

# Wohnung und Gesundheit

Gerhard Führer

Im Vergleich zu früher hat sich die Qualität unserer Innenräume durch eine Vielzahl an möglichen Schadfaktoren verändert: Mottenschutzmittel in Teppichen und Ledersofas, Formaldehyd in Möbeln und Deckenverkleidungen, Lösemittel in Farben, Lacken, Klebern und versteckte Schimmelpilzbelastungen sind Beispiele dafür. Die scheinbare Wohnraumqualität mit unsichtbaren Gefährdungspotentialen hat zur Folge, dass viele gesundheitliche Beschwerden „hausgemacht“ sind.

Um zu erkennen, welche Schadfaktoren in welcher Konzentration und in welcher Kombination vorliegen, ist eine chemisch-analytische, mikrobiologische und physikalisch-messtechnische Bestandsaufnahme der Innenräume nötig. Erst mit diesem Wissen kann der Faktor Wohnung als Ursache für eine Erkrankung ausgeschlossen oder in den therapeutischen Ansatz einbezogen werden.

Wesentlich bei Gebäudebedingten Erkrankungen ist aufgrund der Komplexität eine schrittweise und systematische Vorgehensweise, bei der Arzt, Innenraumanalytiker, Architekt und Baupraktiker interdisziplinär zum Wohle des Patienten zusammenarbeiten müssen.

## Einleitung

Schadstoffbelastete Wohnungen und Gebäude machen deren Raumnutzer auf Dauer krank. Die Erkenntnisse des Frankfurter Holzschutzmittelprozesses haben zu einer ersten öffentlichen Diskussion über Gebäudebedingte Erkrankungen geführt (SCHÖNDORF 1987). Seitdem wird der Zusammenhang zwischen Innenraumqualität und gesundheitlichen Beschwerden immer deutlicher: Eine Vielzahl an Studien belegt, dass durch dichtere Bauweisen zur Energieeinsparung, durch vermehrtes Einbringen von chemischen Verbindungen und durch ein verändertes Nutzerverhalten der Mensch erhöhten Belastungen in seiner Wohnung ausgesetzt ist - und diese führen bei längerem Einwirken zu gesundheitlichen Beschwerden (BOTZENHART et al. 2001, COUTALIDES et al. 2002, FÜHRER 2003 und 2005a, INGROWSKI et al. 2001, KATALYSE 1995, MORISKE & BEUERMANN 2004, MORISKE & TUROWSKI 1998, PÖHNER et al. 1998, RADÜNZ 1998, SAGUNSKI & HEINZOW 2003, SEIFERT 1999, ZWIENER 1997).

Chemische Verbindungen und Bestandteile von Schimmelpilzen werden primär über die Atemwege in den menschlichen Körper aufgenommen. Dabei ist folgendes zu berücksichtigen:

Je nach Partikelgröße und chemisch-physikalischen Eigenschaften der Stoffe können diese in der wässrigen Lösung der Schleimhäute reagieren bzw. werden in Mund- oder Nasenhöhle und im oberen Rachenbereich abgelagert. Problematischer sind lipophile Verbindungen, Feinstäube und die an ihnen angelagerten Stoffe. Diese können bis in die Lungenbläschen gelangen und dort in den Blutkreislauf übertreten – ein Effekt auf Zell- und Organebene oder gar eine systemische Wirkung durch weiträumige Verteilung im Organismus ist dann gegeben.

## Welche Schadfaktoren können in Innenräumen vorliegen?

Viele Millionen Quadratmeter Deckenbretter wurden mit Holzschutzmitteln gestrichen, täglich werden Kubikmeter an Lösemitteln in Farben, Lacken und Klebern verarbeitet und jedes Jahr Hunderttausende von Tonnen Weichmacher für innenraumrelevante (Bau-) Materialien produziert. Jeden Tag werden von Kammerjägern oder im Eigenversuch unzählige Wohnungen „desinfiziert“ und mit Insektiziden ausgerüstete Teppiche und Putzmittel mit gesundheitlich bedenklichen Inhaltsstoffen in Innenräume eingebracht. Bereits vom Gesetzgeber verbotene oder mit Richt- und Orientierungswerten versehene Materialien wie Polychlorierte Biphenyle (PCB) oder Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) sind als „Altlasten“ wegen ihrer

### Kontakt:

Dr. rer. nat. Gerhard Führer  
 Institut peridomus  
 ö.b.u.v. Sachverständiger für Schadstoffe in Innenräumen  
 Mausbergstr. 9  
 97267 Himmelstadt  
 Tel.: 09364-896001  
 Fax: 09364-896002  
 E-mail: info@peridomus.de  
 www.peridomus.de

Emissionsquellen bzw. Hinweise für Schadfaktoren in Innenräumen	Stoff/ Verbindungsklasse
(Unerkannte) Wärmebrücken, schlechte Wärmedämmung, (ältere) Fertighäuser, (ehemaliger) Feuchte-/ Wasserschaden, Silberfischchen, Gipsplatten an Außenwänden, abgehängte Decken, Kondensation im Unterboden, ...	Schimmelpilze/Bakterien
Holzwerkstoffe, Lacke, Harnstoff-Formaldehyd-Schäume, Dämmstoffe, Spachtelmassen, Möbel, Textilien, Spanplatten, ...	Formaldehyd
Trocknende Öle, Alkydharze, Linoleumbeläge	Längerkettige Aldehyde
Alle lösemittelhaltigen Produkte wie Lacke, Kleber u. a.; Testbenzin und Verdünner, Reinigungsmittel, Teppichböden, Isoaliphaten in Naturharzlacken	Aliphaten
Lösemittelhaltige Produkte wie Nitro- und Kunstharze, Kleber, Verdünner, Teppichböden	Aromaten
Dämmstoffe, Beschichtungen auf der Basis ungesättigter Polyesterharze, Teppichböden, Lacke	Styrol
Kunstharzlacke, Lösemittel, Teppichböden, ...	Heterocyklen
Abbeizer, Treibmittel in Dämmstoffen, ...	Halogenkohlenwasserstoffe
Holz, Holzwerkstoffe, Naturharz-, Alkydharz-, Einbrennlacke, Reinigungsmittel, ...	Terpene
Produkte auf Wasser- und auf Lösemittelbasis wie Lacke, Kleber u. a.; Abbeizer	Ketone
Produkte auf Wasser- und auf Lösemittelbasis wie Lacke, Kleber u. a.; Abbeizer, PUR-Schäume, Reparaturspachtelmassen	Alkohole und Ester einwertiger Alkohole
Teppichböden (Schaumrücken), alle kautschukhaltigen Produkte	Trimere Isobutene
Abbeizer, Lacke, Wasserlacke, ...	Pyrrolidonderivate
Produkte auf Wasserbasis wie Acryllacke, Kleber, Fugendichtungsmaterialien; Einbrennlacke, Holzbeizen, Dispersionsfarben, Weichmacherzusätze in verschiedenen Kunststoffen	Glykole
Weichmacher in Latexfarben, Farben, Kleber, Lacke, Weich-Bodenbeläge, Teppichböden, Kunststoffe	Phthalate
Holzschutzmittel, Naturstoffbeläge, Leder, Teppiche, Teppichböden, ...	Biozide
Ehemalige Insektenbekämpfung	Biozide
Teppichböden, textile Ausstattungungen, Glasfasertapeten, Brandschutzanstriche, Flammenschutzbewürfe, EDV-Anlagen, ...	Flammschutzmittel
Ältere schwarze Kleber und Estriche, alte Korkdämmplatten, ...	Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)
Ältere Fugendichtungsmassen, ältere (Brandschutz-)Anstriche, alte Neonlampen, ...	Polychlorierte Biphenyle (PCB)
Glaswolle, Steinwolle	Künstliche Mineralfasern (KMF)
Spritzasbest, Asbestzementprodukte, ältere Fußbodenkleber, ältere PVC-Beläge, ...	Asbest
Undichter Keller, Gebäudestandort, Baumaterialien	Radon

Tab. 1: Überblick über Innenraumbelastungen und bauseitige Emissionsquellen (Nach MORISKE & TUROWSKI 1998, verändert und ergänzt durch den Autor)

langen Halbwertszeit in Gebäuden noch immer in gesundheitlich relevanten Konzentrationen vor. In Tab. 1 finden sich (Bau-) Materialien und deren mögliche Inhaltsstoffe, die in den Innenraum abgegeben werden können. Abb. 1 zeigt Beispiele für Schadfaktoren in Innenräumen.

Stichwort Radon: Es handelt sich um ein radioaktives Edelgas, das in der Regel aus dem Untergrund über nicht abgedichtete Keller in das Gebäude gelangt. Bei Radon ist ein kausaler Zusammenhang zwischen Einwirkung in Gebäuden und Ausprägung gesundheitlicher Beschwerden belegt: Jedes Jahr erkranken ca. 3.000 Menschen neu an Lungenkrebs durch Radonvorkommen in Gebäuden (u. a. GUHR & LEISSRING 2005). Experten schätzen, dass bis heute etwa 8.000 chemische Verbindungen in Innenräumen nachgewiesen wurden. Diese unterscheiden sich bezüglich ihrer chemisch-physikalischen Eigen-

schaften. Zu berücksichtigen ist u. a. der Dampfdruck, die Flüchtigkeit und der Siedepunkt. Um einen ersten groben Überblick über die Vielfalt chemischer Verbindungen in Innenräumen zu gewinnen, kann deren Siedepunkt herangezogen werden (siehe Tab. 2).

Mindestens jede fünfte deutsche Wohnung weist nach Brasche et al. (2003) einen Feuchte-/ Schimmelschaden auf. Praktiker sprechen davon, dass in jeder zweiten Wohnung ein Schimmelpilzproblem vorliegen könnte. Speziell verstecktes, nicht-sichtbares Schimmelpilzwachstum ist in einer Wohnung nicht immer einfach zu erkennen (FÜHRER 2005b). Physikalische Faktoren wie elektromagnetische Umweltverschmutzung („Elektrosmog“) werden an dieser Stelle nur erwähnt. Stäube, Fasern incl. Asbest und Radioaktivität führen in der Regel erst nach langen Zeiträumen, dann allerdings häufig zu massiven Beschwerden.

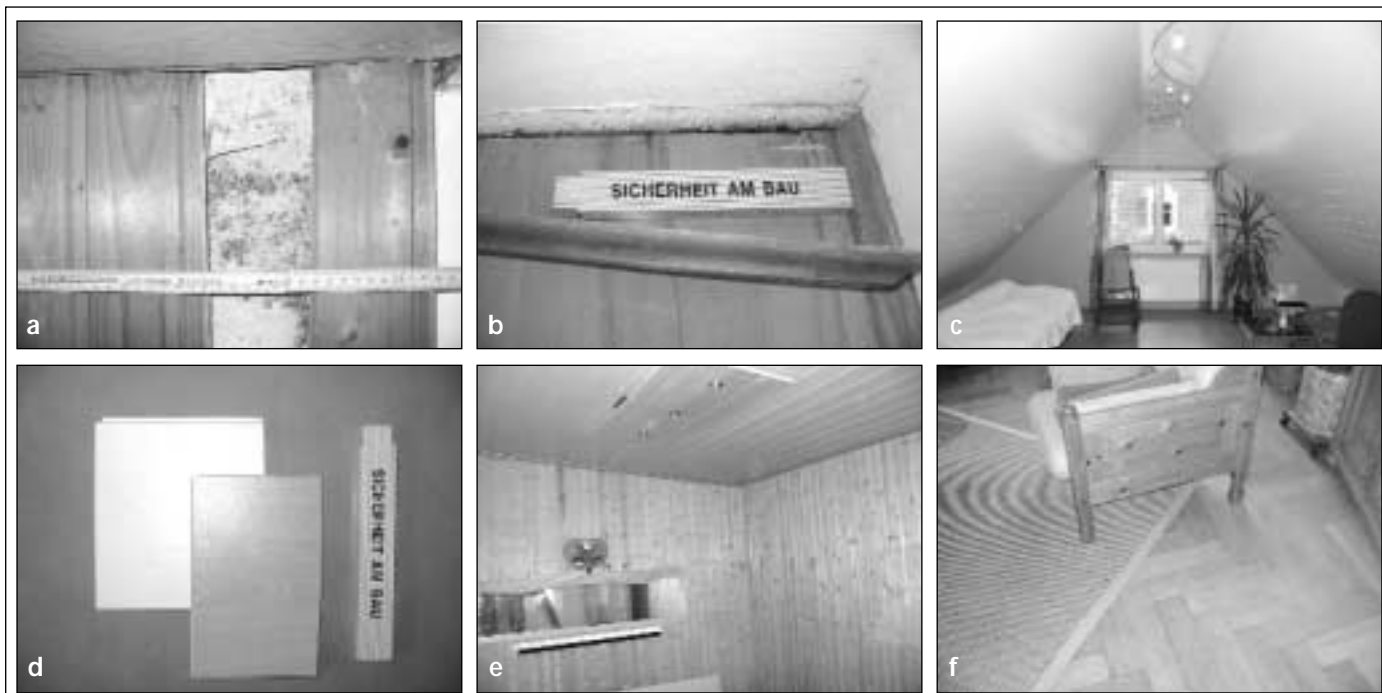


Abb. 1: Beispiele für Schadfaktoren in Innenräumen: Verstecktes, nicht-sichtbares Schimmelpilzwachstum (a, b), Hohe Raumluftbelastung mit flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) und Formaldehyd durch Materialausgasungen (c, d), Holzschutzmittelbelastung in der Wandverkleidung (e), Mottenschutzmittel im Teppich und Flammschutzmittel in der Fußbodenversiegelung (f)

Bezeichnung	Siedpunktsbereich	Beispiele
<b>VVOC</b> Very Volatile Organic Compounds (sehr flüchtige organische Verbindungen)	< 0°C bis ca. 50°C	Aceton, Formaldehyd
<b>VOC</b> Volatile Organic Compounds (flüchtige organische Verbindungen)	50°C bis ca. 200°C	Ester, Alkohole, Terpene, Alkane
<b>SVOC</b> Semi Volatile Organic Compounds (mittel- bis schwerflüchtige organische Verbindungen)	200°C bis ca. 350°C	Holzschutzmittel, Weichmacher
<b>POM</b> Particulate Organic Matter (Partikelgebundene organische Verbindungen)	> 350°C	Pyrethroide, Sulfonamide

Tab. 2: Der Siedepunkt: Eine physikalisch-chemische Kenngröße zur systematischen Einordnung von chemischen Verbindungen

### Wie ist eine Gebäudebedingte Erkrankung zu erkennen?

Gebäudebedingte Erkrankungen sind teilweise einfach, teilweise aber auch schwer zu erkennen. Manche Betroffene verbringen einige Stunden bis wenige Tage außer Haus und fühlen sich deutlich besser bzw. sind beschwerdefrei. Treten die Symptome nach

der Rückkehr in die Wohnung erneut auf, dann sind die Probleme mit hoher Wahrscheinlichkeit „hausgemacht“. Belastungen mit Schimmelpilzen, Lösemitteln oder Flammschutzmitteln können kurzfristige Reaktionen des Organismus auslösen. Die wirksamste Therapie ist in diesen Fällen eine Expositionsaussetzung. Schwieriger wird es bei jahrelanger Einwirkung z. B. von Holzschutzmitteln oder mehreren Faktoren - auch längere Aufenthalte außer Haus müssen keine Linderung nach sich ziehen: Was sich über Jahre im Körper anreichern konnte, benötigt unter Umständen ebenso lange bis therapeutische Konzepte greifen.

Liegen unspezifische Symptome vor, besteht eine chronische Erkrankung, ist eine Heilbehandlung bisher erfolglos geblieben und/ oder ist die Ursache der Erkrankung unbekannt, dann sind das erste Hinweise auf eine möglicherweise vorliegende Innenraumproblematik. Zeitliche oder räumliche Zusammenhänge sind weitere Indizien, dass die Ursache der Beschwerden in den eigenen vier Wänden vorliegen könnte. Manchmal helfen auch medizinische Untersuchungen von Körpergeweben oder Körperflüssigkeiten zur Diagnose einer Gebäudebedingten Erkrankung. Aber Vorsicht: Häufig wird die Aussagekraft von medizinischen Untersuchungen überschätzt oder werden Untersuchungsergebnisse vom Arzt überinterpretiert. Zwei Beispiele von bekannten chemischen Verbindungen mögen das beleuchten:

1. **Holzschutzmittelwirkstoff Pentachlorphenol (PCP):** Wenn PCP nicht im Blut nachgewiesen werden kann, heißt das nicht, dass in der Wohnung kein Holzschutzmittel-Problem besteht. Nur beim Vorkommen von gasförmigen PCP-Molekülen in der Raumluft sind diese auch im Blut nachweisbar. Liegt dagegen beispielsweise das PCP in Salzform vor, dann ist dieses fest im Material gebunden und kann entsprechend nicht in das Blut gelangen. Die produktionsbedingt mit PCP und PCP-Salzen ver-

gesellschafteten Ultragifte Dioxine und Furane werden bei der medizinischen Diagnostik nicht erfasst und das Innenraumproblem nicht erkannt. Um bei einem Holzschutzmittelverdacht ein falsch negatives Ergebnis aus Humanproben zu vermeiden, muss verdächtiges und großflächig verbautes Material auf Holzschutzmittelwirkstoffe untersucht werden. Bei erhöhten Materialkonzentrationen an PCP oder PCP-Salzen kann eine Gebäudebedingte Erkrankung vorliegen - unter innenraumhygienischen Gesichtspunkten besteht Handlungsbedarf.

2. **Formaldehyd** kann im Organismus zu Ameisensäure umgewandelt und über den Urin ausgeschieden werden: Wegen des fehlenden Nachweises erhöhter Ameisensäurekonzentrationen im Urin wird von Medizinern häufig geschlussfolgert, dass in den Innenräumen des Patienten keine hohen Formaldehyd-Konzentrationen vorhanden sind. Formaldehyd kann aber auch über andere Stoffwechselwege (via Atmung) aus dem Körper ausgeschieden werden. Darüberhinaus sind auch falsch positive Ergebnisse möglich. Fazit: Erst durch die Untersuchung der Raumluft kann in einer Wohnung ein Formaldehyd-Problem belegt oder ausgeschlossen werden.

Dass dem Human-Biomonitoring bzw. dem anamnestisch-diagnostischen Erkennen von Innenraumbelastungen über medizinische Untersuchungen am Betroffenen (enge) Grenzen gesetzt sind, hat ein vielköpfiges Autorenkollektiv im Rahmen einer Stellungnahme erarbeitet (AMEND et al. 2004). Dabei handelt es sich um einen Qualitätszirkel in Baden-Württemberg am Landesgesundheitsamt, der sich mit der analytischen Qualitätssicherung im Bereich chemischer Innenraumschadstoffe befasst. Dessen Ergebnis: Erst das Zusammenspiel zwischen Ambient-Monitoring und Human-Biomonitoring ist zielführend zum Erkennen einer Gebäudebedingten Erkrankung. Unabhängig davon wird von den meisten Ärzten der Innenraum als möglicher Krankheitsauslöser oder -verstärker nicht wahrgenommen oder nicht erkannt. Dabei ist es oft einfach, über wenige gezielte Fragen ein potentiell Innenraumproblem zu erkennen oder einzugrenzen (siehe Tab. 3). Auch wurden bereits vor einiger Zeit von der Bayrischen und der Berliner Ärztekammer umfangreiche Fragebögen entwickelt, um im Rahmen der ärztlichen Anamnese die Wohnung als Krankheitsursache mit zu erfassen.

## Wie ist eine Gebäudebedingte Erkrankung zu erkennen?

### 1) Beschwerden und Befindlichkeitsstörungen

**Besteht eine unspezifische Symptomatik?**

*z. B. allergische Symptome wie Heuschnupfen, asthmaähnliche Beschwerden, erhöhte Infektneigung, Reizung von Augen, Nase, Rachen, Schlafstörungen, Kopfschmerzen, rheumaähnliche Beschwerden, Haut- und Schleimhautreizungen, Neurodermitis, Konzentrationsstörungen, Vergeßlichkeit, unklare Angstzustände, Haarausfall*

ja       nein

**Handelt es sich um eine chronische Erkrankung?**

ja       nein

**Eine Heilbehandlung ist bisher erfolglos geblieben?**

ja       nein

**Die Ursache für die Krankheit ist unbekannt?**

ja       nein

### 2) Besteht ein zeitlicher Zusammenhang zwischen Beschwerdebeginn und

**Umbaumaßnahmen oder Renovierung**

ja       nein

**Einzug in neu gebautes Haus oder Einbau neuer Fenster**

ja       nein

**Umzug in eine andere Wohnung**

ja       nein

**Kauf neuer Einrichtungsgegenstände**

ja       nein

### 3) Bessern sich die Beschwerden nach Verlassen der Wohnung oder im Urlaub und treten sie nach der Rückkehr wieder auf?

ja       nein

Wenn Sie eine dieser Fragen mit **ja** beantworten können, sollten Sie mögliche Innenraumbelastungen als Ursache für Ihre Beschwerden in Ihre Überlegungen mit einbeziehen.

Tab. 3: Checkliste zu Gebäudebedingte Erkrankungen

## Das kranke Haus - der kranke Mensch

Sind Schadfaktoren in erhöhter Konzentration in einer Wohnung vorhanden, so ist es häufig nur eine Frage der Zeit bis sich gesundheitliche Beschwerden der Raumnutzer einstellen. Bisher war es mehr oder weniger dem Zufall überlassen, wenn gesundheitliche Beschwerden mit der Wohnung in Verbindung gebracht wurden. Immer öfter empfehlen ganzheitlich denkende Mediziner, die Innenraumqualität von fachkundigen und erfahrenen Innenraumanalysen abklären zu lassen, um die Krankheitsursache zu erkennen bzw. einzugrenzen. Die Berichterstattung in den Medien, sichtbarer Schimmelpilzbefall und Geruchsauffälligkeiten sind weitere Gründe, warum Betroffene ihre Beschwerden mit der Wohnung in Verbindung bringen.

Problematisch ist, dass jedes Haus anders gebaut, ausgestattet und möbliert ist. Auch können bezüglich Schadfaktoren deutliche Unterschiede auftreten zwischen Vor-/ Nachkriegsbauten, neu errichteten oder aktuell modernisierten Wohnungen und zwischen Fertighäusern und in Massivbauweise errichteten Häusern. Erschwerend kommt hinzu, dass jeder Raumnutzer biochemisch gesehen sich von einem Mitbewohner unterscheidet, eine andere „Schadstoffhistorie“ aufweist, unterschiedliche Entgiftungskapazitäten ausbildet u. ä. Im wissenschaftlichen Sinn gibt es keine identische Wohnung und gleicht kein Mensch dem anderen. Bei Innenraumproblemen ist deshalb eine individuelle Vorgehensweise nötig. Am besten lässt sich die Eingrenzung bzw. Abklärung von möglichen Innenraumproblemen mit einem Arztbesuch vergleichen. Nach der Anamnese erfolgt die Diagnose des Hauses/ der Wohnung und bei Bedarf ein Therapie- bzw. Sanierungsvorschlag. Wesentlich bei innenraumrelevanten Fragestellungen ist aufgrund der Komplexität eine schrittweise und systematische Vorgehensweise, bei der Arzt, Innenraumanalytiker, Architekt und Baupraktiker interdisziplinär zusammenarbeiten müssen. Ist einer der Beteiligten Fachleute nicht auf dem aktuellen Stand der Erkenntnis und/ oder nicht kooperativ, kommt es erfahrungsgemäß zu Fehlern und Falscheinschätzungen, die den Betroffenen unnötig Geld und/ oder Gesundheit kosten.

## Der Innenraumcheck

Wie kann die Raumqualität unter innenraumhygienischen Gesichtspunkten charakterisiert werden? Zur Beantwortung dieser Frage wurde ein „Gebäude-Gesundheits-Check“ oder kurz Innenraumcheck entwickelt: Er ist ein neues Instrument, um

Schadfaktoren in Innenräumen zu erkennen. Mit möglichst geringem Aufwand wird eine Vielzahl an relevanten Schadfaktoren überprüft und einer Bewertung unter innenraumhygienischen und damit gesundheitlichen Gesichtspunkten zugänglich gemacht (Abb. 2, FÜHRER 2005c).

Die Optimierung und Standardisierung der Probenahme wird durch ein patentrechtlich geschütztes Verfahren erreicht. Der Innenraumcheck ermöglicht durch eine systematische Vorgehensweise einen umfassenden qualitativen und quantitativen Nachweis von chemischen Verbindungen in Kombination mit der Erfassung von häufig versteckten, nicht-sichtbaren Schimmelpilzbelastungen. Die für Innenräume relevanten Konzentrationen liegen in unterschiedlichsten Bereichen von Prozent bis zu mg/kg in Material- und Staubproben und von  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  bis hin zu  $\text{ng}/\text{m}^3$  in Raumluftproben. Zu berücksichtigen sind verschiedene chemisch-physikalische Stoffeigenschaften wie Siedepunkt, Dampfdruck und Flüchtigkeit. Unter Beachtung von Stoffeigenschaften und Nachweisgrenzen wurden Adsorptions- und Trägermaterialien für die Probenahme zusammengestellt. Im Rahmen der Probenahme ist u. a. die zeitliche Abfolge zu beachten, da speziell in niedrigen Konzentrationsbereichen eine Störanfälligkeit von Raumluftmessungen gegeben ist. Für die standardisierte Probenahme mit technischen Geräten wie Pumpe und geeichter Gasuhr ist ein Fachkundiger nötig. Nach der Gewinnung werden die Proben laboranalytisch untersucht. Zum Einsatz kommen modernste biochemische, chromatographische und spektroskopische Verfahren. Die Untersuchungsergebnisse werden nachfolgend unter innenraumhygienischen Gesichtspunkten und im Sinne der gesundheitlichen Vorsorge unter Einbezug der jeweiligen Vor-Ort-Situation bewertet.

## Fallbeispiele

Beispielhaft wird in Tab. 4 ein Innenraumcheck in einem Einfamilienwohnhaus vorgestellt. Das im Jahr 1985 errichtete Gebäude besitzt eine hochwertige Ausstattung und Möblierung. Die Raumnutzer waren ca. ein Jahr vor dem Untersuchungstermin eingezogen. Etwa ein halbes Jahr nach dem Einzug begannen nach eigenen Angaben folgende Beschwerden, die zunehmend stärker wurden: Trockene Schleimhäute, Kopfschmerzen, Reizung von Nase/ Rachen und eine erhöhte Niesanfälligkeit. Von ärztlicher Seite wurde zu einer Innenraumbegehung/ -untersuchung geraten. Es sollte die Frage geklärt werden, ob Schadfaktoren in



Abb. 2: Erst die Untersuchung von Raumluft, Staub und Material im Rahmen eines Innenraumchecks bringt die Sicherheit, ob eine Belastung mit Schadfaktoren in der Wohnung vorliegt oder nicht.

der Wohnung vorhanden sind, die mit den gesundheitlichen Beschwerden in Verbindung stehen könnten? In Tab. 4 sind die Ergebnisse verschiedener Untersuchungen incl. einer Bewertung unter innenraumhygienischen Gesichtspunkten in diesem Wohnhaus dargestellt. In zwei Räumen der Wohnung ist eine Formaldehydbelastung von 104 bzw. 81 ppb nachweisbar. Der Eingreifwert des ehe. Bundesgesundheitsamtes von 100 ppb ist in einem Zimmer erreicht, der von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) angegebene Richtwert von 50 ppb in beiden Räumen überschritten. Ab 50 ppb werden häufiger gesundheitliche Beschwerden beschrieben. Die Konzentration des Pyrethroids Permethrin ist mit 21 mg/kg im Vergleich zu unbelasteten Innenräumen (< 0,1 mg/kg) als sehr hoch zu bewerten - es ist von einer fehlerhaften Insektenbekämpfungsmaßnahme auszugehen. Neben verschiedenen weiteren chemischen Verbindungen und Verbindungsklassen in auffälliger/hoher Konzentration liegen Geruchsauffälligkeiten vor. Die MVOC-Werte sind Indizien für einen versteckten, nicht sichtbaren Schimmelpilzbefall (MVOC = Stoffwechselprodukte von Schimmelpilzen/Bakterien). Die Summenwerte der MVOC-Hauptindikatoren betragen im Arbeitszimmer des Kellergeschosses 1230 ng/m<sup>3</sup>, im Schlafzimmer 550 ng/m<sup>3</sup>. Bei der eingesetzten Untersuchungsmethode ist nach einer Studie von Keller et al. 2004 ein Summenwert der Hauptindikatoren von  $\geq 430$  ng/m<sup>3</sup> ein Indikator für einen nicht-sichtbaren Schimmelpilzbefall.

Unabhängig von jeder ärztlichen Untersuchung ist aufgrund der innenraumhygienischen Situation eine Gebäudebedingte Erkrankung nicht nur möglich sondern höchst wahrscheinlich. Eine wesentliche Maßnahme zur Genesung der Bewohner besteht darin, die Schadfaktoren zu beseitigen oder fachgerecht zu sanieren beziehungsweise die Wohnung (vorübergehend) zu verlassen. In welchem Wohnhaus der Abb. 3 die Ergebnisse in Tab. 4 erhalten wurden, ist aufgrund einer visuellen Begutachtung nicht einschätzbar.

Die Belastung einer Wohnung mit Schadfaktoren ist kein Einzelfall. Dies zeigen die Innenraumchecks der Tab. 5: In den Wohnungen Nr. 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8 hatte mindestens ein Raumnutzer gesundheitliche Beschwerden, deren Ursache unklar war. Heilbehandlungen waren bis zum Zeitpunkt des Innenraumchecks jeweils entweder nur kurzzeitig erfolgreich oder gänzlich erfolglos geblieben.

Wohnung 1, älteres Haus (Baujahr 1938): Die derzeitigen Raumnutzer wohnen seit 24 Jahren in dem Einfamilienwohnhaus. Folgende massiven Beschwerden des Eigentümers bestanden

seit 6 Jahren, wobei der Beschwerdebeginn in zeitlichem Zusammenhang mit Umbaumaßnahmen steht: Reizung von Auge/ Nase/ Rachen, Schwächung der Abwehrkräfte/ Infekthäufung, erhöhte Häufigkeit von Atemwegserkrankungen und Husten, vermehrte Schleim- und Speichelproduktion, Asthma oder asthmaphähnliche Beschwerden, Schlafstörungen, „verstopfte“ Nase (letzteres führte zu einer Nasenoperation). Folgende innenraumhygienischen Auffälligkeiten waren nachweisbar:

- Großflächige Holzdecken im Dachgeschoß mit dem Holzschutzmittelwirkstoff Dichlofluanid behandelt/ belastet (690 mg/kg).
- Hoher Formaldehydgehalt der Raumluft in zwei Räumen des Erdgeschosses (100 bzw. 102 ppb).
- Starke Indizien für einen versteckten, nicht-sichtbaren Schimmelpilz-/ Bakterienbefall des Daches und des Unterbodens im Erdgeschoß durch hohe Konzentrationen an Stoffwechselprodukten von Mikroorganismen (MVOC) und durch Begehung mit einem Schimmelspürhund (FÜHRER 2004).

Wohnung 3, sensibel renoviertes älteres Wohnhaus Baujahr 1963: Eine orientierende olfaktorische Überprüfung ergab süßlich-dumpfe Geruchsauffälligkeiten im Flur/ Treppenhaus. Die Raumnutzer waren beschwerdefrei. Durch Raumluftuntersuchungen wurde belegt, dass von länger-kettigen Aldehyden die Geruchsschwellen überschritten waren (SCHOLZ 1998, KUEBART 2001). Mit einer Materialuntersuchung der Wandoberfläche konnte gezeigt werden, dass der Putz/ die Farbe Aldehyde an die Raumluft abgibt. Wegen der besonders dick aufgetragenen Wandfarbe war das enthaltene Leinöl nicht vollständig getrocknet. Aufgrund der Untersuchungsergebnisse und der Recherche wurde geschlossen, dass es durch die oxidative Fettsäurespaltung des Leinöls mit der Bildung von länger-kettigen Aldehyden zu der langfristig auftretenden Geruchsauffälligkeit kam. Die nach der Wandsanierung eintretende Veränderung der Raumluft in Flur-/ Treppenhaus hin zu Geruchsneutralität bestätigte diese Einschätzung.

Wohnung 7: Es handelt sich um ein neu errichtetes Einfamilienwohnhaus, das ca. ein Jahr vor den Untersuchungen bezogen worden war. In den Räumen waren unterschiedlichste Faktoren in auffälliger bzw. hoher Konzentration nachweisbar. U. a. war die Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC) in zwei Räumen mit 4277 und 4461 µg/m<sup>3</sup> um ca. das 14-fache des Medianwertes (302 µg/m<sup>3</sup>) in Wohnungen/ Wohnräumen mit vergleichbarem Alter überschritten (LUX et. al. 2001). Bei den Bewohnern traten verschiedenartigste gesundheitliche Beschwerden auf wie Reizung von Augen/ Nase/ Rachen, Kopf-



Abb. 3: Die Wohnqualität eines Hauses unter innenraumhygienischen und damit gesundheitlichen Gesichtspunkten ist weder durch die Außenansicht noch durch eine visuelle Begutachtung der Innenräume einschätzbar.

Schadfaktor		Dimension	Normal, unauffällig	Erhöht	Auffällig, hoch	
VVOC	Summe Aceton, Ethanol, ...	[µg/m <sup>3</sup> ]		<b>960</b>		
KiZi	Aceton	[µg/m <sup>3</sup> ]	<1			
	Ethanol	[µg/m <sup>3</sup> ]		<b>960</b>		
	i- und n-Butan	[µg/m <sup>3</sup> ]	n. n.			
	i- und n-Pentan	[µg/m <sup>3</sup> ]	n. n.			
	TVOC (ohne VVOC)	[µg/m <sup>3</sup> ]		<b>665</b>		
VOC	Summe Aliphaten	[µg/m <sup>3</sup> ]		<b>76</b>		
	Summe Alkohole (ohne Ethanol)	[µg/m <sup>3</sup> ]			<b>98</b>	
	Summe Aromaten	[µg/m <sup>3</sup> ]		<b>62</b>		
	Summe Ester/Ether/Ketone	[µg/m <sup>3</sup> ]			<b>200</b>	
	Summe Glykole	[µg/m <sup>3</sup> ]	n. n.			
	Summe LHKW	[µg/m <sup>3</sup> ]	1			
	Summe Siloxane	[µg/m <sup>3</sup> ]		<b>42</b>		
	Summe Terpenoide	[µg/m <sup>3</sup> ]			<b>185</b>	
	Trimeres Isobuten	[µg/m <sup>3</sup> ]	1			
	Formaldehyd Normvolumen KiZi	[ppb]			<b>104</b>	
	Summe gesättigte Aldehyde KiZi	[ppb]			<b>101</b>	
	Formaldehyd Normvolumen SZ	[ppb]			<b>81</b>	
	Summe gesättigte Aldehyde SZ	[ppb]			<b>102</b>	
	SVOC	Entwesungsmittel	[mg/kg]	<0,1		
		Flammschutzmittel TBEP	[mg/kg]			<b>75</b>
Weitere Flammschutzmittel, FSM		[mg/kg]	<0,1			
Holzschutzmittel, HSM		[mg/kg]	<0,1			
PCB nach LAGA		[mg/kg]	n.n.			
Weichmacher, Phthalate		[mg/kg]			<b>3429</b>	
POM	PAK nach EPA	[mg/kg]	<b>1,9</b>			
	Pyrethroide (Permethrin)	[mg/kg]			<b>21</b>	
Material	Dachstuhl auf HSM	[mg/kg]	<0,1			
	Holzdecken EG auf HSM	[mg/kg]	<0,1			
	Holzdecken KG auf HSM	[mg/kg]	<0,1			
	Glasfasertapete EG	[mg/kg]		<b>Phthalate</b>		
Schimmel	MVOC Hauptindikatoren KiZi	[ng/m <sup>3</sup> ]		<b>550</b>		
	MVOC alle Indikatoren KiZi	[ng/m <sup>3</sup> ]			<b>2320</b>	
	MVOC Hauptindikatoren AZ KG	[ng/m <sup>3</sup> ]			<b>1230</b>	
	MVOC alle Indikatoren AZ KG	[ng/m <sup>3</sup> ]			<b>5140</b>	
	Weitere Untersuchungen		n. u.	n. u.	n. u.	
Geruch	Orientierende Geruchsprüfung	qualitativ			<b>stark</b>	

• U. a. wurden Faserbelastungen, Radon, Isothiazolinone und Isocyanate nicht erfasst.  
 • n. n. = im Rahmen der Nachweisgrenze nicht nachweisbar, n. u. = nicht untersucht  
 • AZ = Arbeitszimmer, KiZi = Kinderzimmer, SZ = Schlafzimmer, EG = Erdgeschoß, KG = Kellergeschoß, FSM = Flammschutzmittel vom Typ organische Phosphorsäureester, HSM = typische organische Holzschutzmittelwirkstoffe  
 • LHKW = Leichtflüchtige Halogenierte Kohlenwasserstoffe, MVOC = Microbial Volatile Organic Compounds (Stoffwechselprodukte von Mikroorganismen), PAK nach EPA = Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe untersucht nach Environmental Protection Agency (US amerikanische Umweltbehörde), PCB nach LAGA = Polychlorierte Biphenyle ausgewertet nach LänderArbeitsgemeinschaft Abfall, TVOC = Totale Volatile Organic Compounds (Gesamtsumme an VOC)  
 • Weitere Abkürzungen siehe Tab. 2  
 • Die angewandten Bewertungsgrundlagen resultieren unter Einbezug der Vor-Ort-Situation aus Erfahrungen und Forschungsprojekten, dem Erfahrungsaustausch mit anderen Instituten, umfangreichen Datensammlungen und einschlägigen Literaturquellen. Weitere Informationen finden sich im Text.  
 • Die Optimierung und Standardisierung der Probenahme wird bei einem Innenraumcheck durch ein patentrechtlich geschütztes Verfahren erreicht. Entwicklung des Ampel-/Bewertungsschemas: Institut peridomus. Die chemischen Untersuchungen erfolgten durch Labor Friedle und Kneißler GmbH, Burglengenfeld.

Tab. 4: Der Innenraumcheck zum Erkennen von Schadfaktoren in einer Wohnung

	Schadfaktor	Wohnungen/ Wohnräume							
		1	2	3	4	5	6	7	8
<b>VVOC</b>	Summe Aceton, Ethanol, ... [µg/m³]	73	1490	180/264	8130/3370	2060	3028	1390/1390	95
<b>VOC</b>	TVOC, ohne VVOC [µg/m³]	116	1165	114/102	504/536	682	195	4277/4461	212
	Summe Aliphaten [µg/m³]	18	858	18/16	245/162	138	100	452/498	30
	Summe Alkohole [µg/m³]	n.n.	47	16/16	n.n./n.n.	n.n.	n.n.	57/98	53
	Summe Aromaten [µg/m³]	9	77	25/20	127/143	94	52	83/81	33
	Summe Ether/Ester/Ketone [µg/m³]	n.n.	115	16/14	96/197	393	4	124/132	55
	Summe Glykole [µg/m³]	n.n.	n.n.	n.n./n.n.	n.n./n.n.	n.n.	n.n.	n.n./n.n.	n.n.
	Summe LHKW [µg/m³]	n.n.	2	n.n./n.n.	n.n./n.n.	n.n.	n.n.	n.n./n.n.	n.n.
	Summe Siloxane [µg/m³]	9	10	2/2	2/n.n.	6	4	n.n./n.n.	12
	Summe Terpenoide [µg/m³]	7	56	37/34	34/34	51	35	3351/3641	29
	Formaldehyd [ppb]	100/102	65	19/23	22/16	28	59	80/82	86
	Summe gesättigte Aldehyde [ppb]	31/32	91	45/49	13/13	10	29	185/197	28
<b>SVOC</b>	Entwesungsmittel [mg/kg]	n.n.	n.n.	Chlornaphthaline in Luft	0,8 n.n.	n.n.	n.n.	4,3	n.n.
	Flammschutzmittel, FSM [mg/kg]	TDPP	TBEP/TCPP, TCEP/...	TCPP/TCEP/TBEP	TCEP/TBEP TPP	TCPP/TDPP/TBEP	TBEP/TCPP	TCPP/TBEP/TKP	TCEP
	Holzschutzmittel, HSM [mg/kg]	n.n.	n.n.	HSM in Luft	n.n./n.n.	1,7	n.n.	n.n.	n.n.
	PCB nach LAGA [mg/kg]	n.n.	n.n.	n.n./n.n.	n.n./n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	Weichmacher, Phthalate [mg/kg]	674	174	287	1609/343	296	204	1434	223
<b>POM</b>	PAK nach EPA [mg/kg]	1,2	1,2	0,4	1,2/n.n.	0,5	n.n.	0,2	0,4
	Pyrethroide [mg/kg]	0,7	n.n.	n.n.	n.n./n.n.	n.n.	0,5	n.n.	n.n.
<b>Material</b>	Holzbauteile auf HSM [mg/kg]	690	n.u.	n.u.	4,2	n.u.	15	n.u.	n.u.
	Weitere Materialien	n.u.	n.u.	Putz	n.u.	n.u.	n.u.	Lam., Span.	n.u.
<b>Schimmel</b>	MVOC-Gesamtsumme [ng/m³]	1975	3607	325	6536/7650	8448	3690	2780/1978	1240
	MVOC-Hauptindikatoren [ng/m³]	720	357	120	4946/4950	4503	1780	330/128	880
	Sichtbarer Befall	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
	Weitere Untersuchungen	Schi-Hund	n.u.	n.u.	n.u.	n.u.	n.u.	KBE	n.u.
<b>Geruch</b>	Orientierende Geruchsprüfung	auffällig	auffällig	auffällig	auffällig	auffällig	auffällig	auffällig	auffällig

U. a. wurden Faserbelastungen, Radon, Isothiazolinone und Isocyanate nicht erfasst.

Tab. 5: Acht Beispiele für Innenraumchecks (Abkürzungen siehe Tab. 2 und Tab. 4, Erläuterung zur Bewertung siehe Text und Tab. 4)

■ : Normal, unauffällig ■ : Erhöht ■ : Auffällig, hoch

Die chemischen Untersuchungen erfolgten durch Labor Friedle und Kneißler GmbH, Burglengenfeld.

schmerzen, allergische Symptome wie Heuschnupfen, erhöhte Häufigkeit von Atemwegserkrankungen und Husten, Reizung/Rötung der Haut, Hautjucken, Schlafstörungen, rheumaähnliche Beschwerden. Nach Verlassen der Wohnung besserten sich die massiven Beschwerden der Raumnutzer deutlich.

In allen in Tab. 5 dargestellten acht Wohnungen waren keine sichtbaren Schimmelpilzbelastungen vorhanden. Aufgrund der hohen MVOC-Werte muss davon ausgegangen werden, dass in der Mehrzahl dieser Wohnungen ein verstecktes nicht-sichtbares Schimmelpilzwachstum vorliegt. Mit einer Ausnahme (Wohnung 3) waren entsprechend den zugrunde liegenden Bewertungs-

kriterien chemische Verbindungen oder Verbindungsklassen in hohen/auffälligen Konzentrationen im Vergleich zu unbelasteten Innenräumen nachweisbar. In welchen Fällen der Beispiele 1, 2, 4, 5, 6, 7 und 8 die innenraumhygienischen Auffälligkeiten für die Beschwerden der Raumnutzer ursächlich, verstärkend oder ohne Relevanz sind, ist vom behandelnden Arzt zu entscheiden - im Sinne einer gesundheitlichen Vorsorge besteht jeweils Klärungs- bzw. Handlungsbedarf. Bei konsequenter Durchführung von Sanierungen unter gesundheitlichen Gesichtspunkten sind manchmal drastische Maßnahmen nötig, die mit entsprechend hohem finanziellem Aufwand einhergehen können. Zur

Planungs- und Kostensicherheit incl. eventuell nötiger Arbeitsschutzmaßnahmen sind Schadstoffquellen z.B. über Materialanalysen eindeutig zu bestimmen.

## Wege zum gesunden Wohnen

Die Schaffung von gesunder Luft in der Wohnung ist komplex. Sie hängt im Wesentlichen von drei Faktoren ab:

1. Mangelnde Information: Über Schadfaktoren in Innenräumen und deren Auswirkung auf die Raumnutzer besteht in weiten Kreisen der Gesellschaft noch immer eine große Unkenntnis, obwohl die Problematik vielfältig in Veröffentlichungen und bei Fachtagungen thematisiert wurde.
2. Innenraumcheck: Durch die Vielzahl an verschiedenen möglichen Schadfaktoren ist eine chemisch-analytische, mikrobiologische und physikalisch-messtechnische Bestandsaufnahme der Innenräume nötig. Dadurch wird erkannt, welche Schadfaktoren in welcher Konzentration und in welcher Kombination vorliegen. Erst mit diesem Wissen kann der Faktor Wohnung als Ursache für die Erkrankung ausgeschlossen oder in den therapeutischen Ansatz einbezogen werden. Die Kenntnis der Innenraumqualität ist somit die Grundvoraussetzung um zu entscheiden, ob unter innenraumhygienischen bzw. gesundheitlichen Gesichtspunkten Handlungsbedarf besteht.
3. Materialauswahl: Auf der Grundlage von Prüfkammeruntersuchungen hat ein Ausschuß am Bundesumweltamt ein Schema zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten erarbeitet. Aufgrund mangelnder Kennzeichnungspflicht ist es für Verbraucher sehr schwierig, Bauteile unter gesundheitlichen Gesichtspunkten auszuwählen. Auch gibt es keine anerkannte Regeln oder gesetzliche Vorgaben, was unter gesundheitlich unbedenklicher Innenraumqualität zu verstehen ist.

Mittlerweile gibt es viele Beispiele, dass eine oftmals vollständige Genesung der Raumnutzer eintrat, wenn die Ursache der Erkrankung in der Wohnung erkannt und konsequent saniert oder beseitigt wurde. Die Heilung eines „hoffnungslosen“ Falles mag vielen Ärzten wie ein Wunder vorkommen. Letztendlich muss die Innenraumqualität bekannt sein, um den Einfluss des Faktors Wohnung auf die Gesundheit der Bewohner einschätzen zu können. Mit dem Innenraumcheck wurde ein neuer wissenschaftlich-technischer Ansatz entwickelt, mit dem innenraumhygienische Auffälligkeiten aufgezeigt und Krankheitsursachen geklärt bzw. eingegrenzt werden können. Diese Vorgehensweise bietet sowohl Impulse für das Gesundheitswesen als auch für das Bauwesen. Wenn einerseits die finanzielle Größenordnung der Einsparpotentiale im Gesundheitswesen durch Erkennen und Entfernen bzw. Sanieren der Ursache(n) für die Beschwerden erfasst werden, wird der Beseitigung der Krankheitsursache und präventiven Maßnahmen im Wohnbereich ein angemessener Stellenwert beigemessen. Wenn andererseits Bauen, Renovieren und Modernisieren unter gesundheitlichen Gesichtspunkten nachgefragt wird, kann sich eine Lobby für gesunde Innenraumqualität bilden. - Und diese ist notwendig, damit sich eine neue, an gesundheitlichen Gesichtspunkten orientierte Bau- und Einrichtungskultur etabliert.

## Danksagung

Bei Herrn Prof. Dr. Hans-Jürgen Pesch und Herrn Dr. Uwe Rauland bedanke ich mich für anregende Diskussionen, bei Frau Marlen Jöst für die Hilfe bei der Erstellung des Manuskriptes.

## Nachweise

- AMEND, R., BLESSING, R., FEURER, J. et al. (2004): Stellungnahme zu dem Artikel „Über das Biological Monitoring, den Unwillen Gesundheitsrisiken rational abzuschätzen und die Lust zu radikalen Maßnahmen“ in Umweltmedizin in Forschung und Praxis 9(2): 61-64, Umweltmed Forsch Prax 9 (6): 331-335
- BOTZENHART, K., MÜLLER, H.E. & STRUBELT, O. (2001): Innenraum-Luftverunreinigungen, expert-verlag, Renningen
- BRASCHE, S., HEINZ, E., HARTMANN, T., RICHTER, W. & BISCHOF, W. (2003): Vorkommen, Ursachen und gesundheitliche Aspekte von Feuchteschäden in Wohnungen - Ergebnisse einer repräsentativen Wohnungsstudie in Deutschland, Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz 46(8): 683-693
- COUTALIDES, R., GANZ, R. & STRAULI, W. (2002): Innenraumklima, Werd-Verlag
- FÜHRER, G. (2003): Fogging: Chemie im Innenraum wird sichtbar, Der Sachverständige 7-8: 214-219
- FÜHRER, G. (2004): Schimmelpilze erkennen und richtig sanieren, Umwelt Medizin Gesellschaft 17(2): 148-150
- FÜHRER, G. (2005a): Innenraumanalytik und Schadstoffe, in: Immobiliensanierung - Bauschäden und Instandsetzung, Instandhaltung und Modernisierung (Loseblattsammlung/ Nachschlagewerk). Herausgeber: WRS Verlag/ Haufe Mediengruppe, München/Planegg
- FÜHRER, G. (2005b): Prüf- und Messverfahren für die Bestimmung von Schimmelpilzen und Bakterien, in: Immobiliensanierung - Bauschäden und Instandsetzung, Instandhaltung und Modernisierung (Loseblattsammlung/ Nachschlagewerk). Herausgeber: WRS Verlag/ Haufe Mediengruppe, München/Planegg
- FÜHRER, G. (2005c): Innenraumcheck (neue technische Entwicklungen), in: Immobiliensanierung - Bauschäden und Instandsetzung, Instandhaltung und Modernisierung (Loseblattsammlung/ Nachschlagewerk). Herausgeber: WRS Verlag/ Haufe Mediengruppe, München/Planegg
- GUHR, A. & LEISSRING, B. (2005): Gesundheitsrisiko infolge natürlicher Radioaktivität in Wohn- und Aufenthaltsräumen, Umwelt Medizin Gesellschaft 18(2): 126-129
- INGEROWSKI, G., FRIEDLE, A. & THUMULLA, J. (2001): Chlorinated Ethyl and Isopropyl Phosphoric Acid Triesters in the Indoor Environment - An Inter-Laboratory Exposure Study, Indoor Air 11: 145-149
- KATALYSE (Hrsg.) (1995): PCB-Belastung in Gebäuden: Erkennen, bewerten, sanieren. Bauverlag Wiesbaden und Berlin
- KELLER, R., REINHARDT-BENITEZ, S., DÖRINGER, K. et al. (2004): Hintergrundwerte von flüchtigen Schimmelpilzmetaboliten in unbelasteten Wohngebäuden, Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft 4/64: 187-190
- KUEBART, F. (2001): Aldehyde aus Baustoffen und anderen Werkstoffen. In: AGÖF (Hrsg.): Umwelt, Gebäude und Gesundheit, Ergebnisse des 6. Fachkongresses der AGÖF
- LUX, W., MOHR, S., HEINZOW, B. & OSTENDORP, G. (2001): Belastung der Raumluft privater Neubauten mit flüchtigen organischen Verbindungen, Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz 44: 619-624
- MORISKE, H.J. & TUROWSKI, E. (1998): Handbuch für Bioklima und Lüftung, eco-med verlagsgesellschaft, Landsberg/Lech
- MORISKE, H.J. & BEUERMANN, R. (2004): Schadstoffe in Wohnungen, Grundeigentum-Verlag
- PÖHNER, R., SIMROCK, S., THUMULLA, J., WEBER, S. & WIRKNER, T. (1998): Hintergrundbelastung des Hausstaubes von Privathaushalten mit mittel- und schwerflüchtigen organischen Schadstoffen, Z. f. Umweltmedizin 6: 337-345
- RADÜNZ, A. (1998): Bauprodukte und gebäudebedingte Erkrankungen, Herausgeber: Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des 13. Deutschen Bundestages, Springer-Verlag
- SAGUNSKI, H. & HEINZOW, B. (2003): Richtwerte für die Innenraumluft: Bicycliche Terpene (Leitsubstanz  $\alpha$ -Pinen), Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz 46: 346-352
- SCHÖNDORF, E. (1987): Von Menschen und Ratten, Verlag Die Werkstatt, Göttingen
- SCHOLZ, H. (1998): Vorkommen ausgewählter VOC in Innenräumen und deren Bewertung. In: AGÖF (Hrsg.): Gebäudestandard 2000: Energie & Raumluftqualität, Ergebnisse des 4. Fachkongresses der AGÖF
- SEIFERT, B. (1999): Richtwerte für die Innenraumluft, Bundesgesundheitsblatt 42: 270-278
- ZWIENER, G. (1997): Handbuch Gebäudeschadstoffe. Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln