

## Untersuchungen von SVOC in Material- und Wischproben bei „Foggingschäden“ in Innenräumen

M. Blei, S. Michaluk

### Vorkommen

Ein Phänomen, das nur während der Heizperiode in den Wintermonaten beobachtet wird, ist die zum Teil innerhalb weniger Stunden oder Tage erfolgende Schwarzverfärbung von verschiedenen Oberflächen im Innenraum.

Der Begriff „Fogging“ oder auch „magic-dust“ genannt, stammt aus der Automobilbranche und bezeichnete das Bilden eines dunklen Films auf der Windschutzscheibe in Neufahrzeugen als Folge von Ausgasungen schwerflüchtiger Kunststoffbestandteile. Häufig handelt es sich bei den betroffenen Innenräumen um neugebaute oder sanierte bzw. renovierte Einheiten, die in der ersten ggf. auch der zweiten Heizperiode nach Bezug oder Ausstattungsänderung den „Fogging“-Effekt zeigen.

In den meisten Fällen tritt ein schwarz-grauer, ölig-schmieriger Belag auf den betroffenen Oberflächen auf. Diese Ablagerungen sind an Stellen hoher Luftbewegung, z.B. um die Heizkörper, entlang der Wand, Fenster und Gardinen oberhalb der Heizquellen, und an Stellen verminderter Oberflächentemperaturen, z.B. Zimmerecken, am stärksten.



Bild 1: schwarze Ablagerungen am Heizkörper



Bild 2: schwarze Ablagerungen in einem Küchenschrank

Von den schwarzen Ablagerungen geht keine unmittelbare Gesundheitsgefährdung aus. Dass es sich bei diesen Ablagerungen um einen optischen Mangel handelt, steht außer Frage. Damit ist der „Fogging“-Effekt ein zusätzliches rechtliches Problem. Somit haben sich in den letzten Jahren die Mietrechtsprozesse gehäuft. Hierbei muss stets im Einzelfall unter Berücksichtigung verschiedener Gegebenheiten entschieden werden, wer bzw. was für die schwarzen Ablagerungen verantwortlich ist und ob die Gebrauchstauglichkeit der Mietsache beeinflusst ist.

### Ursachen

Nach dem derzeitigen Kenntnisstand sind, neben hauptsächlich Feinstaub- und Aerosolbestandteilen, schwerflüchtige organische Verbindungen (SVOC) und Wärmebrücken unter bestimmten Voraussetzungen, wie Kondensation, Konvektion, Thermophorese und Impaktion für die schwarzen Ablagerungen, welche als typisches „Fogging“ bezeichnet werden, verantwortlich.

Wichtige SVOC sind:

- Weichmacher und Phthalate
- Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)
- Indikatoren für Tabakrauch – Nikotin und Cotinin
- in Fußboden- und Möbelpflegemitteln und in Kerzen als Wachs eingesetzte Paraffine (Summe C12-C33)
- Fettalkohole
- Fettsäureester
- Fettsäuren

Diese Verbindungen sind u.a. in Produkten enthalten, die beim Neubau, dem Ausbau, der Renovierung bzw. Modernisierung und Neuausstattung von Wohnungen zum Einsatz kommen, wie z.B. Laminat, PVC-, Teppichböden, Styropor-Deckenplatten, Kunststoffmöbel, -tapeten, -paneele, -fenster, Farben und Lacke sowie Klebstoffe.

Die SVOC emittieren in die Raumluft. Die Konzentrationen der Verbindungen in der Raumluft werden im Winter, wenn geheizt und oft weniger gelüftet wird, erhöht. Physikalisch lagern sich die SVOC an vorhandene Schwebstaubpartikel in der Raumluft an. Dies führt zur Agglomeration kleinerer Partikel zu größeren Teilchen, die sich in der Folge als schmierige, rußähnliche Beläge auf Flächen in der Wohnung absetzen und als solche erkennbar werden. Die Reaktion von SVOC mit Schwebstaubteilchen kann darüber hinaus auch unmittelbar an der SVOC-haltigen Materialoberfläche beim Vorbeiströmen der Raumluft erfolgen (sogenannter Klebefilmefekt).

Außerdem sinkt die Luftfeuchtigkeit im Winter teilweise stark ab, besonders bei niedrigen Außentemperaturen, was die elektrostatische Aufladung durch erhöhte Reibungseffekte an den Oberflächen und zwischen den Partikeln verstärkt. Allein dadurch kann es zu Adhäsionseffekten zwischen den Partikeln untereinander und an Oberflächen kommen. Ein Ladungsausgleich wird zusätzlich erschwert, da die elektrische Leitfähigkeit der trockenen Luft ebenfalls geringer ist.

## Methoden

Die Wisch- und Materialproben wurden in den vergangenen Jahren mittels GC-MS-Systemen auf Grundlage üblicher oder interner Massenspektrenbibliotheken analysiert, was eine eindeutige Peakidentifizierung insbesondere im Spurenbereich nicht immer ermöglichte.

Zur Zeit erfolgt eine quantitative oder halbquantitative Bestimmung nach internen Standards und Vergleichsgemischen, die eine Bestimmung verschiedenster Indikatorsubstanzen bedingt.

Die folgenden Diagramme zeigen die Häufigkeit bezüglich des Vorkommens foggingaktiver Substanzen in Material- und Wischproben aus insgesamt zehn verschiedenen Objekten, in denen es zu schwarzen Ablagerungen gekommen ist.

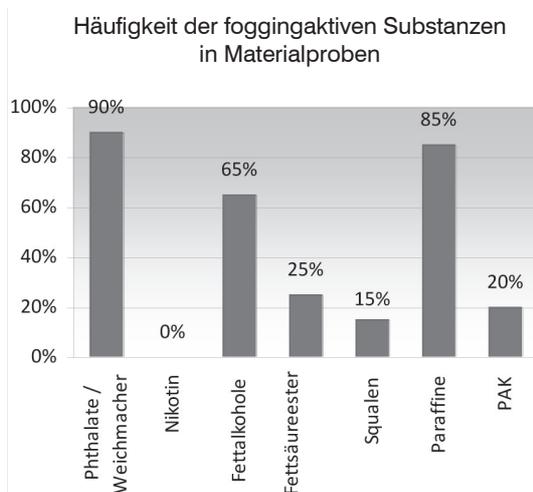


Diagramm 1: Häufigkeit für das Vorkommen von foggingaktiven Substanzen in Materialproben

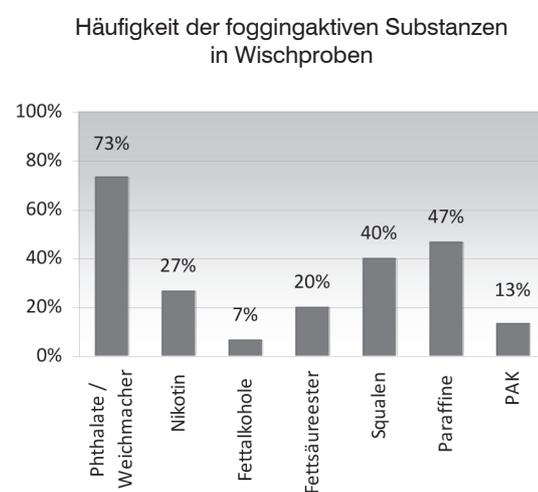


Diagramm 2: Häufigkeit für das Vorkommen von foggingaktiven Substanzen in Wischproben

## Ergebnisse

An Hand des Diagramms 1 wird erkennbar, dass in den untersuchten Materialproben am häufigsten die Phthalate/Weichmacher, Fettkohole sowie Paraffine vorkommen. Vergleicht man diese Ergebnisse mit den parallel entnommenen Wischproben, wird erkennbar, dass diese drei Verbindungen auch auf den beprobten Oberflächen nachgewiesen werden konnten. Das Vorkommen der Fettkohole auf den Oberflächen hat allerdings fast um das 10-fache abgenommen. Dies bedeutet, dass der Einfluss dieser Substanzgruppe in den Materialien zwar gegeben, der Einfluss auf den Innenraum allerdings im Vergleich zu anderen Substanzgruppen eher gering ist.

Weiterhin wird deutlich, dass die Verbindung Squalen, welche nur gering in den untersuchten Materialproben nachgewiesen werden konnte, zu 40 % und damit mehr als das Doppelte auf den Oberflächen festgestellt wurde. Findet man Squalen im Innenraum, liegt die Quelle meist in Kochrückständen und ist damit auf das Nutzungsverhalten zurückzuführen. Damit kann davon ausgegangen werden, dass das Vorkommen in den Materialproben zum größten Teil auf das Nutzungsverhalten zurückzuführen ist und die Materialien das Squalen über einen längeren Zeitraum aufnehmen.

Dass das Nutzungsverhalten einen erheblichen Einfluss auf foggingaktive Substanzen und damit als Ursache für die schwarzen Ablagerungen einen erheblichen Einfluss hat, bestätigt die Verbindung Nikotin. Diese konnte in keiner entnommenen Materialprobe aller betroffenen Wohnungen nachgewiesen werden. Allerdings hat Nikotin einen erheblichen Einfluss auf die Ergebnisse der Wischproben. Auf Grund der Tatsache, dass Nikotin bei der Verbrennung von Tabakrauch entsteht, muss das Nutzungsverhalten in diesen Wohnungen besonders beachtet werden.

Die festgestellten Paraffine, welche sowohl in den Material- als auch in den Wischproben festgestellt werden konnten, besitzen ebenfalls einen erheblichen Einfluss. Somit sollte das Vorkommen dieser Substanzgruppe auf Oberflächen nicht zwangsläufig auf Paraffinwachs (Kerzen) zurückgeführt werden. In den durchgeführten Untersuchungen konnten Paraffine in Materialien wie PVC-Belag, Laminat, Raufasertapeten und Farben nachgewiesen werden. Dabei lag die höchste ermittelte Konzentration an Paraffinen im Laminat mit 4.830 mg/kg. Interessanterweise waren in einigen Fällen unbehandelte Raufasertapeten alleinige Quellen für Paraffine, Phthalate und Fettsäureester.

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) wurden ebenfalls sowohl in den Material- als auch in den Wischproben detektiert. Die Höchstkonzentration in den Materialproben befand sich in einer Holzprobe mit 1 mg/kg. Auf den untersuchten Wischproben wurden Konzentrationen von unter  $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^2$  nachgewiesen. Diese PAK-Konzentrationen erreichen bzw. überschreiten bestehende Grenzwerte nach TRGS 900 nicht. Neben der Verbrennung von Tabakrauch sowie durch Kochrückstände können PAK in den Innenraum nur über bestimmte Materialien, z.B. PAK-haltigen Kleber, gelangen.

Alle genannten Vorgänge führen allerdings nur dann zu sichtbaren Belägen, wenn zeitgleich weitere negative Begleitzustände bzw. Einflussfaktoren vorhanden sind. Das ist auch der Grund, warum nicht in jeder Wohnung, in der nach dem Renovieren vorübergehend erhöhte SVOC-Einträge in die Raumluft, z.B. durch Verwendung einer weichmacherhaltigen Farbe, stattfinden, solche Beläge entstehen.

### Einfluss bautechnischer Gegebenheiten

Für die detaillierte Ursachenfindung der schwarzen Verfärbungen im Innenraum sollte immer der bautechnische Zustand der betreffenden Wohneinheiten untersucht werden. Bautechnische Mängel, wie Wärmebrücken, können den „Fogging“-Effekt verstärken. Um zu prüfen, ob beispielsweise Wärmebrücken mit ursächlich für den „Fogging“-Effekt sind, bieten sich thermografische Untersuchungen (Wärmebildkamera) sowie die Messung der Oberflächentemperatur an.

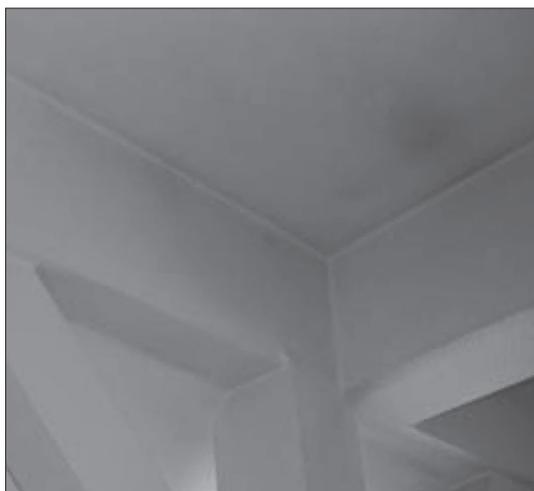


Bild 3: schwarze Ablagerungen im Deckenbereich



Bild 4: erkennbare Wärmebrücke im Bereich der Verfärbung

Bei den untersuchten neun Wohnungen konnte bei 25 % ein Vorhandensein von Wärmebrücken bestätigt werden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die tatsächliche Anzahl an Wärmebrücken höher ist. Es muss dabei beachtet werden, dass Wärmebrücken nicht einzig für das Auftreten von „Fogging“ verantwortlich sind. Sie stellen einen zusätzlichen Faktor dar, welcher die schwarzen Ablagerungen verstärken kann.

### **Mögliche Maßnahmen zur Beseitigung der schwarzen Staubablagerungen**

Zur Vermeidung der schwarzen Staubablagerungen wird nach allen bislang gesammelten Erfahrungen ein „regelmäßiger natürlicher Luftaustausch“ empfohlen. Luftwechsel beinhaltet den Ersatz der Raumluft durch neue, unverbrauchte Außenluft in einem bestimmten Zeitabschnitt und ist nicht zu verwechseln mit der Raumluftzirkulation, wie sie insbesondere durch die warmen Heizkörperoberflächen initiiert wird.

Damit soll erreicht werden, dass chemische Raumluftverunreinigungen, die von den Raumumfassungsflächen selbst emittiert werden, rasch an die Außenluft abgeführt werden. Andererseits sollte im Winterhalbjahr auch nicht zu stark gelüftet werden, da man weiß, dass zu geringe Luftfeuchten den Ablagerungsprozess begünstigen können.

Bevor man damit beginnt, die Ablagerungen durch Reinigungsmaßnahmen zu entfernen oder durch erneute Renovierungsarbeiten zu beseitigen, sollte man den Ursachen der Verschmutzungen auf den Grund gehen. Oft reicht intensives Lüften oder der sparsame Gebrauch von Kerzen oder Öllampen nicht aus, um das Problem zu entschärfen bzw. zu beseitigen. Ohne bauliche Veränderungen kann das jährliche Auftreten der schwarzen Beläge sich über ein Jahrzehnt hinziehen. Allerdings sollten umfangreiche Schritte, wie das Entfernen von Fußbodenbelägen oder größere bauliche Eingriffe erst erwogen werden, wenn die Quellenzuordnung zweifelsfrei ermittelt werden konnte.

### **Literatur:**

MORISKE, H.-J.: Rätselhafte schwarze Ablagerungen in Wohnungen – das Fogging-Phänomen. ARCONIS – Wissen zum Planen und Bauen, 2000 (3): 34-35.

MORISKE, H.-J.; RUDOLPHI, A.; SALTHAMMER, T.; WENSING, M.: Zum Phänomen der „Schwarzen Wohnungen“ – aktueller Sachstandsbericht. Gesundheits-Ingenieur/Haustechnik/Bauphysik/Umwelttechnik 121, 2000 (6): 305-311.

BUTTE, W. & G. WALKER (1994): Sinn und Unsinn von Hausstaubproben...- In: VDI-Berichte Nr. 1122: S. 535-546, VDI-Verlag; Düsseldorf.

Umweltbundesamt, ANGRÄUEN DES SCHWARZEN STAUBES, August 2004

MARTIN WESSELMANN; MANFRED SANTEN; URSULA FITTSCHEN ARGE Feinstaub Hamburg – Berlin, Feinstaubuntersuchungen in „schwarzen“ und „weißen“ Wohnungen, Hamburger Studie zur Untersuchung der Feinstaubkonzentration in Wohnräumen, 2006, AGÖF – Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute: Umwelt, Gebäude & Gesundheit – Innenraumschadstoffe, Fogging und Gerüche, Ergebnisse des Fachkongresses vom 19. und 20.09.2007

TRGS 900, Technische Regeln für Gefahrstoffe, Grenzwerte in der Luft am Arbeitsplatz „Luftgrenzwerte“, Oktober 2000, BArbBl. Heft 7/8-2004

**WHO-Guidelines for Indoor Air Quality  
Feuchtigkeit und Schimmelpilze (Dampness  
and Mould)**

**WHO Regional Office for Europe, Kopenhagen  
2009** **Teil 2**

**Schimmel und Hausstaubmilben sind Indikatoren der Hausqualität.** Der primäre Faktor zur Verhinderung des Schimmelwachstums ist die Vermeidung von Feuchtigkeit im Innenraum und in den Gebäudestrukturen. Hierbei ist die relative Feuchtigkeit über dem Substrat (Wasseraktivität) entscheidend.

Milben benötigen eine Feuchtigkeit von 45 bis 50 %. Um also die Vermehrung der Hausstaubmilben zu verhindern, muss die relative Feuchtigkeit in der Heizungszeit unter diesen Werten gehalten werden. Selbst wenn die Innenraumluftfeuchte unterhalb dieses Bereiches liegt, kann die relative Feuchtigkeit an kalten Oberflächen höher sein. Deshalb ist eine gute Gebäudeisolierung und das Verhindern von Kältebrücken von großer Bedeutung.

Obwohl die niedrigste relative Feuchtigkeit für die Entwicklung einiger Spezies der Pilze 62 bis 65 % ist, zeigen Experimente an Gebäuden und Baumaterialien, dass empfindliche Oberflächen frei von Schimmelwachstum gehalten werden können, wenn die relative Luftfeuchte unter 75 bis 80 % bleibt. Schimmelpilze wachsen nicht unter einer relativen Feuchtigkeit von 80 % (Adan, 1994), nach anderen Angaben unter 75 % mit einem Temperaturbereich von 5 bis 40 °C (Viitanen, Ritschkoff, 1991). Nach einem intensiven Studium der Literatur wurden in einer schwedischen Arbeit die materialspezifischen Kriterien zu Feuchtebedingungen für mikrobiologisches Wachstum wie folgt beschrieben (Johansson et al, 2005): Die kritische relative Feuchtigkeit (maximale relative Feuchtigkeit, bei der für längere Zeit kein Wachstum auftritt) ist 75 bis 90 % für saubere Materialien und 75 bis 80 % für kontaminierte oder verschmutzte Materialien.

Es ist wichtig zu beachten, dass Feuchtigkeit nicht nur von außen in die Räume eindringen kann, sondern dass auch im Innenraum beträchtliche Mengen von Feuchtigkeit freigegeben werden. Nach Untersuchungen in finnischen Wohnungen (Kalamees, 2006) ist die durchschnittliche Feuchtigkeitserzeugung per Tag und Wohnung 5,9 kg.

Auf die Person bezogen bedeutet das 1,9 kg/Tag. Die Feuchtigkeitspegel in Innenräumen sind schwankend. Hinzu kommt, dass auch die Pufferkapazität des Innenraums beachtet werden muss. Die Fähigkeit des Gebäudes und der Ausstattungsgegenstände des Innenraums die Feuchtigkeit zu absorbieren und wieder freizugeben, hat einen signifikanten Effekt auf die Schwankungen der Innenraumluftfeuchtigkeit und auch folglich auf mögliche Schäden durch Feuchtigkeit im Raum. Der gegenwärtige Trend ist jedoch auf eine geringere Feuchtigkeitskapazität gerichtet. Zusammen mit verringerten Ventilationsraten kann das die Häufigkeit von Feuchtigkeitsproblemen beeinflussen.

Die **natürlichen Ventilationsraten** hängen von der Größe und Verteilung der Öffnungen in den Gebäudehüllen und den Druckdifferenzen ab. Die Druckdifferenzen ihrerseits sind abhängig von der Gebäudehöhe sowie der Temperaturdifferenz zwischen innen und außen. Außerdem ist die Windgeschwindigkeit wichtig. Aus diesen Gründen müssen die Gebäudeöffnungen gemäß den Wetterbedingungen, den Luftverunreinigungen und der Feuchtigkeitsgeneration im Innenraum reguliert werden. Ungenügende Lüftungsraten führen zu erhöhter Luftfeuchtigkeit, Gesundheitsproblemen und Feuchtigkeitsschäden. In gemäßigten Klimaten ist in Wohngebäuden einer natürlichen Be- und Entlüftung ohne Klimaanlage der Vorzug zu geben. Diese Entlüftung ist nicht geeignet bei Gebäuden mit tiefen Räumen sowie starkem Lärm und erheblicher Außenluftverunreinigung. Ein Nachteil ist, dass Gebäude mit natürlicher Belüftung nicht luftdicht gestaltet werden können. Das ist aus energetischen Gründen ungünstig.

Bei der **mechanischen Belüftung** können die erforderlichen Ventilationsraten bei allen Wetterbedingungen gesichert werden, ohne dass die Nutzer der Häuser aktiv in dieser Beziehung werden müssen. Hierbei ist es möglich, die Gebäudehülle luftdicht herzustellen, Energieverluste besser zu vermeiden und folglich die Lüftungsraten zu verringern. Außerdem werden die Lärmimmissionen gesenkt. Weiter können Erwärmung und Kühlung der Luft mit der Anlage verbunden sowie Wärmerückgewinnungsanlagen eingebaut und die Luft gefiltert werden. Druckdifferenzen am Gebäude sind durch derartige Anlagen auszugleichen. Klimaanlage können in jedem Gebäudetyp installiert werden und gestatten

größere architektonische Freiheiten. Letzteres ist auch der Grund für die steigende Akzeptanz von Klimaanlage in der modernen Baupraxis.

In kalten Klimaten ist der Feuchtigkeitsgehalt der Innenraumluft gewöhnlich höher als in der Außenluft. Wenn der Luftdruck im Innenraum höher ist, kann die hohe Luftfeuchte in kalte Baustrukturen fließen und dort kondensieren. Der umgekehrte Fall tritt in warmen Klimaten auf. Hier fließt feuchte Luft von außen in die Baukonstruktion. Beides kann zur Ansammlung von Feuchtigkeit in der Bausubstanz führen, Schimmelwachstum erzeugen, die thermale Isolationsfähigkeit der Gebäudehülle verringern, Veränderungen in Materialien induzieren oder sogar strukturelle Zerstörungen hervorrufen. Es wurde festgestellt, dass bei leichtem Unterdruck, wie er bei klimatisierten Häusern oft besteht, Schimmelpilze sogar aus den Zwischendecken in den Innenraum gezogen werden können.

Beim Bau von Häusern sollte man Materialien bevorzugen, welche Schimmelpilzwachstum und Feuchtigkeitsprobleme zumindest in solchen Bereichen minimieren, von denen man erwarten kann, dass sie feucht werden. Manche Materialien können ohne Probleme feucht werden, solange sie schnell wieder abtrocknen. Andere werden schnell durch Wasser geschädigt, so dass sie niemals feucht werden sollen, wie zum Beispiel tapezierte Gipswände. Beton ist resistent gegenüber Schimmelpilzwachstum, enthält keine Nährstoffe für Schimmelpilze und ist stabil, wenn es feucht wird. Er trägt nur zu Feuchtigkeitsproblemen bei, indem er flüssiges Wasser zu empfänglichen Materialien transportieren kann und eine längere Austrocknungszeit benötigt.

**Feuchtigkeitskontrolle** ist die Hauptmethode, um das Wachstum von Schimmelpilzen und die Vermehrung von Hausstaubmilben zu verhindern. Die Ursachen für Schimmelpilz- und Milbenentwicklung sind in ganz Europa immer dieselben, aber die Methoden der Verhinderung differieren. Feuchtigkeitsstrecken in Klimaanlage sind immer ein Risiko für mikrobielle Kontamination und Emission. Deshalb sind die hygienischen Richtlinien in dieser Hinsicht zu beachten. Das Risiko ist auch abhängig von Art und Alter der Baukonstruktion.

Die Maßnahmen zur Verhinderung von Feuchtigkeitschäden sind in drei Kategorien zu gruppieren:

1. Bauten sollten so geplant, konstruiert und gewartet werden, dass es zu keiner schädlichen Kondensation der Innenraumluftfeuchte in den Strukturen kommt.
2. Die Lüftung sollte die im Innenraum erzeugte Feuchtigkeit wirksam verringern.
3. Eine effektive Zentralheizung verringert die relative Feuchtigkeit im Innenraum und auch die Entstehung von Feuchtigkeit und Luftverunreinigungen durch Verbrennungsprozesse.

In bestehenden Gebäuden sind die primären Mittel, um die Feuchtigkeit im Innenraum zu verringern, eine Veränderung im Verhalten der Bewohner beziehungsweise Nutzer und eine Verbesserung der Lüftung. Möbel und Bücherregale dicht an Außenwänden sowie Teppiche können die lokale Luftfeuchtigkeit erhöhen und Schimmelwachstums verursachen. Die relative Feuchte in Teppichen kann 10 % höher sein als in der Raumluft, außerdem sind Teppiche gute Reservoirs für mikrobielle Kontamination und sehr schwer zu dekontaminieren. Schwere Wandteppiche sind in feuchten Klimaten immer ein Risikofaktor in dieser Beziehung. Raumluftentfeuchter können zeitweise nützlich sein. Hierbei ist es wichtig, zur Verhinderung der Entwicklung von Milben die Luftfeuchtigkeit unter 45 % zu halten.

### **Mit Feuchtigkeit und Schimmelpilzwachstum verbundene Gesundheitseffekte**

Mikroorganismen werden als die plausibelste Erklärung für die Gesundheitsrisiken betrachtet, welche in Wohnungen mit Innenraumfeuchtigkeit auftreten. Die üblichen quantitativen Messungen einer solchen Exposition beruhen jedoch auf einer Messung der Gesamtzahl der kultivierbaren luftgetragenen Mikroorganismen. Diese Messungen haben jedoch weniger konsistente Korrelationen mit dem Gesundheitseffekt ergeben als mehr qualitative Feststellungen, wie sichtbare Feuchtigkeit oder Wasserschäden, sichtbarer Schimmelpilzbefall oder Schimmelgeruch. Hierzu erfolgte eine umfangreiche Auswertung der Literatur auf diesem Gebiet bis zum Jahre 2007. Die Untersuchung kam zu dem Schluss, dass Feuchtigkeit in Gebäuden und Schimmelpilzbefall mit einem circa 30 bis 50%igem Ansteigen verschiedener respiratorischer

und astmoider Krankheitserscheinungen verbunden ist. In einer Diskussion dieses Ergebnisses wurde folgende Aussage getroffen: *Wenn die gefundenen Korrelationen kausal sind, wären 21 % der Asthmaerkrankungen in den USA auf Feuchtigkeit und Schimmelpilz in Wohnungen zurückzuführen und würden jährliche Kosten von 3,5 Milliarden US-Dollar verursachen.*

In verschiedenen Untersuchungen ergab sich, dass nach Beseitigung von Feuchtigkeit und Schimmelpilzen die Zahl der Asthmaanfälle zurückging. Signifikante Zusammenhänge zwischen Feuchtigkeit und Erkrankung zeigte sich bei Kindern und Erwachsenen.

In einer der aussagefähigsten retrospektiven Fallkontrollstudien zur Inzidenz des Asthma, zeigte sich, dass Feuchtigkeit oder Schimmel in den Hauptlebensbereichen in Wohnungen in einer Dosis-Wirkungsbeziehung zur Asthmaentwicklung bei Kindern und Erwachsenen stand (Pekkanen et al., 2007). Diese sehr exakt durchgeführte Untersuchung hat die stärkste Evidenz aller bis jetzt vorgelegten Studien. Es wurde nachgewiesen, dass eine Feuchtigkeitsexposition nicht nur mit Asthma assoziiert ist, sondern dass diese wahrscheinlich Asthma bei Kindern und Erwachsenen verursacht. Es wird also nach Meinung der Experten der WHO hier eine fast kausale Beziehung nachgewiesen. Ein Problem bei den Studien ergibt sich daraus, dass der Begriff der Gesundheitsstörung als Folge der Feuchtigkeit nicht standardisiert war. Meist handelte es sich hier um Symptome, über die von den Untersuchten selbst berichtet wurde.

Die so genannte *Hygienehypothese* hat zu einiger Verwirrung selbst bei Fachleuten in dieser Beziehung geführt. Einige Autoren berichten darüber, dass die Exposition gegenüber Endotoxinen in einer frühen Lebensphase protektiv bezüglich Atopie und allergischer Erkrankungen wirken könnte. Die dahinter stehende Hypothese postuliert, dass das Aufwachsen in einer mikrobiologisch hygienischen Umgebung das Risiko erhöhen könnte, Allergien zu entwickeln. Die Untersuchungsergebnisse in dieser Richtung sind jedoch nicht konsistent und zeigten zum Teil gegenteilige Ergebnisse. Es könnte aber auch sein, dass inkonsistente Ergebnisse darauf zurückzuführen sind, dass die Exposition im frühen Kindesalter protektiv wirkt und im späteren Lebensalter als Risikofaktor erscheint. Eine

andere Möglichkeit ist, dass die Exposition zu Endotoxinen allergisches Asthma verhütet, aber bei höherer Exposition nicht allergisches Asthma verursacht. In einer Untersuchung ergab sich, dass Exposition zu hohen Innenraumkonzentrationen von Cladosporium und Penicillium das Risiko einer Allergie auf Schimmelpilze reduzierte, dass aber andererseits diese Pilze mit einem hohen Risiko bronchialer Hyperreaktivität korreliert waren. In einer weiteren Studie korrelierte eine vermehrte Exposition von Kindern zu Cladosporium mit einem verringerten Risiko für Atopie, andererseits war aber eine Exposition zu Penicillium, Aspergillus und Alternaria mit einem erhöhten Risiko in dieser Beziehung verbunden. Es ist verwunderlich, dass einige Bestandteile von Mikroben im frühen Leben protektiv gegen Atopie und Asthma wirken sollen, dass es aber andererseits keine ähnlichen Ergebnisse für Risikofaktoren gibt, welche mit Feuchtigkeit im Innenraum zusammenhängen. Es gibt keine Hinweise, dass Leben oder Arbeiten in einem feuchten Gebäude mit Schimmelpilzbefall die Entwicklung von Allergien und respiratorischen Erkrankungen verhindern könnte.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass es genügend Evidenz für einen Zusammenhang von Innenraumfeuchtigkeit und einer großen Anzahl respiratorischer Gesundheitseffekte einschließlich Entwicklung von Asthma, Asthmaanfällen, respiratorischen Infektionen und Symptomen der oberen Luftwege wie Husten, Schnupfen und Atemnot gibt. Dafür wurden genügend valide Untersuchungen vorgelegt. Innenraumfeuchtigkeit scheint auch mit Bronchitis und allergischer Rhinitis assoziiert zu sein, aber es gibt hier noch nicht genügend Studien. Obwohl es plausibel ist, dass starke Exposition zu Schimmel im Innenraum oder anderen Mikroorganismen eine kausale Rolle spielt, ist dieses bis jetzt noch nicht eindeutig nachgewiesen.

In feuchten Gebäuden sind die Menschen einer sich ständig verändernden Konzentration verschiedener Mikroorganismen, deren Sporen, Metaboliten und Komponenten, anderen Stoffen in der Innenraumluft einschließlich chemischer Emissionen von Baumaterialien ausgesetzt. Diese komplexe Vielfalt von Expositionen führt unvermeidlich zu Interaktionen, welche die toxischen Charakteristika der inhalierten Partikel verändern können und zu

unterschiedlichen Reaktionen des Organismus bei unterschiedlichen Situationen führt. Außerdem sind die Effekte der Mikroorganismen, der mikrobiellen Substanzen oder der mit der Feuchtigkeit verbundenen chemischen Komponenten, wie man sie in experimentellen Studien oder in Zellkulturen wirken sieht, zum Teil in Größenordnungen höher, als die durchschnittlichen Dosen, welche die menschlichen Lungen unter normalen Bedingungen in der Innenraumluft erreichen. Jedoch können die Mengen der Stoffe, welche die Lungen der Patienten erreichen, tausendfach variieren durch die ungleiche Partikeldeposition, was zu noch größeren maximalen Oberflächendosen in humanen Lungen führt, als in solchen von experimentellen Studien.

Erschwerend bei den Betrachtungen zur Gefährlichkeit von Feuchtigkeit und Schimmelpilz kommt hinzu, dass unterschiedliche Mikroben in ihrer immunstimulierenden Potenz in Tierversuchen und Zellversuchen erheblich differieren. Mehr noch, es hat sich klar gezeigt, dass unterschiedliche Wachstumsbedingungen der Mikroorganismen an den gleichen Fundorten *in vitro* ihre entzündliche Potenz, die Eiweißexpression sowie die Toxinproduktionen verändern.

Viele Schimmelpilze können Allergien auslösen. Von großer Bedeutung sind hierbei *Aspergillus*, *Cladosporium* und *Penicillium*. Sensibilisierung gegenüber *A. Alternata* ist verbunden mit der Entwicklung, dem Fortbestehen und der Schwere von Asthma bronchiale. Einige Pilzarten können jedoch Histaminfreisetzung durch andere Mechanismen veranlassen. Auf diese Weise können allergienähnliche Symptome auch bei nicht sensibilisierten Menschen auftreten (Larsen et al., 1996). Einige der chemischen Substanzen, welche mit Feuchtigkeit und sich zersetzenden Materialien assoziiert sind, wie zum Beispiel Phthalate und ihre Metaboliten, können das Immunsystem stimulieren, indem sie als Allergene oder Adjuvantien wirken (Hansen et al., 2007).

Ein erhöhtes Vorkommen von respiratorischen Infektionen wurde bei Personen gefunden, welche in feuchten Gebäuden leben oder arbeiten. Das lässt vermuten, dass Stoffe in der Innenraumluft vorhanden sind, welche die Immunantwort unterdrücken, was zu einer vermehrten Empfindlichkeit für Infektionen führt.

Verschiedene Mikroorganismen aus Untersuchungsproben feuchter Gebäude oder deren Toxine zeigten *in vitro* die Vermittlung immunsuppressiver Effekte – zum Beispiel durch verschlechterte Partikel-Clearance oder durch Zelltoxizität.

Es wurden auch über Fälle von Autoimmunerkrankungen oder entsprechender Symptomen unter den Bewohnern feuchter Gebäude berichtet. Es stehen noch keine toxikologischen Daten von Autoimmunantworten auf Mikroorganismen, die aus feuchten Gebäuden gewonnen wurden, zur Verfügung. Jedoch ist bekannt, dass Fragmente von Mikroorganismen Autoimmunreaktionen durch molekulare Mimikry verursachen können, das heißt, aufgrund der Ähnlichkeit beziehungsweise Identität antigener Determinanten von Infektionserregern mit Zellen des Wirtsorganismus reagiert dieser mit der Bildung von Autoantikörpern beziehungsweise autoaggressiven T-Lymphozyten nach Immunaktivierung durch exogene Erreger.

Sporen und andere partikuläre Materialien sowie auch MVOC von Mikroorganismen, VOC von Baumaterialien, Farben und Lösungsmitteln haben eine potenzielle Reizwirkung auf den menschlichen Organismus. In epidemiologischen Studien korrelierten von den Bewohnern berichtete Reizwirkungen mit Schimmelpilzgeruch, welcher ein Indikator für die Gegenwart von VOC ist. Es wird postuliert, dass diese VOC in feuchten Gebäuden in einer Konzentration vorkommen, welche in der Lage ist, Irritationen bei exponierten Menschen auszulösen (Hope, Simon, 2007). Außerdem kann das Empfinden von unangenehmen Gerüchen allein Stressreaktionen und unspezifische somatische Symptome, wie z.B. Kopfschmerzen und Übelkeit, verursachen.

Solche gesundheitlichen Symptome, wie Müdigkeit, Kopfschmerzen und Schwierigkeiten sich zu konzentrieren, indizieren, dass Mikroorganismen oder andere Stoffe, welche in feuchten Gebäuden vorhanden sind, neurologische Effekte hervorrufen können. Einige mikrobielle Toxine, zum Beispiel von *Fusarium* (Fumonisin), *Stachybotris* (Safratoxin G), *Aspergillus* (Ochratoxin A) und *Penicillium* (Ochratoxin A, Verucosidin) haben sich *in vitro* und *vivo* als neurotoxisch erwiesen. Es ist jedoch bis jetzt nicht nachgewiesen, dass Menschen, welche in feuchten Gebäuden leben und über Symptome des Nervensystems klagten,

effektiven Dosen der Mykotoxine ausgesetzt waren.

Eine starke berufliche Belastung durch Inhalation von Mykotoxinen in mit Schimmel befallenem Korn kann mit einem erhöhten Krebsrisiko verbunden sein. Aber es gibt keine epidemiologische Evidenz für eine Assoziation zwischen der Exposition in feuchten Gebäuden und Krebs. Einige der mikrobiellen Toxine, die durch Bakterien und Pilze produziert werden, sind bekannt für ihre genotoxische und karzinogene Potenz. Man weiß jedoch nicht, welche Bedeutung diese Erkenntnisse für die Inhalation der Luft in feuchten Gebäuden haben. Allerdings ist bewiesen, dass mikrobielle Isolate von feuchten Gebäuden *in vitro* eine genotoxische Aktivität besitzen. Es könnte auch möglich sein, dass Bestandteile von Mikroorganismen das Krebsrisiko durch sekundäre Mechanismen steigern können, z.B. durch Erzeugen von oxidativem Stress bei chronischen Entzündungen (Fitzpatrick, 2001).

Es gibt keine Hinweise, dass der Aufenthalt in feuchten Räumen Einfluss auf die Reproduktion hat. Allerdings sind eine Gruppe von Innenraumluftkontaminanten, die Pthalate, potenzielle *Reproduktionsgifte*.

*Mikrobielle Interaktionen* von Bakterien, die in feuchtegeschädigten Gebäuden gefunden wurden, können eine potenzielle synergistische Wirkung entfalten. Interaktionen zwischen *Stachybotris chartarum* und *Stachybotris californicus* stimulieren bei einer gemeinsamen Kultivierung beider Mikroorganismen die Produktion hochtoxischer Stoffe, welche DNA-schädigend sein können und Genotoxizität hervorrufen (Yli-Pirilä et al., 2007). Diese Ergebnisse unterstreichen, dass mikrobielle Interaktionen in Betracht zu ziehen sind, wenn man die Ursachen und Mechanismen von Gesundheitseffekt in feuchten Gebäuden untersucht.

Die epidemiologische Evidenz ist nicht ausreichend, um eine kausale Beziehung zwischen Innenraumfeuchtigkeit beziehungsweise Schimmelpilzen und spezifischen Effekten für die menschliche Gesundheit herzustellen, obwohl die Resultate der Untersuchungen guter epidemiologischer Interventionsstudien zum Beispiel den Schluss nahe legen, dass Feuchtigkeit oder Schimmelpilze eine Asthmaexazerbation hervorrufen können.

Weitere Untersuchungen mit validen Studien, insbesondere bezüglich der Auswirkungen quantitativ unterschiedlicher Expositionen, sind notwendig, um die Rolle der Schimmelpilze und anderer Mikroorganismen in feuchten Gebäuden auf die Gesundheit noch besser einschätzen zu können. Die vorhandene epidemiologische und klinische Evidenz zeigt, dass sowohl atopische wie auch nicht atopische Personen empfindlich sind, Gesundheitsschäden von Feuchtigkeit und Schimmelpilzbefall zu bekommen, auch wenn bei atopischen Personen diese Befunde häufiger sind.

Die Mechanismen, durch welche eine nicht infektiöse mikrobielle Expositionen zu Gesundheitsstörungen beiträgt, die mit Feuchtigkeit und Schimmelpilzen im Innenraum verbunden sind, sind weitgehend unbekannt. Es ist jedoch klar, dass kein einzelner Mechanismus die Verschiedenheit der Gesundheitseffekte erklären kann, welche mit Feuchtigkeit und Schimmelpilzbefall korrelieren. Toxikologische Studien über die Fähigkeiten von Mikroorganismen beziehungsweise von mikrobiellen Bestandteilen im Zusammenhang mit feuchten Gebäuden kommen zu dem Ergebnis, dass hier bestimmte toxikologische Mechanismen und Interaktionen aktiviert werden können.

Obwohl Schimmelpilzsporen in feuchten Gebäuden cytotoxische Metaboliten produzieren, sind Sporen auch in der Lage, toxische Effekte zusätzlich zu direkten entzündlichen Reaktionen hervorzurufen. Das Ansteigen von respiratorischen Infektionen in Verbindung mit feuchten Gebäuden kann auf den immunsuppressiven Effekt der feuchteassoziierten Mikroben zurückgeführt werden. Hierdurch wird die Immunabwehr verschlechtert, was zu einer erhöhten Empfindlichkeit für Infektionen führt. Eine andere Erklärung ist, dass entzündete Schleimhäute eine weniger effektive Barriere für Mikroorganismen sind und damit einen erhöhten Risikofaktor für Infektionen darstellen.

Verschiedene mikrobielle Substanzen mit unterschiedlichem entzündlichem und toxischem Potenzial stehen gleichzeitig mit anderen Komponenten aus der Innenraumluft in Interaktion. Diese Wechselwirkungen können zu unerwarteten Antworten führen, sogar bei geringen Konzentrationen. So kann die individuelle Exposition, das Vorhandensein bestimmter Mikroorganismen,

Toxine oder Chemikalien nicht immer die beobachteten negativen Gesundheitseffekte erklären. Diese Interaktionen müssen sorgfältig untersucht werden, wenn man mögliche Gesundheitseffekte bei Personen in feuchten Gebäuden betrachtet. Ebenso sind die Unterschiede der Konzentrationen zu beachten, welche in Zellkulturversuchen oder Tierexperimenten angewendet werden, mit denen, die möglicherweise bei einer realen Exposition beim Menschen zu erreichen sind.

### Zusammenfassung

- Eine hinreichende Zahl aussagefähiger epidemiologischer Untersuchungen aus verschiedenen Ländern und unter verschiedenen klimatischen Bedingungen zeigen, dass die Bewohner und Nutzer von feuchten oder mit Schimmel befallenen Wohnungen und öffentlichen Einrichtungen einem erhöhten Risiko einer Erkrankung der Atmungsorgane, von Atemwegsinfektionen und der Verstärkung einer vorhandenen Asthmaerkrankung ausgesetzt sind. Weiterhin gibt es Anzeichen dafür, dass ein erhöhtes Risiko besteht, an allergischer Rhinitis und Asthma zu erkranken.
- In einigen Interventionsstudien ergab sich, dass eine Feuchtigkeitssanierung negative gesundheitliche Folgen vermindern kann.
- Es gibt weiter klinische Belege dafür, dass eine Schimmelpilzbelastung sowie andere feuchtigkeitsbedingte mikrobiologische Schadstoffe das Risiko für seltene Erkrankungen, wie hypersensitive Pneumonitis, allergische Alveolitis, chronische Rhinosinosis und AFS-Syndrom (pilzbedingte allergische Nasennebenhöhlenentzündungen – allergic fungal sinusitis), erhöhen.
- Toxikologische Untersuchungen, sowohl in vivo und vitro, unterstützen diese Erkenntnisse und zeigen, dass verschiedene entzündliche und toxische Reaktionen nach einer Expositionen gegenüber Mikroorganismen einschließlich ihrer Sporen, Stoffwechselprodukte und Bestandteile auftreten, die aus feuchten Gebäuden isoliert werden.
- Obwohl atopische und allergische Personen besonders empfindlich gegen biologische und chemische Stoffe aus feuchten Innenräumen

sind, können die negativen Auswirkungen auch in nicht atopischen Bevölkerungsgruppen nachgewiesen werden.

- Die steigende Prävalenz von Asthma und Allergien in verschiedenen Ländern erhöht die Zahl der Menschen, die gegen Feuchtigkeit und Schimmelbefall in Gebäuden empfänglich sind.

Die Bedingungen, welche zu einem Gesundheitsrisiko beitragen, können wie folgt zusammengefasst werden:

- Das Vorkommen von Feuchtigkeit im Innenraum variiert weit innerhalb der Länder, Kontinente und klimatischen Zonen. Es wird geschätzt, dass 10 bis 50 % der Innenräume in Australien, Europa, Indien, Japan und Nordamerika betroffen sind.
- Die Menge des Wassers in und auf Materialien ist der wichtigste Auslöser des Wachstums von Mikroorganismen einschließlich Pilzen, Actinomyeten und von anderen Bakterien.
- Mikroorganismen sind überall verbreitet und vermehren sich schnell, wo Wasser verfügbar ist. Der Staub und Schmutz, der normalerweise in den meisten Innenräumen vorhanden ist, enthält genügend Nährstoffe, um die Mikroben gut wachsen zu lassen.
- Obwohl Schimmelpilze auf allen Materialien wachsen können, sind durch eine Auswahl geeigneter Materialien Schmutzansammlungen und eine Durchdringung mit Feuchtigkeit zu verhindern, wodurch das Schimmelpilzwachstum begrenzt werden kann.
- Mikrobielles Wachstum kann zu einer höheren Zahl von Sporen, Zellfragmenten, Allergenen, Mykotoxinen, Endotoxinen, Beta-Glukanen und VOC im Innenraum führen. Obwohl die kausalen Ursachen der Gesundheitsfolgen noch nicht abschließend identifiziert wurden, bedeutet eine stark erhöhte Konzentration jeder dieser Stoffe ein potenzielles Gesundheitsrisiko.
- Mikrobiologische Interaktionen und feuchtigkeitsbedingte physikalische und chemische Emissionen aus Baumaterialien können ebenfalls bei den durch Feuchtigkeit verursachten Gesundheitsstörungen eine Rolle spielen. Die Ursachen der negativen gesundheitlichen

Folgen sind noch nicht schlüssig identifiziert, aber erhöhte Konzentrationen dieser Stoffe in der Innenraumluft sind ein potenzielles Gesundheitsrisiko.

- Abgesehen von gelegentlichem Wassereintritt z.B. durch Rohrbrüche, starken Regen und Überflutungen, gelangt die meiste Feuchtigkeit mit der einströmenden Luft in die Gebäude. Hierbei spielen auch die Aktivitäten der sich im Gebäude befindlichen Personen eine Rolle. Wenn die Raumoberflächen stärker abkühlen, als die sie umgebende Luft, kann es zu unerwünschten Kondensationen kommen. Wärmebrücken, wie z.B. bei Fensterrahmen aus Metall, eine ungenügende Isolierung, nicht eingeplante Lufteintritte in das Gebäude, Kaltwasserrohre sowie kalte Teile von Klimaanlage können zu einer Oberflächentemperatur unter dem Taupunkt führen und so Kondenswasserbildung verursachen.

Zur Vermeidung des Auftretens von Feuchtigkeit und Befall mit Mikroorganismen wurden folgende Leitlinien formuliert:

- Andauernde Feuchtigkeit und beständiges Wachstum von Mikroorganismen auf Innenraumoberflächen und innerhalb von Gebäudestrukturen sollten vermieden oder minimiert werden, um negative gesundheitliche Auswirkungen zu vermeiden.
- Indikatoren von Feuchtigkeit und mikrobiellem Wachstum sind Kondensation auf Oberflächen oder in Strukturen des Gebäudes, sichtbarer Schimmelbefall, Schimmelpilzgeruch, das frühere oder aktuelle Auftreten von Wasserschäden, Rohrbrüchen oder das sonstige Eindringen von Wasser. Durch Inspektion und, wenn nötig, geeignete Messungen kann man Innenraumfeuchtigkeit und mikrobielles Wachstum nachweisen.
- Die Zusammenhänge zwischen Feuchtigkeit, mikrobiellem Wachstum und Gesundheitseffekten sind nicht genau zu quantifizieren, deshalb können keine quantitativen Richt- oder Grenzwerte für gesundheitlich noch akzeptable Konzentrationen an mikrobiellen Raumluftkontaminanten angegeben werden. Stattdessen wird empfohlen, dass Feuchtigkeit und Schim-

melpilzwachstum vorgebeugt werden soll. Wo diese Probleme auftreten, sollten Maßnahmen ergriffen werden, damit nicht das Risiko einer gesundheitsgefährlichen Exposition gegenüber Mikroorganismen und Chemikalien steigt.

- Gut geplante, gut gebaute und instand gehaltene Gebäudehüllen sind entscheidend, um Feuchtigkeit und Schimmelpilzbefall vorzubeugen und zu kontrollieren, da sie Wärmebrücken sowie den Eintritt von flüssigem oder gasförmigem Wasser verhindern. Ein gutes Feuchtigkeitsregime erfordert geeignete Steuerung von Temperatur und Belüftung, um überhöhte Feuchtigkeit, Oberflächenkondensation und Durchfeuchtung von Materialien zu verhindern. Die Räume sollten effektiv gelüftet werden, Zonen mit stagnierender, nicht bewegter Luft sind zu vermeiden.
- Gebäudeeigentümer sind durch zweckmäßige Bauweise und Instandhaltungsmaßnahmen verantwortlich für gesunde Arbeits- und Wohnräume, frei von übermäßiger Feuchtigkeit und Schimmelbefall. Die Bewohner und Nutzer von Gebäuden sind dafür verantwortlich, Wasser, Heizung, Lüftung und Geräte so zu nutzen, dass keine übermäßige Feuchtigkeit und Schimmelwachstum auftritt.
- Örtliche Empfehlungen für klimatisch unterschiedliche Gebiete sollten so aktualisiert werden, dass kein durch Feuchtigkeit verursachtes mikrobielles Wachstum in Gebäuden auftritt und eine erstrebenswerte Innenraumluftqualität gesichert wird.
- Feuchtigkeit und Schimmelwachstum kommen besonders häufig in schlecht erhaltenen Häusern vor, in denen häufig Personen aus unteren Einkommensschichten wohnen. Die Sanierung derartiger Gebäude hat Priorität in der Vorbeugung zusätzlicher Gesundheitsbelastungen für die Bevölkerungsgruppen, welche bereits eine erhöhte Krankheitslast tragen.

## Literaturverzeichnis

Adan OCG (1994). On the fungal defacement of interior finishes [thesis]. Eindhoven, Eindhoven University of Technology.

Bomberg M, Brown W (1993). Building envelope and environmental control: part 1 – heat, air and moisture interactions. *Construction Canada*, 35: 15-18.

Dales RE, Burnett R, Zwanenburg H (1991). Adverse health effects among adults exposed to home dampness and molds. *American Review of Respiratory Diseases*, 143: 505-509.

Fitzpatrick FA (2001). Inflammation, carcinogenesis and cancer. *International Immunopharmacology*, 1: 1651-1667.

Hansen JS et al. (2007). Adjuvant effects of Inhaled mono-2-ethylhexyl phthalate in BALB/cJ mice. *Toxicology*, 232: 79-88.

Johansson P et al. (2005). Microbiological growth on building materials – critical moisture levels. State of the art. Borås, SP Swedish National Testing and Research Institute (Report 2005: 11; <http://www.kuleuven.ac.be/bwf/projects/annex41/protected/data/SP%20Oct%202005%Prese%20A41-T4-S-05-7.pdf>, accessed 16 March 2009).

Kalamees T (2006). Hygrothermal criteria for design and simulation of buildings [thesis]. Tallinn, Tallinn University of Technology.

Larsen FO et al. (1996). Microfungi in indoor air are able to trigger histamine release by non-IgE-mediated mechanisms. *Inflammation Research*, 45: S23-S24.

Pekkanen J et al. (2007). Moisture damage and childhood asthma: a population-based incident case-control study. *European Respiratory Journal*, 29: 509-515.

Pirinen J et al. (2005). Homevauriot suomalaisissa pientaloissa (Mould damage in Finnish detached houses). Espoo, Sisäilmastoseminaari (SIY Report 23; in Finnish).

Yli-Pirriä T et al. (2007). Effects of co-culture of amoebae with indoor microbes on their cytotoxic and proinflammatory potential. *Environmental Toxicology*, 22: 357-367.

Das Originaldokument der WHO in englischer Sprache ist unter folgender Internetadresse herunterzuladen: [www.euro.who.int/document/E92645.pdf](http://www.euro.who.int/document/E92645.pdf)

---

## Wohnen gestern und heute Zur Geschichte der Städtebauhygiene

Fortsetzung

Klaus Fiedler

### 1.6. Die Städte des Mittelalters

Die Städte *des Mittelalters*, an Schnittpunkten des Fernhandels gegründet, lagen meist in der Nähe wehrhafter Burgen. Flüsse und Seen erhöhten vielfach ihre Verteidigungsfähigkeit. Städte waren Zentren weltlicher und kirchlicher Macht z.T. in Personalunion. Die Städte wurden befestigt, zunächst mit Holzpfählen als Palisadenzaun, später mit hohen Mauern. Die Zahl der Stadttore reduzierte man auf ein Minimum, um größte Sicherheit zu gewährleisten.

Das Wohnhaus des Bürgers war das Einfamilienhaus. Es sollte an der Straßenfront schmal sein,

um vielen Häusern einen Platz am Markt oder an den Straßen der Gewerbe zu sichern. Bürger, die weniger privilegiert waren, mussten außerhalb der Stadtmauern in der Vorstadt Unterkunft finden. Die Häuser waren mehrstöckig, mit dem Giebel gegen die Straße gerichtet und hatten meist ein Hinterhaus. Da die befestigte Stadt nur ein begrenztes Raumangebot hatte, konnte die ökonomisch schwächere Bevölkerung ihren Wohnraum nur in die Vertikale ausdehnen.<sup>5</sup>

Die Häuser besaßen zunächst Herde mit offenem Feuer. In den so genannten „Rauchküchen“ zog der Rauch der Herdstelle durch das offene Gebälk ab. Erst im Hochmittelalter konnte sich der Kamin – auch aus Brandschutzgründen – durchsetzen.

Da viele *öffentliche Badestuben* vorhanden waren, gab es kaum „private“ Bäder in den Wohnungen. Die mittelalterliche Stadt kannte jedoch wenig gesundheitliche Probleme. Sie hatte meist eine günstige Stadtanlage, gute Wasserversorgung, ein reges Badeleben, die Arbeit fand vorwiegend