

Wenn Schimmel krank macht

Wirkung und Messung von Mykotoxinen in der Innenraumluft

Schimmel in Gebäuden assoziiert man nicht nur in Fachkreisen, sondern auch in der Gesellschaft mit einer Gefahr für die Gesundheit von Bewohnern. Für Schimmelpilze ist keine Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen Konzentration und gesundheitlichen Auswirkungen bekannt, daher gibt es in der Praxis keine Grenz- und Richtwerte für Oberflächen- und Innenraumluftbelastungen. Sachverständige bedienen sich üblicherweise bei der Interpretation von Prüfergebnissen einer vorliegenden Kontamination aus wissenschaftlichen Erkenntnissen oder an Erfahrungswerten von technisch-wissenschaftlichen Organisationen. Die von amtlicher Seite veröffentlichten Leitfäden bieten hierzu keine eindeutige Lösung in Form von gültigen Wertebereichen an.

■ Von Carolin Hintermeier und Robert Priller

Obwohl seit mehr als 5.000 Jahren bekannt ist, dass die Bildung von Schimmelpilzen in Innenräumen ein großes Problem darstellt, gibt es heutzutage immer mehr Gebäude, die schimmelpilzbelastet sind. Aufgrund gesundheitlicher Gefahren ist eine Sanierung von Schäden unumgänglich. Grundvoraussetzung für das unerwünschte Wachstum von Schimmelpilzen ist ein hoher Feuchtigkeitsgehalt in Baumaterialien und in der Raumluft. Diese hohe Feuchte kann sowohl in Neu- als auch in Bestandsbauten auftreten. So sind beispielsweise Leitungswasserschäden eine wichtige Ursache, welche mit mehr als 1.000 Schäden pro Tag (in Deutschland) statistisch auffällig sind. Hinzu kommen Wettersituationen, die Starkregenereignisse hervorrufen und zu enormen Gebäudeschäden durch Überflutungen führen.

Bei der Bewertung von Schadensbildern werden üblicherweise Oberflächen (Bild 1), Baumaterialien oder auch die Raumluft auf mögliche Kontaminationen mit Mikroorganismen untersucht. Dabei kommen, je nach spezifischer Matrix, unterschiedliche Probenahmeverfahren zum Einsatz: Klebefilmkontaktproben, Abklatsch- und Tupferproben oder die aktive Messung von Bioaerosolen in der Innenraumluft. Damit ist nach Analyse und Auswertung im Labor eine qualitative und quantitative Aussage über eine vorherrschende Belastungssituation möglich. Auf Basis dieser Prüfergebnisse lassen sich in der Regel belastbare Sanierungsziele festlegen.

Wenn es jedoch in der Schadenspraxis um die Bewertung und Klärung von Frage-

stellungen zu gesundheitlichen Auswirkungen geht, ist dies mit den bisherigen Standardverfahren und -methoden nahezu unmöglich. In den vergangenen Jahren sind mikrobiologische Bestandteile von Pilzen und Bakterien zunehmend Gegenstand von umweltmedizinischen Untersuchungen und Fragestellungen geworden. Dabei handelt es sich um Mykotoxine, also Stoffwechselprodukte von Schimmelpilzen, oder um Zellwandbestandteile von gramnegativen Bakterien, sogenannte Endotoxine.

Anfragen zu Innenraumluftbelastungen mit diesen toxischen Stoffen und damit verbundenen gesundheitlichen Gefahren nehmen zu. Diesen Aspekten wird auch in neuen Normen für Belastungssituationen am Arbeitsplatz Rechnung getragen. Zum Nachweis einer einwandfreien Luftqualität ergeben sich künftig neue Messaufgaben (DIN EN 13098 [1]).

Intoxikationen durch Mykotoxine

Wie in Zellkultur- und Tierversuchen gezeigt werden konnte, lösen Mykotoxine beim Menschen zytotoxische Effekte aus und haben eine immunmodulatorische Wirkung. Menschliche Zellen werden dadurch nachhaltig geschädigt und das Immunsystem ne-



(1) Typische Schadensbilder für Schimmelpilzbefall in Wohnbereichen

gativ beeinflusst. Aufgrund der hohen Toxizität bei bereits geringsten Konzentrationen beschäftigt man sich seit Jahrzehnten auch in der Biowaffenforschung mit Mykotoxinen.

Es sind weit mehr als 450 Mykotoxine bekannt, welche in ihren chemischen

Strukturen stark variieren. Damit einhergehen unterschiedliche toxikologische Eigenschaften. Von hoher Relevanz im Zusammenhang mit der Innenraumluft in Gebäuden verbleiben ca. 20 Mykotoxine (siehe Tabelle 2), die von diversen Schimmelpilzen, wie beispielsweise *Aspergillus*, *Fusarium*,

Stachybotrys oder *Penicillium* gebildet werden.

Aufgrund der Tatsache, dass es sich bei Mykotoxinen um niedermolekulare Strukturen handelt, sind diese sehr stabil gegenüber Umwelteinflüssen und deshalb auch

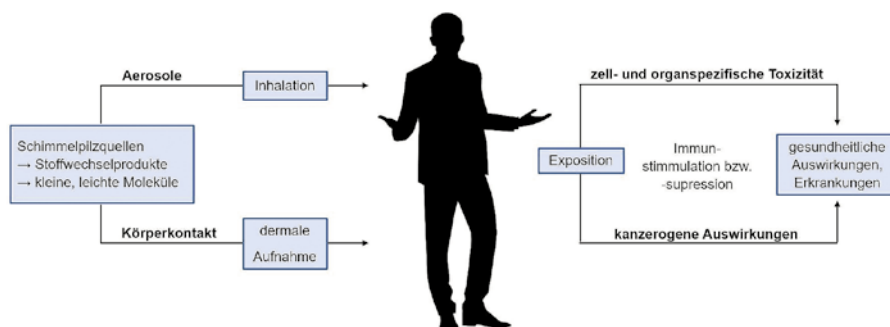
Mykotoxin	Produzenten	Gesundheitliche Effekte
Aflatoxin B ₁	<i>Aspergillus flavus</i> , <i>Aspergillus parasiticus</i>	lebertoxisch, mutagen, kanzerogen, immunsuppressiv
Aflatoxin B ₂	<i>Aspergillus flavus</i> , <i>Aspergillus parasiticus</i>	lebertoxisch, mutagen, kanzerogen, immunsuppressiv
Aflatoxin G ₁	<i>Aspergillus flavus</i> , <i>Aspergillus parasiticus</i>	lebertoxisch, mutagen, kanzerogen, immunsuppressiv
Aflatoxin G ₂	<i>Aspergillus flavus</i> , <i>Aspergillus parasiticus</i>	lebertoxisch, mutagen, kanzerogen, immunsuppressiv
Chaetoglobosin A	<i>Chaetomium globosum</i>	Wirkung auf die Lunge
Citrinin	<i>Penicillium citrinum</i> , <i>P. implicatum</i> , <i>P. lividium</i> , <i>P. fellutanum</i> , <i>P. jenseni</i> , <i>P. citreo-viride</i> , <i>P. expansum</i> , <i>P. notatum</i> , <i>P. viridicatum</i> , <i>P. steckii</i> , <i>Aspergillus terreus</i> , <i>A. niveus</i> , <i>A. candidus</i>	nierentoxisch, gentoxisch
Deoxynivalenol	<i>Fusarium roseum</i>	immuntoxisch, neuroendokrin, emetogen, Läsionen in Gastrointestinaltrakt
Fumagillin	<i>Aspergillus fumigatus</i>	immunsuppressiv
Gliotoxin	<i>Penicillium terlikowskii</i> , <i>P. obscurum</i> , <i>Aspergillus terreus</i> , <i>A. chevalieri</i> , <i>A. fumigatus</i> , <i>Gliocladium fimbriatum</i>	immunsuppressiv
Fumitremorgin A	<i>Aspergillus fumigatus</i> , <i>A. caespitosus</i>	neurotoxisch
Fumitremorgin B	<i>Aspergillus fumigatus</i> , <i>A. caespitosus</i>	neurotoxisch
Mycophenolsäure	<i>Penicillium brevi-compactum</i> , <i>P. stoloniferum</i>	immunsuppressiv
Ochratoxin A	<i>Aspergillus ochraceus</i> , <i>A. sulphureus</i> , <i>A. melleus</i> , <i>Penicillium viridicatum</i>	mutagen
Penitrem A	<i>Penicillium cyclopium</i> , <i>P. crustosum</i> , <i>P. palitans</i> , <i>P. puberulum</i> , <i>P. spinulosum</i>	neurotoxisch, tremorgen
Roquefortin C	<i>Penicillium roqueforti</i>	neurotoxisch, paralytisch
Roridin A	<i>Myrothecium verrucaria</i> , <i>M. roridum</i>	immuntoxisch
Roridin E	<i>Myrothecium verrucaria</i> , <i>M. roridum</i>	immuntoxisch
Roridin L-2	<i>Myrothecium roridum</i>	immuntoxisch
Satratoxin G	<i>Stachybotrys atra</i>	Wirkung auf die Lunge
Saratoxin H	<i>Stachybotrys atra</i>	Wirkung auf die Lunge
Stachybotrylactam	<i>Stachybotrys</i> sp.	Wirkung auf die Lunge
Sterigmatocystin	<i>Aspergillus versicolor</i> , <i>A. nidulans</i> , <i>Bipolaris sorokiniana</i> , <i>A. aurantio-brunneus</i> , <i>A. quadrilineatus</i> , <i>A. ustus</i> , <i>A. varicolor</i>	kanzerogen
T-2 Toxin	<i>Fusarium tricinctum</i> , <i>F. culmorum</i> , <i>F. solani</i> , <i>F. poae</i> , <i>F. sporotrichioides</i> , <i>Trichoderma lignorum</i>	hämatotoxisch, immunotoxisch, zytotoxisch
Verrucarín A	<i>Myrothecium verrucaria</i> , <i>M. roridum</i>	immuntoxisch
Verrucarín J	<i>Myrothecium verrucaria</i> , <i>M. roridum</i>	immuntoxisch
Verrucologen	<i>Penicillium verruculosum</i> , <i>P. paraherquei</i> , <i>P. piscarium</i> , <i>P. janthinellum</i> , <i>Aspergillus caespitosus</i> , <i>A. fumigatus</i>	neurotoxisch, kanzerogen
Zearalenon	<i>Fusarium roseum</i> , <i>F. tricinctum</i> , <i>F. lateritium</i> , <i>F. oxysporum</i> , <i>F. culmorum</i> , <i>F. moniliforme</i> , <i>F. equiseti</i> , <i>F. gibbosum</i> , <i>F. avenaceum</i> , <i>F. nivale</i> , <i>F. sambucinum</i>	reprotoxisch, östrogene Aktivität

Tabelle: © domatec

(2) Innenraumluft-relevante Mykotoxine, deren Produzenten (Schimmelpilze) und gesundheitliche Auswirkungen



(3) Toxische Stoffwechselprodukte in Tröpfchen (Exsudat) aus dem Schimmelpilz *Aspergillus sydowii*



(4) Expositionspfade und Gesundheitseffekte

lange nach dem Absterben des produzierenden Schimmelpilzes in diversen Proben nachweisbar.

Mykotoxine sind unumstritten eine Gefahr für Menschen und sind die Ursache für diverse Krankheitsbilder. Die unterschiedlichen Aufnahmepfade (Bild 4) sind orale Aufnahme, Inhalation sowie die Aufnahme über die Haut und die Schleimhäute. Hierbei ist die inhalative Exposition weitaus kritischer zu bewerten als andere Expositionsarten. Tierversuche zeigten, dass die tödliche Wirkung bestimmter Toxine (bei 50 % der Versuchstiere) beim Einatmen bereits bei einer 70-fach geringeren Konzentration erreicht ist als beispielsweise bei oraler Exposition. Gesundheitsrisiken durch die orale Aufnahme von Mykotoxinen mit Lebensmitteln sind bereits umfassend gesetzlich geregelt. In der Praxis spiegelt sich dies durch umfangreiche Lebensmitteluntersuchungen wider. Eine wichtige Fragestellung ist, wie eine mögliche Exposition in die Innenraumluft zu bewerten ist und welche Konsequenzen anhand der erkannten Risiken zu treffen sind.

Neue Messverfahren für die Schadenspraxis

Für die Feststellung einer Mykotoxin-kontamination der Innenraumluft, auf Bauteiloberflächen und in Baumaterialien wurden Messverfahren und Labormethoden standardisiert. Sachverständige können im Rahmen von Schadensbewertungen sowohl Materialproben als auch Wisch- (Bild 5) und Raumluftproben durch ein Prüflabor untersuchen lassen.

Für eine erste Abschätzung einer Toxinproduktion verschimmelter Bauteiloberflächen ist eine Probenahme mit einem speziellen, lösemittelgetränkten Wischtuch möglich. Hierzu wird eine Testschablone angelegt und die Fläche abgewischt. Anschließend wird das Probengut in ein Transportröhrchen verbracht und an das Untersuchungslabor versandt.

Für die Abklärung einer Schadensursache ist oftmals die Entnahme einer Materialprobe notwendig. Von der vermutlich belasteten Raumhülle sind für die Analyse im Labor

etwa 10 g Material nötig. Folgende Materialien eignen sich für die Untersuchung:

- Tapeten
- Gipskartonplatten
- OSB-Platten
- Dämmstoffe
- Bohrkernproben

Eine solche Untersuchung von Materialproben ist im Labor mit sehr aufwendigen Vorarbeiten für die notwendige, flüssigchromatographische Analyse (mittels LC-MS/MS) verbunden.

Für die Raumluftmessung wurde ein neues Messgerät entwickelt (Bild 8), um den speziellen Anforderungen für eine Luftprobenahme gerecht zu werden. Wichtig ist die Positionierung des Luftsammlers auf einem Stativ in einer Höhe von ca. 1,40 m, im Einatembereich von Raumnutzern.

Normalerweise werden Bioaerosole mit einer Kurzzeitmessung (wenige Minuten) erfasst. Daraus ergeben sich jedoch nur sehr eingeschränkt zu interpretierende Prüfergebnisse zur jeweiligen Belastungs-



(5) Probenahme einer Wischprobe von einer verschimmelten Wandoberfläche für die anschließende Mykotoxinanalytik