

## Tagungsberichte

### 9<sup>th</sup> International Conference on Indoor Air Quality and Climate – Indoor Air 2002

Monterey, Kalifornien, 30. Juni bis 5. Juli 2002

Wie der scheidende Präsident der *International Academy of Indoor Air Sciences*, P. Ole Fanger, bei der ersten Tagung 1978 in Kopenhagen, Dänemark, ausführte, beheimatete die Conference damals nur "eine kleine Familie" von Wissenschaftlern, die sich zu dieser Zeit mit der Innenraumluft-Forschung beschäftigten. Bei der Monterey-Conference von 2002 (IA 2002) waren insgesamt 1057 Teilnehmer registriert, unter ihnen 44 deutsche und über 200 skandinavische Forscher.

Anlässlich der Eröffnungszeremonie betonte der amtierende Präsident Hal Lavin, dass diese Tagung einen weiteren Schritt erbringen möge auf dem Wege, zusammenhängende Muster zu erkennen. Zum Vergleich benutzte er auffallende Bilder, wie die der Spitze eines Eisbergs und von Rosen als Beispiel von in Verbindung stehenden Mustern. Besonderen Dank richtete er an Frau Gina Bendy für ihre exzellente Arbeit auf dem Konferenz-Sekretariat.

Ein gesellschaftlicher Höhepunkt der Tagung war das Konferenz-Bankett, bei dem in den Räumen des berühmten Monterey Bay Aquariums ein bestens organisiertes Buffet-Dinner serviert wurde. Nach (und während) dem Dinner hatte man genügend Zeit, die wunderbare Seefauna der Monterey Bay zu bestaunen. Besonders die Ausstellung und künstlerische Präsentation lebender Quallen unterschiedlichster Arten "Jellies: Living Art" sorgte für unvergessliche Eindrücke.

Ausmaß und Bereich des Tagungsprogramms zu *Indoor Air Quality* (IAQ) waren beeindruckend: Ca. 400 Vorträge in 6 Parallelsitzungen, darunter 8 Plenarbeiträge, 20 Haupt- und 4 Ehrevorträge von Präsidenten früherer Indoor Air Meetings. Einschließlich der Poster waren es insgesamt 726 Beiträge, die in die *Proceedings of Indoor Air 2002* aufgenommen wurden, mit mehr als 4500 Seiten (<http://www.indoorair2002.org>).

Die Hauptthemen der Sitzungen waren Bioaerosole (Anzahl der Sitzungen: 11), Ventilation (6) und Emission (5). Die am häufigsten zitierten Keywords waren gemäß den Tagungsberichten Volatile Organic Compounds (VOC), Particulate Matter (PM) und Ventilation mit mehr als jeweils 100 Benennungen. Es sollte erwähnt werden, dass das Keyword "VOC" häufiger angeführt wurde als die Themen "asthma", "Sick Building Syndrom (SBS)" und "health related effect" zusammen. Darüber hinaus waren Themen wie PM und Bioaerosole – welche häufig als eine Folge von Feuchtigkeit und Schimmelpilzen entstehen – für die Teilnehmer von besonderem Interesse, speziell für solche, die aus Ländern gemäßigter Klimata kamen.

**Abkürzungen:** BRS: *Building Related Symptoms*; ETS: *Environmental Tobacco Smoke*; IAQ: *Indoor Air Quality*; PM: *Particulate Matter*; SBS: *Sick Building Syndrome*; VOC: *Volatile Organic Compounds*

#### Semivolatile und microbial volatile organic compounds, (S)VOCs/(M)VOCs

Semivolatile VOCs können durch Mikroorganismen als sekundäre Metaboliten besonders in Gebäuden mit Wasserschäden gebildet werden. Mehrere Beiträge der Tagung diskutierten dieses Problem eingehend.

Bis jetzt sind zahlreiche organische Verbindungen in der Innenraumluft identifiziert worden. Die Zusammensetzung und das Ausmaß der gebildeten (M)VOCs hängen stark von der Art der Mikroorganismen, z.B. *Aspergillus sp.*, *Cladosporium sp.*, *Fusarium sp.*, *Penicillium sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Stachybotrys sp.*, *Streptomyces sp.* oder verschiedene Hefen sowie vom Material (z.B. Gips oder Spanplatten, Fichtenholz, Mineralwolle) und der physikalischen Beschaffenheit (massiv, poröse Oberfläche) des Substrats, ab.

Die folgenden Verbindungen wurden wiederholt isoliert: 1-Octen-3-ol, 2/3-Methyl-1-butanol, 2-Pentanon, 2-Heptanon, 2/3-Methylfuran (3-Methylfuran wurde auch in Räumen nach Rauchen nachgewiesen), ebenso Dimethyldisulfid und Pyrazin. Hinsichtlich des analytischen Ergebnisses sollte die Summe der gesammelten (M)VOC 0,1 µg/m<sup>3</sup> überschreiten, da die Außenluftkonzentration normalerweise unter diesem Wert liegt.

Die toxikologische Bedeutung ist jedoch noch nicht endgültig geklärt. "Eigenartige" Gerüche (z.B. verursacht durch organische Schwefelverbindungen) wurden von empfindlichen Personen berichtet. Geringfügige Reizungen und Änderungen bei den Biomarkern der Nasallavage wurden festgestellt, z.B. für 1-Octen-3-ol, wobei jedoch viel höhere Konzentrationen als normal in Innenraumluft vorhanden zur Anwendung kamen. Wilkins gab eine Übersicht über Vorkommen und Umfang der (M)VOC, ihrer physiologischen Wirkungen und möglichen Relevanz zu Symptomen bei Bewohnern von Gebäuden mit Feuchtigkeitsschäden. Die allgemeine Schlussfolgerung war, dass den (M)VOC die beobachteten Symptome nicht zugeschrieben werden konnten. Mögliche synergistische Effekte von (M)VOC-Mischungen müssen in Betracht gezogen werden.

#### Bioaerosole, Feuchtigkeit und Schimmelbildung

Mit insgesamt 11 Sitzungen stellten die "Bioaerosole" das umfangreichste Thema der Indoor Air 2002. Dabei wurden sowohl Studien zu technischen Aspekten wie etwa zur Proben-sammlung und -lagerung, zur Identifikation von Mikroorganismen und Dekontaminationsverfahren präsentiert und diskutiert wie auch Untersuchungen zu gesundheitlichen Aspekten, z.B. der Expositionsabschätzung und Innenraum-assoziiierter Symptome, die möglicherweise mit der Exposition gegenüber Bioaerosolen zusammenhängen. Nur wenige der

vortragenden Kollegen/innen beschäftigten sich dabei mit bakteriellen Bioaerosolen (Legionellen, Mykobakterien, Streptomyzeten); der Großteil der Präsentationen fokussierte auf die Bedeutung von Schimmelpilzen, d.h. der Voraussetzungen des Pilzwachstums in Innenräumen sowie der Beleuchtung der gesundheitlichen Effekte der Schimmelpilzexposition mittels epidemiologischer Methoden. Zumeist wurden dabei auch die Einflussfaktoren auf das Mikroklima wie Feuchtigkeit, Temperatur und Luftaustausch in die Diskussion einbezogen.

Viele der Vortragenden schlussfolgerten aus den Ergebnissen ihrer Untersuchungen, dass zu hohe Feuchtigkeit Hauptursache für die Entwicklung von Schimmel sei und dass sowohl Feuchtigkeit als auch Schimmel für geäußerte Gesundheitsstörungen verantwortlich sein können. So wurden z.B. in Skandinavien 420 Gebäude untersucht, deren Bewohner über deutliche Gesundheitsbeschwerden klagten. Aus einer zu hohen Feuchtigkeit resultierte hier ein verstärktes mikrobielles Wachstum. Mittels der direkten Zählung der mit Akridinorange gefärbten vitalen und nicht vitalen Mikroorganismen konnte für 147 der "Problemgebäude" ein erhöhtes mikrobielles Wachstum erkannt werden. Anhand von 52 zwischen 1998 und 2000 publizierten epidemiologischen Studien (EUROEXPO) (Bornehag und Sundell) sowie aus einer Querschnittsstudie mit mehr als 14 000 schwedischen Kindern (Bornehag) konnte eine erhöhte Feuchtigkeit im Innenraum als Ursache oder beeinflussender Faktor für Allgemeinsymptome wie Husten, pfeifende (asthmatische) Atemgeräusche, Infektionen der Luftwege und allergische Symptome erkannt werden. In Kombination mit PVC-Böden erhöhte sich dabei das Risiko der Symptomentwicklung signifikant. Studien Kindern im Alter zwischen 1 und 7 Jahren mit neu diagnostiziertem Asthma ließen vermuten, dass Feuchtigkeit im Wohnbereich das Asthmarisiko in der frühen Kindheit erhöht (Hyvärinen).

Seuri beschrieb Häufungen (Cluster) verschiedener entzündlicher und degenerativer Erkrankungen bei Menschen, die in schimmelbefallenen Gebäuden lebten. In Untersuchungen an Oberschülern zeigte sich zudem, dass möglicherweise Innenraum-assoziierte Gesundheitsstörungen wie Müdigkeit, Kopfschmerzen, Reizerscheinungen der Augen, Haut und der Atemwege nach Renovierung von zuvor "wassergeschädigten" Gebäuden abnahmen. Demgegenüber führten Studien an 522 Lehrern aus 15 Grundschulen, die einen unterschiedlichen Grad an Feuchte und Schimmelpilzwachstum aufwiesen, zu dem Ergebnis, dass feuchte und schimmelige Gebäude keinen Einfluss auf Irritationen und Lungenfunktionen besitzen. Im Gegensatz zu anderen Studien wurde in dieser Studie eine erhöhte bronchiale Reagibilität in "trockenen" Gebäuden gefunden. Eine erhöhte Hustenfrequenz in mechanisch belüfteten Gebäuden ließ darauf schließen, dass eine bronchiale Irritation eher in staubigen als in schimmigen Gebäuden zu erwarten ist (Ebbehøj).

Zu ähnlichen Schlussfolgerungen gelangten Meyer et al., die 1053 jugendliche Schüler in "trockenen" und "feuchten" Schulgebäuden studierten. Allerdings stiegen in dieser Studie die Prävalenzen von Augen- und Rachenreizungen, Kopfschmerzen, Konzentrationsstörungen und Schwindel mit steigender Anzahl vitaler Schimmelpilzzellen im Hausstaub.

Als beeinflussender Faktor epidemiologischen Erhebungen wurde im Rahmen der Diskussion um Innenraum-assoziierte, allergischer Erkrankungen von verschiedenen Autoren auch der "healthy pet keeping effect" erwähnt, d.h. der gesundheitsfördernde Effekt der Haustierhaltung.

Risiken durch die Exposition gegenüber partikelgebundenen Mykotoxinen wie etwa den makrozyklischen Trichothecenen von *Stachybotrys sp.* – ein aus toxikologischer Sicht durchaus interessantes Thema – wurden von nur wenigen Autoren thematisiert (Johanning et al.)

Insgesamt kam zum Ausdruck, dass die Evidenz der Beziehungen zwischen Feuchtigkeit und Schimmelpilzbefall in Gebäuden einerseits und Gesundheitsstörungen beim Menschen andererseits aus kausaler und stochastischer Sicht noch immer unklar ist. In einer zusammenfassenden Bewertung epidemiologischer Untersuchungen kommt Shum zu dem Urteil, dass verschiedene gesundheitsbezogene Studien einen Zusammenhang zwischen Schimmelbefall im Innenraum und respiratorischen und zentralnervösen Symptomen, Asthma sowie generellem Unwohlsein vermuten lassen. Er merkt allerdings kritisch an, dass die meisten dieser Studien auf selbstberichteten Angaben über Expositionen und Gesundheitsstörungen basierten. Selbstberichtete Expositionen sind zur Ableitung potenzieller Gesundheitsstörungen durch Schimmelpilze im Innenraum aber nur begrenzt tauglich. So finden sich keine Korrelationen zwischen selbstberichteten Expositionen und Pilzzellzahlen in der Innenraumluft. Zudem sind viele der epidemiologischen Studien aufgrund ihrer geringen Fall- oder Probandenzahlen nur begrenzt aussagefähig; Dosis-Wirkungsbeziehungen werden zumeist nicht gegeben; Klassifikationen von Expositionen sind nicht selten zweifelhaft.

Weiss und O'Neill kamen daher zu ähnlichen Schlussfolgerungen, nachdem sie die publizierten epidemiologischen Studien zu den Zusammenhängen von Erkrankungen und Expositionen gegenüber *Stachybotrys* analysiert hatten. Alle Studien litten unter Limitierungen wie fehlende Kontrollgruppen, inadäquaten Expositionsdaten, nicht standardisierten Diagnosestellungen, Selektionsbias und Vergleichen auf der Basis von Prävalenzen anstelle von Inzidenzen. Fung und Hughson berichteten auf der Basis von Literaturanalysen von 5 Fallkontrollstudien, 16 Querschnittsstudien und 7 Fallberichten, die zwischen 1966 und 2002 publiziert worden waren, dass exzessive Feuchtigkeit und damit verbundenes Wachstum von Schimmelpilzen mit einer erhöhten Prävalenz von Symptomen wie Reizungen, Allergien und Infektionen assoziiert ist – selbst wenn auch hier die Abschätzung der Exposition und der Gesundheitseffekte nicht standardisiert waren.

Im Rahmen der Sitzungen wurde jedoch auch deutlich gemacht, dass Schimmelpilzbefall in Gebäuden auf jeden Fall beseitigt und nach den Ursachen des Pilzbefalls, insbesondere nach Feuchtigkeitsquellen gefahndet werden sollte (Mattsson et al.) – auch wenn die Evidenz im Hinblick auf die Verursachung von Gesundheitsstörungen bisher nicht eindeutig gegeben ist. Im Hinblick auf die Prävention eines Pilzbefalls, aber auch im Rahmen von Sanierungen ist die Beseitigung einer zu hohen (Innenraum-) Feuchtigkeit die erfolgreichste

Maßnahme. Wie von Morey et al. beschrieben wurde, können "Pilzdetektoren" bei der Bewertung eines Sanierungserfolgs in feuchtigkeitsgeschädigten Gebäuden helfen.

Wie aus den meisten der Präsentationen erkennbar wurde, ist eines der derzeit größten Probleme die valide Messung und/oder Abschätzung der Exposition des Individuums gegenüber Bioaerosolen. In diesem Rahmen wiesen Cruz Perez et al. darauf hin, dass eine Luftmessung allein nicht immer einen Hinweis auf einen Schimmelbefall geben muss. Um "verstecktes" mikrobielles Wachstum aufzuspüren, sollten – besonders im Fall von muffigen Gerüchen oder erhöhter Feuchtigkeit bei gleichzeitigem Nichtnachweis von Mikroorganismen – gezielte Oberflächenproben in Verbindung mit Luftproben untersucht werden. Auch Lorenz et al. schlussfolgerten auf der Basis von Studien an 2000 Gebäuden, dass die Erkennung eines versteckten mikrobiellen Wachstums durch Untersuchung von Luft- und Materialproben nicht immer erfolgreich sein muss und empfehlen als alternative oder ergänzende Methode den Nachweis von MVOC (oder SVOC). Hierfür kann die Gaschromatographie-Massenspektrometrie/Festphasen-Mikroextraktion (GC-MS/SPME) eingesetzt werden (Wady et al.). Zudem wurde darauf hingewiesen, dass die Quantifizierung luftgetragener Mikroorganismen in entscheidendem Maße von der Samplingmethode und der Lokalisation im Raum ("air flow pattern"), an der gesammelt wird, beeinflusst wird (Loomans et al.). Leider steht bisher kein standardisiertes Verfahren der quantitativen Bewertung von Bioaerosolen zur Verfügung.

Von Sampo et al. wurde ein Verfahren zur präventiven Bewertung der mikrobiellen Innenraumluftqualität vorgeschlagen, das auf einer mikrobiologischen Risikoanalyse und kritischen Kontrollpunkten (Checks) basiert. Außerdem präsentierten Syversen et al. eine praktische Guideline zur Bewertung feuchtigkeitsgeschädigter Gebäude, die sowohl die Gebäudeeigenschaften und Messungen als auch eine Gesundheitsbewertung einbezieht.

In kritischer Würdigung der zahlreichen Präsentationen zum Thema "Bioaerosole", Pilzbefall und Feuchtigkeit konnte festgestellt werden, dass bisher standardisierte Bewertungsverfahren fehlen und im Vergleich der Studien zahlreiche inhaltliche wie methodische Divergenzen zu erkennen sind. Bei der Bewertung des Gesundheitsrisikos durch Bioaerosole überwogen auf der IA2002 deutlich die bevölkerungsbezogenen Studien (Querschnittsstudien), wohingegen klinische und auch toxikologische Untersuchungen zur personenbezogenen Ableitung von Ursache-Wirkungsbeziehungen zwischen Bioaerosolexposition und Gesundheitseffekten nahezu komplett fehlten.

#### **Sick Building Syndrome (SBS)/Building Related Symptoms (BRS)**

Ungefähr vor 25 Jahren wurde der Begriff "SBS" kreiert. Heute besteht generelle Übereinkunft, dass dieser Begriff der Sache nicht gerecht wird. Deshalb ist es angezeigt den Begriff "BRS" oder besser "Feelgoodbuilding" zu verwenden (Boerstra und Raue). Unabhängig von der Nomenklatur gibt

es zunehmend Hinweise, dass die Wahrscheinlichkeit krank zu werden ansteigt, wenn der Mensch die meiste Zeit des Lebens in Gebäuden verbringt. Winston Churchill merkte zu diesem Problem treffend an: "*First we shape our buildings, then they shape us.*"

Im Verlauf der Konferenz wurde festgestellt (Kohler), dass die gesundheitliche Bewertung der Innenraumluft typischerweise von unten nach oben erfolgt, d.h. von den Effekten zu den Ursachen.

SBS wird oft in Verbindung gebracht mit dem Verlust von Komfort. Die Definition der *American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAEs) definiert (temperaturbezogenen) Komfort als den Zustand der Zufriedenheit mit der Temperatur der Umwelt. Komfort ist jedoch ein komplexes Gebilde (*construct*), das nicht mit einfachen Mitteln gemessen werden kann (Cain). Um dieses Problem zu lösen, wurde z.B. ein Fragebogen entwickelt, in dem die Zufriedenheit der Bewohner in standardisierter Form durch sechs Kategorien von "sehr zufrieden" bis "sehr unzufrieden" dargestellt wird (Huizenga et al.). In einigen Studien wurde eine Abnahme der Leistungsfähigkeit, speziell bei typischen Büroarbeiten, im Zusammenhang mit SBS nachgewiesen (Wargocki et al.). In einem Review, der sechs Publikationen auswertete, wurde die schlechte Raumluftqualität, z.B. niedrige Ventilationsrate und wenig Tageslicht als Ursache einer Verringerung der Leistungsfähigkeit von Schülern in Prüfungen identifiziert (Heath und Mendell). In dem laufenden Forschungsprogramm *Health, Energy and Productivity in Schools* (HEPS) wird die Produktivität von Schülern und Lehrern in Beziehung zu Raumluft-Expositionsparametern, einschließlich Temperatur, relativer Luftfeuchtigkeit, Beleuchtung, Akustik, CO<sub>2</sub> und PM untersucht (Woods et al.).

In SBS-Studien werden häufig nur unzulänglich standardisierte selbstbeobachtete, unspezifische neurologische Symptome, z.B. Schwäche, Kopfschmerz, Konzentrationsstörungen dargestellt. Zusätzlich werden Symptome, z.B. trockene Augen, Geruchsirritation, Husten und Hautveränderungen (Erythem) als Indikatoren für SBS verwendet. Als zuverlässiges Maß für SBS gilt auch die Häufigkeit von Krankmeldungen der Beschäftigten.

Nach Auffassung einiger Teilnehmer dürfen IAQ bezogene Erkrankungen, z.B. Allergien (Mi et al.), Asthma (Platt-Mills et al.) und Atemwegsinfektionen (Nevalainen) nicht in die SBS Diskussion mit einbezogen werden.

Eine große Zahl von Tagungsbeiträgen fand eine Beziehung zwischen IAQ und SBS-Symptomen. Ein Drittel der Energie zum Betrieb von Klimaanlage geht durch Ventilation verloren. An Energie darf jedoch nicht gespart werden, wenn damit ein Verlust an IAQ verbunden ist. Die Erhöhung der Ventilationsrate auf ca. 25 l/s pro Person bewirkte eine Minderung der Häufigkeit von SBS-Symptomen (Seppänen). Mehrere Studien kamen zu dem Schluss, dass, im Gegensatz zu natürlicher Lüftung, Klimaanlage mit und ohne Befeuchtung einen Anstieg eines oder mehrerer SBS-Symptome zur Folge hatten (Seppänen und Fisk). Als Ursache der mit Klimaanlage assoziierten SBS-Symptome werden mehrere Fak-

toren vermutet, z.B. mangelhafte Wartung sowie unzureichende Hygienemaßnahmen (Wargocki et al.). Auch intensivierte Reinigung führte zur Reduzierung von SBS-Symptomen (Nilsen et al.).

Beziehungen zwischen chemischen Stoffen und SBS-Symptomen wurden ebenfalls intensiv studiert. Die Mehrzahl dieser Untersuchungen fand keinen Einfluss von VOC-Exposition auf SBS-Symptome. Der Gesamt-VOC-Gehalt in "Problemgebäuden" unterschied sich nicht von dem in Gebäuden ohne Beschwerden (Sunesson et al.). Dagegen korrelierte der Gehalt an CO<sub>2</sub> – Surrogat für Bewohner-verursachte Luftverschmutzung – mit der Häufigkeit bestimmter SBS-Symptome (Erdmann et al.). Abbauprodukte von Linoleumbelägen, z.B. Aldehyde, Ketone und Carbonsäuren führten zu einem Anstieg in den Krankmeldungen auf Grund von Atemwegsbeschwerden (Palomäki et al.). 2,2,4-Trimethyl-1,3-pentandiol-di-isobutyrat (TXIB) aus Weichmachern von PVC-Produkten (Metiäinen et al.) sowie geruchsintensives Phenol und 2-Ethylhexanol emittiert aus PVC-Belägen (Reiser et al.) wurden als Ursache von SBS-Symptomen beschrieben. Für Limonen wurde ein dosisabhängiger Anstieg von Augenirritationen nachgewiesen (Herzog et al.). Ein Anstieg der Konzentrationen von Terpenoiden und Ketonen führte ebenfalls zu einer Erhöhung genereller SBS-Symptome (Pommer et al.). Auch erhöhte Formaldehydkonzentrationen (> 0,08 ppm) verursachten vermehrtes Auftreten von SBS-Symptomen (Yoshino et al.).

Modifizierende oder Störfaktoren können Assoziationen zwischen Ursachen und SBS-Symptomen verwischen. Die Wertung von IAQ hängt nicht nur von chemischen Stoffen in der Raumluft ab, sondern auch von der individuellen Einstellung der Bewohner: kühle und trockene Luft wird als weniger stickig und eher akzeptierbar empfunden als warme und feuchte Luft. Wie von Berglund und Zheng dargestellt, sind Frauen häufiger von unangenehmen, schwer definierbaren Empfindungen betroffen, die niedrigen Expositionen mit chemischen Stoffen zugeordnet werden. Büroarbeiter haben höhere Erwartungen an IAQ, wenn sie in klimatisierten Räumen tätig sind (Bischof et al.). Eine Gruppe überempfindlich reagierender Personen (die nach den Ergebnissen eines Fragebogens klassifiziert wurden) berichtete häufiger über Beschwerden als die Gruppe der Nicht-Sensitiven, wenn sie in einen Raum arbeiteten, dessen Luft ohne ihr Wissen künstlich kontaminiert wurde (Leyten und Boerstra). Ferner ist bekannt, dass Anlieger von Flughäfen sich häufiger über Lärm beklagen, als das nach Art und Stärke der Belästigung zu erwarten wäre, weil sie Angst vor einem Flugzeugabsturz in ihr Haus haben (Cain).

#### Emissionen aus Baumaterialien und Pestiziden

Das Büro von *Air and Radiation der U.S. Environmental Protection Agency* (EPA) hat eine Strategie entwickelt, die durch toxische Stoffe in der Raumluft verursachten Risiken zu bewerten und zu minimieren. Aus dem verfügbaren Datenmaterial konnten 59 chemische Stoffe eingestuft werden. An der Spitze der Liste stehen Formaldehyd und Acetaldehyd, sieben Pestizide, z.B. Dichlorphos und Lindan, und sechs

Chlorkohlenwasserstoffe, z.B. Tetrachlormethan, Perchloräthen (Johnston et al.). Es fiel auf, dass außer Formaldehyd diese Stoffe bei der Konferenz ansonsten nicht zur Sprache kamen. Außerdem wurden nur wenig Beiträge über Stoffe präsentiert, die in Deutschland als Luftverschmutzer derzeit intensiv diskutiert werden, z.B. Polychlorierte Biphenyle (PCB), welche als Weichmacher und Flammschutzmittel verwendet wurden. Drei Beiträge aus Schweden und den USA berichteten über mittlere PCB-Konzentrationen in Innenräumen deutlich unter 300 ng/m<sup>3</sup> (max. 400 ng/m<sup>3</sup>), emittiert aus Fugenmaterial (Corner et al., Coghlan et al., Chang et al.). In Deutschland werden in der Raumluft wesentlich höhere Werte gemessen, weil PCB zusätzlich als Flammschutzmittel in Deckenplatten eingesetzt wurden. Über die Anwendung von Organophosphatestern als Flammschutzmittel wurde in einem exzellenten Poster berichtet (Salthammer und Wensing), das vom Organisationskomitee ausgezeichnet wurde.

#### Schlussfolgerungen

Wie üblich wurde von vielen Autoren betont, dass "mehr Forschung notwendig sei". Jedoch scheinen vor allem gut geplante Vorhaben notwendig, das bedeutet

- mehr interdisziplinäre Projekte zu beginnen. Dies ist notwendig, weil eine zuverlässige Beurteilung von IAQ eine Abfolge von Schritten braucht, die von verschiedenen wissenschaftlichen Fachgebieten bearbeitet werden: Ursachen – Expositionspfade – Effekte – Erkrankungen. Die Arbeit einer Europäischen Gruppe (EUROEXPO), der neun Experten mit Erfahrung in Medizin, Epidemiologie, Toxikologie und Ingenieurwissenschaft angehören, mag hier als Beispiel dienen (Bornehag und Sundell). Ein neues Projekt dieser Gruppe ist EUROVEN, gegründet im Jahr 2000, das sich mit Beziehungen zwischen Ventilation und Gesundheit beschäftigt (Wargocki et al.).
- mehr internationale Kooperationen einzurichten, z.B. *Inventory of European Research on the Indoor Environment* (IERIE 2001). Diese Datenbank umfasst detaillierte Informationen über Forschungsprojekte zur Raumluftqualität. Fast die Hälfte der 71 erfassten Projekte beschäftigen sich mit PM (Aylward et al.). Das Programm *Indoor Air Pollution in Schools der European Federation of Asthma and Allergy Associations* (EFA) hat Informationen über IAQ in 17 europäischen Staaten gesammelt. Von den 73 Publikationen, die seit 1990 erschienen sind, wurden fast 70% in Skandinavien erarbeitet (Carrer et al. II-794). In Untersuchungen, die die Bestimmung von VOC nach Exposition randomisiert ausgewählter Probanden aus fünf europäischen Städten durchführten (Athen, Basel, Helsinki, Mailand, Prag), wurden die höchsten VOC-Gehalte in Mailand, die niedrigsten in Basel und Helsinki gefunden (Saarela et al.).
- bereits bestehende Datenbanken für Meta-Analysen zu nutzen, z.B. Die MEDLINE-Suche zu Schimmelpilz-Emissionen in Innenräumen und Gesundheitseffekten, wie bereits erwähnt (Fung und Hughson). Eine ältere Meta-Analyse (*Office of Environmental Health Hazard Assess-*

ment OEHHA 1997) hatte eine starke und beständige Assoziation zwischen ETS (*Environmental Tobacco Smoke*, Passivrauchen) und der Entstehung von Asthma bei Kindern ergeben. Eine Überarbeitung dieser Analyse, in der 73 epidemiologische Studien bewertet wurden, ergab ein höheres Risiko für Asthma in Gebieten mit geringer Luftverschmutzung. Dies kann damit erklärt werden, dass viele Kinder mit genetischer Suszeptibilität für Asthma mehr durch Luftverschmutzung als durch ETS geschädigt werden (Vork et al.).

- bereits bestehende Datenbanken für Empfehlungen zu nutzen, z.B. förderte die US-EPA das Programm *IAQ Tools for Schools*. Darin werden Maßnahmen beschrieben, die ein verbessertes Raumluftklima schaffen (Feola et al.). Durch die neu geschaffene *Schools Workgroup of the President's Task Force on Children's Environmental Health and Safety Risks* wurden Leitlinien der U.S.-Regierung aufgestellt mit dem Ziel, bessere Programme für ein gutes Raumklima in Schulen zu erhalten (Axelrad und Jones). Um mit öffentlicher Besorgnis über die Gefahren von Schimmelpilzen und Feuchtigkeit besser umgehen zu können, bietet das *Minnesota Department of Health* technische Hilfe für solche Raumluftprobleme an (Oatman et al.).

Die WHO hat eine Datenbank erarbeitet, um die *Global Burden of Diseases* (GBD-2000) zu evaluieren; darin wird eine vergleichende Risikoabschätzung von Kontamination der Raumluft vorgenommen (Smith et al.). Die detaillierten Ergebnisse werden im nächsten World Health Report im Oktober 2002 veröffentlicht. Die Studie zeigt, dass weltweit die Verschmutzung der Raumluft in der Hierarchie der Risikofaktoren für die Gesundheit nach Mangelernährung, Tabak, HIV und schlechter Wasserhygiene den 5. Platz einnimmt. Der Hauptgrund für diese Klassifizierung ist ETS sowie Rauch, entstanden beim Kochen mit Holz und Kohle verbunden mit schlechter Ventilation, wie dies in den Entwicklungsländern häufig auftritt. In Ländern mit mittleren Einkommen belegt die Verschmutzung der Raumluft als Risikofaktor den 10. Platz. In den Industrienationen verliert dieser Risikofaktor noch wesentlich mehr an Bedeutung. *Indoor Air 2002* belegte, dass gerade in diesen Ländern große Anstrengungen unternommen werden, diesen Risikofaktor noch weiter zu senken. Die internationale Gemeinschaft sollte aber Programme entwickeln mit dem Ziel, Kochprozeduren (Techniken, Verfahren) und Ventilation in den Entwicklungsländern zu verbessern, um zu erreichen, dass "*people become healthy before they become wealthy*".

Bei der Untersuchung von Zusammenhängen zwischen IAQ und Gesundheitsschäden ist unbedingt zu fordern, dass sowohl das Human-Biomonitoring als auch toxikologische Daten mit Dosis-Wirkungsbeziehungen in die Beurteilung einfließen. Mit diesem Ansatz kann durch die Bestimmung von chemischen Noxen sowie ihrer Metabolite eine klarere Zuordnung zu Gesundheitsschäden getroffen werden, als dies mit Daten zur externen Exposition über Luft und Staub möglich ist.

Einige Beiträge beschäftigten sich mit der Beziehung zwischen ETS und Gesundheitsschäden durch Bestimmung von Nikotin im Haar bzw. Cotinin im Urin (Gracia-Alger et al., Kalinic et al., Lim, Pichine et al., Willers et al.), aber nur wenige Studien wurden präsentiert über andere toxische Stoffe in der Raumluft, z.B. Phthalate oder Flammschutzmittel, die Lipidperoxidation verursachen oder neurotoxisches Potenzial besitzen. Es war überraschend, dass Daten zum Zusammenhang von externer Exposition, interner Belastung und biologischen Effekten kaum Erwähnung fanden. Um jedoch das Gesundheitsrisiko durch IAQ zuverlässig evaluieren zu können, ist es unerlässlich, Studien zu initiieren, die die interne Belastung nach Exposition sowie die toxikologisch relevanten Effekte quantitativ erfassen.

Insgesamt wurde im Rahmen von *Indoor Air 2002* bei der Diskussion über IAQ die Darstellung der gesundheitlichen Wirkungen vernachlässigt. Dies wird auch dadurch unterstrichen, dass in keiner *Plenary Lecture* Gesundheitsschäden durch schlechte IAQ zusammengefasst wurden. Es entstand bei der Tagung kaum ein Zweifel, dass sich viele Ingenieure intensiv mit der Verbesserung des Raumluftklimas beschäftigen, dagegen war das Interesse von Ärzten an dieser fesselnden und wichtigen Fragestellung deutlich weniger stark ausgeprägt.

Für zukünftige Betrachtungen zu IAQ und Gesundheit ist es ratsam, wo immer möglich das Vorsorgeprinzip anzuwenden (Seifert). Mit anderen Worten: Auch begrenzte wissenschaftliche Hinweise können zusammen mit gesundem Menschenverstand erste Maßnahmen rechtfertigen (Heath und Mendell).

Fritz Schweinsberg

Institut für Allgemeine Hygiene und Umwelthygiene  
Universität Tübingen

Volker Mersch-Sundermann

Institut für Innenraumluft und Umwelttoxikologie  
Universität Giessen