4 189	2 243	26 280
August	59	328	3 208	937	26 280
September	58	1	1 330	850	10 000
Oktober	86	143	1 244	372	10 512
November	40	57	646	471	3 500
Dezember	3	202	436	188	634
Bakterien in KBE/m³					
Januar	25	4	232	57	2 886
Februar	15	28	367	71	3 571
März	26	10	178	61	945
April	29	4	98	43	630
Mai	9	4	804	1 115	1 555
Juni	19	28	198	154	943
Juli	25	33	268	143	1 055
August	18	57	429	229	2 985
September	20	28	565	157	8 000
Oktober	20	30	229	123	1 429
November	10	30	158	150	339

Tabelle 39:
Bewertungsschema für Ergebnisse mikrobiologischer Luftmessungen in Innenräumen [22]

Bestimmungsparameter in KBE/m ³ Luft	Bewertungskriterium	Ergebnis der Bewertung
Gesamtschimmelpilze und/oder Schimmelpilzarten-spektrum	Innenraumlufte weist signifikant höheren Schimmelpilzsporengehalt auf als Außenluft und/oder signifikant unterschiedliche Artenspektren in Innenraumlufte und Außenluft *)	Hinweis auf eine Schimmelpilzbelastung im Raum
Vorkommen spezieller Zeigerarten (siehe oben)	Vorhandensein solcher Arten	Hinweis auf Feuchteproblematik
Vorkommen pathogener Arten	Vorhandensein solcher Arten	aus allgemeinen hygienischen Gründen nicht akzeptabel

*) Bezüglich typischer Außenluft-Spezies wie z. B. *Cladosporium* sind bei Werten dieser Gattung in der Innenraumlufte, die beim 1,5-Fachen der Außenluft liegen, Innenraumquellen nicht auszuschließen, und bei Werten, die beim 2-Fachen der Außenluft liegen, Innenraumquellen wahrscheinlich zu machen [19]

13.6 Präventions- und Sanierungsmaßnahmen

„Schimmel am Gebäude stellt einen Mangel dar, auch wenn er die Gesundheit nicht konkret gefährdet“ lautet ein Grundsatzurteil des Bundesgerichtshofs [26].

Neben den in diesem Kapitel aufgezeigten Aspekten finden sich in verschiedenen Quellen weitere allgemeine Hinweise und Empfehlungen für Präventions- und Sanierungsmaßnahmen, um Gefährdungen durch Schimmelpilze in Innenräumen zu vermeiden [12; 19; 24; 25; 27].

Bei großflächigen, komplizierten und/oder immer wiederkehrenden Schäden durch Schimmelpilzbefall sollte ein qualifizierter Bausachverständiger hinzugezogen werden.

Im Rahmen der Sanierung können mehrere Gewerke betroffen sein. So nützt das Ausbessern einer Wand mit Wasserschaden wenig, wenn der zugrunde liegende Schaden, z. B. ein undichtes Dach, eine defekte Wasserleitung oder eine Wärmebrücke, nicht vorab beseitigt wird.

Das größte Risiko, mit Schimmelpilzen von entsprechend belasteten Baumaterialien in Kontakt zu kommen, besteht für die mit der Sanierung der Flächen beauftragten Personen. Umfangreiche Informationen zur Gesundheitsgefährdung durch biologische Arbeitsstoffe bei der Gebäudesanierung und zu Schutzmaßnahmen, die eine entsprechende Belastung der Beschäftigten verhindern sollen, können der BGI 858 entnommen werden [28].

13 Biologische Einwirkungen

13.7 Literatur

- [1] *Pohl, K.; Kolk, A.; Arnold, E.; Raulf-Heimsoth, M.*: Endotoxine und Bakterien im Befeuchterwasser von Raumlufttechnischen Anlagen in Büroräumen. *Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft* 67 (2007) Nr. 5, S. 215-219
- [2] VDI 6022-1: Raumlufttechnik, Raumluftqualität – Blatt 1: Hygieneanforderungen an Raumlufttechnische Anlagen und Geräte (VDI-Lüftungsregeln) (07.11). Beuth, Berlin 2011
- [3] *Linsel, G.*: Bioaerosole – Entstehung und biologische Wirkungen. In: Tagungsband Sicherer Umgang mit biologischen Arbeitsstoffen und Zytostatika. Braunschweig, 12. bis 13. März 2001
- [4] Empfehlung des Robert Koch-Instituts: Schimmelpilzbelastung in Innenräumen – Befunderhebung, gesundheitliche Bewertung und Maßnahmen. *Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch. Gesundheitsschutz* 50 (2007) Nr. 10, S. 1308-1323
- [5] *Szewzyk, R.*: Schimmelpilze sind nicht die einzigen Übeltäter bei Feuchteschäden in Wohnungen. *Telegramm: umwelt + gesundheit* 2 (2009). Hrsg.: Umweltbundesamt (UBA), Dessau-Roßlau 2009 www.umweltbundesamt.de/gesundheit/telegramm/Ausgabe02-2009.pdf
- [6] WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould. Hrsg.: World Health Organization (WHO), Kopenhagen 2009
- [7] *Gabrio, T.; Schmolz, G.; Szewzyk, R.*: Schimmelpilze und schwere Grunderkrankungen – welches Risiko ist damit verbunden? *Umweltmed. Forsch. Prax.* 15 (2010) Nr. 2, S. 69-70
- [8] *Janko, M.; Gould, D.; Vance, L.; Stengel, C.; Flack, J.*: Dust mite allergens in the office environment. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 56 (1995) Nr. 11, S. 1133-1140
- [9] *Virtanen, T.I.; Mäntijärvi, R.A.*: Airborne allergens and their quantification and effect on the development of allergy in occupational environments. *Appl. Occup. Environ. Hyg.* 9 (1994) Nr. 1, S. 65-70
- [10] *Stephan, U.; Putz, S.*: Probenahme und Quantifizierung von antigenen und allergenen Schimmelpilzproteinen in der Luft. *Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft* 72 (2012) Nr. 6, S. 274-281
- [11] *Herr, C.E.W.; Eikmann, T.; Heinzow, B.; Wiesmüller, G.A.*: Umweltmedizinische Relevanz von Schimmelpilzen im Lebensumfeld. *Umweltmed. Forsch. Prax.* 15 (2010) Nr. 2, S. 76-83
- [12] Leitfaden zur Vorbeugung, Untersuchung, Bewertung und Sanierung von Schimmelpilzwachstum in Innenräumen („Schimmelpilz-Leitfaden“). Hrsg.: Umweltbundesamt (UBA), Innenraumlufthygienekommission, Berlin 2002

- [13] *Kolk, A.*: Verfahren zur Bestimmung der Bakterienkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz (Kennzahl 9430). In: IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. 32. Lfg. IV/04. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin. Erich Schmidt, Berlin – Losebl.-Ausg. 1989
www.ifa-arbeitsmappedigital.de/9430
- [14] Verfahren zur Bestimmung der Aktinomyzetenkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz (Filtration). KAN-Bericht 13. 2. Aufl. Hrsg.: Kommission Arbeitsschutz und Normung (KAN), Sankt Augustin 1999
www.kan.de/de/publikationen/kan-berichte.html
- [15] *Kolk, A.*: Verfahren zur Bestimmung der Schimmelpilzkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz (Kennzahl 9420). In: IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. 30. Lfg. 4/03. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin. Erich Schmidt, Berlin – Losebl.-Ausg. 1989
www.ifa-arbeitsmappedigital.de/9420
- [16] VDI 4300-10: Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Blatt 10: Messstrategie zum Nachweis von Schimmelpilzen im Innenraum (07.08). Beuth, Berlin 2008
- [17] DIN ISO 16000-16: Innenraumluftverunreinigungen – Teil 16: Nachweis und Auszählung von Schimmelpilzen – Probenahme durch Filtration (12.09), Beuth, Berlin 2009
- [18] DIN ISO 16000-18: Innenraumluftverunreinigungen – Teil 18: Nachweis und Zählung von Schimmelpilzen – Probenahme durch Impaktion (01.12). Beuth, Berlin 2012
- [19] Schimmelpilze in Innenräumen – Nachweis, Bewertung, Qualitätsmanagement. Hrsg.: Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg, Stuttgart 2004
- [20] Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen (Biostoffverordnung – BioStoffV) vom 27. Januar 1999. BGBl. I (1999), S. 50-60; zul. geänd. BGBl. I (2008), S. 2768
- [21] Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV) vom 12. August 2004. BGBl. I (2004), S. 2179-2189; zul. geändert BGBl. I (2010), S. 960-967
- [22] *Deininger, C.*: Schimmelpilzproblematik in Innenräumen von Mitgliedsbetrieben der BGW. Schriftliche Arbeit als Teil der Prüfung zur Aufsichtsperson. BGW Präventionsdienste Würzburg Oktober 2001
- [23] *Kolk, A.; Van Gelder, R.; Schneider, G.; Gabriel, S.*: Mikrobiologische Hintergrundwerte in der Außenluft – Auswertung der BGIA-Expositionsdatenbank MEGA. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 69 (2009) Nr. 4, S. 130-136
- [24] Handlungsempfehlung für die Sanierung von mit Schimmelpilzen befallenen Innenräumen. Hrsg.: Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg, Stuttgart 2006

13 Biologische Einwirkungen

- [25] Leitfaden zur Ursachensuche und Sanierung bei Schimmelpilzwachstum in Innenräumen („Schimmelpilzsanierungsleitfaden“). Hrsg.: Umweltbundesamt (UBA), Innenraumlufthygienekommission, Berlin 2005
- [26] Grundsatzurteil Bundesgerichtshof Az. VII ZR 274/04 (06/2006)
- [27] *Bieberstein, H.*: Schimmelpilz in Wohnräumen – Was tun? Bieberstein, Radebeul 2009
- [28] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Handlungsanleitung Gesundheitsgefährdungen durch biologische Arbeitsstoffe bei der Gebäudesanierung (BGI 858). Carl Heymanns, Köln 2006