

SONDERDRUCK

aus

3 | 2021

VBio

Verband | Biologie, Biowissenschaften
& Biomedizin in Deutschland



ERNÄHRUNG

Fast Food schadet dem
Embryo



MEDIZIN

mRNA-Impfstoffe



**WOHNRAUM-
BIOLOGIE**

Schimmel in Gebäuden

BIOLOGIE

IN UNSERER ZEIT



Edmonds Urzeit

Das System „Schimmel“ in Gebäuden

Ökosystem Haus

GERHARD FÜHRER | SONJA STAHL

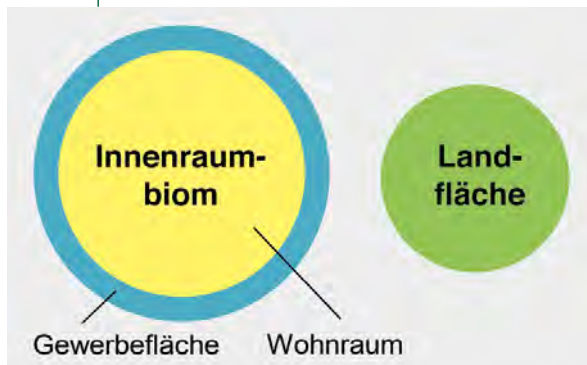


In verschiedenen Klimaten an unterschiedlichsten Orten von der Antarktis bis in die Tropen werden weltweit Mikroorganismen untersucht, Arten beschrieben und gezählt, ihre Lebensgrundlagen erkundet und die Ökologie in ihren jeweiligen Habitaten dargestellt. Im Gegensatz dazu sind Mikroorganismen in Gebäuden und die daraus entstehenden gebäudeinternen Ökosysteme bis heute weitgehend unbekannt. Das „geheime“ Leben im Haus existiert aber wirklich, auch wenn es sich mehrheitlich im Verborgenen abspielt – und es der Wohnungseigentümer aus nachvollziehbaren Gründen oftmals gar nicht so genau wissen will. Die vielfältigen Schimmelpilz- und Bakterienarten sind ebenso wie Arthropoden (Gliederfüßer) bezüglich ihrer Vielfalt und den damit verbundenen Anpassungsstrategien nahezu überall auf der Welt nachweisbar. Warum also sollten die von uns errichteten künstlichen Umwelten namens Gebäude frei von Lebewesen sein? Nachfolgend werden die Relevanz des Ökosystems Haus aufgezeigt, seine Bedeutung für die Gesundheit erläutert und erste Einblicke in bautechnische und versicherungsrechtliche Grundlagen gegeben. Zusammenfassend betrifft das System „Schimmel“ jeden von uns in verschiedensten Lebenslagen ganz persönlich.

Von Höhlen, Zelten und Hütten aus pflanzlichem Material über die ersten Steingebäude im fruchtbaren Halbmond des Nahen Ostens vor ca. 12.000 Jahren bis hin zu den Megastädten und Hochhausgiganten der aktuellen Zeit leben Menschen in abgegrenzten Räumen. Dementsprechend haben sich „Mitbewohner“ des Menschen eingestellt und mehr oder weniger gut an dessen Gebäude und dem darin stattfindenden „Leben“ angepasst. Gegen die ehemaligen Plagegeister wie Bettwanzen und Flöhe wurden mittlerweile Strategien entwickelt, um diese „außen vor zu lassen“. Unabhängig davon beginnt die (universitäre) Forschung erst allmählich, sich für die von Menschen gebauten Innenraumwelten von heute zu interessieren.

Bereits während der Bauphase gelangen Organismen aus dem Freiland ins Innere von Gebäuden. In der Nutzungsphase können sie durch Öffnungen in der Gebäudehülle eindringen. Im Hinblick auf die üblicherweise vorliegenden Umgebungsbedingungen (trocken, warm) der in den letzten Jahrzehnten errichteten Gebäude können sich in diesen (im Vergleich zum Freiland) aber nur wenige Arten etablieren. Winkelspinnen, Stuben- und Fruchtfliegen sind bekannte Beispiele für die intramurale Arthropodengemeinschaft. Werden Schimmelpilz- und Bakteriensporen in Innenräume eingetragen, fehlen meist feuchte Lebensgrundlagen, damit diese auswachsen und ihre Entwicklungszyklen durchlaufen können. Ändern sich aber die klimatischen Innenraumbedingungen z. B. im Rahmen eines Wasserschadens, dann kommt es zu einem bisher weitgehend unbekanntem und bis jetzt unbeachteten Artenzuwachs im Gebäude. Eine Besiedelung findet statt.

Durch Gebäude wurde weltweit mittlerweile eine beachtliche Menge an neuem Lebensraum geschaffen. Vergleicht man die Fläche der Wohnungen in einer Stadt mit der Fläche des Stadtgebietes, bietet sich in Wohnungen im Vergleich zur freien Natur ein Riesenareal für alle Lebewesen (Abbildung 1). So beträgt beispielsweise die unverbaute Landfläche von dem New Yorker Stadtteil Manhattan mit 59 km² nur noch etwa 1/3 der Fläche der geschätzten Wohn- und Geschäftsräume (172 km²). Bemerkenswert ist, dass diese „Überbauung“ innerhalb von ca. 300 Jahren stattgefunden hat und damit in einer für evolutionäre Verhältnisse extrem kurzen Zeitspanne. Zudem ist bis heute unklar, ob die Regeln für natürliche Ökosysteme auch für die gebauten „Kunstwelten“ gelten, in denen wir uns die meiste Zeit unseres Lebens aufhalten (mittlerweile ca. 90%).

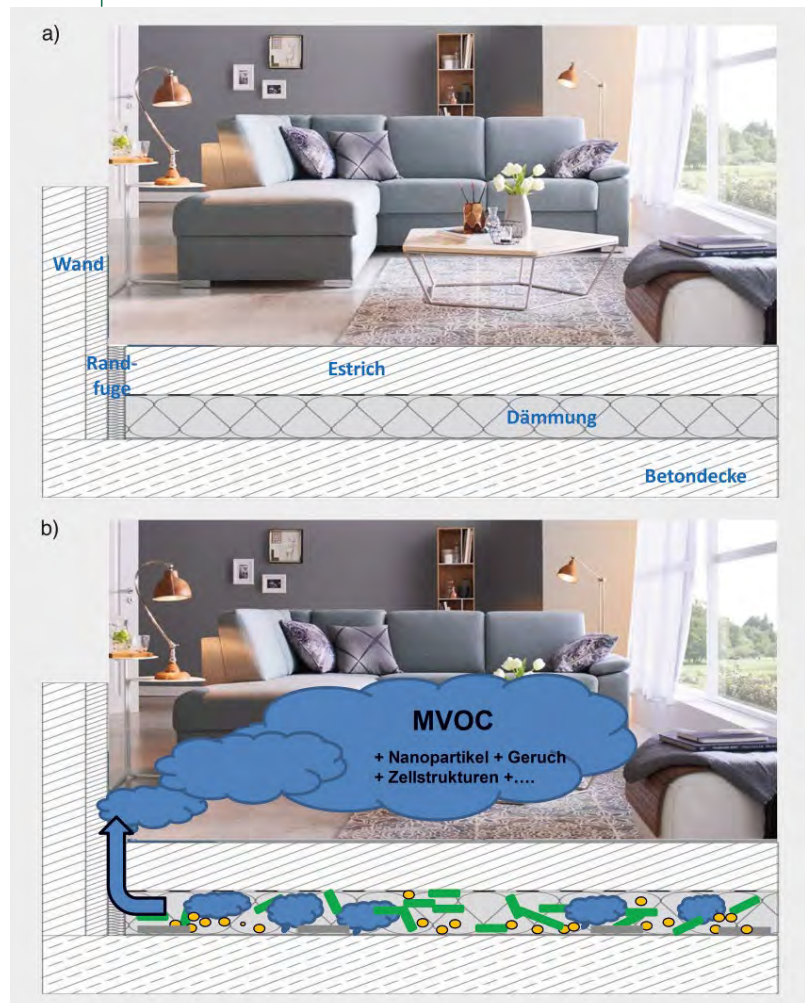
ABB. 1 | LEBENSRAUM WOHNGEBÄUDE


Gezeigt ist das Verhältnis von unbebauter Landfläche zu überbauter Innenraumfläche am Beispiel von Manhattan. Der Anteil, der dabei auf Gewerbeflächen und Wohnraum entfällt, wurde geschätzt (nach [13]).

Innenräume bieten inzwischen Lebensgrundlagen für eine große Vielfalt an Organismen jenseits menschlicher Bewohner, bekannter Zimmerpflanzen und Haustiere. So wurden bisher Tausende Arten von Mikroorganismen (Bakterien, Archaeen und Pilze) und Hunderte von Arthropodenarten in Häusern nachgewiesen. Trotz der Allgegenwart des Innenraumbioms beginnen wir gerade erst zu verstehen, welche Arten in Häusern wo leben und warum einige Räume in Häusern biologisch vielfältig sind und andere weniger. Bevorzugte Aufenthalts- und Lebensräume sind nicht einsehbare Hohlräume und Dämmebenen von Fußboden- und Dachaufbauten, wie dies beispielhaft in Abbildung 2 dargestellt ist. Im Gegensatz zu den in Massivbauweise errichteten Gebäuden sind in Fertighäusern und Ständerwänden (z.B. aus Gipskarton) auch die Hohlräume in Wand- und Deckenkonstruktionen besiedelbar.

Feuchtigkeit als wesentliche Grundlage der Artenvielfalt in Gebäuden

Die kürzeste Definition von Bauen heißt „Wasser abhalten“. Oder anders ausgedrückt: Der größte Feind des Hauses ist weder Feuer noch Architekt, Handwerker oder Bewohner, sondern Wasser in flüssiger oder gasförmiger Form. Das Vorliegen von Feuchtigkeit ist der wesentliche Faktor für mikrobielle Aktivität mit Schimmelpilz- und Bakterienwachstum. Die sich dadurch aufbauende Biomasse ist wiederum die Nahrungsgrundlage für höhere Lebewesen. Der Wachstumsinitiator „Feuchtigkeit“ kann aktuell vorliegen, phasenweise auftreten (beispielsweise als Kondensationsfeuchtigkeit in der kalten Jahreszeit) oder bereits wieder abgetrocknet sein (z. B. als Neubaufeuchte oder nach einem Wasserschaden). Und weil Wasser entsprechend physikalischer Gesetzmäßigkeiten nach unten läuft, sind primär die Fußbodenaufbauten betroffen. Vor diesem Hintergrund gilt es, die wesentlichen Feuchteursachen in Gebäuden näher zu beleuchten. Damit werden die Ursachen und Lebensgrundlagen des biologischen

ABB. 2 | VERDECKTE WOHNWELTEN


a) In einsehbaren Raumbereichen werden „Mitbewohner“ leicht erkannt und spätestens bei Reinigungsarbeiten aus den Räumen entfernt. Anders verhält es sich bei nicht einsehbaren Hohlräumen wie Fußbodenaufbauten: Gelangt bestimmungswidrig Feuchtigkeit in das Bauteil, sind die Voraussetzungen für verstärkte biologische Aktivität gegeben. b) Im Verborgenen stellen sich primär in der Dämmebene verdeckte, nicht sichtbare „Ökosysteme“ ein, die Biokontaminanten emittieren. MVOC = Mikrobielle flüchtige organische Verbindungen.

IN KÜRZE

- Schimmel und mikrobielle Aktivität entsteht durch das Wachsen, Regulieren und Verstoffwechseln von **Schimmelpilzen, Hefen, Bakterien, Protozoen** und anderen Mikroorganismen.
- **Feuchtigkeit ist die wesentliche Triebfeder** für die Etablierung von gebäude-internen „Ökosystemen“ mit mehreren Trophieebenen.
- Verdecktes, nicht sichtbares Schimmelwachstum z. B. in Fußboden- und Dachaufbauten ist sehr häufig. Wenn offensichtliche Schimmelbesiedelungen in Gebäuden vorhanden sind, dann sind diese in der Regel nur die „Spitze des Eisbergs“.
- Schimmelrasen in Bauteilen werden u. a. von Milben, Staubläusen und Silberfischchen beweidet, weshalb diese **Bioindikatoren für verdeckte, nicht sichtbare Schimmelschäden** sind.
- Mit dem „Messinstrument Schimmelpürhund“ können verdeckte, nicht sichtbare Schimmelschäden in Gebäuden wie mit einem Röntgenblick **zerstörungsfrei, direktanzeigend und kostengünstig** erkannt, räumlich eingegrenzt oder ausgeschlossen werden.

Systems „Schimmel“ benannt. Weitere Faktoren wie Temperatur, pH-Wert oder verfügbares organisches Material sind in jeder Räumlichkeit in ausreichendem Maße vorhanden (oder tolerierbar) und demgemäß nicht bzw. wenig beeinflussbar für ein sich etablierendes gebäudeinterne Ökosystem.

Bereits bei einem Einfamilienhaus werden ca. 10 m³ Wasser (= 10.000 l) durch Beton, Mörtel, Putze und Estriche in das Gebäude eingebracht. Während ein Bauwerk früher über den Winter austrocknen durfte, werden heute bei zunehmend kurzen Bauzeiten regelmäßig die notwendigen Trocknungszeiten nicht eingehalten. Die Folge ist eine Schimmelbesiedelung im Neubau. Rückmeldungen aus der Praxis und erste Studien scheinen eine (starke) Zunahme von Schimmelschäden im Neubau zu bestätigen (z. B. [1]). Der bestimmungswidrige Eintrag von Wasser in Hohlräume wie Fußbodenkonstruktionen durch Hochwasser, Leitungswasser (Warm-, Kalt-, Heiz-, Abwasser) oder Schlagregenereignisse lässt sich auch durch bestmögliches Nutzerverhalten nicht mehr reparieren. Durch Änderungen des Klimas werden Hochwasserereignisse mit überschwemmten Gebäuden zunehmen, und jedes Jahr werden etwa 1.100.000 Leitungswasserschäden in Deutschland von der Versicherungswirtschaft bearbeitet [2]. Dass die Sanierung oftmals nicht fachkompetent oder häufig dem Umfang nach nicht vollständig erfolgt, ist in Fachkreisen ein offenes Geheimnis. Unter biologischen Gesichtspunkten bedeutet dies, dass Teile des gebildeten Ökosystems im Gebäude verbleiben.

Zusammenfassend ist davon auszugehen, dass umfangreiche feuchtebasierte Ökosysteme in Wohnhäusern,

Bürogebäuden und öffentlichen Bauten vorhanden sind. Dabei ist Folgendes zu beachten: Wasser trocknet zeitabhängig durch den Übergang von der wässrigen Phase in die Gasphase ab. Im Gegensatz dazu sind Schimmelpilze und Bakterien gebildete Biomasse, die als „Schimmelweiden“ die Grundlage für höhere Lebewesen schaffen. Dabei stellt sich eine feuchtegetriebene mikrobielle Dynamik ein, die mit zeitlich und räumlich unterschiedlichen Wassermengen und Materialfeuchten zurecht kommen muss.

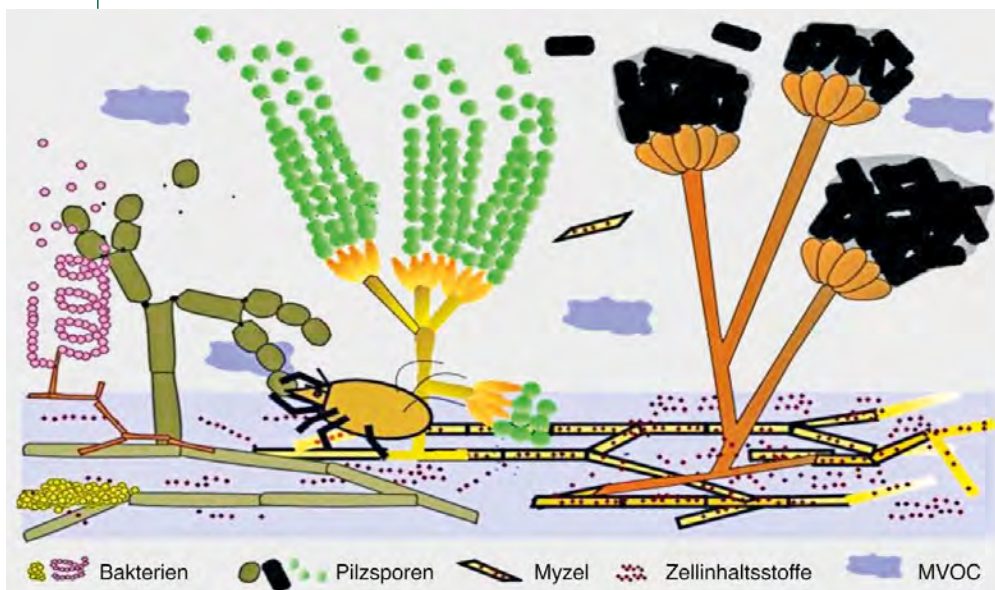
Biomasse in Fußbodenaufbauten: Produzenten, Destruenten und Konsumenten

Vor innenraumhygienischem Hintergrund werden bis heute ca. 100 Schimmelpilzarten und einige Bakteriengruppen als relevant eingestuft. Für das Verständnis von versicherungsrechtlichen Schadensfällen, werkvertraglich geregelten Sanierungsmöglichkeiten, gesundheitlicher Relevanz und Vermeidungsstrategien sind deren biochemische und zelluläre Strukturen von Interesse. Einblicke in die Mikroökologie sind auch Grundlage für das weitere Verständnis der von Mikroorganismen abhängigen höheren Lebewesen.

Das System „Schimmel“ weist in Innenräumen und Gebäuden eine trophische Struktur auf: Nach der Erstbesiedlung mit unterschiedlichsten Bakterien- und Schimmelpilzarten stellen sich in der Folge „Schimmelfresser“ und Konsumenten der 1. und 2. Ordnung ein. Die Triebkraft ist Feuchtigkeit oder kurz gesagt „Ohne Feuchtigkeit kein Schimmel“. Als „Schimmel“ wird mittlerweile ein ganzes „Ökosystem“ an einer Wand oder in einer Fußbodenkonstruktion bezeichnet (Abbildung 3). In der nachfolgenden Aufstellung sind für das gebäudeassoziierte „Ökosystem Schimmel“ die Biokontaminanten, Strukturen und (Mikro-)Organismen dargestellt, die sich bei einem Feuchte-/Schimmelschaden einstellen:

- Molekulare Bestandteile: gasförmige Verbindungen (MVOC = Microbial Volatile Organic Compounds), Geruchsstoffe, Zellwandbestandteile (β-Glucane), Isomannane, vielfältige Toxine
- Zelluläre Bestandteile: Myzel, Sporenträger, Sporen, Zellwandbruchstücke
- Mikroorganismen: Schimmelpilze, Bakterien, Amöben, Biofilme, Protozoen
- Pflanzen-/Schimmelpilzfresser: Milben, Staubläuse, Silberfischchen, Kellerasseln
- Räuber: Hundertfüßer, Raubmilben, Silberfischchen

ABB. 3 | ÖKOSYSTEM SCHIMMEL



Neben verschiedenen Mikroorganismen wie Schimmelpilze, Hefen, (Aktino-)Bakterien und Milben finden sich unterschiedliche gasförmige Emissionen wie MVOC und partikelartige Strukturen wie Sporen und Hyphenbruchstücke in dem gebäudeassoziierten „Ökosystem Schimmel“. Die Abbildung wurde dankenswerterweise von Herrn Christoph Trautmann zur Verfügung gestellt.

Offensichtliche „Wandschimmelbiotope“ gehen regelmäßig mit verdeckten und zunächst nicht sichtbaren „Fußbodenschimmelbiotopen“ einher (Abbildung 4). Weil Mikroorganismen häufig nicht mit dem bloßen Auge sichtbar sind, treten auch „unsichtbare“ Schimmelschäden auf. Diese sind nur mit einer angepassten Untersuchungsmethodik erkennbar. Der Lebensraum Haus zeichnet sich in verschiedenen Studien nicht nur als ein Ort mit hoher mikrobieller Vielfalt aus, sondern es findet sich auch eine hohe Biodiversität an Arthropoden [3]. Zum Teil ist das Biom von Häusern vor allem an leicht zugänglichen Stellen charakterisiert, z. B. unter Einrichtungsgegenständen oder in Geräten (wie Spülmaschinen und Trocknern). Die „natürliche“ Zusammensetzung dieser Hausgemeinschaft ist abhängig von der Ausstattung der Gebäude und der Nutzung durch die Bewohner. Wer einen Hund besitzt, wird in seinem Haus ein anderes Artenspektrum beherbergen, als es beispielsweise in einer Arztpraxis zu finden ist. In einem feuchten Gewölbekeller finden sich andere Lebewesen als im Dachboden oder im tropisch eingerichteten Wintergarten.

In den bisherigen Studien blieben schwer zugängliche Bauteile wie Dämmebenen von Fußbodenaufbauten oder Dachkonstruktionen unberücksichtigt, da hierfür Bauteilöffnungen und damit zerstörende Eingriffe in die Baustoffsubstanz verbunden sind. Für Gutachter und Sachverständige für Schadstoffe in Innenräumen mit Schwerpunkt Feuchte-/Schimmelschäden sind aber viele Fragestellungen nur mit Bauteilöffnungen zu bearbeiten. Im Rahmen von Auftragsarbeiten ist beinahe nebenher das „Ökosystem Haus“ in seinen verborgensten und üblicherweise nicht zugänglichen Winkeln zu erforschen. Das (ursprüngliche) Ökosystem Haus verändert sich nach Feuchteeinwirkung. Entstandene „Schimmelrasen“ ziehen höhere Lebewesen an [4]. Allgemein gilt, dass nach Feuchteeintrag die Artenvielfalt, die Individuenzahl der einzelnen Arten, die Individuengrößen und daraus resultierend die Biomasse jeweils zunehmen (Abbildung 5).

Raumluftuntersuchungen und die Funktion von MVOC

Zum Erkennen eines verdeckten und unter Umständen bezüglich Sporen „nicht-sichtbaren“ mikrobiellen Schadens kann die Raumluft auf gasförmige Stoffwechselprodukte von Schimmelpilzen und Bakterien getestet werden (MVOC). Unter dem Begriff MVOC werden unterschied-

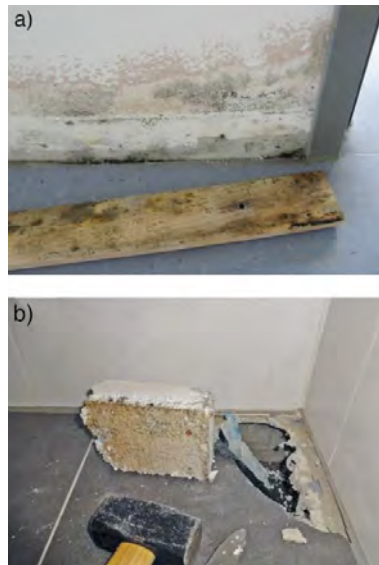


ABB. 4 Sichtbarer Schimmel (a) ist regelmäßig mit verdeckten, nicht sichtbaren Schimmelbiotopen (b) vergesellschaftet. Vor allem in der Dämmebene von Fußbodenkonstruktionen finden sich verdeckte und zunächst nicht sichtbare Schimmelsysteme. Sie werden speziell bei versicherungsrelevanten Schimmelschäden gerne „übersehen“.

lichste flüchtige Einzelverbindungen aus vielfältigen chemischen Verbindungsklassen zusammengefasst wie Aldehyde, Alkohole, Ketone, Ether, Ester, Terpene und Furane. Erhöhte bis hohe MVOC-Konzentrationen in der Raumluft werden als Indikator für einen verdeckten, nicht sichtbaren mikrobiellen Befall gewertet. Von dem (vergleichsweise) unempfindlichen menschlichen Geruchssinn können nur (sehr) hohe Konzentrationen der geruchsaktiven Verbindungen wahrgenommen werden. Die typische Geruchsqualität lässt sich als dumpf-muffig bis moderig-abgestanden, kellergeruchartig beschreiben.

Milben und Staubläuse werden durch „Schimmel“ mittels spezieller flüchtiger MVOC chemotaktisch angelockt. Diese MVOC-Lockstoffe sollten von Art zu Art unterschiedlich sein, wobei hierzu in der zur Verfügung stehenden Literatur keine Details zu finden sind. Nach Auffinden der Schimmelquelle „bedienen“ sich die Arthropoden an der Biomasse

und „bedanken“ sich durch die Weiterverbreitung der fortpflanzungsfähigen Einheiten, die in der Regel als Sporen vorkommen. Diese Symbiose unter Einbezug gesundheitlicher Belange für den Menschen ist in Abbildung 6 näher dargestellt.

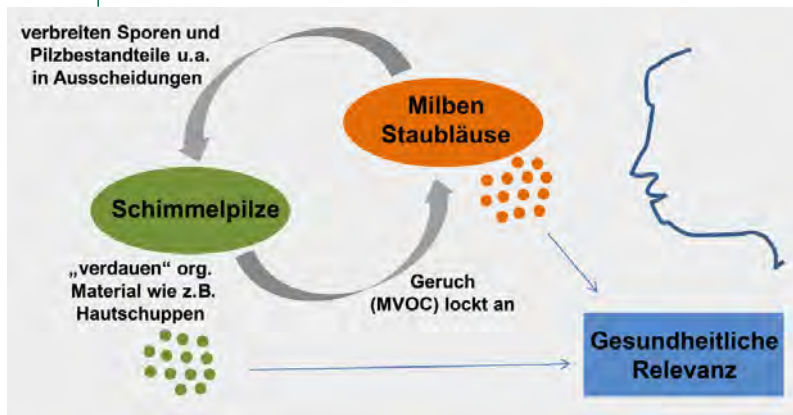
Gebäudeassoziierte Ökosysteme sind auch unter gesundheitlichen Gesichtspunkten interessant. Durch die Hurrikans Katrina und Sandy in den Jahren 2005 und 2012 kam es zu großflächigen Überschwemmungen und nachfolgend zur Schimmelbildung in vielzähligen US-amerika-

ABB. 5 | TROPHIEEBENEN IM ÖKOsystem „SCHIMMEL“



Das Ökosystem „Schimmel“ im Haus zeichnet sich dadurch aus, dass innerhalb der verschiedenen Trophieebenen die Produzentenebene weitgehend fehlt. Der Grund hierfür sind die in den Häusern vorhandenen energiereichen (Bau-) Materialien und bauübliche organische Verunreinigungen in nicht einsehbaren Fußboden-, Wand- und/oder Decken- bzw. Dachkonstruktionen.

ABB. 6 | FEUCHTEINDUZIERTE SYMBIOSE



Zusammenhang zwischen gebildeten MVOC's durch Schimmelpilze und deren Anlockung von bzw. Weiterverbreitung durch Milben und Staubläuse. Alle beteiligten Organismen dieser Symbiose sind für die menschliche Gesundheit relevant. Auslöser ist bestimmungswidrig in Gebäuden freigesetzte(s) oder eingetragene(s) Wasser bzw. Feuchtigkeit.

nischen Gebäuden. Deshalb beschäftigten sich wissenschaftliche Arbeiten u. a. mit der Toxizität von MVOC. Unabhängig davon hat die Weltgesundheitsorganisation WHO im Jahr 2009 auf den Zusammenhang zwischen Feuchtigkeit, Schimmel und Gesundheit hingewiesen [5]. Für Deutschland wurde von verschiedenen medizinischen Fachgesellschaften das aktuelle diesbezügliche Wissen zusammengetragen [6]. Dieses ist in weiten Teilen weder der Ärzteschaft noch der breiten Öffentlichkeit bekannt. Tatsächlich kann Schimmel in Innenräumen die Gesundheit auf unterschiedlichste Weise massiv beeinträchtigen. Mittlerweile liegen auch erste Schätzungen zur Häufigkeit von Atemwegserkrankungen vor, die von Mikroorganismen in Innenräumen verursacht werden. In Europa haben demnach rund 2,2 Millionen Menschen Asthma, weil sie in feuchten oder schimmeligem Wohnungen leben [7]. Die finanziell zu erbringenden Leistungen der Gesundheitssysteme für diese eine gebäudebedingte Erkrankung liegen laut dieser Studie im Milliardenbereich – und das pro Jahr.

Bioindikatoren für Schimmelschäden

Milben, Staubläuse und Silberfischchen mögen es warm und feucht, womit diese Arthropoden im selben „Ökosystem“ wie Schimmelpilze und Bakterien zuhause sind.

Milben (Acari) kommen in allen Lebensräumen der Welt vor. Sie sind

mit bloßem Auge nicht zu erkennen – ihre Bestandteile und Ausscheidungen werden bei systematischen mikroskopischen Untersuchungen an Materialproben aus feuchtebelasteten Innenräumen regelmäßig nachgewiesen. Hausstaubmilben ernähren sich nicht direkt von Hautschuppen der Raumnutzer und Haustiere, sondern leben in Symbiose mit bestimmten Schimmelpilzarten, die ihnen ihre Nahrung (speziell Hautschuppen) quasi vorverdauen. Dabei fressen die Milben auch Schimmelpilzbestandteile und damit Allergene, die als Kot wieder ausgeschieden werden. Diese und milbenspezifische Allergene bereiten den Raumnutzern mitunter große gesundheitliche Beschwerden. Bronchialasthma, Rhinitis und Hautirritationen werden dem Vorkommen von Milben zugeschrieben. Neben Hausstaubmilben können auch „Raubmilben“ der Gattung *Gamasina* im Mikrobiotop einer Wohnung vorkommen. Als Jäger und Schimmelfresser tritt häufiger *Lasioseius penicilliger* besonders an Holzleisten von Neubauten auf.

Staubläuse (Psocoptera, Copeognathen) sind Insekten, die häufig in Häusern oder Wohnungen mit Feuchteschaden vorkommen (Abbildung 7). Als primäre „Schimmelfresser“ sind Staubläuse (bezogen auf Innenraumuntersuchungen) damit als eindeutiger Anzeiger einer erhöhten Feuchte und von Schimmelpilzwachstum in Wohnräumen anzusehen. Sie weiden in Häusern Schimmelrasen an offenliegenden und verdeckten Oberflächen ab. (Massenhafte) Vorkommen von Staubläusen in Neubauten weisen auf ein (großes) Feuchteproblem hin. Typischerweise sind dann nicht einsehbar Dämmebenen von Fußbodenaufbauten bereits mit Schimmelpilzen besiedelt. Staubläuse riechen gasförmige Emissionen von Schimmelpilzen lange bevor diese für die menschliche Nase wahrnehmbar sind. Im Laufe eines Trocknungsvorgangs wird sich die „Staublauspopulation“ aufgrund schlechter werdender Lebensbedingungen (fehlende Feuchtigkeit) verringern und am Ende von selbst verschwinden (Insektizideinsätze sind daher nicht zweckmäßig). Im Gegensatz dazu verbleiben gesundheitsrelevante Schimmelpilzbestandteile aber weiterhin im Haus. Bereits im Jahr 1953 wurde in [8] auf die Indikatorfunktion von Staubläusen hingewiesen. In der Schrift von Stefan von Kéler (Abbildung 8) wird auf folgendes hingewiesen: „Wo sich in Wohn- und Speicherräumen Copeognathen massenhaft zeigen, sollen Maßnahmen zur Unterbindung der Schimmelbildung getroffen werden, ganz gleich ob Schimmelrasen

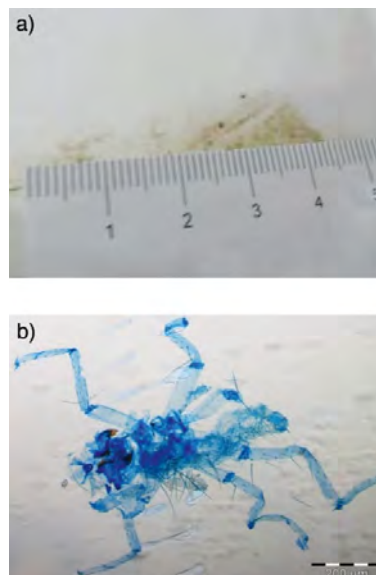


ABB. 7 Staubläuse in Gebäuden sind mit dem bloßen Auge schwer zu erkennen. a) Sich „bewegende“ schwarze Punkte an der Wand oder auf der Sockelleiste sind in der Regel auf Staubläuse zurückzuführen. b) Unter dem Mikroskop wird der typische Insektenbau u. a. mit drei Beinpaaren erkennbar.

sichtbar bzw. Modergeruch bemerkbar ist oder nicht.“

Das **Silberfischchen** (*Lepisma saccharina*, Abbildung 9) ist der bekannteste Vertreter der Wohnungsfischchen (Zygentoma): Das Silberfischchen und seine größeren Verwandten, die Ofen- und Papierfischchen, sind flügellose, aber dennoch flinke Urinsekten. Silberfischchen kommen oft in Häusern vor: Sie sind nachtaktiv, äußerst lichtscheu, leben im Verborgenen, bevorzugen Wärme und benötigen Feuchtigkeit. Sie ernähren sich u. a. von Haaren, Hautschuppen und Schimmelpilzen; Hausstaubmilben dienen ihnen als tierische Nahrung. Ein Auftreten deutet auf Feuchtigkeit in Wohnungen hin, womit auch Silberfischchen Bioindikatoren für verdeckte Schimmelschäden sind.

Durch einen verdeckten Schimmelschaden kann sich in kurzer Zeit unbemerkt eine Nahrungskette in Bauteilen und speziell in Fußbodenkonstruktionen aufbauen. Die sich wegen feucht-warmen Umgebungsbedingungen einstellenden „Schimmelfresser“ Staubläuse, Silberfischchen und Co. sind damit zuverlässige Helfer eines jeden Sachverständigen, sofern dieser über biologische Grundkenntnisse verfügt. Sie liefern erste Anhaltspunkte und werden häufig bezüglich ihrer Aussagekraft unterschätzt. Durch Entzug der Lebensgrundlage (hier in erster Linie: Entzug von Feuchtigkeit) lassen sich eine Vielzahl von „Mitbewohnern“ ohne Einsatz von Bioziden wieder vertreiben. Der entstandene und hoffentlich entdeckte Schimmelschaden muss trotzdem fachgerecht saniert werden, da entsprechend der allgemeingültigen Einschätzung (Vorsorgeprinzip) möglichst alle Bestandteile des „Ökosystems Schimmel“ wie Pilzstrukturen, Toxine und Milbenkot (allergenes Potenzial) aus Wohnräumen entfernt werden sollten.

„Messinstrument Schimmelspürhund“

Zum Nachweis oder zum Ausschluss von Schimmelvorkommen in umbauten Räumen und den daraus resultierenden Innenraumbiotopen gibt es bis heute kein direktanzeigendes technisches Gerät. Sozusagen als Nutzbarmachung von MVOC-Emissionen des Systems „Schimmel“



ABB. 8 Titelbild der Schrift zu Staubläusen [8] aus dem Jahr 1953: Bereits damals wurde auf die Indikatorfunktion von Staubläusen für Schimmelschäden hingewiesen. Dieses „Basiswissen“ ging im Laufe der Jahre verloren.



ABB. 9 Silberfischchen in seinem „natürlichen“ Wohnumfeld. Das Vorkommen von Silberfischchen zeigt feuchtwarme Umgebungsbedingungen z. B. in Fußbodenaufbauten an. Zusammen mit der Ernährung von Schimmelpilzen sind sie ein Indikatororganismus für verdeckte, nicht sichtbare Schimmelschäden.

kann als tierischer MVOC-Detektor eine Hundenase eingesetzt werden. Mit dem „Messinstrument Schimmelspürhund“ wurde in den letzten Jahren ein an unserem Sachverständigen-Institut peridomus weiterentwickeltes, zerstörungsfreies Verfahren zum Erkennen, lokalen Eingrenzen oder aber zum Ausschluss von relevanten Schimmelschäden etabliert (Abbildung 10): Aus vielfältigen praktischen Einsätzen unter Einbezug von systematischen Innenraumuntersuchungen zusammen mit Einzelfallbeschreibungen belegt und abgesichert durch eine wissenschaftliche Studie [9] können Schimmelspürhunde ähnlich wie Drogen-, Lawinen- oder Sprengstoffsuchhunde durch ihren guten Geruchssinn ihre Schimmelsuchaufgabe zuverlässig erledigen. Zu diesem zunächst exotisch anmutenden Untersuchungsverfahren „Messinstrument Schimmelspürhund“ wurde in den letzten Jahren anhand vielfältiger und vielzähliger Projekte in Kindergärten, Schulen und Studentenwohnungen über Wohnhäuser bis hin zu großen Büro- und Wohnkomplexen ein reicher Erfahrungsschatz gewonnen. Wie mit einem (geruchlichen) Röntgenblick wird in Bauteile hineingerochen und ein ggf. vorhandenes, nicht einsehbares Schimmelvorkommen angezeigt. Wegen großer Qualitätsunterschiede müssen die eingesetzten Schimmelspürhunde gut geschult und ihre Leistungen regelmäßig überprüft werden, um sie als vertrauenswürdig einschätzen zu können. Zur Absicherung der Ergebnisse der Begehung mit einem Schimmelspürhund und zur Qualifizierung und Quantifizierung des mikrobiellen Schadens sollten stichprobenartig zweckdienliche Materialproben aus

markierten Bereichen genommen werden. Diese sind mit geeigneten mikrobiologischen Methoden auf Schimmelpilze und Bakterien zu untersuchen.

Umfang und Häufigkeit von Schimmelschäden

Nach einer Studie aus dem Jahr 2003 [10] liegt in Deutschland in 21,9 Prozent aller Wohnungen ein offensichtlicher Feuchte-/Schimmelschaden vor. In absoluten Zahlen sind dies etwa 9.300.000 Wohnungen (bei einem Bestand von ca. 43.000.000 Wohnungen). Nach neueren Erkenntnissen



ABB. 10 a) Schimmelspürhund mit Hundeführer als Teil des „Messinstrumentes Schimmelspürhund“: Der Hund ist die Messsonde, der Hundeführer der Trainer und Verstärker der Messsonde. Ergänzt wird das Team durch einen sachkundigen Fachsachverständigen, der das Markierungsverhalten des Hundes dokumentiert und das weitere Vorgehen festlegt, z. B. wo zur Absicherung der Hundebefunde stichprobenartig Materialproben für laboranalytische Untersuchungen zu gewinnen sind. b) Die eigentliche Messsonde ist die Hundenasen.

könnte jedes zweite Gebäude einen (verdeckten, nicht sichtbaren) Feuchte-/Schimmelschaden aufweisen (zusammengefasst in [11]). Gründe hierfür sind schnelle Bauweisen ohne genügend Trocknungszeit, viele Wasserschäden, die (oft unglaublichen) Praktiken der Bauschaffenden, die Bauabläufe vor Ort zusammen mit dem Klima in Mitteleuropa. Erste Studien und Veröffentlichungen, Einzelfallbeschreibungen, Schätzungen aus (nicht repräsentativen) Umfragen, Diskussionen mit „echten“ Fachleuten zusammen mit einem gesunden Menschenverstand bestätigen dies. Zusätzlich scheint ein großer Anteil betroffener Räumlichkeiten im Rahmen von Sanierungsmaßnahmen nicht vollständig von der gebildeten Biomasse befreit zu werden. So ist z.B. (im Unterschied zu medizinischen

Fragestellungen) eine Desinfektion in Gebäuden nicht fachgerecht, da damit die Biomasse nur chemisch verändert, aber nicht beseitigt wird.

Aus diesen (vorläufigen) Erkenntnissen ist in vielen unserer Innenräume und Gebäude eine vielzählige Gemeinschaft aus Mikroorganismen sowie eine artenreiche Arthropodenfauna abzuleiten, die sich speziell in Abhängigkeit von Feuchteereignissen in Bezug auf Artenspektrum, Biomasse u. a. mehr oder weniger intensiv über ein Normalmaß hinaus ausprägt. Für Schimmel im Sinne einer gesundheitlichen Vorsorge ist das Normalmaß definiert: Eine Besiedelung von Schimmelpilzen und Bakterien nach einem Feuchteereignis ist wegen unkalkulierbarer Gesundheitsrisiken nicht erwünscht [12]. Wie ein feuchteunabhängiges Normalmaß an Arthropoden in unseren Innenräumen zu definieren wäre, ist bis heute nicht bekannt.

Im Gesamtzusammenhang ist ein weiteres Phänomen erwähnenswert: Während ein sichtbar verschimmeltes Brot oder der Schimmel an der Wand zur sofortigen Beseitigung aufrufen, ist ein flächiger, verdeckter (nicht sichtbarer) Schimmelschaden für viele Raumnutzer und Immobilieneigentümer von scheinbar untergeordnetem Interesse nach dem Motto: „Was ich nicht sehe, ist nicht“. Bisher beschäftigen sich (nahezu ausschließlich) Kaufleute, Techniker und Juristen mit innenraumrelevanten Organismen – beispielsweise im Rahmen von versicherten Feuchte-/Schimmelschäden oder werkvertraglichen Auseinandersetzungen nach bestimmungswidrigen Feuchteinträgen in Bauteile. Warum sich hier Biologen mit ihrem Wissen so wenig einbringen, ist eine offene Frage.

Unabhängig von alledem können die umfangreichen Beobachtungen im Rahmen von Auftragsarbeiten und die daraus gezogenen Schlussfolgerungen nur ein Beginn sein zur systematischen Erforschung der Wohnraumbiologie. Bestandsaufnahmen, Ursachenermittlung, Wechselwirkungen und Besiedelungsmodelle sind mögliche Ansätze zum Verstehen der biologischen Zusammenhänge in Gebäuden. Die erhaltenen Zwischenergebnisse sollten die Grundlage für größere interdisziplinäre Forschungsvorhaben bilden. Der Nutzen von biologischen Erkenntnissen ist oftmals erst auf den zweiten Blick zu erkennen. Insbesondere deshalb wird zu einem Dialog aufgerufen zwischen Ministerien, der Versicherungsbranche, der Bauwirtschaft, Sanierungsunternehmen, Vertretern von Krankenkassen und anderen Organisationen wie Fachverbänden. Vor wohnraumbiologischem Hintergrund wesentlich erscheinen ein fachübergreifendes Denken und Handeln zum Wohl unserer Gesellschaft und der wirtschaftlich oder gesundheitlich Betroffenen.

Zusammenfassung

Lebewesen begleiten den Menschen, seitdem er sich in abgetrennten Bereichen vor Gefahren und der Witterung schützt. Durch den Eintrag von Feuchtigkeit in modernen

Gebäuden werden das Artenspektrum und die Biomasse in Räumen deutlich erhöht. Nach der feuchteabhängigen Besiedelung durch Schimmelpilze und Bakterien werden gebildete „Schimmelrasen“ von Milben, Staubläusen und Silberfischchen beweidet. Die Bedeutung von Milben, Staubläusen und Silberfischchen als Bioindikatoren für Feuchte-/Schimmelschäden wird bis heute unterschätzt. Der Einsatz eines Schimmelspürhundes kann als weiterer und weiterführender Baustein einer tierischen Bioindikorkette für Schimmelschäden gewertet werden: Mit dieser Methodik wurden neue Erkenntnisse über unsere Innenraumqualitäten gewonnen. Im Routineeinsatz liefern Schimmelspürhunde, wenn auch mit großen Qualitätsunterschieden, wesentliche Entscheidungsgrundlagen für das Erkennen und fachgerechte Sanieren von Feuchte-/Schimmelschäden.

Summary Ecosystem house

Living organisms have accompanied humans ever since they have sheltered in secluded areas from danger and the elements. The introduction of moisture into modern buildings significantly increases the species spectrum and biomass in rooms. After the moisture-dependent colonisation by moulds and bacteria, formed “mould lawns” are grazed by mites, dust lice and silverfish. The importance of mites, dust lice and silverfish as bioindicators of moisture/mould damage is still underestimated today. The use of a mould sniffing dog can be seen as a further and more advanced component of an animal bioindicator chain for mould damage: With this methodology, new insights into our indoor qualities have been gained. In routine use, mould sniffer dogs – albeit with great differences in quality – provide essential bases for decision-making for the detection and professional remediation of damp/mould damage.

Schlagworte

Schimmel, Schimmelpilze, Wohngebäude, Arthropoden, Spürhund.

Literatur

- [1] E. Foitzik (2014). Risikoanalyse für Schimmel in Neubauten, Master-Thesis Donau-Universität Krems.
- [2] G. Scholzen (2010). Leitungswasserschäden: Probleme ohne Ende, Leitungswasser 3, 8–14.
- [3] M. Leong et al. (2017). The Habitats Humans Provide: Factors affecting the diversity and composition of arthropods in houses, Scientific Reports 7, 15347.
- [4] S. Stahl (2016). Vom verdeckten zum sichtbaren Schimmelschaden mit Staubläusen, Silberfischchen & Co., Tagungsband 6. Würzburger Schimmelpilz-Forum „Feuchtigkeit in Fußbodenkonstruktionen und dessen Folgen“, 59–66.
- [5] World Health Organization (2009). WHO-guidelines for indoor air quality: dampness and mould.
- [6] Arbeitsgemeinschaft medizinisch-wissenschaftlicher Forschungsinstitute (2016). AWMF-Leitlinie: Medizinisch klinische Diagnostik bei Schimmelpilzexposition in Innenräumen.
- [7] S. Urlaub, G. Grün (2016). Mould and dampness in European homes and their impact on health, IBP-Report, EER-058/2016/950.
- [8] S. von Kéler (1953). Staubläuse. Die neue Brehm Bücherei, Verlag K. G. Wolf.
- [9] J. Wallner, C. Hanus, G. Führer (2012). Das „Messinstrument Schimmelspürhund“, Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 72/3, 94–98.
- [10] S. Brasche et al. (2003). Vorkommen, Ursachen und gesundheitliche Aspekte von Feuchteschäden in Wohnungen – Ergebnisse einer repräsentativen Wohnungsstudie in Deutschland, Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz 46/8, 683–693.
- [11] G. Führer, B. Kober (2018). Schimmel und andere Schadfaktoren am Bau, Bundesanzeiger Verlag, Köln.
- [12] Umweltbundesamt (2017). Leitfaden zur Vorbeugung, Erfassung und Sanierung von Schimmelbefall in Gebäuden. Dessau-Roßlau.
- [13] L. J. Martin et al. (2015). Evolution of the indoor biome, Trends in Ecology & Evolution 30 (4), 223–232.

Verfasst von:



Gerhard Führer, Jahrgang 1960, Studium der Biologie und Chemie an der Universität Würzburg, wiss. Mitarbeiter am Helmholtz Forschungszentrum in München, Ehrenprofessor der Donau-Universität Krems, öffentlich bestellter und vereidigter (ö.b.u.v.) Sachverständiger für Schadstoffe in Innenräumen und Leiter des Sachverständigen-Instituts peridomus in Himmelstadt bei Würzburg. Arbeitsschwerpunkte: Bestandsanalysen nach Feuchte-/Schimmelschäden und Durchsetzung berechtigter Forderungen von Betroffenen gegenüber Verursachern bzw. Dritten.



Sonja Stahl, Jahrgang 1974, Studium der Biologie an der Universität Würzburg, wiss. Mitarbeiterin am Lehrstuhl Klinische Biochemie/Pathobiochemie, Sachverständige für Schimmelpilze am Sachverständigen-Institut peridomus, Lehraufträge und Beratungstätigkeit. Arbeitsschwerpunkte: Innenraumforensik unter (mikro)biologischen Gesichtspunkten, chemische und mikrobiologische Bestandsaufnahmen in Privathäusern, Neubauten, Bürokomplexen und öffentlichen Gebäuden.

Korrespondenz:

Dr. Gerhard Führer
Sachverständigen-Institut peridomus
Rudolf-Diesel-Str. 2
97267 Himmelstadt/Würzburg
E-Mail: info@peridomus.de



Verband | Biologie, Biowissenschaften
& Biomedizin in Deutschland

**GEMEINSAM
FÜR DIE**

BIEWISSENSCHAFTEN

Gute Gründe, dem VBIO beizutreten:

- Werden Sie Teil des größten Netzwerks von Biowissenschaftlern in Deutschland
- Unterstützen Sie uns, die Interessen der Biowissenschaften zu vertreten.
- Nutzen Sie Vorteile im Beruf
- Bleiben Sie auf dem Laufenden – mit dem VBIO-Newsletter und dem Verbandsjournal „Biologie in unserer Zeit“
- Treten Sie ein für die Zukunft der Biologie



www.vbio.de

Jetzt beitreten!

