

3 Spezialmodule

3.6 Biologische Einwirkungen

C. Deininger, Würzburg
S. Duggal, Mannheim
A. Kolk, Sankt Augustin
I. Warfolomeow, Mainz

3.6.1 Allgemeines

3.6.1.1 Einführung

Biologische Agenzien wie z.B. Schimmelpilze, Bakterien, Viren, Milben u.a. werden oftmals mit dem Auftreten von gesundheitlichen Beschwerden an Innenraumarbeitsplätzen in Verbindung gebracht. Im Vordergrund stehen dabei Klagen über mikrobielle Belastungen der Raumluft z.B. durch Klimaanlagen oder im Zusammenhang mit Feuchteschäden im Gebäude. Vermutungen über das Vorhandensein gesundheitlich relevanter biologischer Agenzien werden meist aufgrund von diffusen Beschwerden, z.B. Augentränen, Niesreiz, Hustenreiz, konkreten medizinischen Befunden, z.B. Schimmelpilzallergie, Geruchswahrnehmungen, allgemeinen Beobachtungen, z.B. Wasserschaden, oder Informationen aus Pressemeldungen geäußert.

Zur Problembeseitigung und Verbesserung der Arbeitsplatzsituation notwendige Maßnahmen können oftmals nach Begehung durch Sachverständige auch ohne Durchführung von Messungen eingeleitet werden.

Ergibt sich dennoch die Notwendigkeit von Messungen, muss eine an die Fragestellung angepasste Messplanung erfolgen.

Der vorliegende Abschnitt bündelt den Kenntnisstand der gewerblichen Berufsgenossenschaften zu Ermittlungen im Zusammenhang mit Innenraumluftproblemen durch „biologische Einwirkungen“. Im Vordergrund stehen dabei vor allem Untersuchungsergebnisse und Erfahrungen aus zahlreichen messtechnischen Ermittlungen bei Feuchteproblemen durch bauliche Mängel und vorangegangene Wasserschäden sowie hygienische Untersuchungen an raumlufttechnischen Anlagen (RLT-Anlagen) [1] (siehe hierzu auch Abschnitt 3.2.2 „Raumlufttechnische Anlagen“).

Empfehlungen zur Vorgehensweise bei der Beurteilung von Innenraumarbeitsplätzen mit Blick auf das Vorkommen von biologischen Agenzien werden gegeben. Sie erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Publikationen aus dem Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg [2] und dem Umweltbundesamt [3], die sich mit vergleichbaren Fragestellungen beschäftigen, wurden bei der Erarbeitung dieses Kapitels berücksichtigt.

3.6.1.2 Vorkommen und Wirkung

Vorkommen

Biologische Agenzien kommen überall in der Umwelt vor. In nützlicher Funktion sorgen Mikroorganismen als Mineralisierer der organischen Substanz für die Erhaltung der Stoffkreisläufe in der Natur. Weiterhin dienen sie dem Menschen als Stoffproduzenten, z.B. bei der Herstellung verschiedener Lebensmittel oder der großtechnischen Produktion von Medikamenten. Darüber hinaus gewährleisten sie als Bestandteil der menschlichen Haut- und Schleimhautflora einen natürlichen Schutz vor Krankheitserregern. Daraus kann abgeleitet werden, dass Mikroorganismen am Innenraumarbeitsplatz auch vom Menschen selbst, z.B. beim Ausatmen oder beim Abschilfern von Hautschuppen, in die Umgebung abgegeben werden können.

Diese natürliche Keimemission ist ebenso wie die Ausscheidung von pathogenen Mikroorganismen und Viren durch kranke Personen nicht Gegenstand dieses Ermittlungskataloges. In solchen Fällen ist durch geeignete Maßnahmen z.B. durch Frischluftzufuhr für eine gesundheitlich zuträgliche Atemluft zu sorgen [4].

Das Vorkommen von biologischen Agenzien oder deren Zellbestandteilen und Stoffwechselprodukten, z.B. Endotoxine, Glucane und

Mykotoxine, an Innenraumarbeitsplätzen kann verschiedene Ursachen haben. Mögliche Keimquellen an Innenraumarbeitsplätzen sind in Tabelle 44 (siehe Seite 250) aufgelistet.

Häufig kommt insbesondere bei Klagen über mikrobielle Arbeitsplatzbelastungen in Innenräumen den raumluftechnischen Anlagen eine besondere Bedeutung zu. In Tabelle 45 (siehe Seite 251) sind mögliche hygienische Probleme im Zusammenhang mit solchen Anlagen zusammengefasst (siehe hierzu auch Abschnitt 3.2.2).

Wirkung

Für eine Exposition gegenüber biologischen Agenzien am Innenraumarbeitsplatz 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 sowie deren Zerfallsprodukte, für die größtenteils auch Lungengängigkeit vorausgesetzt werden kann. Partikelfractionen kleiner 100 µm sind einatembar, kleiner 10 µm thoraxgänglich und kleiner 5 µm alveolengänglich. In Tabelle 46 (Seite 252)

3 Spezialmodule

Tabelle 44:
Vorkommen von biologischen Agenzien an Innenraumarbeitsplätzen

Quelle	Folgen
<i>Außenluft</i>	
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 Frischluftansaugung von RLT-Anlagen (siehe auch Tabelle 45)
<i>Innenraumluft</i>	
Mensch	Abgabe von Mikroorganismen oder Viren durch Personen beim Ausatmen oder beim Abschilfern von Hautschuppen
Blumentöpfe, Hydrokulturen, Biomüll	Besiedlung durch Mikroorganismen insbesondere Schimmelpilze z.B. <i>Aspergillus fumigatus</i>
Tapeten, Trennwände, Oberflächen	Organische Materialien (z.B. Papier, Holz, Wolle) aber auch Verunreinigungen durch verschüttete Lebensmittel, Haare und Hautschuppen im Staub können die Wachstumsgrundlage für Mikroorganismen darstellen.
Gepolsterte Bürostühle, Teppiche	Siehe Tapeten, Trennwände, Oberflächen zusätzlich Besiedlung durch Hausstaubmilben
Tauwasserniederschlag aufgrund von Wärmebrücken; Bauschäden z.B. durch Wassereintrich oder aufgrund der Baukonstruktion	Besiedlung von Oberflächen (Tapeten, Mauerwerk, Holz, Fugen) vor allem durch Schimmelpilze
Falsches Lüftungsverhalten, unzureichender Abtransport von Feuchtigkeit	Siehe Tauwasserniederschlag

Tabelle 45:
Mögliche Keimquellen an Innenraumarbeitsplätzen durch raumlufttechnische Anlagen [5; 6]

Keimquelle	Folgen
<p>Außenluftansaugung</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Ansaug- und Umluftfilter fehlen <input type="checkbox"/> Absperrgitter vor Ansaugöffnung fehlen 	<p>Ansaugen von Mikroorganismen und Stäuben aus Keimquellen in der Umwelt oder benachbarten Anlagen z.B. landwirtschaftlichen Betrieben, Abfall-, Kompostier- oder Abwassertechnischen Anlagen; Kurzschluss von Nebeln aus Kühltürmen und Rückkühlwerken; Vogelkot in Außenluftleitungen, Zugang für Tiere</p>
Fortluftaustritt	<p>Wiederansaugen belasteter Abluft; Kurzschluss zwischen Außenluft und Fortluft</p>
Luftbefeuchter Abscheidebleche Ventilatoren	<p>Besiedlung des Umlaufwassers mit Mikroorganismen, Bildung von Biofilmen</p>
Luftkühler Wärmerückgewinner	<p>Besiedlung des Kondenswassers mit Mikroorganismen; Bildung von Biofilmen</p>
Luftleitungen	<p>Besiedlung von Staubablagerungen und Kondenswasser mit Mikroorganismen</p>
<p>Luftfilter</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> fehlende zweite Filterstufe nach der Luftbehandlungseinheit; <input type="checkbox"/> fehlender endständiger Filter bzw. falsche Filterklasse (kein Schwebstofffilter vorhanden) 	<p>Hoher Staubanfall, bei ausreichender Durchfeuchtung: Besiedlung und Durchwachsen von Filtermaterialien durch Mikroorganismen; Eintrag von Mikroorganismen oder deren Zerfallsprodukten (Endotoxine, Allergene) in die Raumluft</p>

3 Spezialmodule

Mikroorganismen können auf drei verschiedene Arten pathogen wirken. Obwohl die Zusammenhänge zwischen dem Vorhandensein biologischer Agenzien an Innenraumarbeitsplätzen und der Entstehung von Erkrankungen vielfach noch nicht geklärt sind, darf angenommen werden, dass hier insbesondere die allergischen Erkrankungen eine Rolle spielen, während toxische oder infektiöse Wirkungen nicht von Bedeutung sind. Die hierzu gemachten Aussagen haben daher lediglich informativen Charakter.

sind die Größenbereiche von Mikroorganismen wiedergegeben.

Allergische Erkrankungen

Für eine Allergieauslösung in besonderem Maße von Bedeutung sind die Luftsporen von Schimmelpilzen und Aktinomyzeten. Aktinomyzeten sind grampositive Bakterien mit mycelartigem Wachstum, die deshalb auch als „Strahlenpilze“ bezeichnet werden.

Tabelle 46:
Größenordnung von biologischen Partikeln (nach [7])

Biologischer Partikel	Aerodynamischer Durchmesser in μm
Viren	0,02 bis 0,03
Aktinomyzeten, Luftsporen	0,5 bis 1,5
Bakterien	0,2 bis 10
Schimmelpilze, Luftsporen	2 bis 8
Moosporen	5 bis 30
Pilzzellen, Pilzfäden	10
Amoeben	10 bis 40
Milben: Kot-, Körperpartikel	10 bis 40
Farnsporen	20 bis 60
Pollen	5 bis 250
Mikrobielle Zerfallsprodukte (z.B. Endotoxine)	deutlich kleiner als die jeweiligen Organismen

Grundsätzlich ist die Mehrzahl der Schimmelpilzarten auch in Innenräumen als Träger potenzieller Allergene (Glykoproteine) anzusehen. Betroffen sind hiervon vorrangig Atopiker, d.h. Personen, die zu Allergien neigen. Bei entsprechend langer Exposition gegenüber großen Mengen an Mikroorganismen können auch allergisch nicht prädisponierte Personen sensibilisiert werden. Diese Situation ist jedoch für Innenraum-arbeitsplätze in der Regel nicht anzunehmen.

Die erstmalige Sensibilisierung gegenüber einer Allergie auslösenden Substanz erfordert meist größere Mengen des biologischen Agens, wohingegen für das spätere Auslösen allergischer Symptome sehr viel niedrigere Konzentrationen ausreichen. Ob ein Mensch eine Allergie entwickelt, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Dies sind z.B. die

- ❑ individuelle Veranlagung des Menschen,
- ❑ Höhe der Allergenkonzentration in der Atemluft,
- ❑ Dauer und Häufigkeit der Exposition sowie
- ❑ verstärkende Bedingungen, z.B. gleichzeitiges Vorkommen von Gefahrstoffen.

Immunologisch werden verschiedene Typen von mikrobiell ausgelösten Allergien unterschieden:

- ❑ Bei der Typ-I-Allergie (Allergie vom Sofort-Typ) treten allergische Reaktionen innerhalb der ersten Stunde nach Allergenkontakt auf und können Nase (Rhinitis), Auge (Konjunktivitis), Haut (Urtikaria) und Lunge (Asthma bronchiale) betreffen.
- ❑ Bei der Typ-III-Allergie (Allergie vom verzögerten Typ) treten hingegen die Symptome erst einige Stunden nach Allergenkontakt auf. Hierzu zählt die exogen-allergische Alveolitis (EAA), die durch wiederholte Exposition gegenüber sehr hohen Konzentrationen an Luftkeimen ($> 10^6$ Keime/ m^3 Luft) verursacht wird und zu dauerhaften Schädigungen der Lungenfunktion führen kann. Ein Beispiel hierfür ist die so genannte Befeuchter-lunge, die bei Beschäftigten in luft-befeuchteten Arbeitsbereichen in Druckereien beschrieben wurde [8]. In diesen Fällen konnte ein Zusammenhang zwischen der mikrobiellen Belastung der eingesetzten Luftbefeuchter, der Belastung der Atemluft mit Mikroorganismen und der Entwicklung allergischer Atemwegserkrankungen aufgezeigt werden.

Für die Auslösung von Allergien im häuslichen Bereich spielen neben den bereits erwähnten Schimmelpilzen und Aktinomyzeten auch Tierhaare und Milben eine Rolle.

3 Spezialmodule

Im Bürobereich sind Tierhaare in der Regel nur dann von Bedeutung, wenn sie vom Wohnbereich in den Arbeitsbereich eingeschleppt werden. Sie werden daher in diesem Kapitel nicht weiter berücksichtigt.

Dies gilt auch für pflanzliche Sporen oder Pollen, die mit der Außenluft in Büroräume eingetragen werden (bei freier Lüftung über geöffnete Fenster und Türen oder mit der Frischluftansaugung raumlufttechnischer Anlagen bei unzureichender Filterung) oder auch von in Büroräumen befindlichen Pflanzen (Blumensträuße, Zimmerpflanzen) an die Raumluft abgegeben werden können. Auch diese potenziellen Allergene werden im vorliegenden Kapitel nicht berücksichtigt.

Die eigentlichen Allergene von Hausstaubmilben befinden sich im Kot der Milben. Sobald dieser feinst verteilt in die Luft überführt wird, kann er eingeatmet werden. Die optimalen Klimabedingungen für die Entwicklung der meisten Milbenarten liegen bei etwa 25 °C Raumtemperatur und circa 70 % relativer Luftfeuchte. Im Wohnbereich sind Milben hauptsächlich in Matratzen, Bettzeug und textilen Polstermöbeln enthalten. In Teppichböden wurden Milbenallergene hingegen nur selten nachgewiesen.

Über das Vorkommen von Milbenallergenen am Innenraumarbeitsplatz 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 [9].

Toxische Wirkungen

□ Endotoxine

Beim Absterben von gramnegativen Bakterien gelangen Bestandteile ihrer äußeren Membran, die so genannten Endotoxine (Lipopolysaccharide), in die Umgebungsluft [10]. Die Inhalation großer Mengen von Bakterien bzw. solcher Endotoxine führt unter Umständen zu einem Krankheitsbild mit grippeähnlichen Symptomen wie akute Fieberreaktionen, Schüttelfrost, Kopfschmerzen, Muskel- und Gelenksbeschwerden, Atemlosigkeit, Beklemmungsgefühl oder chronischem Husten (trocken oder mit Auswurf).

Ein Beispiel für dieses so genannte organic dust toxic syndrome (ODTS) ist das Befeuchterfieber. Neueren Untersuchungen zufolge werden z.B. auch Glucane als Zellwandbestandteile von Schimmelpilzen mit dem ODTS in Zusammenhang gebracht.

In der Literatur wird für das ODTS der Begriff „toxische Alveolitis“ vorgeschlagen. Damit soll zum einen dem vielfältigen Spektrum reaktionsauslösender Agenzien, wie z.B. Endotoxine, Glucane, anorganische Substanzen, Rechnung getragen und zum anderen das Krankheitssyndrom vom Begriff der exogen-allergischen Alveolitis abgegrenzt werden.

Mit Blick auf eine inhalative Aufnahme existieren derzeit keine gesicherten Erkenntnisse über etwaige Risiken, da Mykotoxine bisher nicht mit standardisierten Verfahren in der Luft nachgewiesen werden können und nicht geklärt ist, ob inhalativ aufgenommene Mykotoxine in den Organismus gelangen und dort schädigend wirken.

□ Mykotoxine

Einige Arten von Schimmelpilzen können im Rahmen ihres Sekundärstoffwechsels so genannte Mykotoxine produzieren. Nach Wasserschäden in Gebäuden wurden wiederholt als Mykotoxinproduzenten bekannte Schimmelpilzarten, wie z.B. *Aspergillus versicolor* (Sterigmatotoxin) und *Stachybotrys chartarum* (synonym *Stachybotrys atra*, Trichothecene) identifiziert. Insbesondere die zuletzt genannte Art wird in der Literatur häufig mit dem Auftreten von Krankheitssymptomen in Verbindung gebracht [11].

Die Symptome nach Mykotoxinaufnahme durch den Verzehr kontaminierter Lebensmittel reichen von Atemwegsbeschwerden, Kopfschmerzen und Durchfall bis hin zu neurotoxischen, systemischen und kanzerogenen Wirkungen.

□ Microbial volatile organic compounds (MVOC)

Flüchtige organische Kohlenwasserstoffe im Innenraumbereich können aus unterschiedlichen Quellen stammen. Bestimmte Komponenten können beispielsweise – wie in Abschnitt 3.5 „Chemische Einwirkungen“ eingehend beschrieben – von Bodenbelägen, Spanplatten und Farben an die Luft abgegeben werden (VOC, volatile organic compounds).

Mikroorganismen, insbesondere Schimmelpilze und Aktinomyzeten, können unter bestimmten Bedingungen ebenfalls leicht flüchtige Substanzen bilden. Diese werden als „leicht flüchtige organische Substanzen mikrobieller Herkunft“ (MVOC) bezeichnet. Mit Blick auf ihre chemische Struktur besteht zwischen VOC und MVOC kein Unterschied. Nachgewiesen werden vor allem höhere Alkohole und Ketone wie z.B.

3 Spezialmodule

1-Octen-3-ol und 3-Octanon. Daher kann nicht zwangsläufig auf den Ursprung der VOC zurückgeschlossen werden. In höheren Konzentrationen weisen einige VOC eine toxische Wirkung auf.

Die niedrigen Konzentrationen an so genannten MVOC bzw. VOC mikrobiellen Ursprungs, die in der Regel in Innenräumen gemessen werden, sind jedoch mit großer Wahrscheinlichkeit zu gering, um zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen zu können [12]. Die Bestimmung von VOC kann im Einzelfall einen Hinweis darauf geben, ob ein verdeckter mikrobieller Schaden vorliegt. Eine gesundheitliche Bewertung der Expositionsverhältnisse, die auf das Vorhandensein von Mikroorganismen zurückzuführen ist, kann nach heutigem Kenntnisstand anhand solcher Analysedaten deshalb nicht vorgenommen werden.

Infektionen

Gemäß § 3 der Biostoffverordnung (Bio-StoffV) [13] werden biologische Arbeitsstoffe nach ihrem Infektionsrisiko in vier Risikogruppen eingeordnet. Während die Infektionsauslösung bei Gruppe-1-Organismen unwahrscheinlich ist, steigt das Risiko hierfür von der Gruppe 2 bis Gruppe 4 (höchste Infektionsgefährdung) an.

Bei den Organismen der Risikogruppe 1 handelt es sich um Bakterien, Schimmelpilze und Hefen, die als Bestandteil der menschlichen Begleitflora oder in Wasser, Boden und Luft vorkommen. Diese sind unter normalen Umständen für den Menschen harmlos und können als so genannte Opportunisten i.d.R. nur bei erheblich abwehrgeschwächten Beschäftigten als Krankheitserreger nachgewiesen werden.

Zur Risikogruppe 2 zählen beispielsweise einige in verunreinigtem Befeuchterwasser vorkommende Bakterien wie Angehörige der Gattung *Acinetobacter*. Als Krankheitserreger im Zusammenhang mit Warmwassersystemen, z.B. Duschen oder Whirlpools, wird häufig *Legionella pneumophila* genannt. Diese gramnegative Bakterienart verursacht die so genannte Legionärskrankheit (Pontiac-Fieber). Infektionen durch kontaminierte raumlufttechnische Anlagen oder Kaltwassersysteme sind hierzulande selten. In klimatisierten Büroräumen konnten im Rahmen von berufsgenossenschaftlichen Untersuchungen bislang keine Legionellen nachgewiesen werden. Bei den Schimmelpilzen der Risikogruppe 2 sind im Zusammenhang mit Innenräumen *Acremonium kiliense* und *Aspergillus fumigatus* zu nennen. Letzterer trat als Erreger invasiver Aspergillosen bei Baumaßnahmen in Krankenhäusern in Erscheinung.

Mit dem Vorkommen von Organismen der Risikogruppen 3 und 4 ist an Innenraum-arbeitsplätzen nicht zu rechnen.

3.6.2 Ermittlung und Messverfahren

3.6.2.1 Vorgehensweise

Erhebung von Informationen

Für das Vorkommen von biologischen Arbeitsstoffen an Arbeitsplätzen in Innenräumen gibt es verschiedene Quellen (siehe Tabelle 47). Im Rahmen der Ermittlung von Arbeitsbedingungen im Innenraum sind Informationen zu erheben, wie sie beispielhaft für Schimmelpilze im Spezialerhebungsbogen S 1 1 zusammengestellt sind. Im Vorfeld sollten in jedem Fall die Erhebungen G3 „Arbeitsumfeld“ und S2 „Gebäude“ durchgeführt werden.

In vielen Ermittlungen ist aufgrund der Bewertung der erhobenen Daten, der vorliegenden Informationen und des visuellen Befunds bereits ohne Messung eine abschließende Beurteilung möglich. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn ein visuell eindeutiger Befund eines frischen Schimmelpilz- bzw. Feuchteschadens vorliegt und sich daraus ein offensichtlicher Handlungsbedarf für den Betrieb ableiten lässt.

3.6.2.2 Messungen

Hintergrund für mikrobiologische Messungen

In Fällen, in denen eine Begehung nicht ausreicht, um die vorliegenden Verhältnisse zu klären, wird eine mikrobiologische Probenahme nötig. Dies ist insbesondere unter folgenden Umständen der Fall:

- ❑ zur Beweissicherung im Berufskrankheiten-Feststellungsverfahren
- ❑ zur Begründung des Handlungsbedarfs, wenn vom Unternehmer/Vermieter keine oder nur unzureichende Sanierungsmaßnahmen durchgeführt wurden
- ❑ bei schwierig zu beurteilenden Fällen, wenn die Keimemissionsquellen nicht eindeutig anzusprechen sind (z.B. Kontamination der RLT-Anlagen) oder
- ❑ ggf. zur Abklärung des Erfolgs von Sanierungsmaßnahmen

Ergibt sich nach den Ermittlungen ein Messbedarf, so müssen anhand der oben beschriebenen Informationen im Rahmen der Messplanung

3 Spezialmodule

- Messparameter
- Messverfahren
- Messorte
- Messdauer sowie
- die Anzahl der Messungen

festgelegt werden.

Grundsätzlich obliegt es dem Ermittler, die Entscheidung für eine Messung zu treffen.

Rangfolge mikrobiologischer Messungen

Aufgrund der langjährigen Erkenntnisse aus berufsgenossenschaftlichen Ermittlungen ist bei Schimmelpilzproblematiken in Innenräumen der Untersuchung von Materialproben der Vorzug vor anderen mikrobiologischen Probenahmeverfahren zu geben.

Luftmessungen sind im Zusammenhang mit Schimmelpilzen in Innenräumen nur in Ausnahmefällen sinnvoll, z.B. bei Verdacht auf eine Schimmelpilzemission aus nicht einsehbaren Gebäudeteilen, insbesondere aus raumlufttechnischen Anlagen.

Mikrobiologische Messverfahren

Die verfügbaren Messverfahren sind in folgenden Quellen zu finden:

- Luftprobenahme (Bakterien, Schimmelpilze, Endotoxine): [14 bis 17]

- Materialprobenahme: [2]
- Staubprobenahme: [2]
- Materialfeuchtebestimmung: [2]
- MVOC-Probenahme: [2]

Im mikrobiologischen Labor des Berufsgenossenschaftlichen Instituts für Arbeitsschutz – BGIA kann derzeit neben der Auswertung von Luftproben nur die Untersuchung von festen oder flüssigen Materialproben auf ihren Bakterien- und Pilzgehalt in Auftrag gegeben werden.

Die mikrobiologische Untersuchung von Staubproben ist kein Standardverfahren im Berufsgenossenschaftlichen Messsystem Gefahrstoffe (BGMG). Eine Methodenvorschrift zur standardisierten Untersuchung von Materialproben wird erarbeitet.

Für die Beurteilung der Belastung eines Raumes mit Milbenallergenen dient die Untersuchung von abgelagerten Stäuben als Referenz. Messverfahren zum Milben-(allergen)-Nachweis sind in der Literatur beispielsweise bei *Engelhart* [12] aber auch bei anderen Autoren beschrieben [18 bis 20]. Eine standardisierte Methode zum Milbennachweis, die mit den in der BGIA-Arbeitsmappe beschriebenen Verfahren vergleichbar wäre, kann derzeit jedoch nicht benannt werden.

Der einfach durchzuführende Acarex-Test ermittelt über eine Farbreaktion semiquantitativ den Guaningehalt der Staubprobe als Maß für die Milbenbelastung. Eine Differenzierung der Milbenarten wird dabei nicht durchgeführt.

Mithilfe des aufwändigen mikroskopischen Nachweises intakter Milben können auch einzelne Milbenarten differenziert werden. Der Nachweis der Milbenallergene Der p I und Der f I mittels ELISA (Enzyme-linked immunosorbent assay) stellt die Methode mit der höchsten Spezifität und Sensitivität dar. Bei Einsatz dieser Methode werden die beiden häufigsten Milbenarten anhand ihrer Hauptallergene (Der p I und Der f I) in den Fäkalpellets und Bruchstücken detektiert.

3.6.3 Beurteilung

3.6.3.1 Allgemeine Beurteilungskriterien

Da an einem Innenraumarbeitsplatz i.d.R. weder ein gezielter noch ein nicht gezielter Umgang mit biologischen Arbeitsstoffen stattfindet, ist für die Beurteilung der Arbeitsplatzsituation hier nicht die Biostoffverordnung [13], sondern die Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) ausschlaggebend [4]. Biologische Agenzien, die an Innenraumarbeitsplätzen in Konzentrationen auftreten, die deutlich – z.B. 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 Verunreinigung zu bewerten.

Tabelle 47 (siehe Seite 260) enthält Vorschläge für Parameter, die zur Beurteilung der Belastung von Innenraumarbeitsplätzen mit biologischen Agenzien herangezogen werden können.

3.6.3.2 Beurteilungswerte

Der Arbeitskreis „Qualitätssicherung – Schimmelpilze in Innenräumen“ am Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg in Stuttgart hat ein umfangreiches Grundsatzpapier zur Vorgehensweise und Beurteilung von Schimmelpilzbelastungen in Innenräumen erarbeitet. Die Veröffentlichung „Schimmelpilze in Innenräumen – Nachweis, Bewertung, Qualitätsmanagement“ [2] mit Schwerpunkt im häuslichen Bereich beschreibt im Kapitel 8 verschiedene Probeentnahmeverfahren für Materialproben, Luft, Staub sowie MVOC und die Beurteilung von Untersuchungsergebnissen solcher Proben aus hygienischer Sicht.

Auch die Kommission Innenraumlufthygiene des Umweltbundesamtes veröffentlichte im Dezember 2002 einen „Schimmelpilz-Leitfaden“ [3], der sich mit der Beurteilung von Schimmelpilzproblematiken in Innenräumen auseinandersetzt und kostenlos gedruckt bezogen oder als PDF-Datei im Internet heruntergeladen werden kann.

3 Spezialmodule

Tabelle 47:
Vorschläge für Messparameter zur Beurteilung der Belastung von Innenraumarbeitsplätzen mit biologischen Agenzien

Parameter	Biologisches Agens
Summenparameter	Bakterien (Gesamtkoloniezahl) Pilze (Gesamtkoloniezahl, Schimmelpilze und Hefen) Endotoxine (Zellwandbestandteile gramnegativer Bakterien)
Spezifische Gruppenparameter	Aktinomyzeten (grampositive stäbchenförmige mycelartig wachsende Bakterien) Schimmelpilze
Leitparameter (Pilz- oder Bakterienarten sowie Allergene, die in Innenräumen nicht vorkommen sollten)	<i>Aspergillus fumigatus</i> <i>Stachybotrys chartarum</i> (synonym <i>Stachybotrys atra</i> , typischer Feuchteindikator nach Wasserschäden) <i>Escherichia coli</i> (Fäkalkeim) <i>Staphylococcus aureus</i> Milbenallergen Der p I
Spezifische infektiöse Agenzien	<i>Legionella pneumophila</i> <i>Mycobacterium tuberculosis</i> <i>Pseudomonas aeruginosa</i>

Materialproben/Schimmelpilze

Aus langjährig erhobenen Ergebnissen mikrobiologischer Untersuchungen des BGIA sowie der Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (BGW) und den auf der Bewertung dieser Untersuchungsergebnisse beruhenden Erfahrungen bei der Beurteilung von Innenraumproblematiken im Zusammenhang mit dem Auftreten von Schimmelpilzen wird der in Tabelle 48 wie-

dergegebene Vorschlag für ein Bewertungsschema aufgestellt [1]. Gesundheitliche Beschwerden finden in diesem Zusammenhang keine Berücksichtigung.

Proben mit 10^3 bis 10^5 KBE/g belegen nach diesem Bewertungsschema eine starke, Proben mit 10^6 bis 10^8 KBE/g eine sehr starke Belastung mit Schimmelpilzen. Ein niedriger Schimmelpilzgehalt kann sich kurzzeitig auch bei unzureichend sanierten

Tabelle 48:
Vorschlag für ein Bewertungsschema für mikrobiologische Untersuchungsergebnisse
von Materialproben aus Innenräumen

Gesamt-Schimmelpilze in KBE/g Material	Bewertung
0 (kein Nachweis)	Material enthält keine Schimmelpilze, keine Feuchteprobleme
kleiner 10^3	normale Hintergrund- bis geringe Schimmelpilz- belastung, i.d.R. keine Feuchteprobleme
größer 10^3	starke bis sehr starke Schimmelpilzbelastung Vorhandensein von Feuchteproblemen/Wasser- schäden etc.

Schäden ergeben (z.B. Erneuerung von Tapete/Putz, Ausbringung eines fungizidhaltigen Anstrichs o.Ä. ohne Ursachenbeseitigung).

Ein Handlungsbedarf zur Beseitigung von Feuchteschäden und deren Ursachen ergibt sich nach den bisher vorliegenden Erfahrungen und unter Berücksichtigung der bei einer Begehung gewonnenen Informationen etwa bei einem Wert von mehr als 10^3 KBE an Schimmelpilzen pro Gramm Material.

Das Vorkommen von besonderen Zeigerarten, d.h. Schimmelpilzarten, die z.B. für eine sehr hohe Materialfeuchte charakteristisch sind oder Schimmelpilzarten mit erhöhtem pathogenen Potenzial, muss bei der

Bewertung einer Innenraumsituation ggf. besonders berücksichtigt werden.

Aus dem Verständnis eines präventiven Gesundheitsschutzes heraus sollte beim Vorliegen einer Schimmelpilzproblematik als Folge eines Feuchteschadens aus allgemeinen hygienischen Gründen zunächst die Ursache beseitigt und dann für eine nachhaltige Beseitigung der Schäden gesorgt werden.

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

3 Spezialmodule

aus der Untersuchung dieser Vergleichsproben dienen dann als Beurteilungsgrundlage (Referenz) für die zu bewertenden Materialien.

In die Bewertung sollten weiterhin die Artenspektren der Schimmelpilze aus den verschiedenen Materialproben miteinbezogen werden, da so beispielsweise Aussagen über das Vorhandensein von Feuchteschäden getroffen werden können. Weiterhin kann durch diese Untersuchungen geklärt werden, ob die identifizierten Arten entsprechende Materialien üblicherweise besiedeln und in der Umwelt häufig vorkommen oder ob sie sich in den entsprechenden Lebensräumen erst aufgrund der für sie besonders günstigen Lebensbedingungen (z.B. hohe Feuchtigkeit) entwickeln konnten.

Als Schimmelpilze mit hohem Zeigerwert für Feuchteschäden in Innenräumen werden beispielsweise die nachfolgend aufgeführten Gattungen und Arten beschrieben [2]:

- ☐ *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.*

Luftproben/Schimmelpilze

Während der Nachweis einer hohen Anzahl von einschlägigen Schimmelpilzarten in Materialproben aus Innenräumen einen deutlichen Hinweis auf Feuchteschäden darstellt, muss im Falle von Luftproben eine besondere Prüfung der Schimmelpilzquellen erfolgen, da die Pilzsporen in der Luft diffus verteilt sind und i.d.R. ursächlich aus verschiedenen Quellen stammen können.

In Deutschland existieren derzeit keine verbindlichen Grenzwerte oder Richtkonzentrationen zur Beurteilung der Luft an Innenraumarbeitsplätzen hinsichtlich biologischer Parameter.

Zur Charakterisierung der mikrobiellen Belastung der Luft in Innenräumen werden daher folgende Vorgehensweisen empfohlen:

**1. Heranziehen der Kriterien
„Referenzaußenluftwert“
und „Normale Innenraumlufbelastung“**

Nach Absatz 3.6 „Lüftung“ im Anhang der Arbeitsstättenverordnung [4] ist „in Arbeitsbereichen ausreichend gesundheitlich zuträgliche Atemluft zu gewährleisten“. Dies ist in Räumen mit offensichtlichem Schimmelpilzbefall nicht sichergestellt.

Gesundheitstechnische Anforderungen (VDI-Lüftungsregeln) [21] an den Betrieb von RLT-Anlagen gestellt. Diese Anlagen sollen für Aufenthaltsräume von Personen ein behagliches Raumklima und eine gesundheitlich verträgliche Raumluf schaffen. Bei guter Konstruktion, einwandfreiem Betrieb und regelmäßiger Wartung können diese Ziele grundsätzlich erreicht werden.

Vergleichbare Anforderungen werden auch in der VDI-Richtlinie 6022 [5; 6] und der Norm DIN 1946-2 „Raumluftechnik;

In Tabelle 49 sind die bei betrieblichen Messungen der Berufsgenossenschaften und des BGI in den Jahren 1998 und 1999 in unbelasteter natürlicher Außenluft gemessene

Tabelle 49:
Vorkommen von Mikroorganismen (Bakterien und Schimmelpilze) in der Außenluft

	Außenluftkonzentration in KBE/m ³ Luft	
	1998 (n = x)	1999 (n = x)
Schimmelpilze (kalte Jahreszeit)	280 (33) ¹⁾	177 (15) ²⁾
Schimmelpilze (warme Jahreszeit)	1 510 (36)	968 (15) ³⁾
Bakterien	410 (24)	162 (9)

¹⁾ Januar bis April und Oktober bis Dezember 1998

²⁾ Januar bis März 1999

³⁾ April bis Mai 1999

(n = x): Anzahl der zur Auswertung herangezogenen Messungen im Bearbeitungsjahr

kalte Jahreszeit: Januar bis März und Oktober bis November

warme Jahreszeit: April bis September

3 Spezialmodule

nen Mikroorganismenkonzentrationen (Bakterien und Schimmelpilze) dargestellt.

In der wärmeren Jahreszeit kann durch stärkeren Schimmelpilzsporenflug die Konzentration in der Außenluft und damit auch in der Innenraumlufthöhere Werte annehmen, wenn zur freien Lüftung die Fenster und/oder Türen geöffnet werden. So sind Werte von 1 000 und mehr KBE an Schimmelpilzen pro m³ Außenluft in diesen Monaten keine Besonderheit (vgl. auch [22; 23]). Häufig werden dann auch im Inneren von Gebäuden entsprechend höhere Schimmelpilzkonzentrationen verzeichnet. In solchen Fällen muss berücksichtigt werden, dass eine Schimmelpilzquelle im Innenraum unter Umständen

durch andere Quellen überlagert sein kann. Dies kann ggf. durch die Untersuchung von Materialproben und die Bestimmung und den Vergleich der jeweiligen Artenspektren geklärt werden.

Tabelle 50 enthält den **Vorschlag eines Bewertungsschemas** für Ergebnisse von Schimmelpilzmessungen in der Innenraumlufth.

Weiterhin werden in Büroräumen bei Anwesenheit mehrerer Personen – abhängig von Raumgröße und Belüftungsart – regelmäßig höhere Gehalte an Bakterien in der Luft festgestellt (mehr als 500 KBE an Bakterien pro m³ Luft). Die Ursache für solche Werte besteht im Allgemeinen in

Tabelle 50:
Vorschlag eines Bewertungsschemas für Ergebnisse mikrobiologischer Luftmessungen in Innenräumen [1]

Bestimmungsparameter in KBE/m ³ Luft	Bewertungskriterium	Ergebnis der Bewertung
Gesamtschimmelpilze und/oder Schimmelpilzartenspektrum	Innenluft weist signifikant höheren Schimmelpilzsporengehalt auf als Außenluft und/oder signifikant unterschiedliche Artenspektren in Innenluft und Außenluft	Hinweis auf eine intramurale Schimmelpilzbelastung
Vorkommen spezieller Zeigerarten (vgl. S. 262)	Vorhandensein solcher Arten	Hinweis auf Feuchteproblematik
Vorkommen pathogener Arten (ab Risikogruppe 2 nach BioStoffV)	Vorhandensein solcher Arten	aus allgemeinen hygienischen Gründen nicht akzeptabel

der Emission von Bakterien durch den Menschen.

2. Heranziehen der Empfehlungen von Experten und Fachgremien zur maximalen Belastung der Innenraumluft mit Biologischen Arbeitsstoffen

Tabelle 51 (siehe Seite 266) gibt eine Übersicht über Angaben aus der Literatur zu Mikroorganismenkonzentrationen in der Luft in Innenräumen. Hier vorgeschlagene Grenz-/Richtwerte beziehen sich vorrangig auf die Beurteilung von Ergebnissen aus der Untersuchung von Summenparametern wie „Gesamtkoloniezahl“ Bakterien, „Gesamtkoloniezahl“ Schimmelpilze oder Endotoxingehalt. Spezielle Parameter wie z.B. „Infektionserreger“ oder „Toxinproduzenten“ müssen stets gesondert betrachtet werden. Umfangreiche Ausführungen zu diesem Thema sind auch in der Ausarbeitung des Landesgesundheitsamtes Baden-Württemberg in Stuttgart enthalten [2].

Auf weiterführende Literatur wird im Literaturverzeichnis (Abschnitt 3.6.5) hingewiesen.

3.6.4 Präventions- und Sanierungsmaßnahmen

Präventions- und Sanierungsmaßnahmen zur Vermeidung von Gefährdungen durch Schim-

melpilze in Innenräumen finden sich insbesondere bei [1 bis 3; 31].

Im Fachausschuss Tiefbau, Sachgebiet „Mikrobiologie im Tiefbau“, erarbeitet der Arbeitskreis „Gebäudesanierung“ eine Handlungsanleitung zur Beurteilung der biologischen Gefährdungen bei Tätigkeiten im Rahmen der Sanierung von schimmelpilzbelasteten Gebäuden und zur Hilfestellung bei der Auswahl der jeweiligen Schutzmaßnahmen.

Eine erste Hilfe für die Sanierung von Innenräumen mit Schimmelpilzbefall bietet eine Handlungshilfe des Landesgesundheitsamts Baden-Württemberg [32]. Bei großflächigen, komplizierten und/oder immer wiederkehrenden Schäden durch Schimmelpilzbefall sollte jedoch ein qualifizierter Bausachverständiger hinzugezogen werden, da oftmals im Rahmen der Sanierung mehrere Gewerke betroffen sind, die entsprechend beauftragt und koordiniert werden müssen. So nützt das Ausbessern einer Wand mit Wasserschaden wenig, wenn der zugrunde liegende Schaden, z.B. undichtes Dach, defekte Wasserleitung oder Kältebrücke, nicht vorab beseitigt wird.

Sanierungsmaßnahmen können durch die Berufsgenossenschaften weder durchgeführt noch in Auftrag gegeben werden.

3 Spezialmodule

Tabelle 51:
Literaturdaten zur mikrobiellen Luftbelastung und Vorschläge verschiedener Autoren
für Werte zur Beurteilung dieses Parameters

Quelle	Mikrobielle Belastung/m ³ Luft	Beurteilung
<i>Rylander et al.</i> [24]	1 000 KBE 0,1 µg Endotoxine	Maximale Konzentration bei Acht-Stunden-Arbeitstag (Kläranlage)
<i>Morey et al.</i> [25]	> 1 000 KBE	in Innenräumen, bei höherer Belastung Maßnahmen erforderlich
<i>Morey et al.</i> [26]	> 500 KBE einer Schimmelpilzart	Hinweis auf Innenraumquelle
<i>Kay et al.</i> [27]	750 KBE	akzeptabel, solange es keine „Problemkeime“ sind
<i>Senkpiel et al.</i> [28]	> 100 Pilzeinheiten	in der Innenraumluft gegenüber dem Außenluftwert, Hinweis auf intramurale Belastung
<i>Malmros et al.</i> [29]	10 ⁴ KBE Bakterien bzw. 10 ³ KBE gramnegative Bakterien	akzeptable Luftkeimkonzentration am Arbeitsplatz (Abfallsortierung)
WHO [30]	> 2 µg Der p l/g Staub > 10 µg Der p l/g Staub	IgE-Reaktion bei Prädisposition Risiko akuter Asthma-Symptome
VDI-Richtlinie 6022, Blatt 1 [5]	Wert in der Zuluft im Innenraum (Bakterien, Schimmelpilze, Stäube, biologische Inhaltsstoffe) darf den entsprechenden Gehalt der Außenluft nicht überschreiten	

3.6.5 Literaturverzeichnis zum Abschnitt „Biologische Einwirkungen“

- [1] *Deiningner, C.*: Schimmelpilzproblematik in Innenräumen von Mitgliedsbetrieben der BGW. Schriftliche Arbeit als Teil der Prüfung zur Aufsichtsperson, BGW Präventionsdienste Würzburg Oktober 2001
- [2] Schimmelpilze in Innenräumen – Nachweis, Bewertung, Qualitätsmanagement. Hrsg.: Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg, Arbeitskreis „Qualitätssicherung – Schimmelpilze in Innenräumen“, Stuttgart 2001
- [3] Leitfaden zur Vorbeugung, Untersuchung, Bewertung und Sanierung von Schimmelpilzwachstum in Innenräumen („Schimmelpilz-Leitfaden“). Hrsg.: Umweltbundesamt, Innenraumlufthygienekommission, Berlin 2002
- [4] Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV) vom 12. August 2004. BGBl. I (2004), S. 2179
- [5] VDI 6022 Blatt 1: Hygienische Anforderungen an Raumluftechnische Anlagen – Büro- und Versammlungsräume (7/98). Beuth, Berlin 1998
- [6] VDI 6022 Blatt 3: Hygienische Anforderungen an Raumluftechnische Anlagen – Produktions- und Gewerbebetriebe (11/2002). Beuth, Berlin 2002
- [7] Persönliche Mitteilung durch H. Linsel, 2001
- [8] *Hilgers, W.*: Befeuchterlunge. Versicherungsrechtliche Konsequenzen. Zbl. Arbeitsmed. (1993) Nr. 43, S. 296-298
- [9] *Janko, M.; Gould, D.; Vance, L.; Stengel, C.; Flack, J.*: Dust mite allergens in the office environment. AIHA J. (1995) Nr. 56, S. 1133-1140
- [10] *Teeuw, K.B.*: Sick Building Syndrome. Dissertat., Univ. Utrecht 1993
- [11] *Johanning, E.; Biagini, R.; Hall, D.; Morey, P.; Jarvis, B.; Landsbergis, P.*: Health and immunology study following exposure to toxigenic fungi (*Stachybotrys chartarum*) in a water-damaged office environment. Int. Arch. Occup. Environm. Health 68 (1996), S. 207-218
- [12] *Engelhart, S.*: Biologische Innenraumlufverunreinigungen. In: Handbuch für Bioklima und Lüfthygiene. Ecomed, Landsberg, Erg.-Lfg. 3/2000, S. 1
- [13] Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen (Biostoffverordnung –

3 Spezialmodule

BioStoffV) vom 27. Januar 1999. BGBl. I S. 50; geänd. am 18. Oktober 1999, BGBl. I, S. 2059

[14] Verfahren zur Bestimmung der Bakterienkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz (Kennzahl 9430). In: BGIA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. 32. Lfg. IV/04. Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA, Sankt Augustin. Erich Schmidt, Bielefeld – Losebl.-Ausg. 1989

[15] Verfahren zur Bestimmung der Endotoxinkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz (Kennzahl 9450). In: BGIA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. 28. Lfg. IV/02. Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA, Sankt Augustin. Erich Schmidt, Bielefeld – Losebl.-Ausg. 1989

[16] Verfahren zur Bestimmung der Schimmelpilzkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz (Kennzahl 9420). In: BGIA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. 30. Lfg. 4/03. Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA, Sankt Augustin. Erich Schmidt, Bielefeld – Losebl.-Ausg. 1989

[17] Verfahren zur Bestimmung der Aktinomyzetenkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz (Filtration). KAN-Bericht 13, 2. erw.

Aufl. Hrsg.: Kommission Arbeitsschutz und Normung, Sankt Augustin 1999

[18] *Platts-Mills, A.E.; Thomas, W.R.; Aalberse, R.; Vervolvet, D.; Chapman, M.D.*: Dust mite allergens and asthma: Report of a second international Workshop. *J. Allergy Clin. Immunol.* 89 (1992), S. 1046-1060

[19] *Pope, A.M.; Patterson, R.; Burge, H.*: Indoor allergens – assessing and controlling adverse health effects. National Academy Press, Washington DC 1993

[20] *Platts-Mills, A.E.; Vervolvet, D.; Thomas, W.R.; Aalberse, R.; Chapman, M.D.*: Indoor allergens and asthma. Report of the third international Workshop. *J. Allergy Clin. Immunol.* 100 (1997), S. 2-24

[21] DIN 1946-2: Raumluftechnik; Gesundheitstechnische Anforderungen (VDH-Lüftungsregeln) (01.94). Beuth, Berlin 1994

[22] *Klein, H.-A.; Pipke, R.; Allescher, W.*: Biostoffverordnung – Kommentar. Carl-Heymanns-Verlag, Köln 2000

[23] *Mücke, W.; Lemmen, C.*: Schimmelpilze in der Umwelt. Hrsg.: Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, München 1998

- [24] *Rylander, R.; Lundholm, M.; Clark, C.S.*: Exposure to aerosols of microorganism and toxins during handling of sewage sludge. In: Wallis, P.M.; Lehmann, D.L. (Hrsg.): Biological health risk of sludge disposal to land in cold climates. University of Calgary Press (1983), S. 69-78
- [25] *Morey, P.R.; Hodgson, M.J.; Sorenson, W.G.; Kulman, G.J.; Rhodes, W.W., Visvesvara, G.S.*: Environmental studies in moldy offices buildings: biological agents, sources and preventive measure. Ann. Amer. Conf. Gov. Ind. Hyg. (1984) Nr. 10, S. 21-35
- [26] *Morey, P.R.; Chatigny, M.; Otten, J.; Feeley, J.; Burge, H.; La Force, F.M.; Person, K.*: Airborne viable microorganisms in office environments: Sampling protocol and analytical procedure (Draft Report). Appl. Ind. Hyg. 1 (1986) R19-R23
- [27] *Kay, J.G.; Keller, G.E.; Miller, J.F.*: Indoor air pollution. Radon, Bioaerosols & VOC's. CRC Lewis Publishers, Boca Raton, Florida 1991
- [28] *Senkpiel, K.; Ohgke, H.*: Beurteilung der „Schimmelpilz“-Sporenkonzentration der Innenraumluft und ihre gesundheitlichen Auswirkungen. gi 113 (1992) S. 42-45
- [29] *Malmros, P.; Sigsgaard, T.; Bach, B.*: Occupational health problems due to garbage sorting. Waste Manage. Res. (1992) Nr. 10, S. 227-234
- [30] World Health Organisation (WHO): Indoor air quality: biological contaminants. Report on a WHO meeting. Rautavaara, August/September 1988. WHO Regional Publ., European Series No. 31
- [31] *Bieberstein, H.*: Schimmelpilz in Wohnräumen – Was tun? alpha & omega, Stuttgart 1993
- [32] Handlungsempfehlung für die Sanierung von mit Schimmelpilzen befallenen Innenräumen. Hrsg.: Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg, Stuttgart 2004
- [33] *Anderson, E.L.; Albert, R.E.* (Eds.): Risk Assessment and Indoor Air Quality. CRC Lewis Publishers, Boca Raton, Florida 1999
- [34] *Flannigan, B.; Samson, R.A., Miller, J.D.*: Microorganisms in Home and Indoor Work Environments. Taylor & Francis, London 2001

Weiterführende Literatur

3 Spezialmodule

[35] Keller, R.; Senkpiel, K.; Samson, R.A., Hoekstra, E.S.: Umgebungsanalyse bei gesundheitlichen Beschwerden durch mikrobielle Belastungen im Innenraum. Bd. 6. Schriftenreihe des Instituts für medizinische Mikrobiologie und Hygiene der Universität zu Lübeck, 2002

[36] Lotz, A.; Hammacher, P.: Schimmelschäden vermeiden. Bauphysikalische Grundlagen – Analyse und Ursachen – Hin-

weise zur Vermeidung und Sanierung. Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart 2001

[37] Topthema Schimmelpilz. Vbn-Info-Sonderheft. Hrsg.: Verband der Bausachverständigen Norddeutschlands e.V., Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart 2001

[38] Feuchtigkeit und Schimmelbildung in Wohnräumen. Hrsg.: Verbraucherzentrale Bundesverband e.V. (vzbv), 2002