

Reiz-, Riech- und hautsensibilisierende Stoffe im Innenraum
Zusammenfassung des Seminars vom 7. Mai 2003
Herbert Obenland, ARGUK-Umweltlabor GmbH, Oberursel

Schlagworte: Innenraum, Schadstoffe, Geruch, Geruchsstoffe, Wohnungsgeruch, Reizstoffe, Riechstoffe, Sick-Building-Syndrom SBS, Multiple Chemical Sensitivity MCS, Chemikalienunverträglichkeit, Kohlendioxid, CO₂, flüchtige organische Verbindungen VOC, TVOC, Aldehyde, Alkohole, Fettsäuren.

Einleitung

Durch den Aufenthalt in Innenräumen, insbesondere in Bürogebäuden, kann es zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen kommen, die nachlassen oder verschwinden, wenn das Gebäude wieder verlassen wird. Dieses Phänomen wird in der englischen Literatur meist mit dem Begriff "Sick Building Syndrom" (SBS) oder auch "Building Related Illness" beschrieben. Die Symptome des SBS sind vielfältig und können nach betroffenen Körperregionen in vier Bereiche unterteilt werden (Tabelle 1)

Tabelle 1. Symptome des Sick Building Syndroms

<p>Schleimhäute der oberen Atemwege und Augen trockene, empfindliche, kratzende, brennende, anderweitig gereizte... ...Nase, Nebenhöhlen, Hals, Augen</p>	<p>Untere Atemwege Husten / Heiserkeit Brustenge Atemnot Schweratmigkeit</p>
<p>Haut Juckreiz Beißen Trockenheit Rötung</p>	<p>Zentrales Nervensystem Kopfschmerzen Schläfrigkeit Müdigkeit Teilnahmslosigkeit Geistige Ermüdung Schwindel</p>

Als Auslöser dieser Beschwerden werden eine Vielzahl luftgetragener chemischer Stoffe, Feinstaub und raumklimatische Faktoren diskutiert. Ein Zusammenhang zwischen einzelnen Faktoren und SBS wird der Erfassung des Gesamtphänomens jedoch nur begrenzt gerecht. Ein naheliegender Summenparameter sind die TVOC; epidemiologische Studien zu TVOC-Konzentrationen in der Innenraumluft zeigen jedoch sehr uneinheitliche Ergebnisse.

Apte et al. (2000) vom Indoor Environment Department des Lawrence Berkeley National Laboratory haben sich dem Problem auf andere Weise genähert. Sie verwenden die CO₂-Konzentration in Innenräumen sowie die Lüftungsrate als Surrogat für Raumluftbelastungen durch Schadstoffe und korrelieren diese mit SBS-Symptomen.

CO₂ und SBS - Ergebnisse der BASE-Studie

Von der US-Umweltbehörde (Environmental Protection Agency; EPA) wurden 1994-1998 im Rahmen der BASE-Studie (Building Assessment Survey and Evaluation) 100 große amerikanische Bürogebäude untersucht; Apte et al. (2000) analysierte Daten aus einem Teilkollektiv davon ($n = 41$). Diese 41 Gebäude sind repräsentativ für amerikanische Bürogebäude, sind zumindest teilweise mechanisch belüftet und in einem Teil der untersuchten Arbeitsplätze mit Klimaanlage versehen.

Während CO₂-Messungen in der Raumluft durchgeführt wurden, wurden gleichzeitig mittels Fragebogen die Gebäudenutzer über das Auftreten der Eingangs erwähnten SBS-Symptome befragt. Da eine relative Feuchte (rF) <20% schon alleine zu SBS-Symptomen führen kann, wurden Gebäude mit solch niedriger rF gesondert bewertet. In Übereinstimmung mit anderen Literaturdaten ergab sich für die SBS-Häufigkeit folgendes Bild (Gebäude mit rF >20%):

Beschwerden der oberen Atemwege:	27,1 % aller Nutzer
Beschwerden der unteren Atemwege:	9,0 % aller Nutzer
Zentralnervöse Beschwerden:	15,7 - 16,7% aller Nutzer
Müdigkeit der Augen:	23,1 % aller Nutzer
Beschwerden der Haut:	4,7 % aller Nutzer

Diese Beschwerden wurden mit CO₂-Konzentrationen an den untersuchten Arbeitsplätzen korreliert. Dabei wurden CO₂-Tagesmittelwerte und 1h-Maxima gemessen und ihre Differenz zur Außenluft berechnet ($d\text{CO}_2$ bzw. $d\text{CO}_2\text{-max}$). Typische CO₂-Konzentrationen in Gebäuden bewegen sich zwischen 350 und 2500 ppm. Die Häufigkeit des Auftretens von SBS-Symptomen wurde durch Odds-Ratios (*ORs) ausgedrückt. Es wurden folgende Annahmen getroffen:

- Der CO₂-Anstieg in genutzten Gebäuden kann als Surrogat für Gebäudenutzer-generierte Schadstoffe (z.B. Stoffwechselprodukte) und Lüftungsrate pro Person benutzt werden.
- Eine ausreichende Gebäudebelüftung ist notwendig, um Schadstoffe zu entfernen, die innerhalb des Gebäudes erzeugt werden.
- Zu Schadstoffquellen innerhalb des Gebäudes zählen die Gebäudenutzer, Zigarettenrauch, die Gebäudesubstanz, Möblierung und Reinigungsmaterialien.
- Die Gebäudenutzer sind die hauptsächliche CO₂-Quelle.
- Innenraumschadstoff-Konzentrationen werden durch Verdünnung der Innenraumlufte mit der Außenluft reduziert.
- Bei konstanter Raumbesetzung durch die Gebäudenutzer sind CO₂-Änderungen mit anderen Schadstoff-Konzentrationen korreliert.

Bei vielen SBS-Symptomen zeigten sich teilweise hochsignifikante Korrelationen mit CO₂-Konzentrationen. Wenn $d\text{CO}_2$ (Tagesmittelwerte) mit SBS-Symptomen korreliert wurden, waren Beschwerden der oberen Atemwege (Halsbeschwerden, Nase, Nebenhöhlen) sowie Kurzatmigkeit und Atemnot statistisch signifikant (ORs 1,1 bis 1,5). Die Untersuchung von $d\text{CO}_2\text{-max}$ (maximale Stundenmittelwerte) ergaben ein fast gleiches Bild mit ORs von 1,4 bis 2,3. Noch höher lagen die ORs bei gleichem Beschwerdebild, wenn der maximale $d\text{CO}_2$ -Wert (418 ppm) bzw. der maximale $d\text{CO}_2\text{-max}$ -Wert (716 ppm) analysiert wurde (OR: 2,1 - 6,2 bzw. 2,7 - 10,2).

In einer weiteren Untersuchung wurde die Dosis-Wirkungsbeziehung zwischen CO₂-Konzentrationen und SBS-Symptomen als OR pro 100 ppm CO₂ berechnet. Bei den Beschwerden "Kombinierte Beschwerden der oberen Atemwege", trockene Augen, Halsbeschwerden, gereizte Nase/Nebenhöhlen, Brustenge und Atemnot waren die Beziehungen statistisch signifikant ($p < 0,05$). Eine Untersuchung begleitender Parameter ergab, dass besonders Frauen und vorsensibilisierte Menschen ein höheres individuelles Risiko tragen, unter SBS-Symptomen zu leiden.



Zusammenfassend schließen die Autoren, dass selbst unter Einhaltung der existierenden Lüftungs-Standards eine erhöhte Wahrscheinlichkeit besteht, in Bürogebäuden SBS-Symptome zu zeigen. Mit starker Lüftung, die Innenraum-CO₂-Konzentrationen etwa auf Außenluftwerte reduziert, ließe sich ein Rückgang von ausgewählten SBS-Symptomen um 70-85% erzielen.

Hausstaub und SBS

Der Zusammenhang zwischen der Qualität von Hausstaub und SBS-Symptomen ist bisher wenig beachtet worden. Die physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften des Hausstaubes üben aber dennoch einen wichtigen Einfluss auf das SBS-Phänomen aus. Das zeigt eine dänische Studie von 1994.

Gyntelberg et al. (1994) haben dazu 12 öffentliche Gebäude um Kopenhagen untersucht, Staubproben entnommen und die Gebäudenutzer nach SBS-Symptomen befragt. Eine Reihe von Korrelationen waren dabei statistisch signifikant ($P < 0,05$): Mit Korrelationskoeffizienten (K_k) von 0,73 bzw. 0,76 war die Häufigkeit von gram-negativen Bakterien im Hausstaub mit sowohl generellen Symptomen (Müdigkeit, Kopfschwere, Kopfschmerz, Schwindel und Konzentrationsschwächen) als auch Beschwerden der Schleimhäute der oberen Atemwege assoziiert. Die Beziehung zwischen Partikeln im Feinstaub und Beschwerden mit den Schleimhäuten war ebenfalls signifikant ($K_k = 0,81$). Mit Konzentrationsstörungen, Kopfschwere und Halsbeschwerden waren TVOC-Konzentrationen in der Faserfraktion des Staubes signifikant assoziiert.

Die Bestimmung der TVOC wurde von Wolkoff und Wilkins vorgenommen und detailliert an anderer Stelle veröffentlicht (Wolkoff und Wilkins 1994). Da Wolkoff und Wilkins die Bestimmung der TVOC-Konzentration im Hausstaub durch thermische Desorption und anschließende Adsorption auf Tenax vornahmen, hatten sie zunächst zu prüfen, ob die analytisch erfassten VOC auch wirklich aus dem Hausstaub stammen und nicht verfahrensbedingte thermisch produzierte Abbauprodukte anderer Substanzen darstellen. Dazu haben sie Hausstaub in einen Nylonbeutel gefüllt, den Gasraum des Beutels mit Reinluft befüllt und den geschlossenen Beutel 2 Tage bei Raumtemperatur equilibriert/inkubiert. Danach wurde der Gasraum des Beutels mittels Tenax beprobt und mittels GC/MS analysiert. Die erhaltenen GC-Spektren haben die Autoren mit den durch thermische Desorption erzielten GC-Spektren verglichen und keine wesentlichen Unterschiede feststellen können (Bild 1). Demnach ist die Methode der thermischen Desorption valide.

Die ARGUK-Studie "TVOC im Hausstaub"

In einer eigenen Studie haben wir ebenfalls VOC-Bestimmungen in Hausstaub vorgenommen. Mittels der Methode der Multiplen Headspace-Analytik haben wir dabei sowohl hinsichtlich des Gesamtmusters als auch bezüglich der vorzufindenden Substanz-Konzentrationen mit Gyntelberg et al. (1994) vergleichbare Ergebnisse erzielt.

Wie auf den Bildern 1 und 2 erkennbar, sind sich die erzielten TVOC-Muster sehr ähnlich.

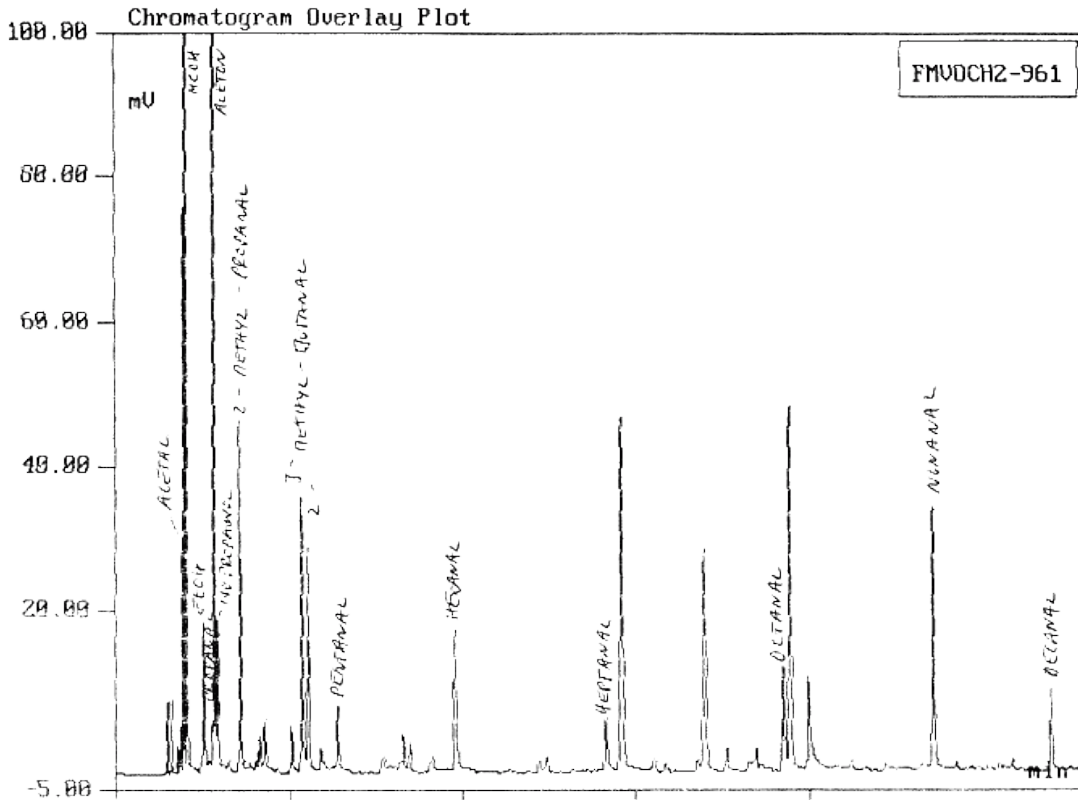


Bild 1. FID-Gaschromatogramm einer Staubanlyse mittels Headspace-Technik. Die Probe stammt aus dem laufenden Laboreingang des ARGUK-Umweltlabors.

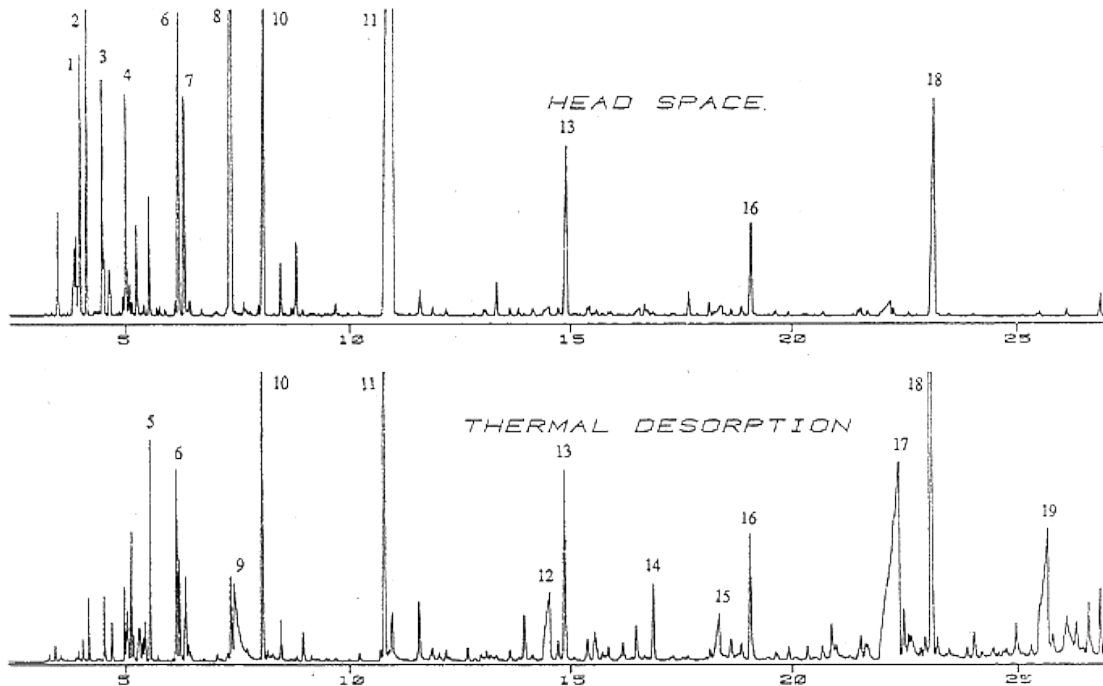


Fig. 1 FID gas chromatograms of dust headspace and desorbed VOCs (120°C). 1. acetone, 2. 2-propanol, 3. 2-methylpropanal, 4. butanal, 5. heptane, 6. 3-methylbutanal, 7. 2-methylbutanal, 8. pentanal, 9. acetic acid, 10. octane, 11. hexanal, 12. butyric acid, 13. heptanal, 14. 2-pentylfuran, 15. valeric acid, 16. octanal, 17. hexanoic acid, 18. nonanal, 19. heptanoic acid

Bild 2. FID-Gaschromatogramme von Wolkoff und Wilkins (1994).

Um die Verbindungen zu bestimmen, die am häufigsten in Hausstaubproben nachgewiesen werden können, wurde ein Kollektiv von 15 Proben aus dem laufenden Laboreingang auf VOC untersucht (Bild 3).

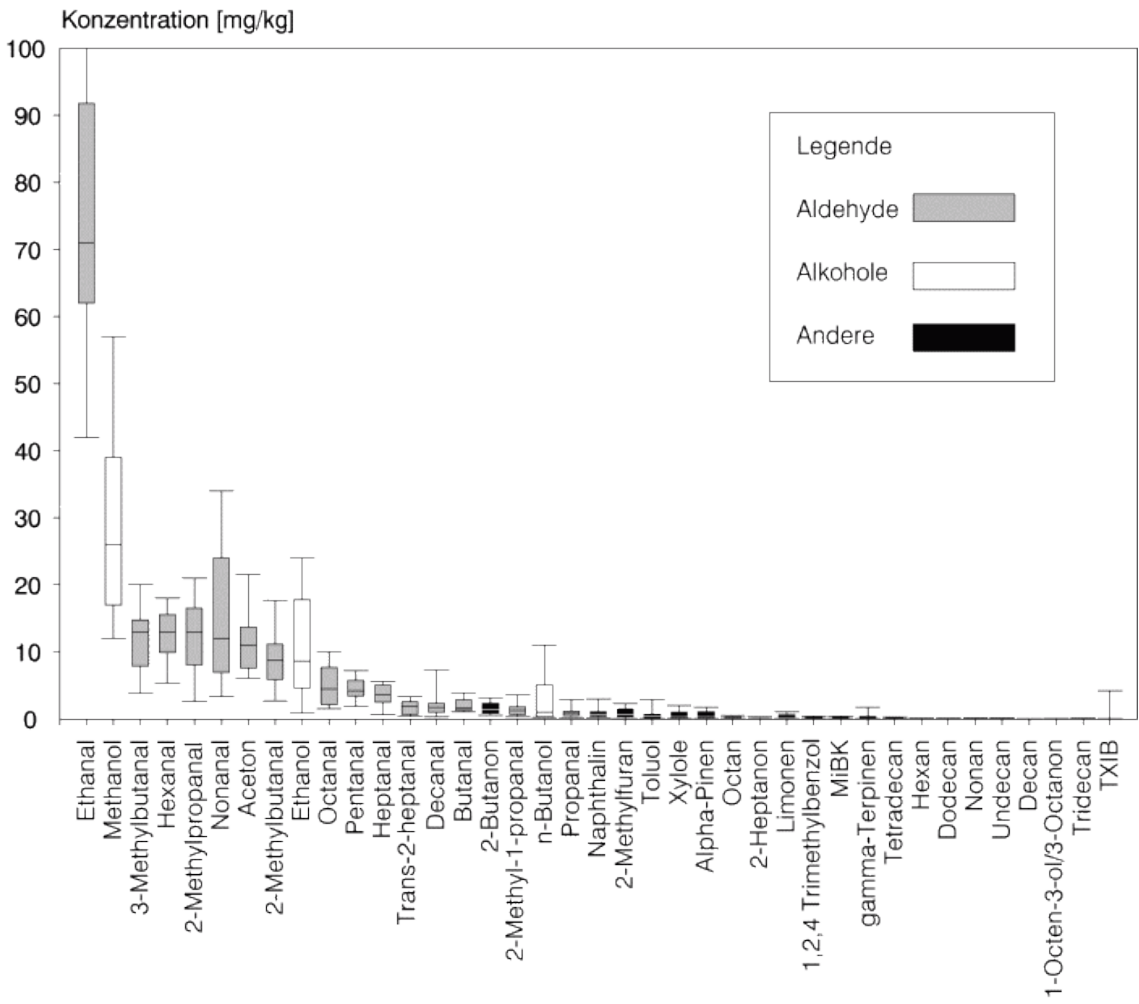


Bild 3. Verteilung von VOC im Hausstaub. Untere / obere Linie = 10. / 90. Perzentil, Box = 25. bis 75. Perzentil, Linie in Box = 50. Perzentil.

Es zeigt sich, dass Aldehyde und Alkohole den wesentlichen Anteil des gesamten VOC-Gehaltes des Hausstaubes ausmachen. Der Vergleich mit der Aldehyd-Summe verdeutlicht den großen Anteil dieser Verbindungen an den TVOC (Tabelle 2).

Tabelle 2. TVOC und Aldehyde im Hausstaub

	TVOC* ARGUK-Umweltlabor n = 15	TVOC** Gyntelberg et al. (1994) n = 12	Summe der Aldehyde ARGUK-Umweltlabor n = 15
Min	62	51	22
Max	348	260	247
50. Perzentil	201	141	150
90. Perzentil	311	-	246

*Normiert auf 3-Methylbutanal, Temperaturprogramm 20 - 250°C

**Normiert auf Toluol, Temperaturprogramm 60 - 270°C

Für die VOC werden unterschiedliche endogene Quellen diskutiert (Tabelle 3).

Tabelle 3. VOC im Hausstaub und mögliche Quellen

Verbindung	Mögliche Quelle
Acetaldehyd und verzweigte Aldehyde ("Strecker-Aldehyde")	Aminosäure-Abbau, Peptide, Eiweiße
Geradkettige Aldehyde	Fettsäure-Abbau, Fette
Alkohole	Kohlehydrat-Abbau

Fettsäuren

In einer weiteren Studie hat das ARGUK-Umweltlabor das Vorkommen von Fettsäuren im Hausstaub untersucht und diese Verbindungen regelmäßig in einer Größenordnung vorgefunden, wie sie für Phthalate üblich ist; teilweise lagen die gefundenen Konzentrationen auch weit darüber. Viele Fettsäuren sind als reizend eingestuft und/oder besitzen einen üblen Geruch. Andererseits stellen Sie eine wichtige Quelle für niedermolekulare Abbauprodukte wie Aldehyde, Alkohole, Ketone und Säuren dar, die ihrerseits (schleimhaut-) reizend oder sensibilisierend wirken können. Zum Beitrag von Fettsäuren am SBS-Syndrom sei auf unsere **Studie zu Vorkommen von Fettsäuren in Hausstaub und Raumluft** verwiesen.

Weitere Faktoren - ein Ausblick

Die Untersuchung von Gyntelberg et al. (1994) hat weitere signifikante Zusammenhänge zwischen bislang unbeachteten Eigenschaften des Hausstaubes und SBS-Symptomen erbracht:

Es besteht ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen SBS und dem Anteil an gram-negativen Bakterien in der Bakterien-Gesamtpopulation. Im Vergleich zwischen Staub mit mehr als 33% gram-negative Bakterien in der Bakterienfraktion (viel) und Staub mit weniger als 1% (wenig) haben die Autoren ORs von 2,3 bis 3,0 für folgende Symptome berechnet: Übermäßige Müdigkeit, Kopfschwere, Kopfschmerzen, rauher Hals und Halsweh.

Ein ähnliches Bild ergibt sich für den Faktor Feinstaub. Bei der Staubuntersuchung wurden die Partikel im Fein- und Grobstaub den Klassen "keine", "wenig", "einige" und "viele" zugeordnet. Beim Vergleich zwischen "einige" und "viele" (hoch) mit "wenig" (niedrig) ließen sich ORs von 1,9 bis 2,9 berechnen. Diese beziehen sich auf die Symptome Kopfschwere, Kopfweh, Konzentrationsprobleme, trockene und gereizte Augen, trockene und gereizte oder laufende Nase, trockener oder gereizter Hals sowie trockene, gereizte oder errötete Haut auf den Händen.

In einer neueren Untersuchung empfehlen Pan et al. (2000), Schwebstaubexpositionen in die Bewertung von Innenraumklima mit einzubeziehen. In einer Klimakammer setzten sie 10 Testpersonen für 3 Stunden einer durchschnittlichen Staubkonzentration von 394 µg/m³ aus und beobachteten ihre Reaktionen. Dabei stellten sie fest, dass der Tränenfilm der Augen mit zunehmender Aufenthaltsdauer signifikant schneller abriss und das Nasenvolumen eine abnehmende Tendenz zeigte (d.h. die Schleimhäute schwellen an). Mit einem Fragebogen wurde das empfundene Raumklima abgefragt und dabei signifikante Korrelationen zwischen "Luftqualität" und "Trockene Augen", "Augenreizung", "Reizung der Gesichtshaut", "Nasenreizung" und "Angespannt durch Aufenthalt in der Testkammer" gefunden (subakute Reaktionen). Bei den akuten Reaktionen war "Luftqualität" mit "Geruchsintensität" signifikant korreliert.

Eine weitere Eigenschaft des Hausstaubes im Zusammenhang mit SBS-Symptomen wurde von Meyer et al. (1999) aufgedeckt. Im Rahmen ihrer epidemiologischen Studie von 75 Schulen in Kopenhagen wurde Hausstaub in einem Bioassay mit Lungenepithel-Zellen getestet. Dabei wurde ein signifikanter Zusammenhang zwischen Staub, der mit einem erhöhten SBS-Auftreten assoziiert war, und dem Expositions-Index des Bioassays festgestellt. Diese Tatsache weist auf ein hohes inflammatorisches Potenzial des Hausstaubes hin.

Diese kurze Darstellung neuer und bereits etwas älterer Erkenntnisse zum SBS-Syndrom zeigt deutlich, dass bei den immer häufiger auftretenden gesundheitlichen Beschwerden in Innenräumen das bisher angewendete



Instrumentarium an Untersuchungen nur einen Teil der möglichen Ursachen abdeckt. Die bisher landläufig durchgeführten Analysen beschränken sich meist auf eine Untersuchung der Raumluft auf VOC, bzw. MVOC (Mikrobiell verursachte flüchtige organische Verbindungen) bei Schimmelpilzverdacht und muffigem Geruch. Solche Befunde erhellen nur einen Ausschnitt der Realität, die aber tatsächlich wesentlich komplexer ist. Unserer Meinung nach sollte nach einer individuellen Bestandsaufnahme einer Innenraum-Situation die folgenden Parameter erwogen werden. Welche Parameter davon messtechnisch überprüft werden müssen ergibt sich dabei aus der Bestandsaufnahme.

Einmalige Untersuchung der Raumluft

- VOC und TVOC (Flüchtige organische Verbindungen, Summe der Verbindungen)
- Aldehyde und Ketone
- Schimmelpilzsporen
- PVOC (Polare flüchtige organische Verbindungen)
- MVOC (Mikrobielle flüchtige organische Verbindungen)
- Chloranisole
- Isothiazolone
- Schwebstaub

Kontinuierliche Untersuchung des Raumklimas über etwa 2 Wochen

- CO₂
- Feuchte
- Temperatur

Untersuchung des Hausstaubes

- TVOC, insbesondere Aldehyde und Fettsäuren
- Anhydride
- Isothiazolone
- Trisphosphatische Flammschutzmittel
- Gram-negative Bakterien
- Feinstaubanteil

Kontinuierliche Untersuchung des Raumklimas über etwa 2 Wochen

Literatur

Apte MG, Fisk WJ, Daisey JM (2000) Associations between indoor CO₂ concentrations and sick building syndrome symptoms in US office buildings: An analysis of the 1994-1996 BASE Study data. *Indoor Air* 10:246-257

Gyntelberg F, Suadecani P, Wohlfahrt-Nielsen J, Skov P, Valbjorn O, Nielsen PA, Schneider T, Jorgensen O, Wolkoff P, Wilkins CK, Gravesen S, Norn S (1994) Dust and the Sick Building Syndrome. *Indoor Air* 4:223-238

Pan Z, Molhave L, Kjaergaard SK (2000) Effects on eyes and nose in humans after experimental exposure to airborne office dust. *Indoor Air* 10:237-245

Wolkoff P, Wilkins CK (1994) Indoor VOCs from household floor dust: Comparison of headspace with desorbed VOCs; Method for VOC release determination. *Indoor Air* 4: 248-254