Mykotoxine in Innenräumen, aktueller Stand in Praxis und Forschung

Ableitung vorläufiger Orientierungswerte für Raumluft, Baumaterialien, Oberflächen und Hausstaub

Carmen Kroczek, Florian Schrettl, Jörg Thumulla,
anbus analytik GmbH + AnBUS e.V., Fürth

Zusammenfassung

Mykotoxine sind sekundäre Stoffwechselprodukte von Schimmelpilzen, die in feuchtigkeitsgeschädigten Gebäuden ein erhebliches gesundheitliches Risiko für die dort lebenden und arbeitenden Personen darstellen können. Während die orale Aufnahme über kontaminierte Lebensmittel seit Jahrzehnten reguliert und gut erforscht ist, rückt der inhalative Aufnahmepfad in Innenräumen erst zunehmend in den Fokus wissenschaftlicher Auseinandersetzung.

Ihr Vorkommen in Innenräumen hängt von einer Vielzahl von Einflussfaktoren ab und ist nicht zwingend mit sichtbarem Schimmelpilzbefall verbunden. Bislang fehlten für die Bewertung von Mykotoxinen in Innenräumen Orientierungswerte. Der vorliegende Beitrag beleuchtet das Vorkommen innenraumrelevanter Mykotoxine, fasst den aktuellen Stand zum Wirkungsspektrum – von krebsauslösenden über mutagene bis hin zu neurotoxischen und immunsuppressiven Effekten – zusammen und stellt zum ersten Mal auf Basis von Untersuchungsergebnissen aus über 15 Jahren gutachterlicher Praxis sowie aus dem Forschungsprojekt „Mykotoxine in Innenräumen" des AnBUS e.V. vorläufige Orientierungswerte (vOW) für Baumaterialien, Raumluft und Oberflächenproben (Wischproben) zur Verfügung. Insgesamt wurden 24 innenraumrelevante Mykotoxine berücksichtigt, darunter Aflatoxine, Ochratoxin A, Sterigmatocystin, Satratoxine und Trichothecene.

Die vorgelegten Werte ermöglichen erstmals eine systematische Einschätzung, ob Mykotoxine in relevanter Konzentration an einem mikrobiellen Schadensgeschehen in Innenräumen beteiligt sind, und bilden die Grundlage für verhältnismäßige Schutzmaßnahmen im Sinne der Prävention.

Schlüsselwörter: Mykotoxine, Innenraumhygiene, Schimmelpilze, Orientierungswerte, Raumluft, Hausstaub, Baumaterialien, Wischproben / Oberflächenproben, Exposition, Prävention

Kroczek, Carmen; Schrettl, Florian; Thumulla, Jörg (2026): Mykotoxine in Innenräumen, aktueller Stand in Praxis und Forschung. Ableitung vorläufiger Orientierungswerte für Raumluft, Baumaterialien, Oberflächen und Hausstaub. Beitrag zum 14. Fachkongress 2026, Bremen, 25.09.2026. Hrsg. AGÖF. https://www.agoef.de/veranstaltungen/fachkongresse/14-fachkongress-2026/mykotoxine-in-innenraeumen-aktueller-stand-in-praxis-und-forschung
Beitrag zum 14. AGÖF-Fachkongress am 24. und 25. September 2026 in Bremen
„Umwelt, Gebäude & Gesundheit: Gerüche, Asbest, PCB und weitere SVOC“

Abstract

Mycotoxins are secondary metabolites of molds that can pose a significant health risk to people living and working in moisture-damaged buildings. While oral ingestion via contaminated food has been regulated and well-researched for decades, the inhalation pathway in indoor environments is only now increasingly becoming the focus of scientific inquiry.

Their presence indoors depends on a variety of influencing factors and is not necessarily associated with visible mold growth. Until now, there have been no established reference values for assessing mycotoxins in indoor environments. This article examines the occurrence of indoor mycotoxins, summarizes the current state of knowledge regarding their spectrum of effects—from carcinogenic and mutagenic to neurotoxic and immunosuppressive—and, for the first time, provides preliminary guideline values (vOW) for building materials, indoor air, and surface samples (wipe samples) based on findings from over 15 years of expert assessment practice and the research project "Mycotoxins in Indoor Environments" by AnBUS e.V. A total of 24 indoor mycotoxins were considered, including aflatoxins, ochratoxin A, sterigmatocystin, satratoxins, and trichothecenes.

The presented values enable, for the first time, a systematic assessment of whether mycotoxins are involved in microbial damage in indoor environments at relevant concentrations and form the basis for proportionate protective measures in the sense of prevention.

Keywords: Mycotoxins, indoor hygiene, mold, guideline values, indoor air, house dust, building materials, wipe samples / surface samples, exposure, prevention

1. Einleitung

In Innenräumen mit Feuchteschäden und Schimmelpilzbelastungen zeigen sich bei exponierten Personen nicht nur die bekannten allergischen Reaktionen, sondern auch Beschwerden und Befunde, die auf eine nichtallergische Pathologie hindeuten – darunter toxische, neurologische und irritative Veränderungen des Atemtraktes, des Immunsystems und der Haut.

Die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit möglichen Zusammenhängen zwischen diesen Beschwerdebildern und einer Mykotoxinexposition im Innenraum hat in den letzten Jahrzehnten deutlich an Fahrt gewonnen, ist aber in der Praxis der Innenraumhygiene noch nicht flächendeckend angekommen. Im Bereich der Lebensmittelsicherheit existieren seit Jahrzehnten etablierte gesetzliche Grenzwerte, während für den Innenraumbereich vergleichbare Bewertungsmaßstäbe hingegen bislang vollständig fehlen.

Croft et al. (1986) berichteten als eine der ersten Forschungsgruppen über einen Fall von Trichothecen-Toxikose durch Schimmelpilze in einem feuchtegeschädigten Gebäude. Die Symptome erinnerten an die Stachybotryotoxikose, die ursprünglich von Pferden nach Aufnahme von verschimmeltem Stroh bekannt war. Seither sind Mykotoxine und ihre Freisetzung in die Raumluft fester Bestandteil wissenschaftlicher Kongresse und Fachzeitschriften zum Thema Innenraumhygiene. Die erste internationale Fachtagung zur inhalativen Mykotoxinexposition fand 1994 in New York statt; in Deutschland wurde das Thema ab 1996 verstärkt aufgegriffen (Fromme et al. 2016). Epidemiologische Studien belegen einen Zusammenhang zwischen Schimmelpilzexposition in Innenräumen und den beschriebenen Gesundheitsstörungen – sei es durch direkte toxische Wirkungen der Mykotoxine oder durch verstärkende Wechselwirkungen mit anderen Sekundärmetaboliten beispielsweise bakterieller Herkunft (sog. Multitoxineffekt). Das Problem bisheriger Studien liegt jedoch in der Komplexität der bei Schimmelbefall auftretenden Bioaerosole: Schimmelpilze, Bakterien, Endotoxine, β-1,3-Glucane und Mykotoxine wirken im Gemisch, können synergistische Effekte entfalten und erschweren eine eindeutige Kausalzuweisung. Zudem wird die tatsächliche Schimmelexposition durch die Tatsache unterschätzt, dass schätzungsweise die Hälfte aller Schimmelschäden nicht sichtbar in der Gebäudekonstruktion liegen (Szewzyk, R. et al. 2010).

Für die Praxis der Innenraumhygiene ergibt sich daraus die Notwendigkeit, Mykotoxine als eigenständige Gefährdungsgröße neben Sporen, Fragmenten und flüchtigen organischen Verbindungen zu erfassen und zu bewerten. Der vorliegende Beitrag leistet hierzu einen strukturierten Überblick auf der Grundlage aktueller wissenschaftlicher Erkenntnisse und stellt darüber hinaus neue Befunde vor, die den Forschungsstand für die Praxis relevanter Weise erweitern und als wesentliche Grundlage für die Ableitung von Orientierungswerten für eine Gefährdungsbeurteilung dienen.

Kroczek, Carmen; Schrettl, Florian; Thumulla, Jörg (2026): Mykotoxine in Innenräumen, aktueller Stand in Praxis und Forschung. Ableitung vorläufiger Orientierungswerte für Raumluft, Baumaterialien, Oberflächen und Hausstaub. Beitrag zum 14. Fachkongress 2026, Bremen, 25.09.2026. Hrsg. AGÖF. https://www.agoef.de/veranstaltungen/fachkongresse/14-fachkongress-2026/mykotoxine-in-innenraeumen-aktueller-stand-in-praxis-und-forschung
Beitrag zum 14. AGÖF-Fachkongress am 24. und 25. September 2026 in Bremen
„Umwelt, Gebäude & Gesundheit: Gerüche, Asbest, PCB und weitere SVOC“

2. Grundlagen: Was sind Mykotoxine?

Mykotoxine sind natürliche sekundäre Stoffwechselprodukte, die im Wesentlichen von Schimmelpilzen gebildet werden. Sie gehören nicht zur stofflichen Grundausstattung der Organismen, sondern stellen Substanzen unterschiedlicher chemischer Struktur dar, die für Menschen und Tiere toxisch sind. Bislang sind weit über 400 verschiedene Mykotoxine bekannt, die von mehr als 100 Pilzspezies produziert werden.

Mykotoxine haben heterogene molekulare Strukturen und verschiedene chemische und physikalische Eigenschaften wie z.B. die Löslichkeit in polaren und unpolaren Lösungsmitteln. Es sind etwa 25 verschiedene Strukturtypen bekannt, denen unterschiedlichste Eigenschaften bezogen auf Toxizität, Polarität und Löslichkeit zugeordnet werden. Z.B. liegt die Wasserlöslichkeit für Ochratoxin A bei 0,4 µg/ml und für Aflatoxin B1 bei 55 mg/ml (Khan et al., 2024; Janik et al., 2020). Gemeinsames Kennzeichen für die Mykotoxinstoffgruppe ist der niedermolekulare Charakter und die damit verbundene physikalisch-chemische Stabilität (Bennett & Klich, 2003). Weshalb Schimmelpilze Mykotoxine bilden, ist noch nicht abschließend geklärt; ein plausibler Erklärungsansatz sieht ihre Funktion in der Abwehr von Konkurrenten oder Fressfeinden.

3. Bildungsbedingungen im Innenraum

Unabdingbare Voraussetzung für Schimmelpilzwachstum – und damit für eine mögliche Mykotoxinproduktion – ist das Vorhandensein eines verwertbaren Substrats sowie ausreichende Feuchtigkeit. Dabei ist nicht die Gesamtfeuchte des Materials entscheidend, sondern der Anteil frei verfügbaren Wassers, ausgedrückt als Wasseraktivität (a_w-Wert). Je nach Pilzspezies schwankt der minimal erforderliche a_w-Wert für Wachstum zwischen 0,68 und 0,95. Das Temperaturoptimum für Mykotoxinproduktion liegt bei 25,5 ± 5,5 °C; eine Toxinbildung ist jedoch auch bei niedrigeren Temperaturen möglich, dann aber verlangsamt und in geringerer Konzentration (Janik et al., 2020).

Wichtig für das Verständnis der Innenraumsituation ist, dass Schimmelpilzwachstum zwar eine notwendige Voraussetzung für das Auftreten von Mykotoxinen ist, eine Toxinbildung jedoch nicht bei allen Schimmelpilzarten und nicht unter allen Wachstumsbedingungen auftritt. Umgekehrt können Mykotoxine als chemisch stabile Verbindungen noch lange nach dem Absterben oder der Beseitigung der pilzlichen Produzenten im Innenraum verbleiben – ein Aspekt, der für Diagnostik und Sanierungsplanung von erheblicher praktischer Bedeutung ist. Viele Mykotoxine sind bis zu 400 °C hitzestabil, was ihre Persistenz in verarbeiteten Materialien und Gebäudebaustoffen erklärt (Mayer, S. et al., 2007).

4. Innenraumrelevante Mykotoxine: Makrozyklische Trichothecene im Fokus

Für die Innenraumhygiene besonders relevant sind die makrozyklischen Trichothecene, da spezifisch jene Schimmelpilzgattungen, die als Feuchteindikatoren in Innenräumen gelten, insbesondere

Acremonium, Stachybotrys und Trichoderma, diese Mykotoxine produzieren können (Brasel et al., 2005). Den wichtigsten Hauptproduzenten stellt Stachybotrys chartarum dar, der vorwiegend auf feuchten, zellulosehaltigen Materialien wie Tapeten und Gipskartonplatten wächst und dort auch Toxine produzieren kann (Gottschalk et al., 2008). Zur Gruppe der makrozyklischen Trichothecene zählen unter anderem Satratoxin G und H, Isosatratoxin F, Verrucarol, Verrucarin A, Verrucarin J sowie Roridin E, L2 und H. Diese Verbindungen zeichnen sich durch eine hohe biologische Potenz aus: Sie induzieren Proteinsynthesehemmungen und Immunsuppressionen, weisen neurotoxische, dermatotoxische und pulmotoxische Wirkungen auf und können proinflammatorische Zytokine wie den Tumor-Nekrose-Faktor (TNF) hochregulieren (Corps et al., 2010; Pestka et al., 2008; Chung et al., 2003; Nielsen et al., 2002). Forschungsprojekte der letzten Jahre haben gezeigt, dass neben den oben genannten makrozyklischen Trichothecenen weitere Mykotoxine, die von für Feuchteschäden typischen Pilzgattungen gebildet werden, für den Innenraum von Bedeutung sind (Gareis, 2024):

- *Aspergillus* spp.: Aflatoxine, Ochratoxin A, Sterigmatocystin u.a.
- *Penicillium* spp.: Citrinin, Patulin, Roquefortin C, Penitrem A, Mycophenolsäure u.a.
- *Chaetomium* spp.: Chaetoglobosin A u.a.
- *Stachybotrys* spp.: Stachybotrylactam

4.1 Vorkommen von Mykotoxinen in Innenräumen

Das Vorkommen von Mykotoxinen in Innenräumen wurde lange Zeit unterschätzt, gewinnt in der wissenschaftlichen Diskussion aber zunehmend an Gewicht. Personen, die in feuchtigkeitsgeschädigten Gebäuden leben oder arbeiten, in Archiven, Getreidesilos, landwirtschaftlichen Betrieben, Kompostierungsanlagen, Museen, Schulen, Bürogebäuden oder Gebäude mit kontaminierten Lüftungsanlagen (HVAC-Systemen) tätig sind, können über den inhalativen Weg gegenüber Mykotoxinen exponiert sein (Fischer & Dott, 2003; Fromme et al., 2016).

4.2 Mykotoxine in Hausstaub und Raumluft

In Staubproben aus feuchtigkeitsgeschädigten Innenräumen konnten verschiedene Forschungsgruppen relevante Mykotoxinkonzentrationen nachweisen. Brewer et al. (2013) zeigten, dass bei exponierten Personen sowohl in Human- als auch in Umweltproben zumeist mehr als ein Mykotoxin gleichzeitig nachweisbar war. Als gesundheitlich besonders relevante Mykotoxine in Innenräumen wurden dabei vorwiegend zwei Typen in Staubproben identifiziert: makrozyklische Trichothecene und Ochratoxin A – ein Befund, der sich mit früheren Ergebnissen anderer Forschungsgruppen deckt (Johanning, 2012; Pestka et al., 2008).

Smoragiewicz et al. (1993) detektierten Trichothecen-Mykotoxine im Staub von Lüftungsanlagen in Bürogebäuden. Skaug et al. (2000) wiesen Ochratoxin A in luftgetragenem Staub und Pilzkonidien nach. Gottschalk et al. (2008) gelang der Nachweis von Satratoxin G und H in der Innenraumluft eines feuchtigkeitsgeschädigten Gebäudes. Engelhart et al. (2002) fanden Sterigmatocystin in Stäuben aus feuchten Innenräumen, ohne dabei eine Korrelation mit dem Auftreten hoher Konzentrationen

toxinbildender *Aspergillus versicolor*-Stämme feststellen zu können – ein Befund, der die Komplexität der Toxin-Produzenten-Beziehung im Innenraum verdeutlicht.

Täubel et al. (2011) konnten in finnischen Gebäuden neben klassischen Mykotoxinen auch neuartige, weniger gut charakterisierte Sekundärmetabolite nachweisen, darunter Alternariol, Alternariol-Methylether und Altenuene von *Alternaria*-Spezies sowie Beauvericin und bestimmte Enniatine. Diese Befunde unterstreichen, dass das Spektrum innenraumrelevanter Mykotoxine erheblich breiter sein dürfte als bislang in der Routinediagnostik erfasst.

4.3 Wege der Mykotoxinfreisetzung in die Innenraumluft

Ein zentraler Aspekt für die Innenraumhygiene ist die Frage, auf welchem Weg Mykotoxine in die Raumluft gelangen. Aleksic et al. (2017) haben gezeigt, dass Mykotoxine an Partikel von 3 µm, also Partikelgrößen von Pilzspore oder Myzelfragmenten anhaften können und bereits bei geringen Luftgeschwindigkeiten (0,2 - 0,3 m/s) wie sei auch bei Bewegungen in Innenräumen vorkommen, von schimmelbesiedelten Oberflächen in die Raumluft gelangen. Insbesondere makrozyklische Trichothecene haften sich dabei auch an deutlich kleinere luftgetragene Partikel unterhalb von 1 µm an (Aleksic et al. , 2017; Thrasher, 2009; Brasel et al. 2005), was ihre besonders hohe Lungengängigkeit erklärt und das Gefährdungspotenzial für die tiefen Atemwege erhöht.

Die Arbeitsgruppen um dos Reis et al. (2024), Krain et al. (2021) sowie Gareis und Gottschalk (2014) konnten nachweisen, dass einige Schimmelpilzarten Mykotoxine in hohen Konzentrationen über Exsudate (Guttationstropfen) an ihre Umgebung abgeben.

Für die praktische Innenraumhygiene von erheblicher Bedeutung ist auch die hohe Stabilität makrozyklischer Trichothecene: Als stabile molekulare Verbindungen können sie über Jahre hinweg in Innenräumen verbleiben (Straus, 2009). Sie lösen sich leicht von den Schimmelpilzen und können so auch in nicht unmittelbar befallene Räume gelangen. Luftströmungen, Klimaanlagen oder Begehung können so zu einer Kontamination eines gesamten Gebäudes führen.

4.4 Kein zwingender Zusammenhang zwischen Schimmelpilznachweis und Mykotoxinen

Ein für die Praxis relevantes Problem ist, dass kein zwingender Zusammenhang zwischen dem Auftreten lebens- oder kulturfähiger Schimmelpilze und dem Vorhandensein von Mykotoxinen besteht (Gareis 2024). Dies ergibt sich aus mehreren Gründen:

- Nicht alle Schimmelpilzarten produzieren Mykotoxine, und auch toxinbildende Arten tun dies nicht unter allen Wachstumsbedingungen.
- Mykotoxine können auf totem Zellmaterial und nicht mehr lebensfähigen Sporen vorkommen und bleiben nach der Beseitigung oder dem Absterben des Schimmelpilzes im Innenraum persistent.

- Mykotoxine können durch Luftströmungen aus befallenen Bereichen in andere Räume verlagert werden, ohne dass dort ein Pilzwachstum stattfinden muss (Mayer et al., 2007; Engelhart et al., 2002).

Umgekehrt bedeutet der Nachweis mykotoxinbildender Spezies wie *Stachybotrys chartarum* nicht automatisch, dass tatsächlich Mykotoxine produziert werden. Für die Bewertung im Einzelfall – insbesondere im Rahmen von Gerichtsgutachten – ist daher stets eine direkte Mykotoxinanalytik erforderlich, wenn eine gesundheitliche Gefährdung durch Toxine beurteilt werden soll (Kroczek & Thumulla, 2013). Das Mykotoxinprofil ermöglicht dabei einen Rückschluss auf die jeweiligen Toxinproduzenten, auch wenn ein mikroskopischer oder kultureller Nachweis der entsprechenden Schimmelpilze nicht mehr möglich ist.

4.5 Gesundheitliche Wirkungen einer inhalativen Mykotoxinexposition

Das Wirkungsspektrum von Mykotoxinen ist breit und umfasst krebsauslösende, mutagene, toxische, fruchtschädigende und immunsuppressive Effekte. Die meisten Kenntnisse über Mykotoxinwirkungen wurden ursprünglich durch Untersuchungen zur oralen Aufnahme gewonnen. In Innenräumen und auf Arbeitsplätzen stellt die inhalative Aufnahme jedoch den primären Expositionspfad dar, ergänzt durch dermale Resorption. Das folgende Toxizitätsspektrum gibt einen Überblick über die Wirkungsbreite der innenraumrelevanten Substanzgruppen:

Tabelle 1 Exemplarischer Überblick über die Wirkungsbreite von Mykotoxine, die in Innenräumen vorkommen können

Toxische Eigenschaft	Relevante Mykotoxine
Kanzerogenität	Aflatoxine, Ochratoxin A, Fumonisine, Sterigmatocystin
Mutagenität / Genotoxizität	Aflatoxine, Sterigmatocystin, Alternaria-Toxine, Citrinin
Embryotoxizität / Teratogenität	Ochratoxin A, Deoxynivalenol, T-2-Toxin
Immunotoxizität	Aflatoxine, Ochratoxin A, Trichothecene, Gliotoxin
Neurotoxizität	Penitrem, Fumitremorgene, Verruculogen, Fumonisine, T-2-Toxin
Nephrotoxizität	Ochratoxin A, Citrinin
Hepatotoxizität	Aflatoxine, Sterigmatocystin
Dermatotoxizität / Zytotoxizität	Trichothecene, makrozyklische Trichothecene
Hemmung der Protein- und DNA-Synthese	Makrozyklische Trichothecene, Satratoxine

[Lai C. H. et al. (2014); IARC, (2002); Wichmann et al., (2002); Di Paolo et al. (1993); Corrier, (1991); Alavanja et al. (1987); Olsen et al. (1988)]

5. Ableitung vorläufiger Orientierungswerte

5.1 Warum vorläufige Orientierungswerte?

Während präventive Maßnahmen bei Lebensmitteln etabliert sind, wird die Bedeutung der Mykotoxinproblematik in Innenräumen kontrovers diskutiert. Die Bildung von Mykotoxinen und ihr Vorkommen in Innenräumen und an Arbeitsplätzen hängen von einer Vielzahl von Einflussfaktoren ab. Aus präventiver Sicht ist jedoch zunächst davon auszugehen, dass beim Vorliegen einer Schimmelpilzbelastung auch eine Belastung durch Mykotoxine grundsätzlich möglich ist.

Das bloße Vorkommen von Mykotoxinen muss nicht zwangsläufig zu einer Gefährdung führen. Voraussetzung für eine mögliche Gefährdung ist die Exposition gegenüber Schimmelpilzen bzw. Mykotoxinen. Solange Mykotoxine nicht über die Atemwege oder über die Haut aufgenommen werden können, wird nicht von einer Gefährdung ausgegangen. Aus den vorgenannten Gründen muss beim möglichen Vorkommen von Schimmelpilzen das Gesamtmaß einer Exposition abgeschätzt werden (infektiöse, sensibilisierende und toxische Wirkung). Bewertungskriterien hierfür sind die Art, die Häufigkeit, die Dauer und die Höhe der Exposition.

Beurteilungsmaßstäbe im Hinblick auf die toxische oder die sensibilisierende Wirkung von Schimmelpilzen gibt es bislang nicht. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass mit steigender Höhe der Exposition das Risiko toxischer oder sensibilisierender Wirkungen ebenfalls steigt. Für den Arbeitsschutz muss geklärt werden, in welcher Form die Mykotoxine an den Arbeitsplätzen vorliegen. In Abhängigkeit vom Vorliegen der Mykotoxine müssen die Schutzmaßnahmen angepasst werden (Mayer et al., 2007). Gleiches gilt aus präventiver, innenraumhygienischer Sicht auch für die Beurteilung von Mykotoxinen in Innenräumen.

Um zu prüfen, ob Mykotoxine in erhöhter Konzentration an einem mikrobiellen Befall in Innenräumen beteiligt sind, sind neben der notwendigen Analytik Orientierungswerte zur Beurteilung notwendig. Da solche Orientierungswerte bisher nicht verfügbar sind, werden im Folgenden solche Werte auf Basis der von uns erhobenen Untersuchungsergebnisse abgeleitet. Da die Fallzahl noch nicht ausreichend groß ist und anlassbezogene und verdachtsunabhängige Untersuchungen einbezogen werden, werden die im Folgenden abgeleiteten Orientierungswerte als vorläufig bezeichnet. Zur Absicherung besteht weiterer Untersuchungsbedarf, der beispielsweise durch großangelegte Feldstudien, beispielsweise im Rahmen zukünftiger GerES-Studien, abgedeckt werden kann. Bis dahin werden wir die vorgelegten vorläufigen Orientierungswerte anhand weiterer Untersuchungsergebnisse prüfen und ggf. bei einem sich ergebenden Veränderungsbedarf aktualisieren.

5.2 Grundlage

Die vorläufigen Orientierungswerte werden auf statistischer Basis abgeleitet.

Auswahl der untersuchten Mykotoxine

Die Auswahl der untersuchten Mykotoxine erfolgte auf Basis der in der wissenschaftlichen Literatur als innenraumspezifisch definierten Mykotoxine. Folgende Mykotoxine wurden in die Untersuchungen einbezogen:

Aflatoxin B1, Aflatoxin B2, Aflatoxin G1, Aflatoxin G2, Chaetoglobosin A, Citrinin, Deoxynivalenol, Fumagillin, Fumitremorgin B, Gliotoxin, Mycophenolsäure, Ochratoxin A, Penitrem A, Roquefortin C, Roridin E, Roridin L2 , Satratoxin G, Satratoxin H, Stachybotrylactam, Sterigmatocystin, T-2 Toxin, Verrucarin A, Verrucologen, Zearalenon

Datenbasis

Die ausgewerteten Daten basieren auf folgenden Untersuchungsergebnissen:

- Untersuchungen auf Mykotoxine, die wir in den letzten 15 Jahren für Gutachten im privaten, öffentlichen oder gerichtlichen Auftrag durchgeführt haben. Die Dokumentation von Fallbeispielen findet sich in (Kroczek, 2025; Kroczek, 2022)
- Die Studie Mykotoxine in Innenräumen als Fortsetzung der eingestellten GerES VI Studie mit Eigenmitteln (Kroczek, 2025).

5.3 Deutsche Umweltstudie zur Gesundheit VI (GerES VI 2019-2022): Analyse der Belastung durch Schimmelbefall und biologische Schadstoffe von Innenräumen - Teil 1 Vorstudie

Im Rahmen einer Vorstudie zur Deutschen Umweltstudie zur Gesundheit VI (GerES VI) vom Umweltbundesamt wurden von 2019 bis 2022 insgesamt 100 Objekte beprobt, die in acht unterschiedliche Schadensklassen eingeteilt wurden. Dabei wurde neben Schimmelspürhund-begehungen u.a. Hausstäube, Filter von Flächensaugproben, Innenraumluft (Filter von Luftsaugproben) und verschiedenste Materialproben (Gipskarton, Tapeten, Wandputz, Styropor, Holz, Dämmwolle etc.) untersucht.

Dabei wurde gezeigt, dass häufig verdeckte Schäden mit biogenen Belastungen in Innenräumen vorkommen und dass in 14,5% der untersuchten Hausstaubproben eine Mykotoxinbelastung nachgewiesen werden konnte (Lorenz et al. 2022).

Weitere Ergebnisse werden von Gareis (2024) zusammengefasst:

- Mykotoxine wurden in 12 der Hausstaubproben (=14,5%) detektiert. Das Toxinspektrum setzte sich dabei aus fünf verschiedenen Mykotoxinen (Ochratoxin A, Roquefortin C, Sterigmatocystin, Stachybotrylactam und Roridin L2) zusammen.

- Von den untersuchten 63 Filtern der Flächensaugproben waren 19% (n=12) positiv, wobei Roquefortin C, Sterigmatocystin und Stachybotrylactam in zum Teil außergewöhnlich hohen Konzentrationen im mg/kg-Bereich gefunden wurden.
- Für die 87 analysierten Materialproben wurden zum Teil ebenfalls sehr hohe Belastungen mit Mykotoxinen nachgewiesen. Bei den Proben handelte es sich um insgesamt 20 verschiedene Materialtypen mit Ausgangsmengen zwischen 0,2 g und ca. 1,5 kg.
- Mykotoxin-positiv waren insgesamt 49 Proben (56%), dabei vor allem Gipskarton-, Tapeten- und Wandputzproben. Das Mykotoxinspektrum setzte sich aus 9 verschiedenen Mykotoxinen zusammen: Roquefortin C, Sterigmatocystin, Stachybotrylactam und den fünf makrozyklischen Trichothecenen Roridin E, Roridin L2, Satratoxin F, Satratoxin G, Satratoxin H, Verrucarin J.
- In nahezu allen Proben wurden gleichzeitig mehrere Toxine gefunden.

Eine statistische Auswertung der Untersuchungsergebnisse wurde bisher nicht vorgelegt, so dass auf Basis dieser Studie bisher keine Orientierungswerte zur Bewertung der unterschiedlichen Matrices verfügbar sind. Allerdings können die hier genannten prozentualen Nachweise von Mykotoxinen in den unterschiedlichen Matrices mit den unten aufgeführten prozentualen Nachweisen dieser Studie verglichen werden.

5.4 Deutsche Umweltstudie zur Gesundheit VI (GerES VI 2023-2024): Analyse der Belastung durch Schimmelbefall und biologische Schadstoffe von Innenräumen - Teil 2

In der Hauptfeldphase in GerES VI wurden allen 1500 Teilnehmenden spezifische Fragen zu Feuchteschäden und Schimmel in der Wohnung/im Haus und mit Schimmel assoziierten gesundheitlichen Symptomen gestellt. Für die zusätzlichen Untersuchungen zum Schimmelbefall wurde eine Unterstichprobe von 700 Haushalten ausgewählt. In diesen Haushalten wurden von geschulten Feldarbeiter*innen zum einen Proben aus der Innenraumluft (Schlafzimmer) und Außenluft zur Bestimmung der Gesamtsporenzahl an Schimmelpilzen entnommen. Zum anderen wurden Hausstaubproben (Staub aus Staubsaugerbeuteln) für Untersuchungen auf Mykotoxine gesammelt.

Ziel der im Rahmen von GerES VI durchgeführten Untersuchungen war es, die aktuelle Belastung deutscher Haushalte mit Feuchte-/Schimmelschäden, inklusive verdeckter Schimmelschäden, zu erfassen sowie Aussagen über deren potentielle, negative gesundheitliche Wirkungen zu treffen.

Im Rahmen REFOPLAN-Projektes des Bundesministeriums Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz „Vorhaben des GerES (2023-2024) - Analyse der Belastung durch Schimmelbefall und biologische Schadstoffe von Innenräumen Teil 2“ (Forschungskennzahl 3718 61 201 0) sollten Staubproben aus 150 dieser repräsentativ ausgewählten Haushalte auf 26 Mykotoxine untersucht werden.

Um die Belastung der Haushalte zum Untersuchungszeitpunkt mit Schimmelbefall richtig einschätzen zu können, war es besonders wichtig, jeglichen Schimmelbefall (sichtbar oder verdeckt) in den

Haushalten korrekt zu erkennen. Um die bei der Haushaltsbegehung in Zusammenhang mit den gemessenen Schimmelpilzkonzentrationen getroffenen Aussagen zu Schimmelbefall zu validieren, sollten stichpunktartige insgesamt ca. 80 als mit Schimmel befallen und schimmelfrei eingestuften Haushalten mit zertifizierten Schimmelspürhunden überprüft werden.[1]

AnBUS e.V. war Auftragnehmer dieses Forschungsprojektes. In diesem Rahmen wurde die Mykotoxinanalytik der zwei beteiligten Laboratorien validiert, miteinander harmonisiert und gegeneinander abgeglichen. Dabei stellte sich heraus, dass durch verschiedene Laboratorien mit Variationen in der analytischen Methodik übereinstimmende Analysenresultate erzieht werden konnten. Leider wurde das Projekt seitens des Umweltbundesamt gestoppt, weil die fachliche Betreuung durch das Umweltbundesamt wegen Personalmangel nicht mehr gewährleistet war. Insofern wurden die repräsentativ genommenen Hausstaubproben nicht auf Mykotoxine untersucht.

Von den 62 geplanten Begehungen mittels Schimmelspürhund waren bereits 38 durchgeführt werden, und die Ergebnisse an das Umweltbundesamt übermittelt worden. Eine Weiterführung des Projektes seitens des Umweltbundesamtes ist bislang nicht erfolgt.

5.5 Forschungsprojekt Mykotoxine in Innenräumen des AnBUS e.V. (2024-2025)

Projektdesign

Um nach Aufhebung des o.g. UBA-Forschungsprojekts erste Hinweise auf das Vorkommen von Mykotoxinen im Hausstaub zu erhalten und die im Rahmen des UBA-Forschungsprojektes von zwei Laboren harmonisierte Untersuchungsverfahren zu prüfen, wurden aus Eigenmitteln des AnBUS e.V. die Haustäube in 16 Haushalten in Süddeutschland 2024-2025 beprobt und auf Mykotoxine untersucht. Die Auswahl der untersuchten Haushalte erfolgte nicht anlassbezogen und berücksichtigte Haushalte in Stadt und Land, Einfamilienhäuser und Mehrfamilienhäuser, Altbauten und Neubauten.

Probenahme

Die Staubprobenahme erfolgte mit einem Probenahme-Staubsauger mit HEPA-Filter zur standardisierten Aufnahme von 7 Tage altem Gesamt-Staub mit Papierstaubbeutel (2-lagig) zur Rückhaltung von Feinstaub. Für die Analyse wurde die gesiebte Feinstaubfraktion (< 63 µm) eingesetzt.

Die Probenahme erfolgte nach einem akkreditierten Verfahren mit Reinigung der Probenahmesauger gemäß der Arbeitsanweisung. Die Reihenfolge, in der die Probenahmesauger eingesetzt wurden, wurde dokumentiert, um mögliche Verschleppungen oder Blindwerte nachvollziehen zu können. Weil in der Mehrzahl der Proben keine Mykotoxine nachgewiesen wurden, wurde auf eine weitere Bestimmung von Blindwerten des Probenahmesystems verzichtet.

[1] Umweltbundesamt: Leistungsbeschreibung Thema: ReFoPlan 2017 - Thema: „Deutsche Umweltstudie zur Gesundheit VI (GerES VI): Analyse der Belastung durch Schimmelbefall und biologische Schadstoffe von Innenräumen. Teil 2

Datenerhebung Haushalte

Daten zu den Haushalten wurden mit einem Fragebogen erhoben:

Auszüge aus dem Fragebogen

Checkliste Gebäude

Gebäude	
Baujahr des Gebäudes	
Letzte Sanierung / Renovierung	○ großflächige Erneuerungen / Sanierungen Oberflächen (Boden, Wand, Putz etc.); **Jahr** _____ ○ kleinflächige Schönheitsrenovierungen (streichen etc.); **Jahr** _____ ○ unbekannt
Bauweise	○ unbekannt ○ massiv ○ Holzverbund ○ Fachwerk ○ Sonstiges:
Gebäudeart, Wohnung	○ EFH ○ MFH ○ Reihenhaus ○ Hochhaus ○ Wohnung, Stockwerk_____
Keller	○ ja ○ nein ○ teilunterkellert
Umgebung	○ ländlich ○ städtisch
Dach	
Dachform	○ Satteldach ○ Flachdach ○ Walmdach ○ Pultdach ○ Sonstiges:
Dachdämmung	○ keine ○ unbekannt ○ KMF ○ Isofloc ○ Sonstiges:
Außenwände	
Außenfassade	○ unbekannt ○ Putz ○ Ziegel ○ Klinker ○ KS (Kalksandstein) ○ Sandstein ○ WDVS ○ Holz ○ Sonstiges:
Außendämmung Material	○ keine ○ unbekannt ○ Hartschaumplatten z.B. EPS, PUR ○ Glaswolle ○ Steinwolle ○ Mineralschaum ○ Hanf ○ Holzfasern ○ Sonstiges:

Checkliste Probenahmeräume

Allgemeine Angaben (Mehrfachnennungen möglich)	
Etage (z.B. EG, Souterrain oder 1.OG etc.)	
Etagen- / Wohnungsgröße (abgesaugte Gesamtfläche ca.)	_____ m^2
Raumhöhe	_____ m
Raumnutzung bzw. Etagennutzung (Mehrfachnennungen möglich)	○ Wohnen ○ Kochen ○ Essen ○ Schlafen ○ Arbeiten ○ Eingang Flur ○ Sonstiges:

Checkliste Schadensereignisse

Nutzungsverhalten und Schadensereignisse	
Schimmelbefall	○ unbekannt ○ sichtbar - Fläche: ○ bis 20 cm^2 ○ kleiner 0,5 m^2 ○ größer 0,5 m^2 ○ bekannt, aber bereits saniert - wann (Datum)?_____
Nutzung	Bad: ○ mit Fenster ○ ohne Fenster ○ mit Abluftventilator Küche: ○ Umluft-Abzugshaube ○ Abluftabzugshaube
Haushaltsreinigung	Wie oft wird gewischt? ○ unbekannt ○ täglich ○ mehrmals pro Woche ○ seltener Wie oft wird gesaugt? ○ unbekannt ○ täglich ○ mehrmals pro Woche ○ seltener
Schadensereignisse	○ unbekannt Brandschaden? ○ ja ○ nein Wasserschaden? ○ ja ○ nein - wann (Datum)?_____

Abbildung 1: Auszüge aus dem Fragebogen

In der folgenden Tabelle werden die Grundbedingungen der Probenahme mit Bauweise, Gebäudeart, Umgebung, Baujahr, der Altersgruppe der Bewohner, der Information, ob ein bekannter Wasserschaden vorliegt oder ob sichtbarer Schimmel vorliegt und in welche UBA -Schadens-Kategorie dieser einzustufen ist.

Tabelle 2: Ergebnisse der Datenerhebung über einen Fragebogen

Probe	Bauweise	Gebäudeart	Umgebung	Baujahr	Altersgruppe Bewohner	bekannter Wasserschaden	sichtbarer Schimmel	UBA Kategorie
1	massiv	MFH	städtisch	bis 1950	25 bis 65	ja	nein	
2	massiv	MFH	ländlich	1950 - 1970	25 bis 45	nein	nein	
3	massiv	Reihenhaus	städtisch	bis 1950	0 bis 45	nein	nein	
4	massiv	MFH	städtisch	bis 1950	25 bis 65	ja	größer 0,5 m²	3
5	massiv	EFH	städtisch	2000 bis jetzt	45 bis 65	ja	kleiner 0,5 m²	2
6	massiv	MFH	ländlich	1970 - 1990	25 bis 45	nein	nein	
7	massiv	MFH	ländlich	bis 1950	25 bis 65	nein	nein	
8	massiv	MFH	städtisch	bis 1950	0 bis 65	ja	kleiner 0,5 m²	2
9	massiv	MFH	städtisch	bis 1950	25 bis 45	ja	nein	
10	massiv	MFH	städtisch	1950 - 1970	25 bis 45	nein	nein	
11	massiv	MFH	städtisch	2000 bis jetzt	25 bis 65	ja	bis 20 cm²	1
12	massiv	MFH	städtisch	2000 bis jetzt	25 bis 45	ja	bis 20 cm²	1
13	massiv	MFH	städtisch	2000 bis jetzt	0 bis 45	nein	nein	
14	massiv	MFH	ländlich	1970 - 1990	25 bis 45	nein	nein	
15	massiv	MFH	ländlich	bis 1950	25 bis 45	nein	nein	
16	massiv	MFH	städtisch	bis 1950	45 bis 65	nein	nein	

Analytik

Die Analytik für die Bestimmung von Mykotoxinen im Hausstaub wurde wie folgt durchgeführt:

Tabelle 3: Übersicht über die zur Mykotoxinanalytik im Hausstaub eingesetzte analytische Methode

Matrix	Methode	Extraktion (Probenvorbereitung)	Detektionsmodul
Hausstaub (7 Tage Frischstaub, gesiebte Feinstaubfraktion < 63µm)	„Hausmethode“, LC-MS/MS	Acetonitril **mit** Cleanup und Aufkonzentrierung	LC-MS/MS (ESI+/-)

Messbedingungen:

- Chromatographiesäule: Dr. Maisch; Perfluorophenyl (PFP): 3,0 µm, 2,0 mm x 100 mm
- Eluenten: A: Wasser (0,1% Ameisensäure + 5 mmol/L Ammoniumformiat + 0,1 mmol/L Ammoniumfluorid);
- B: Methanol (0,1% Ameisensäure + 5 mmol/L Ammoniumformiat + 0,1 mmol/L Ammoniumfluorid)
- LC: Nexera X2, Shimadzu
- Massenspektrometer LCMS-8050, Shimadzu

Untersuchungsergebnisse

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der nachgewiesenen Mykotoxine und zeigt, dass der Nachweis von Mykotoxinen sich mit den Merkmalen „bekannter Wasserschaden“ bzw. „sichtbarer Schimmel“ deckt.

Tabelle 4 Ergebnisübersicht Nachweis von Mykotoxinen und Merkmalen „bekannter Wasserschaden“ bzw. „sichtbarer Schimmel“

Probe	Bauweise	Gebäudeart	bekannter Wasserschaden	sichtbarer Schimmel	UBA Kategorie	Sterigmato-cystin [ng/g]	Stachybotry-lactam [ng/g]	Ochratoxin A [ng/g]
1	massiv	MFH	ja	nein		<	<	<
2	massiv	MFH	nein	nein		<	<	<
3	massiv	Reihenhaus	nein	nein		<	<	<
4	massiv	MFH	ja	größer 0,5 m²	3	2,4	<	<
5	massiv	EFH	ja	kleiner 0,5 m²	2	56	<	<
6	massiv	MFH	nein	nein		<	<	<
7	massiv	MFH	nein	nein		<	<	<
8	massiv	MFH	ja	kleiner 0,5 m²	2	4,8	25	<
9	massiv	MFH	ja	nein		<	<	<
10	massiv	MFH	nein	nein		<	<	<
11	massiv	MFH	ja	bis 20 cm²	1	<	<	<
12	massiv	MFH	ja	bis 20 cm²	1	18	<	28
13	massiv	MFH	nein	nein		<	<	<
14	massiv	MFH	nein	nein		<	<	<
15	massiv	MFH	nein	nein		<	<	<
16	massiv	MFH	nein	nein		<	<	<

5.6 Methodik der Ableitung der vorläufigen Orientierungswerte (vOW)

Die Methodik der Ermittlung der vorläufigen Orientierungswerte basiert auf der Betrachtung der Perzentile. Dabei fungiert das 50%-Perzentil (Median) als Normalwert und das 90%-Perzentil als Auffälligkeitswert. Zusätzlich wird der Maximalwert, das 99%-Perzentil und das 98%-Perzentil angezeigt. Dies dient der Präzisierung der verhältnismäßig geringen Anzahl an Nachweisen. Durch die oberen Perzentile (100%, 99% und 98%) der Verteilung kann eine schnelle Einschätzung des Abfalls der Verteilungsfunktion getroffen werden. Aufgrund der teilweise niedrigen Probenzahlen verbunden mit dem geringen Anteil von Nachweisen oberhalb der Bestimmungsgrenze können die oberen Perzentile sehr stark von Ausreißern beeinflusst werden. Somit können durch einige große Werte am Ende der Verteilung die Werte des 95%- und 90%-Perzentils verschoben werden. Obwohl eigentlich bereits oberhalb der Bestimmungsgrenze eine Auffälligkeit vorliegen sollte. Eine starre Nutzung des 90%-Perzentils kann hier zu einer unvollständigen Interpretation und einer Fehleinschätzung führen.

Diese Problematik wird anhand der folgenden beispielhaften Verteilungsfunktion dargestellt.

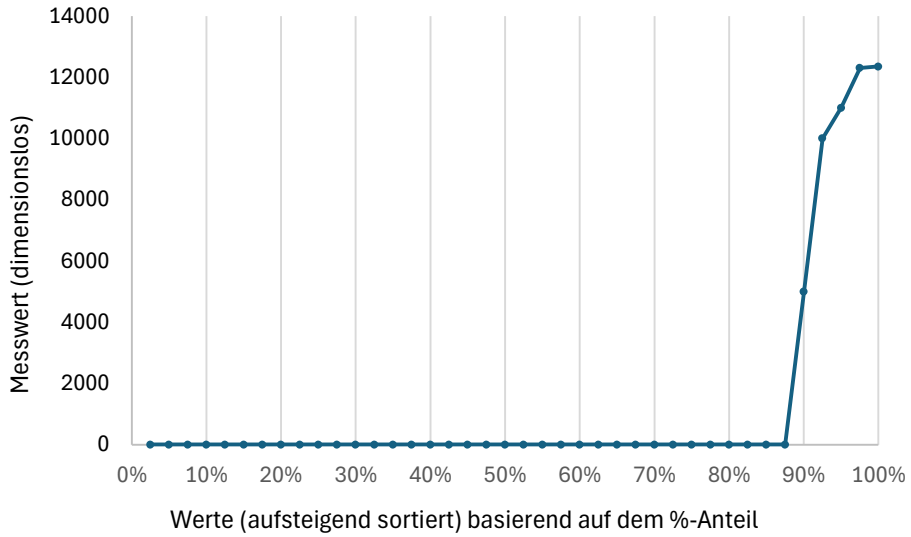


Abbildung 2: Darstellung der Verteilung eines Beispielmykotoxins

Auf Basis der Ergebnisse ergibt sich ein korrekt berechnetes 90%-Perzentil von 5000, jedoch erkennt man an der Verteilung eindeutig, dass bei einem Median von <BG und bei einem 80%-Perzentil von <BG mit Sicherheit ein Wert von beispielsweise 1000 nicht als unauffällig bewertet werden darf. Aufgrund der seltenen Nachweise ermöglicht nur eine individuelle Betrachtung der Verteilungsfunktionen der Messwerte eine sinnvolle vorläufige Orientierungswertermittlung.

Oftmals muss bei der Ableitung somit auf die Bestimmungsgrenzen zurückgegriffen werden. Diese ist keine statistische Größe, stellt aber den Stand der Technik und damit auch die untere Grenze der Möglichkeiten der Bewertung dar.

5.7 Baumaterialien

Die Ableitung der vorläufigen Orientierungswerte für Baumaterialien basiert auf bisher 33 untersuchten Materialproben aus Schadensfällen (mikrobiell bewachsenes Material). Bei diesen konnten in 42,4 % der Proben zumindest ein Mykotoxin oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen werden.

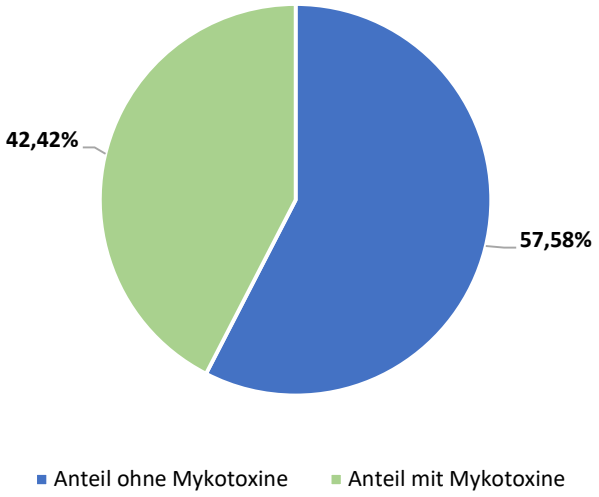


Abbildung 3: Anteil der untersuchten Baumaterialien mit und ohne Mykotoxinnachweis

Die folgende Tabelle zeigt die Anzahl der Mykotoxinnachweise in Bezug auf die einzelnen Mykotoxine:

Tabelle 5: Aufschlüsselung der Mykotoxinnachweise nach Anzahl der Materialproben

Kategorie	Anzahl
Materialproben Gesamt	33
Davon mit einem oder mehr Mykotoxinnachweisen	14
Roquefortin C	10
Sterigmatocystin	9
Stachybotrylactam	7
Roridin E	6
Roridin L2	5
Satratoxin G	5
Satratoxin H	5
Chaetoglobosin A	4
Citrinin	1

Die folgende Tabelle stellt die Perzentile zur Beschreibung der jeweiligen Verteilungsfunktionen der einzelnen Mykotoxine als Grundlage für die Ableitung der vorläufigen Orientierungswerte (vOW) dar.

Tabelle 6: Statistische Auswertung und vorläufige Orientierungswerte (vOW) für Baumaterialien

Mykotoxine [ng/g]	Roridin L2	Roquefortin C	Satratoxin G	Satratoxin H	Stachybotrylactam	Roridin E	Sterigmatocystin	Citrinin	Chaetoglobosin A
Maximalwert	26.000	408	10.200	6.800	34.000	1.600	12.100	2	118.000
99% Perzentil	20.076	405	7.976	5.313	25.181	1.302	8.334	2	80.505
98% Perzentil	14.151	403	5.752	3.826	16.362	1.005	4.568	1	43.010
95% Perzentil	4.188	307	1.575	1.030	2.600	444	153	<0,2	547
90% Perzentil (Auffälligkeitswert)	31	6	14	6	29	7	18	<0,2	119
50% Perzentil (Normalwert)	<2	<0,02	<0,8	<0,1	<0,04	<0,04	<0,02	<0,2	<0,4
Anzahl Nachweise	5	10	5	5	7	6	9	1	4
% Pos. Nachweise	15%	30%	15%	15%	21%	18%	27%	3%	12%
vorläufiger Orientierungswert (vOW) Material	**31**	**6**	**14**	**6**	**29**	**7**	**18**	**0,2**	**119**

Nicht alle Mykotoxine konnten in den untersuchten Proben nachgewiesen werden. Insofern muss ein Mykotoxinnachweis oberhalb der Bestimmungsgrenze als auffällig gewertet werden. Die folgenden vorläufigen Orientierungswerte sind deshalb nicht statistisch, sondern technisch begründet und müssen dem Stand der Technik bei einer Verbesserung der Nachweisempfindlichkeit der Mykotoxinanalytik angepasst werden. Sie werden deshalb als vorläufige technische Orientierungswerte (vtOW) bezeichnet.

Tabelle 7: Bestimmungsgrenzen der nicht nachgewiesenen Mykotoxine und vorläufige technische Orientierungswerte (vtOW für Baumaterialien)

Mykotoxin	BG [ng/g]	vtOW [ng/g]
Aflatoxin B1	0,04	0,04
Aflatoxin B2	0,04	0,04
Aflatoxin G1	0,04	0,04
Aflatoxin G2	0,04	0,04
Deoxynivalenol	4	4
Fumagillin	0,4	0,4
Fumitremorgin B	1	1
Gliotoxin	1	1
Mycophenolsäure	0,04	0,04
Ochratoxin A	0,1	0,1
Penitrem A	0,2	0,2
T-2 Toxin	0,1	0,1
Verrucarin A	0,1	0,1
Verrucologen	5	5
Zearalenon	5	5

5.8 Raumluft

Die Ableitung der vorläufigen Orientierungswerte für die Raumluft basiert auf bisher 181 untersuchten Raumluftproben. Bei den Raumluftproben konnten in 6 Proben 3,3 % zumindest ein Mykotoxin oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen werden.

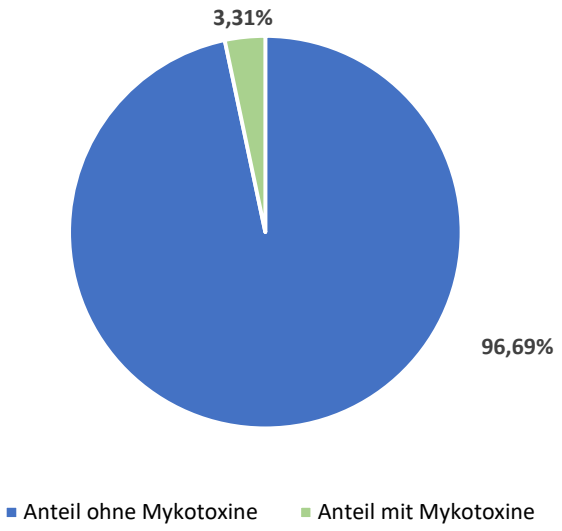


Abbildung 4: Anteil der untersuchten Raumluftproben mit und ohne Mykotoxinnachweis

Untersuchungsanlässe für die Raumluftuntersuchungen waren zu einem Großteil aus Sanierungskontrollanalyse nach Anblasen der Oberflächen gemäß Bedingungen des WTA-Merkblattes 4-12:2021-05 „Ziele und Kontrolle von Schimmelpilzschadensanierungen in Innenräumen“ in Gebäuden mit saniertem Holzständerwerk. Etwa 20 Proben stammen aus den anlasslosen Untersuchungen aus dem o.g. Mykotoxinforschungsprojekt des AnBUS e.V. Weitere Proben stammen aus Räumen mit mikrobiellem Befall zur Expositionsanalyse.

Das Probenahmevolumen betrug jeweils zwischen 30.000 und 60.000 l. Die Probenahme erfolgte mit rückgeführten Probenahmepumpen entweder auf einen Glasfaserfilter mit 5 cm Durchmesser bei 100 l/min oder mit einem High-Volume-Sampler bei 25 m^3/h auf einen Glasfaserfilter mit einem Durchmesser von 15 cm.

Die folgende Tabelle zeigt die Anzahl der Mykotoxinnachweise in Bezug auf die einzelnen Mykotoxine:

Tabelle 8: Aufschlüsselung der Mykotoxinnachweise nach Anzahl der Raumluftproben

Kategorie	Anzahl
Raumluftproben Gesamt	181
Davon mit einem oder mehr Mykotoxinnachweisen	6
Stachybotrylactam	4
Sterigmatocystin	2
Citrinin	1
Roridin E	1

Kategorie	Anzahl
Satratoxin H	1

Die folgende Tabelle stellt die Perzentile zur Beschreibung der jeweiligen Verteilungsfunktionen der einzelnen Mykotoxine als Grundlage für die Ableitung der vorläufigen Orientierungswerte (vOW) dar.

Tabelle 9: Statistische Auswertung der Raumluftproben und vorläufige Orientierungswerte (vOW) für die Raumluft

Mykotoxine [ng/m³]	Satratoxin H	Stachybotrylactam	Roridin E	Sterigmatocystin	Citrinin
Maximalwert	0,2	4,4	0,1	0,1	0,01
99% Perzentil	<0,01	0,6	<0,004	<0,002	<0,02
98% Perzentil	<0,01	<0,004	<0,004	<0,002	<0,02
95% Perzentil	<0,01	<0,004	<0,004	<0,002	<0,02
90% Perzentil (Auffälligkeitswert)	<0,01	<0,004	<0,004	<0,002	<0,02
50% Perzentil (Normalwert)	<0,01	<0,004	<0,004	<0,002	<0,02
Anzahl Nachweise	1	4	1	2	1
% Pos. Nachweise	1%	2%	1%	1%	1%
vorläufiger Orientierungswert (vOW) Raumluft	**0,01**	**0,004**	**0,004**	**0,002**	**0,02**

Nicht alle Mykotoxine konnten in den untersuchten Raumluftproben nachgewiesen werden. Insofern muss ein Mykotoxinnachweis oberhalb der Bestimmungsgrenze als auffällig gewertet werden. Die folgenden vorläufigen Orientierungswerte sind deshalb nicht statistisch, sondern technisch begründet und müssen dem Stand der Technik bei einer Verbesserung der Nachweisempfindlichkeit der Mykotoxinanalytik angepasst werden. Sie werden deshalb als vorläufige technische Orientierungswerte (vtOW) bezeichnet.

Tabelle 10: Bestimmungsgrenzen der nicht nachgewiesenen Mykotoxine und vorläufige technische Orientierungswerte (vtOW) für die Raumluft

Mykotoxin	BG [ng/m³]	vtOW [ng/m³]
Aflatoxin B1	0,004	0,004
Aflatoxin B2	0,004	0,004

Mykotoxin	BG [ng/m³]	vtOW [ng/m³]
Aflatoxin G1	0,004	0,004
Aflatoxin G2	0,004	0,004
Chaetoglobosin A	0,04	0,04
Deoxynivalenol	0,4	0,4
Fumagillin	0,04	0,04
Fumitremorgin B	0,004	0,004
Gliotoxin	0,1	0,1
Mycophenolsäure	0,004	0,004
Ochratoxin A	0,01	0,01
Penitrem A	0,02	0,02
Roridin L2	0,2	0,2
Roquefortin C	0,02	0,02
Satratoxin G	0,08	0,08
T-2 Toxin	0,01	0,01
Verrucarin A	0,01	0,01
Verrucologen	0,5	0,5
Zearalenon	0,5	0,5

5.9 Oberflächenproben (Wischproben)

Die Ableitung der vorläufigen Orientierungswerte für Oberflächenproben (Wischproben) basiert auf bisher 96 in Schadensfällen untersuchten Oberflächenproben (Wischproben) aus mikrobiell befallenen Bereichen. Bei diesen konnten in 19,8 % der Proben zumindest ein Mykotoxin oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen werden.

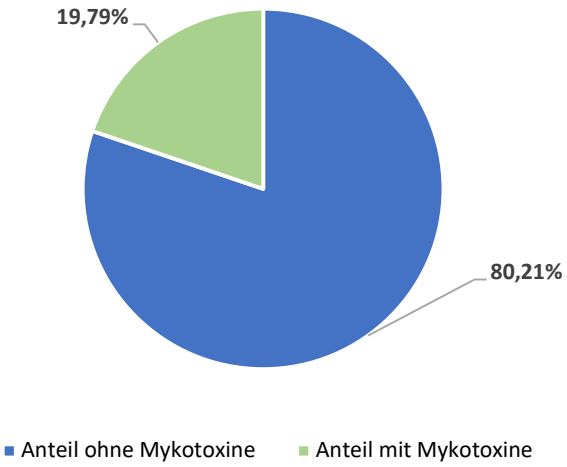


Abbildung 5: Anteile der Mykotoxinnachweise der Wischproben

Die Probenahme erfolgte in der Regel auf einer Fläche größer 100 cm^2 mit einem mit Isopropanol getränkten Wischtuch. Eine deutliche Vergrößerung der Wischfläche verbessert die Nachweisempfindlichkeit.

Die folgende Tabelle zeigt die Anzahl der Mykotoxinnachweise in Bezug auf die einzelnen Mykotoxine:

Tabelle 11: Aufschlüsselung der Mykotoxinnachweise nach Anzahl für die Wischproben

Kategorie	Anzahl
Wischproben Gesamt	96
Davon mit einem oder mehr Mykotoxinnachweisen	19
Roquefortin C	16
Sterigmatocystin	10
Stachybotrylactam	6
Roridin L2	5
Roridin E	3
Satratoxin H	3
Satratoxin G	2
Mycophenolsäure	1

Die folgende Tabelle stellt die Perzentile zur Beschreibung der jeweiligen Verteilungsfunktionen der einzelnen Mykotoxine als Grundlage für die Ableitung der vorläufigen Orientierungswerte (vOW) dar.

Tabelle 12: Statistische Auswertung und vorläufige Orientierungswerte (vOW) für Oberflächen (Wischproben)

Mykotoxine [ng/m²]	Roridin L2	Roquefortin C	Satratoxin G	Satratoxin H	Stachybotrylactam	Roridin E	Sterigmatocystin	Mycophenolsäure
Maximalwert	412.000	135.000	68.400	30.800	172.000	23.600	2.750	4.700
99% Perzentil	127.950	31.165	3.820	3.820	27.600	2.510	792	235
98% Perzentil	26.600	21.830	<90	726	3.485	428	325	<4
95% Perzentil	<200	6.425	<90	<10	713	<4	101	<4
90% Perzentil (Auffälligkeitswert)	<200	209	<90	<10	<4	<4	<2	<4
50% Perzentil (Normalwert)	<200	<2	<90	<10	<4	<4	<2	<4
Anzahl Nachweise	5	16	2	3	6	3	10	1
% Pos. Nachweise	5%	17%	2%	3%	6%	3%	10%	1%
vorläufiger Orientierungswert (vOW) Oberflächen Wischproben	**200**	**209**	**90**	**10**	**4**	**4**	**2**	**4**

Nicht alle Mykotoxine konnten in den untersuchten Oberflächenproben nachgewiesen werden. Insofern muss ein Mykotoxinnachweis oberhalb der Bestimmungsgrenze als auffällig gewertet werden. Die folgenden vorläufigen Orientierungswerte sind deshalb nicht statistisch, sondern technisch begründet und müssen dem Stand der Technik bei einer Verbesserung der Nachweisempfindlichkeit der Mykotoxinanalytik angepasst werden. Sie werden deshalb als vorläufige technische Orientierungswerte (vtOW) bezeichnet.

Tabelle 13: Bestimmungsgrenzen der nicht nachgewiesenen Mykotoxine und vorläufige technische Orientierungswerte (vtOW) für Oberflächenproben (Wischproben)

Mykotoxin	BG [ng/m²]	vOW [ng/m²]
Aflatoxin B1	4	4
Aflatoxin B2	4	4
Aflatoxin G1	4	4
Aflatoxin G2	5	5
Chaetoglobosin A	40	40

Mykotoxin	BG [ng/m²]	vOW [ng/m²]
Deoxynivalenol	450	450
Fumagillin	40	40
Fumitremorgin B	4	4
Gliotoxin	120	120
Citrinin	20	20
Ochratoxin A	10	10
Penitrem A	20	20
T-2 Toxin	10	10
Verrucarin A	10	10
Verrucologen	500	500
Zearalenon	500	500

5.10 Hausstaub

Die Ableitung der vorläufigen Orientierungswerte für Hausstaub (bzw. Hausstaubproben) basiert auf lediglich 16 untersuchten Hausstaubproben. Bei den Hausstaubproben konnten in 7 Proben 43,8 % zumindest ein Mykotoxin oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen werden.

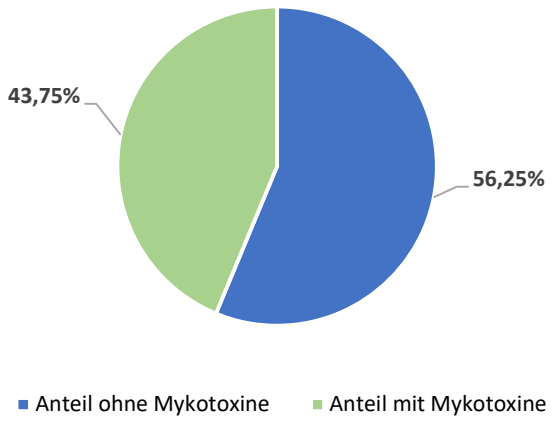


Abbildung 6: Anteile der Mykotoxinnachweise der Staubproben

Die untersuchten Staubproben stammen ausschließlich aus dem Forschungsprojekt Mykotoxine in Innenräumen des AnBUS e.V. (s.o.).

Tabelle 14: Aufschlüsselung der Mykotoxinnachweise nach Anzahl der Staubproben

Kategorie	Anzahl
Staubproben Gesamt	16
Davon mit einem oder mehr Mykotoxinnachweisen	7
Sterigmatocystin	6
Roquefortin C	3
Stachybotrylactam	2
Ochratoxin A	1

Die folgende Tabelle stellt die Perzentile zur Beschreibung der jeweiligen Verteilungsfunktionen der einzelnen Mykotoxine als Grundlage für die Ableitung der vorläufigen Orientierungswerte (vOW) dar.

Aufgrund der bisherigen aus unserer Sicht geringen Staubprobenanzahl können noch keine vorläufigen Orientierungswerte für Hausstaub abgeleitet werden.

Tabelle 15: Statistische Auswertung für den Hausstaub

Mykotoxine [µg/kg]	Stachybotrylactam	Sterigmatocystin	Ochratoxin A	Roquefortin C
Maximalwert	66,5	16,8	2,3	<5
99% Perzentil	65,0	14,7	2,0	<5
98% Perzentil	63,6	12,6	<2	<5
95% Perzentil	59,1	6,3	<2	<5
90% Perzentil (Auffälligkeitswert)	30,9	2,4	<2	<5
50% Perzentil (Normalwert)	<2	<2	<2	<5
Anzahl Nachweise	6	4	1	3
% Pos. Nachweise	38%	25%	6%	19%

Nicht alle Mykotoxine konnten in den untersuchten Hausstaubproben nachgewiesen werden. Insofern muss auf Basis der bisherigen Befunde ein Mykotoxinnachweis oberhalb der Bestimmungsgrenze als auffällig gewertet werden.

Tabelle 16: Bestimmungsgrenzen der weiteren in den Hausstaub Proben nicht nachgewiesenen Mykotoxinen

Mykotoxin	BG [µg/kg]
Aflatoxin B1	2
Aflatoxin B2	2
Aflatoxin G1	2
Aflatoxin G2	10
Chaetoglobosin A	100
Citrinin	100
Deoxynivalenol	10
Fumagillin	20
Fumitremorgin B	50
Gliotoxin	50
Mycophenolsäure	2
Penitrem A	10
Roridin E	5
Roridin L2	5
Satratoxin G	20
Satratoxin H	100
T-2 Toxin	20
Verrucarin A	5
Verrucologen	100
Zearalenon	10

6. Diskussion

Prinzipiell sind die abgeleiteten vorläufigen Orientierungswerte (vOW) wegen der Mischung der Datenquellen aus der gutachterlichen Praxis mit anlassbezogenen Proben unterschiedlicher Motivation und einer anlasslosen Studie eher als praxisbasiert und nicht zwangsläufig als repräsentativ anzusehen. Ein Vergleich mit der Datenbasis anderer Studien kann jedoch die Aussagekraft erhöhen.

Eine systematische Auswertung der Verteilung von Mykotoxinen in unterschiedlichen Matrices (Baumaterialien, Hausstaub, Raumluft) in deutschen Haushalten wurde bisher nicht veröffentlicht. Aus der Vorstudie zur Deutschen Umweltstudie zur Gesundheit VI (GerES VI) wurden jedoch von Gareis (2024) der prozentuale Anteil von Mykotoxinnachweisen sowie das nachgewiesene

Mycotoxinspektrum in den unterschiedlichen Matrices veröffentlicht und kann mit den Ergebnissen dieser Studie verglichen werden:

Tabelle 17: Vergleich der prozentualen Mykotoxinnachweise in der Vorstudie GerES VI und der Studie anbus analytik/AnBUS e.V.

	Vorstudie GerES VI (Gareis 2024)	Studie anbus analytik/ AnBUS e.V. (Kroczek 2025)
Baumaterialien	**56,0 %** (n=87)	**42,4 %** (n=33)
Raumluft	ohne Schaden 0 % (n=9) mit deutlichem Schaden 7 % (n=14) gesamt **4,3 %** (n=23)	**3,3 %** (n=181)
Oberflächenproben (Wischproben)		**19,8 %** (n=96)
Oberflächenproben (Saugproben)	**19,0 %** (n=63)	
Hausstaubproben	**14,5 %** (n=94)	**43,8 %** (n=16)

Tabelle 18 Vergleich der Spektren der nachgewiesenen innenraumrelevanten Mykotoxinen in der Vorstudie GerES VI (Gareis 2024) und der Studie anbus analytik/AnBUS e.V.

	Vorstudie GerES VI (Gareis 2024)	Studie anbus analytik/ AnBUS e.V. (Kroczek 2025)
Baumaterialien	Roquefortin C Sterigmatocystin Stachybotrylactam Roridin E Roridin L2 Satratoxin F Satratoxin G Satratoxin H Verrucarin J	Roquefortin C Sterigmatocystin Stachybotrylactam Roridin E Roridin L2 Satratoxin G Satratoxin H Chaetoglobosin A Citrinin
Raumluft	Stachybotrylactam Roridin L2 Satratoxin G Satratoxin H	Stachybotrylactam Roridin E Satratoxin H Sterigmatocystin Citrinin
Oberflächenproben (Saug- bzw. Wischproben)	Roquefortin C Sterigmatocystin Stachybotrylactam	Roquefortin C Sterigmatocystin Stachybotrylactam Roridin L2 Roridin E Satratoxin G Satratoxin H

		Mycophenolsäure
Hausstaubproben	Ochratoxin A Roquefortin C Sterigmatocystin Stachybotrylactam Roridin L2	Ochratoxin A Sterigmatocystin Roquefortin C Stachybotrylactam

Der Vergleich der prozentualen Mykotoxinnachweise zeigt bei den Matrices Baumaterialien, Raumluft und Oberflächenproben große Übereinstimmung. Ebenso zeigt sich bei den Spektren der nachgewiesenen innenraumrelevanten Mykotoxinen eine große Übereinstimmung. Dabei sind von der prinzipiellen Aussage her die Ergebnisse von Wischproben und Flächensaugproben zu vergleichen. Bei den Staubproben liegen die prozentualen Anteile von Mykotoxinen um den Faktor 3 niedriger, allerdings noch in der gleichen Größenordnung. Dies kann auf eine Überrepräsentation von Haushalten mit Schimmelschäden in der kleinen Kohortenzahl der Studie von anbus analytik/ AnBUS e.V. liegen.

Die sehr gute Übereinstimmung der prozentualen Mykotoxinnachweise und der Mykotoxinspektren zeigt, dass die der Ableitung der vorläufigen Orientierungswerte für Baumaterial-, Raumluft- und Oberflächenproben zugrunde gelegten Untersuchungsdaten die Situation in deutschen Haushalten gut beschreiben.

7. Fazit und Ausblick

Auch wenn der wissenschaftliche Diskurs über die Beteiligung von Mykotoxinen an den gesundheitlichen Wirkungen von Schimmel in Innenräumen noch nicht abgeschlossen ist, ist es aus präventiver Sicht sinnvoll, wie im Bereich der Nahrungsmittel, eine Exposition gegenüber Mykotoxinen in Innenräumen zu vermeiden. Einige Mykotoxine wie Aflatoxine oder Ochratoxin A sind als KMR-Stoffe eingestuft.[2] Von anderen Mykotoxinen wie dem Sterigmatocystin sind krebserzeugende Wirkungen bekannt, es fehlt aber bisher eine Einstufung. Betrachtet man den Arbeitsschutz als Vergleichsmaßstab, ist gemäß § 10 der Gefahrstoffverordnung die Exposition der Beschäftigten mit KMR-Stoffen nach dem Stand der Technik zu minimieren. Schutzmaßnahmen sind dabei umso dringlicher zu ergreifen, je höher die Exposition der Beschäftigten ist.

Die vorgestellten Orientierungswerte sind als vorläufig zu bezeichnen, weil es wünschenswert ist, die Fall- und Probenzahlen deutlich zu erhöhen. Dennoch ermöglichen sie eine erste Einschätzung einer Mykotoxinbelastung in Baumaterialien, Raumluft, Oberflächen oder Hausstaubproben.

Auch wenn bei den vorläufigen technischen Orientierungswerten die verfahrensbedingte Bestimmungsgrenze die Bewertung von Mykotoxingehalten vorgibt, kann beim Vergleich der Größenordnung mit den vorläufigen technischen Orientierungswerten eine erste Einschätzung im Sinne der Prävention getroffen werden, ob Mykotoxine in relevanter Konzentration an einem mikrobiellen Schadensgeschehen beteiligt sind.

[2] IFA; GESTIS-Stoffdatenbank, Abfrage vom 20.09.2026

Die vorläufigen Orientierungswerte für Oberflächen (Wischproben) und Materialien ermöglichen mit Hilfe der mittlerweile in der Routineanalytik verfügbaren Mykotoxinanalytik mittels HPLC/MS-MS eine Bewertung von Schadensfällen, ob als besonders kritisch in Innenräumen erkannte Mykotoxine an einem Schadensfall beteiligt sind. Im Sinne der Prävention ermöglichen sie geeignete Minderungsmaßnahmen zu ergreifen und über Sanierungskontrolluntersuchungen festzustellen, ob diese Mykotoxine im Rahmen der Sanierung entfernt wurden.

Die vorgestellten vorläufigen Orientierungswerte für Raumluft, Material und Oberflächenwischproben ermöglichen zudem eine Beurteilung der Exposition und eine Einschätzung, ob eine erhöhte Exposition gegenüber Mykotoxinen gegeben ist und im Sinne der Prävention Minderungsmaßnahmen zielführend sind.

8. Literatur

Aleksic B, Draghi M, Ritoux S, Bailly S, Lacroix M, Oswald IP, Bailly JD, Robine E. (2017): Aerosolization of mycotoxins after growth of toxinogenic fungi on wallpaper. Applied and Environmental Microbiology, American Society for Microbiology, 2017, 83 (16), 31 p. 10.1128/AEM.01001-17 hal-01607195

Bennett, J.W. and Klich, M. (2003): Mycotoxins. Clinical Microbiology Reviews, 16, 497-516. https://doi.org/10.1128/CMR.16.3.497-516.2003

Brasel T. L., Martin J. M., Carriker C. G., Wilson S. C., Straus D. C. (2005): Detection of airborne Stachybotrys chartarum macrocyclic trichothecene mycotoxins in the indoor environment. Appl. Environ. Microbiol. 71(11): 7376–7388.

Chung Y. J., Jarvis B., Pestka J. (2003): Modulation of lipopolysaccharide-induced proinflammatory cytokine production by satratoxins and other macrocyclic trichothecenes in the murine macrophage. J. Toxicol. Environ. Health A 66(4): 379–391.

Croft W, Jarvis B.B, Yatawara C.S. (1986) Airborne outbreak of trichothecene toxicosis, Atmospheric Environment (1967), Volume 20, Issue 3,1986, Pages 549-552, ISSN 0004-6981, https://doi.org/10.1016/0004-6981(86)90096-X.

Engelhart S, Loock A, Skutlarek D (2002): Occurrence of toxigenic Aspergillus versicolor isolates and sterigmatocystin in carpet dust from damp indoor environments. Applied and Environmental Microbiology 68: 3886–3890.

Mayer S, Engelhardt S, Kolk A (2007): Bedeutung von Mykotoxinen im Rahmen der arbeitsplatzbezogenen Gefährdungsbeurteilung, Hrsg: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Fischer G, Dott W (2003): Relevance of airborne fungi and their secondary metabolites for environmental, occupational and indoor health. Int. J. Hyg. Environ. Health 206: 161–170.

Fromme, H. et al. (2016): Overall internal exposure to mycotoxins and their occurrence in occupational and residential settings – An overview, International Journal of Hygiene and Environmental Health, Volume 219, Issue 2, 2016, Pages 143-165, ISSN 1438-4639, https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2015.11.004.

Gareis, M. (2024): Mykotoxinbelastung in Innenräumen: Ergebnisse der Vorstudie zur Deutschen Umweltstudie zur Gesundheit VI (GerES VI), Vortragsskript von Prof. Dr. Dr. habil. Manfred Gareis zu Mykotoxinen im Rahmen der 10. Hamburger Fachtagung Schimmelpilze im November 2024, https://umweltberatung-nord.de/wp-content/uploads/2024/11/Vortragsskript-Gareis-Mykotoxine-2024-11.pdf, Abfrage vom 05.09.2026

Gareis M, Gottschalk C (2014): Stachybotrys spp. and the guttation phenomenon. Mycotoxin Res 30, 151–159 (2014). https://doi.org/10.1007/s12550-014-0193-3

Gottschalk C, Bauer J, Meyer K (2008): Detection of satratoxin G and H in indoor air from a water-damaged building. Mycopathologia 166(2): 103–107.

IARC (2002): Aflatoxins: Summary & Evaluation Vol. 82. International Agency for Research on Cancer, Lyon.

Janik E, Niemcewicz M, Ceremuga M (2020): Molecular Aspects of Mycotoxins – A Serious Problem for Human Health. Int. J. Mol. Sci. 21: 8187.

Johanning E. (2012): Mycotoxin screening of indoor environments in sentinel health investigation. Tagungsband der 16. Pilztagung, Umweltbundesamt Dessau-Roßlau.

Khan R, Anwar F, Ghazali FM. (2024): A comprehensive review of mycotoxins: Toxicology, detection, and effective mitigation approaches. Heliyon. 2024 Mar 23;10(8):e28361. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e28361. PMID: 38628751; PMCID: PMC11019184.

Kroczek C. (2022): Forschung und Praxis – Mykotoxine in Innenräumen, Spin-Off aus der GerES VI Vorstudie in die Praxis, in Umwelt, Gebäude & Gesundheit: „Innenraumhygiene, Asbest und Arbeitsschutz; Tagungsband des 13. AGÖF-Fachkongresses 2022 / AGÖF - Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) e.V. - Springe: AGÖF, 2022

Kroczek C, Thumulla J, Priller R, Johannsen J, Friedle A, Nitsopoulos A (2025): Mykotoxine in Innenräumen – Untersuchung von Hausstaub, Deutscher Schimmelpilztag · Neuss · 21.-22.02.2025, Vortragsskript

Kroczek C, Thumulla J. (2013): Mykotoxine in Innenräumen, in Umwelt, Gebäude & Gesundheit: Schadstoffe, Gerüche und schadstoffarmes Bauen; Tagungsband des 10. AGÖF-Fachkongresses 2013 / AGÖF - Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) e.V.; - Springe: AGÖF, 2013

Lai C. H., Tang H. R., Lin T. S. (2014): Airway exposure to Aspergillus flavus-contaminated dust and hepatocellular carcinoma. Occup. Environ. Med. 71: 313–319.

Lorenz W, Gareis M, Raulf C, Trautmann C, Valtanen K ((2022): Projekt im Rahmen der GerES VI - Deutsche Umweltstudie zur Gesundheit – Analyse der Belastung durch Schimmelbefall und biologische Schadstoffe von Innenräumen in Tagungsband zur 25. Pilztagung, gemeinsame Fachtagung für biogene Schadstoffe, veranstaltet vom Berufsverband Deutscher Baubiologen VDB e.V. und dem Bundesverband Schimmelpilzsanierung BSS e.V., Berufsverband Deutscher Baubiologen VDB e. V.2022

Mayer S, Curtui V, Usleber E, Gareis M. (2007): Airborne mycotoxins in dust of grain elevators. Mycotoxin Research 23(2): 94–100.

Nielsen K. F., Huttunen K., Hyvärinen A. et al. (2002): Metabolite profiles of Stachybotrys isolates from water-damaged buildings and their induction of inflammatory mediators and cytotoxicity in macrophages. Mycopathologia 154(4): 201–205.

Pestka J. J., Yike I., Dearborn D. G., Ward M. D., Harkema J. R. (2008): Stachybotrys chartarum, trichothecene mycotoxins, and damp building-related illness: new insights into a public health enigma. Toxicol. Sci. 104(1): 4–26.

Smoragiewicz W, Cossette B, Boutard A, Krzystyniak K. (1993): Trichothecene mycotoxins in the dust of ventilation systems in office buildings. Int. Arch. Occup. Environ. Health 65: 113–117.

Szewzyk, R. et al. (2010): Kinder-Umwelt-Survey (KUS) 2003/06: Sensibilisierungen gegenüber Innenraumschimmelpilzen, German Environment Agency, Dessau-Roßlau

Täubel M, Sulyok M, Vishwanath V. et al. (2011): Co-occurrence of toxic bacterial and fungal secondary metabolites in moisture-damaged indoor environments. Indoor Air 21: 368–375.

Thrasher J. D., Crawley S. (2009): The biocontaminants and complexity of damp indoor spaces: more than what meets the eyes. Toxicol. Ind. Health 25(9–10): 583–615.

Kroczek, Carmen; Schrettl, Florian; Thumulla, Jörg (2026): Mykotoxine in Innenräumen, aktueller Stand in Praxis und Forschung. Ableitung vorläufiger Orientierungswerte für Raumluft, Baumaterialien, Oberflächen und Hausstaub. Beitrag zum 14. Fachkongress 2026, Bremen, 25.09.2026. Hrsg. AGÖF. https://www.agoef.de/veranstaltungen/fachkongresse/14-fachkongress-2026/mykotoxine-in-innenraeumen-aktueller-stand-in-praxis-und-forschung
Beitrag zum 14. AGÖF-Fachkongress am 24. und 25. September 2026 in Bremen
„Umwelt, Gebäude & Gesundheit: Gerüche, Asbest, PCB und weitere SVOC“

Valtanen K, Kroczek C, Gareis M, Gottschalk C, Johannsen J, Priller R, Trautmann C, Kolek B, Mehlhorn H, Münzenberg U, Lorenz W, Betz S (2022): Forschung und Praxis – Mykotoxine in Innenräumen - aktuelle Ergebnisse aus der Vorstudie im Rahmen von GerES VI - Forschungsprojekt Schimmel und biologische Schadstoffe in Innenräumen, S.125 -128 des Tagungsbandes, 13. AGÖF-Fachkongress 20./21.10.2022

Wichmann G, Herbarth O, Lehmann I (2002): The mycotoxins citrinin, gliotoxin, and patulin affect interferon-gamma rather than interleukin-4 production in human blood cells. Environ. Toxicol. 17(3): 211–218.