



Flüchtige organische Stoffe (VOC) in der Raumlufthygiene von Bürogebäuden

Hinweis: Seit 2004 wird das Geschäftsfeld Raumlufthygiene der früheren MILJÖ-CHEMIE/GfA Hamburg vom Ingenieurbüro ROLAND BRAUN weitergeführt. Roland Braun war von 1999 bis 2004 Leiter der MILJÖ-CHEMIE (ab 2002 Umfirmierung zu GfA Hamburg). Die vorliegende Studie kann online unter www.rolandbraun.de oder unter folgender Adresse bezogen werden:

Ingenieurbüro ROLAND BRAUN
Telemannstraße 39, D-20255 Hamburg
Tel.: +49 (0)40 43 27 09 15

Studie erstellt am: 18.08.99

durch: MILJÖ-CHEMIE
Umwelt-Institut für Deutschland
Reeseberg 62
21079 Hamburg

Reinhard Oppl
Diplom-Chemiker

Roland Braun
Diplom-Biologe, Diplom-Ingenieur
(Institutsleiter)

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Tabellen	3
Verzeichnis der Abbildungen	3
Verzeichnis der Abkürzungen	4
Zusammenfassung	5
1 Einleitung	6
2 Einflüsse von Meßtechnik und Meßstrategie auf Meßergebnis und Gutachten	7
2.1 Einflüsse der Meßstrategie	7
2.2 Einflüsse der Meßtechnik	7
2.3 Bedeutung dieser Einflüsse für die Höhe der Meßergebnisse	10
2.4 Harmonisierung der VOC- und TVOC-Meßtechnik	12
2.5 Konsequenzen für die gutachterliche Bewertung in Meßberichten	13
3 Literaturdaten über Raumlufbelastungen	14
3.1 Bundesweite Messungen (Umwelt-Surveys)	14
3.2 Meßtechnische Untersuchungen in Schleswig-Holstein	15
3.3 Meßtechnische Untersuchungen in Leipzig	16
3.4 Meßtechnische Untersuchungen in Frankfurt	16
3.5 European Audit Project	17
4 Auswertung von Gutachten und Raumlufmessungen	18
4.1 Konzeption der gutachterlichen Untersuchungen	18
4.2 Untersuchungsmethoden für die Raumlufmessung	19
4.3 Ergebnisse der Auswertung	20
5 Vergleich der vorliegenden Untersuchungen	27
6 VOC, TVOC und die Bewertung von Raumlufbelastungen	31
6.1 Wirkung der VOC auf den Menschen	31
6.2 Vergleichs-, Ziel-, Vorsorge- und Richtwerte	34
7 Die Qualität der allgemeinen gutachterlichen Praxis	39
7.1 Bewertungsmaßstab der Gutachter	39
7.2 Gutachterliche Empfehlungen	41
7.3 Qualitätsstandards	41
8 VOC-Emissionen aus Produkten	43
8.1 Prüfung der Produktemissionen	43
8.2 Bedeutung der Prüfmethode für das Ergebnis	44
8.3 Verwendung von Daten über Produktemissionen	45
9 Schlußfolgerungen	46
10 Literaturverzeichnis	48



Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Minderbefunde der Aktivkohle-Schwefelkohlenstoff-Methode	9
Tabelle 2: Anteile bekannter und neuer Stoffe an heutigen TVOC Messungen	11
Tabelle 3: Ergebnisse der Umwelt-Surveys 1985/86 und 1990/91	15
Tabelle 4: Ergebnisse von Raumlufmessungen in Schleswig-Holstein	16
Tabelle 5: Ergebnisse von Raumlufmessungen in 56 Bürogebäuden (EAP).....	17
Tabelle 6: 95 Raumlufmessungen (1994-1998) <u>ohne</u> Baumaßnahmen	23
Tabelle 7: 72 Raumlufmessungen (1994-1998) höchstens 3 Monate <u>nach</u> Baumaßnahmen.....	24
Tabelle 8: 25 Außenlufmessungen (1994-1998) in städtischer Umgebung	25
Tabelle 9: Liste der ausgewerteten Studien.....	27
Tabelle 10: Gebäudezustand und Rahmenbedingungen während der Messungen	28
Tabelle 11: Meßtechniken zur VOC-Messung.....	28
Tabelle 12: Ergebnisse der TVOC-Messungen.....	29
Tabelle 13: Mølhav-VOC-Gemisch	33
Tabelle 14: Experimentell ermittelte Dosis-Wirkungs-Beziehungen.....	33
Tabelle 15: Seifert-Werte für langfristige TVOC-Werte in Innenräumen	35
Tabelle 16: Die aktuellen Mølhav-Werte für TVOC in Innenräumen (Niveau II).....	36
Tabelle 17: Beispiel für eine schlechte Übereinstimmung von Prüfergebnissen	44
Tabelle 18: Prüfnormen für TVOC-Emissionen aus Bauprodukten	45

Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1: TVOC Messungen mit alten und neuen Methoden	12
Abb. 2: Beurteilung der gebäudebezogenen Ursachen von Gesundheitsstörungen	21
Abb. 3: Ergebnisse: TVOC in der Raumluf von Bürogebäuden.....	22
Abb. 4: Ergebnisse TVOC aus verschiedenen Studien	29



Verzeichnis der Abkürzungen

BImSchG:	Bundesimmissionsschutzgesetz
CEN:	European Committee for Standardization
DIN:	Deutsches Institut für Normung, Deutsche Norm
EMICODE®:	Kennzeichnung der GEV für die Emission von Verlegewerkstoffen
EN:	Europäische Norm
ENV:	Europäische Vornorm (zur Erprobung)
GefStoffV:	Gefahrstoffverordnung
GEV:	Gemeinschaft Emissionskontrollierte Verlegewerkstoffe e.V.
GuT:	Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppichboden
ISO:	International Organization for Standardization sowie deren Normen
ISO/DIS:	Draft International Standard, veröffentlichter Normentwurf der ISO
ISO/CD:	Committee Standard, Normentwurf der ISO vor der ISO-internen Abstimmung
mg/m ³ :	Milligramm pro Kubikmeter - $1 \text{ mg/m}^3 = 1.000 \text{ } \mu\text{g/m}^3$
prEN, prENV:	Entwurf einer EN oder einer ENV
SBS:	Sick-Building-Syndrom
TVOC:	Total VOC, Summe der flüchtigen organischen Stoffe
VDI:	Verein Deutscher Ingenieure
VOC:	Volatile Organic Compounds, Flüchtige Organische Stoffe
$\mu\text{g/m}^3$:	Mikrogramm pro Kubikmeter - $1 \text{ } \mu\text{g/m}^3 = 0,001 \text{ mg/m}^3$
$\mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{h})$:	Mikrogramm pro Quadratmeter und Stunde



Zusammenfassung

Im Zusammenhang mit dem Aufenthalt in bestimmten Gebäuden können bei einem Teil der beteiligten Gesundheitsprobleme auftreten. Bei der Suche nach den Ursachen wird häufig eine Raumluftmessung durchgeführt, durch die im wesentlichen Luftverunreinigungen durch VOC (Flüchtige organische Stoffe) und TVOC (Summe der flüchtigen organischen Stoffe) erfaßt werden und deren Ergebnisse mit Referenz- und Richtwerten verglichen werden.

Aufgrund unterschiedlicher Meßstrategien und Meßtechniken sind die meisten Referenz- und Richtwerte für akzeptable TVOC-Belastungen nicht geeignet, um als Bewertungsmaßstab für die heute üblichen worst-case-Messungen ohne Lüftung herangezogen zu werden. Die heute in der Regel verwendeten Meßtechniken liefern systematisch höhere Ergebnisse als jene Meßtechniken und Meßstrategien, die für die Ermittlung der Referenz- und Richtwerte eingesetzt worden waren. Die unkritische Verwendung derartiger Richtwerte führt zu Fehlbewertungen. Zur Verbesserung der durchschnittlichen Qualität von Gutachten zur Innenraumluft wird der Aufbau eines Systems zur externen Qualitätskontrolle und zur Akkreditierung von Gutachtern angeregt.

Zur Vereinheitlichung der TVOC-Meßtechnik wird in Kürze eine ISO-Norm erscheinen. Für derartige TVOC-Messungen ohne Lüftung könnte eine langfristig anzustrebende Obergrenze bei 300 bis 1.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ TVOC liegen. Eine differenzierte Beurteilung des gemessenen VOC-Gemisches und eventuell Maßnahmen zur Senkung der Luftbelastung würden erst oberhalb von 1.000 bis 3.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ TVOC erforderlich. Diese Zahlen sind jedoch mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Für einen verbindlichen TVOC-Richtwert fehlt die toxikologische Grundlage.

Eine Auswertung von 167 VOC-Messungen in 67 deutschen Bürogebäuden aus den Jahren 1994 bis 1998, mit und ohne Baumaßnahmen in den letzten 3 Monaten sowie mit und ohne Gesundheitsbeschwerden ergab keine Dosis-Wirkungsbeziehung für den TVOC. Die Zusammensetzung des Stoffgemisches, das sich hinter der Meßgröße TVOC verbirgt, kann sich von Fall zu Fall erheblich unterscheiden. Die Anwesenheit geruchsintensiver Stoffe erhöht die Wahrscheinlichkeit, daß das Wohlbefinden der Nutzer beeinträchtigt wird.

Eine Auswertung von 59 Gutachten ergab, daß VOC-Luftbelastungen nur in 15 % der Fälle mit Gesundheitsstörungen auffällig waren, und zwar überwiegend im Zusammenhang mit unangenehmen Geruchsbelastungen. Als häufigste Ursache wurde ein mangelhaftes Raumklima ermittelt.

Aus Vorsorgegründen ist dennoch der verstärkte Einsatz emissionsarmer Bauprodukte und Einrichtungsgegenstände sinnvoll, um den Eintrag von VOC in die Gebäude so gering wie möglich zu halten. Zwei Industriezweige liefern Kennzeichnungssysteme (EMICODE[®] für Verlegetwerkstoffe und GuT-Siegel für Teppichböden), mit deren Hilfe emissionsarme Produkte am Markt ausgewählt werden können.



1 Einleitung

Bürogebäude werden ebenso wie Wohngebäude in wachsendem Maße gegenüber der Umgebung abgedichtet, um Heizenergie im Winter und Kühlenergie im Sommer einzusparen. Mit dem gewünschten Effekt der Energieeinsparung geht eine deutlich verringerte Belüftung der Gebäude einher, sofern keine technische Belüftung vorgesehen ist. Dadurch wird die Anreicherung von Luftverunreinigungen, die aus Bauprodukten, Möbeln und Verbrauchsgegenständen freigesetzt werden, begünstigt.

In zahlreichen Studien und Gutachten werden Beschwerden wie Kopfschmerzen, Erschöpfung, Übelkeit, Hautreizungen, Augenreizungen und Atemwegserkrankungen mit einer erhöhten Belastung der Raumluft durch organisch-chemische Stoffe, die sogenannten **VOC (Volatile Organic Compounds = Flüchtige Organische Stoffe)** in Verbindung gebracht - insbesondere wenn die Symptome bei einer konsequenten Meidung des Gebäudes verschwinden. Die Symptome können sehr stark ausgeprägt sein und das Wohlbefinden der Betroffenen erheblich beeinträchtigen. In den Medien werden solche Problemfälle oft als "Sick-Building-Syndrom" beschrieben¹.

In jedem Innenraum lassen sich VOC in der Raumluft meßtechnisch nachweisen. Über die Bedeutung dieser Stoffe für Gesundheit und Wohlbefinden der Menschen in den Innenräumen bestehen in der Fachwelt unterschiedliche Auffassungen. Als alternative Ursachen für auftretende Symptome werden beispielsweise diskutiert:

- ein mangelhaftes Raumklima
- eine erhöhte Keim- oder Staubbelastung
- eine ungünstige Beleuchtung des Arbeitsplatzes
- Störungen durch Geräusche
- Streßbelastung
- psychosomatische Reaktionen
- individuelle Überempfindlichkeit einzelner Personen.

Als Quellen für Raumluftbelastungen durch VOC kommen insbesondere Fußböden, Wände, Zimmerdecken und Möbel in Betracht. Langzeitemissionen werden primär aus Fußböden und aus Möbeln beobachtet. Diese Emissionen verlieren anfangs schnell an Intensität, Restemissionen können aber noch nach mehreren Monaten beobachtet werden. Die Dauer von Belastungen der Raumluft durch VOC aus Quellen mit abnehmender Intensität wird in der Praxis häufig verlängert, wenn diese Stoffe an textilen und anderen rauen Oberflächen adsorbiert und erst verzögert wieder freigesetzt werden.

Vor diesem Hintergrund legt diese Studie Daten über die heute in Büroräumen vorkommenden Belastungen der Raumluft durch VOC vor und vergleicht die Ergebnisse mit anderen Studien. Ferner werden verschiedene Konzepte zur Bewertung dieser Luftbelastung kritisch diskutiert.



2 Einflüsse von Meßtechnik und Meßstrategie auf Meßergebnis und Gutachten

Häufig werden Meßergebnisse für einzelne VOC (flüchtige organische Stoffe) oder die Gesamtmenge TVOC (Total Volatile Organic Compounds, Summe der gemessenen VOC-Stoffe) mit Referenz- oder Zielwerten verglichen. Liegen die Meßergebnisse über den Referenzwerten, wird die Situation als kritisch beurteilt. Für die Berechtigung dieses Vorgehens ist es von entscheidender Bedeutung, ob die verglichenen Luftbelastungen mit einer identischen Meßstrategie und Meßtechnik ermittelt wurden wie die Referenzwerte.

2.1 Einflüsse der Meßstrategie

Die VDI-Richtlinien 4300-1 und 4300-6 (speziell für VOC) beschreiben verschiedene Meßstrategien für Messungen der Innenraumluft, je nach den Rahmenbedingungen und in Abhängigkeit von der jeweiligen Fragestellung².

In der Praxis der Begutachtung von Schadensfällen wird meistens eine sogenannte worst-case-Messung durchgeführt. Die Messung erfolgt dann außerhalb der Nutzungszeiten bei geschlossenen Fenstern und Türen. Dieses Vorgehen ist sinnvoll, um eine Verfälschung des Meßergebnisses durch äußere Quellen oder durch die Raumnutzung ebenso zu vermeiden wie unkontrollierte Verdünnungseffekte durch Lüftungsmaßnahmen. Im Ergebnis mißt man auf diese Weise die maximal denkbare Luftbelastung.

Für die Bewertung der Ergebnisse ist es von erheblicher Bedeutung, daß die reale Luftbelastung während der Nutzung der Räume wesentlich niedriger ist, da die freigesetzten VOC-Stoffe durch die üblichen Lüftungsmaßnahmen erheblich verdünnt werden. Dennoch werden in der Praxis häufig die Ergebnisse aus worst-case-Messungen undifferenziert mit Referenzwerten verglichen, die sich auf ein normales Lüftungsverhalten beziehen (vgl. Kap. 6.2).

2.2 Einflüsse der Meßtechnik

Für die Messung der VOC und der TVOC werden derzeit unterschiedliche Meßtechniken eingesetzt. In der Regel kommen diskontinuierliche Meßtechniken zum Einsatz. Hierfür wird eine aktive oder passive Probenahme eines repräsentativen Teils der Raumluft auf ein Adsorptionsmedium durchgeführt. Anschließend werden die adsorbierten Stoffe im Labor desorbiert und gaschromatographisch analysiert. Für eine Reihe von VOC-Einzelstoffen hängt es von der eingesetzten Meßtechnik ab, wie gut und wie vollständig die Einzelstoffe angezeigt werden. Dadurch wird insbesondere die Höhe des Gesamtwerts TVOC wesentlich von der eingesetzten Meßtechnik beeinflusst. Im folgenden werden die wesentlichen Einflußfaktoren aufgelistet.



2.2.1 Probenahmetechnik

Für die aktive Probenahme wird Luft mit kalibrierten Pumpen durch das Adsorptionsmedium gesogen. Bei der passiven Probenahme bewegen sich die Bestandteile der Umgebungsluft durch Diffusion zum Adsorptionsmedium. Oft werden Ergebnisse aus verschiedenen Untersuchungen verglichen, bei denen die Luftprobenahme einmal aktiv und einmal passiv durchgeführt wurde.

Dabei ist eine wesentliche Erkenntnis aus Ringversuchen zu beachten. Passivsammler liefern bei einer nur geringen Luftbewegung tendenziell Minderbefunde, falls die Luftbestandteile vom Sammler schneller aufgenommen werden, als sie aus der Umgebungsluft nachgeliefert werden³. Je größer die Öffnung des Sammlers im Verhältnis zu dessen Länge ist, desto stärker wirkt sich dieser Effekt aus.

In ganz oder teilweise nicht genutzten Räumen ist die Luftbewegung so gering, daß auch dieser Einfluß zu berücksichtigen ist. Das war auch bei Raumluftmessungen des Landesamts für Natur- und Umweltschutz Schleswig-Holstein zu beobachten^{4,5}.

2.2.2 Adsorptionsmedium und Aufarbeitung der Proben

Als Adsorptionsmedien sind für die Messung von VOC am weitesten verbreitet:

- Tenax TA in Edelstahlrohren zur Adsorption, schnelles Erhitzen zur Freisetzung der adsorbierten Stoffe (Thermodesorption)^{6,7}
- Aktivkohle in Glasrohren zur Adsorption, Versetzen mit Schwefelkohlenstoff zur Freisetzung der adsorbierten Stoffe (Lösemitteldesorption, VDI 3482-4)⁸

Die Tenax-Thermodesorptions-Methode setzt sich international allgemein durch, während in Deutschland noch die Anwendung der Aktivkohle-Schwefelkohlenstoff-Methode dominiert.

Aufgrund der nur begrenzten Kapazität von Tenax TA für sehr flüchtige Lösemittel werden oft ergänzende Adsorbentien wie Chromosorb 106 eingesetzt. In geringerem Umfang wird auch Silicagel als Adsorptionsmittel verwendet.

Es konnte gezeigt werden⁹, daß die Aktivkohle-Schwefelkohlenstoff-Methode für polare Stoffe wie 2-Butanon und insbesondere für heute in der Raumluft weitverbreitete Stoffe wie Butyldiglykol und Butyldiglykolacetat erhebliche Minderbefunde liefert. Die Wiederfindung einiger höherer Glykole kann dabei weit unter 10 % liegen, insbesondere bei geringen Stoffmengen auf dem Meßrohr - das bedeutet, daß diese Stoffe zu über 90 % nicht erfaßt werden (Minderbefund).

Wenn solche Stoffe in der Raumluft dominieren, können die Minderbefunde der Aktivkohle-Schwefelkohlenstoff-Methode nur in sehr begrenztem Umfang durch korrigierende Maßnahmen des Labors ausgeglichen werden.



Tabelle 1: Minderbefunde der Aktivkohle-Schwefelkohlenstoff-Methode
Erfahrungswerte aus dem Analysenlabor von MILJÖ-CHEMIE. Die Wiederfindung hängt wesentlich von der Menge auf dem Probenträger ab und ist bei Messungen in Innenraumluft aufgrund der niedrigen Luftkonzentrationen ein größeres Problem als bei (z.B.) Gefahrstoffmessungen am Arbeitsplatz

Wiederfindung, Aktivkohle-Schwefelkohlenstoff-Methode in Prozent der aufgegebenen Menge (je 30 µg)	
2-Phenoxyethanol	0,4 %
Butyldiglykol	< 0,4 %
Butyldiglykolacetat	2,1 %
zum Vergleich: Butylacetat	73 %

Für die meisten gängigen Lösemittel beträgt dagegen die Wiederfindung von größeren Mengen auf dem Meßrohr 75 bis 100 %. Über die Wiederfindung sehr niedriger Mengen gibt es kaum Untersuchungen.

Die Wiederfindung der VOC-Stoffe von Aktivkohle wird von der Dauer und der Intensität der Durchmischung mit dem Desorptionsmittel Schwefelkohlenstoff beeinflusst. Bei dieser Methode können sich flüchtige VOC-Stoffe unter dem Meßsignal des Desorptionsmittels verbergen. Diese Stoffe stehen dann nicht für die Auswertung und für die Berechnung des TVOC-Wertes zur Verfügung, so daß sich ein Minderbefund ergibt.

Das Meßergebnis hängt bei der Tenax-Thermodesorptions-Methode von den Betriebsparametern ab. Die Aufheiztemperatur und die Aufheizdauer entscheiden darüber, wie vollständig VOC-Stoffe mit relativ niedrigem Dampfdruck in das Analysensystem überführt werden.

2.2.3 Analytik

Minderbefunde für den Summenwert TVOC können auf einem zu frühen Abbruch des Gaschromatogramms beruhen. Weniger flüchtige Stoffe würden dann nicht erkannt und folglich nicht in den TVOC-Wert mit eingerechnet.



Die Quantifizierung wird sehr unterschiedlich gehandhabt. Folgende Methoden sind verbreitet:

- Berechnung aller Meßsignale im Gaschromatogramm als Toluol-Äquivalent.
 - Individuelle Kalibrierung der Stoffe aus einer Prüfliste, Berechnung aller anderen Stoffe als Toluol-Äquivalent.
 - Identifizierung und anschließend individuelle Kalibrierung
 - entweder einer festgelegten Anzahl von Stoffen (z.B. 10), oder
 - aller Stoffe ab einer festgelegten Luftbelastung, oder
 - möglichst vieler Stoffe
- und Berechnung aller nicht identifizierbaren Stoffe als Toluol-Äquivalent.

Der TVOC-Wert ist dann die Addition aller Einzelwerte.

Die Vielfalt der verwendeten Quantifizierungsmethoden trägt zu großen Unterschieden zwischen TVOC-Meßergebnissen verschiedener Laboratorien bei. Alleine die unterschiedliche Kalibrierung kann zu Minder- oder Mehrbefunden in Höhe von 30 bis 90 % führen¹⁰.

Direktanzeigende Meßgeräte wie Photoionisations- oder Infrarotdetektoren sind noch anfälliger für Fehler dieser Art¹¹.

2.3 Bedeutung dieser Einflüsse für die Höhe der Meßergebnisse

Vor dem Hintergrund der aufgezeigten Unsicherheiten ist festzuhalten, daß sich unterschiedliche Meßergebnisse von Raumluftmessungen, die als Gesamtbelastung TVOC ausgedrückt werden, nicht ohne weiteres vergleichen lassen - es sei denn, die zugrunde liegende Meßmethode wäre in allen Bestandteilen identisch. Dies gilt auch für Meßergebnisse einer Reihe von Einzelstoffen, insbesondere für höhere Glykolether und deren Ester.

Ohne einen Abgleich der Meßmethoden sind Unterschiede bis zum Faktor 10 nicht auszuschließen. Selbst zwischen routinierten Laboratorien sind Unterschiede bis zum Faktor 3 an der Tagesordnung. Dies wurde sowohl bei Luftmessungen verschiedener Gutachter am selben Objekt¹² wie auch bei Produktemissionsprüfungen verschiedener Prüfstellen am selben Muster beobachtet^{13,14}.

In mehreren Fällen führte der Autor eine Neubewertung von vorliegenden Gutachten verschiedener Institute aus den Jahren 1998 und 1999 durch, bei denen die Meßergebnisse mit den Ergebnissen der Querschnittuntersuchung "Umwelt-Survey" 1985/86 (vgl. Kap. 3.1) verglichen wurden.



Die Vergleichswerte des Umwelt-Survey beruhen auf Langzeitmessungen in Wohnzimmern bei normalem Lüftungsverhalten. Damals wurden Passivsammler nach der Aktivkohle-Schwefelkohlenstoff-Methode eingesetzt. Selbst ohne Berücksichtigung von Unterschieden bei der Meßstrategie (ohne oder mit Lüftung) waren diese Vergleiche nicht angemessen, wie im folgenden an realen, aber anonymisierten Beispielen¹⁵ erläutert wird.

Für die folgende Tabelle 2 wurden die vorliegenden Meßwerte der einzelnen VOC-Stoffe in zwei Gruppen aufgeteilt. Eine Gruppe enthielt die Stoffe, die bei den Messungen für die Vergleichswerte des Umwelt-Surveys nach dem damaligen Stand der Technik erfaßt werden konnten und auch bei der aktuellen Messung auftraten. Die zweite Gruppe enthielt die Stoffe, die mit der für den Umwelt-Survey verwendeten Technik nicht erfaßt werden konnten, weil sie entweder durch das Desorptionsmittel verborgen wurden (wie Ethanol und Propanol), oder weil sie bei der damals verwendeten Desorptionstechnik praktisch nicht gemessen werden konnten (wie die höheren Glykole und Glykolester).

Tabelle 2: Anteile bekannter und neuer Stoffe an heutigen TVOC Messungen
Neubewertung von Raumluftmessungen verschiedener Institute aus 1998/1999

	Fall 1	Fall 2	Fall 3	Fall 4	Fall 5	Fall 6
Summe der Stoffe in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, die mit beiden Methoden erfaßt werden können	640	22	2.200	230	2.800	470
Summe der Stoffe in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, die nur mit der neuen Methode erfaßt werden können	320	750	1.600	480	2.400	770
Anteil der "neuen" Stoffe an der Gesamtbelastung	33 %	97 %	42 %	68 %	46 %	62 %

Der Tabelle ist zu entnehmen, daß zwischen 30 und 70 % (im Einzelfall noch mehr) der heute gemessenen Luftbelastung aus Stoffen besteht, die bei der Messung der Referenzwerte des Umwelt-Surveys 1985/86 nicht gemessen werden konnten. **Demnach werden heute in der Regel höhere Ergebnisse gemessen** als beim Umwelt-Survey 1985/86 - und zwar alleine **aus meßtechnischen Gründen**.

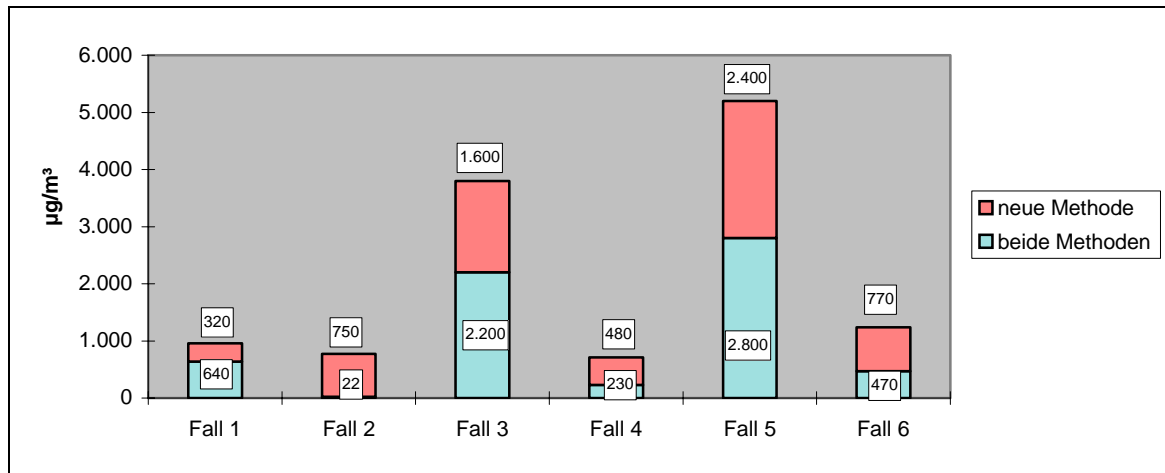


Abb. 1: TVOC Messungen mit alten und neuen Methoden
Neubewertung von Raumluftmessungen verschiedener Institute aus 1998/1999

2.4 Harmonisierung der VOC- und TVOC-Meßtechnik

Im Rahmen der ISO wird zur Zeit ein Normentwurf ISO 16000-6 zur Vereinheitlichung der TVOC-Bestimmung erarbeitet. Bei Redaktionsschluß dieser Studie lag der Entwurf als Committee Draft (Vorentwurf) vor¹. In dieser Norm wird ausschließlich die Meßtechnik geregelt, die Meßplanung wird hiervon nicht berührt. Sehr ähnliche Empfehlungen wurden von Seifert im Bundesgesundheitsblatt veröffentlicht¹ (im wesentlichen identisch mit dem Konzept im Entwurf einer VDI-Richtlinie 4300-6)². Die wesentlichen Bestimmungen beider Vorschläge sind:

- die Probenahme soll mit Tenax TA erfolgen,
- die Aufarbeitung soll mittels Thermodesorption erfolgen
- für die gaschromatographische Analyse soll eine unpolare Säule verwendet werden,
- zur Identifizierung soll ein Massenspektrometer und zur Quantifizierung soll ein Flammenionisationsdetektor verwendet werden (Seifert trifft keine Festlegung über den Detektor)
- alle Stoffe, die vom Gaschromatographen im Zeitfenster von n-Hexan bis n-Hexadecan eluiert werden, sollen in die Analyse einbezogen werden,
- so viele Stoffe wie möglich sollen identifiziert werden - auf jeden Fall aber sollen die 10 größten Meßsignale sowie 64 Stoffe identifiziert werden, die früher in Innenräumen gefunden werden konnten (Liste im Anhang I des Normentwurfs)
- mindestens $\frac{2}{3}$ des gesamten TVOC-Wertes soll auf individuell identifizierten und kalibrierten Stoffen beruhen (bei niedrigen TVOC-Werten bis $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - laut Seifert bis $1.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - genügt die Angabe als Toluol-Äquivalent für das gesamte Ergebnis),
- die nicht identifizierten Meßsignale sollen als Toluol-Äquivalent am FID berechnet werden,
- die Summe aller Stoffe ist der TVOC-Wert.



Der Normentwurf ISO/CD 16000-6 beschreibt das Meßverfahren ausreichend genau, um die Vergleichbarkeit von TVOC-Meßwerten wesentlich zu verbessern. Falls tatsächlich eine derartige Norm in Kraft tritt, würde eine rasche Übernahme des Verfahrens durch die Meßtechniker in diesem Bereich die Vergleichbarkeit der künftigen Meßergebnisse wesentlich verbessern.

Während der Normentwurf ISO/CD 16000-6 nur die Messung mittels aktiver Probenahme beschreibt, wird zur Zeit auch an einem Normentwurf für die passive Probenahme gearbeitet. Wenn die in der ISO/CD 16000-6 vorgesehenen Adsorbentien als Passivsammler eingesetzt werden, dann geschieht dies in der Regel in langen dünnen Edelstahlrohren, die sich bei Luftmessungen in Innenräumen relativ gut bewährten¹⁰. Insbesondere ist die im Kapitel 2.2.1 beschriebene Anfälligkeit für Minderbefunde bei einer geringen Luftbewegung für diese Art Sammler sehr gering.

2.5 Konsequenzen für die gutachterliche Bewertung in Meßberichten

Ein direkter Vergleich von TVOC-Werten aus verschiedenen Messungen ist nur möglich, wenn

- die Messungen unter vergleichbaren Lüftungsverhältnissen erfolgten,
- das gleiche Adsorptionsmedium gewählt wurde,
- eine vergleichbare Desorptionstechnik gewählt wurde,
- die Berechnung des TVOC auf gleichartige Weise durchgeführt wurde.

Ein direkter Vergleich von TVOC-Werten aus heute durchgeführten Messungen ohne Lüftung mit den TVOC-Werten aus dem Umwelt-Survey 1985/86 ist genau so wenig sachgerecht wie ein Vergleich von Geschwindigkeiten in Meilen pro Stunde und in Kilometer pro Stunde ohne Berücksichtigung der unterschiedlichen Maßeinheiten.

Referenzwerte oder Normalwerte für worst-case-Messungen ohne Lüftung und mit der künftigen TVOC-Methode der ISO 16000-6 liegen zur Zeit nicht vor. Für die Bewertung von Meßergebnissen in Schadensfällen mit Gesundheitsstörungen wäre ein solcher Meßdatenpool ausgesprochen hilfreich.



3 Literaturdaten über Raumlufbelastungen

In diesem Kapitel werden verschiedene Untersuchungen über Raumlufbelastungen zusammengefaßt dargestellt. Ein übersichtlicher Vergleich findet sich im Kapitel 5 der vorliegenden Studie, unter Einbeziehung der Meßdaten aus Kapitel 4.

3.1 Bundesweite Messungen (Umwelt-Surveys)

3.1.1 Umwelt-Survey 1985/1986

Zwischen Juni 1985 und April 1986 führte das Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Umweltbundesamts (damals noch des Bundesgesundheitsamts) eine Messung der flüchtigen organischen Stoffe in der Raumluf von 479 zufällig ausgewählten Wohnungen im gesamten Bundesgebiet durch¹.

Die Messung wurde unbeaufsichtigt während der normalen Nutzung und bei der normal üblichen Lüftung durchgeführt. Für einen Zeitraum von 14 Tagen wurde ein Aktivkohle-Passivsammler des Typs NMS Gasbadge in Kopfhöhe in der Mitte des Wohnzimmers installiert. Die aus der Raumluf gesammelten Stoffe wurden mit Schwefelkohlenstoff desorbiert und gaschromatographisch analysiert (vgl. Kap. 2.2.1 und 2.2.2). Als Detektoren wurden ein FID und für die halogenierten VOC ein ECD verwendet, jedoch kein Massenspektrometer. Diese Methodik entsprach dem damaligen Stand der Technik.

Die Meßdaten wurden statistisch ausgewertet, die Summenverteilung wurde als 10-, 50-, 90-, 95- und 98-Perzentil ausgedrückt (d.h. als Belastungshöhe, die jeweils an 10 %, 50 %, 90 %, 95 % und 98 % der Meßorte unterschritten wurde). Ferner wurden das arithmetische und das geometrische Mittel sowie der Maximalwert angegeben.

Die Meßdaten wurden für 42 Einzelstoffe sowie als Summenwerte für 14 Stoffgruppen dokumentiert. Diese Daten stellen die Grundlage für einen Vorschlag für VOC-Zielwerte dar, die häufig als sog. Seifert-Werte bezeichnet werden (vgl. Kap. 6.2) und als Grundlage für die Bewertungspraxis vieler Gutachter dienen (vgl. Kap. 7.1).

3.1.2 Umwelt-Survey 1990/1991

Zwischen Januar und Mai 1991 trugen 113 Probanden auf Veranlassung des Instituts für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Umweltbundesamts eine Woche lang einen Aktivkohle-Passivsammler des Typs 3M OVM-3500. Die aus der Raumluf gesammelten Stoffe wurden mit Schwefelkohlenstoff desorbiert und gaschromatographisch analysiert (vgl. Kap. 2.2.1 und 2.2.2). Die Meßdaten wurden für 74 Einzelstoffe sowie als Summenwerte für 14 Stoffgruppen dokumentiert¹.



Die Meßdaten wurden analog zum Umwelt-Survey 1985/1986 ausgewertet (Summenverteilung als 10-, 50-, 90-, 95- und 98-Perzentil, arithmetisches und geometrisches Mittel und Maximalwert). Aus einem begleitenden Fragebogen wurden darüber hinaus verschiedene mögliche Einflüsse auf die Belastungshöhe entnommen (Aufenthaltszeiten, Raummerkmale, spezielle Belastungen), um die Korrelation zwischen diesen Einflüssen und der Belastungshöhe zu prüfen.

3.1.3 Zusammenfassung einiger Ergebnisse

Tabelle 3: Ergebnisse der Umwelt-Surveys 1985/86 und 1990/91

	Wohnzimmer, 1985/1986 ¹⁸			An Personen getragen, 1990/1991 ¹⁹		
	50-Perzentil	95-Perzentil	Maximal	50-Perzentil	95-Perzentil	Maximal
TVOC µg/m ³	329	928	2.660	511	2.813	20.055

Angesichts der Meßgenauigkeit von mindestens $\pm 10\%$ (relative Standardabweichung) sollten diese Werte nicht als so genau angesehen werden, wie es die Angabe von bis zu 5 signifikanten Stellen durch die Autoren nahelegt. Es läßt sich nicht sicher zwischen 329 und 339 µg/m³ unterscheiden, sondern allenfalls zwischen 330 und 370 oder 290 µg/m³ (also + 10 % und - 10 %). Statt 20.055 µg/m³ wäre eine Angabe als 20.000 µg/m³ eher angemessen.

Bei den personengebundenen Messungen konnten erhöhte TVOC-Belastungen auf berufliche Einflüsse, auf häusliche Arbeiten mit Lacken und Farben sowie auf häufiges Lesen von Zeitungen und Zeitschriften zurückgeführt werden. Für 1,1,1-Trichlorethan wurde ein Zusammenhang der Atemluftbelastung mit Büroarbeit, für Tetrachlorethen ein Zusammenhang mit dem Aufenthalt in chemischen Reinigungen sowie dem Tragen frisch gereinigter Kleidung nachgewiesen. Rauchen, ein häufiger Aufenthalt in rauchbelasteten Räumen und die Benutzung von Kraftfahrzeugen korrelierten mit erhöhten Belastungen durch aromatische Kohlenwasserstoffe.

Eine Zunahme der Belastung durch Terpene bei der zweiten Messung gegenüber den 5 Jahre früher durchgeführten stationären Messungen wurde auf eine Veränderung der im Wohnbereich verwendeten Produkte zurückgeführt.

3.2 Meßtechnische Untersuchungen in Schleswig-Holstein

Im Mai 1998 wurde eine Teilauswertung von 188 Raumlufmessungen des Landesamtes für Natur und Umwelt (LANU) mit Aktiv- und mit Passivprobenahme in neuen Wohngebäuden (jeweils 1 bis 3 Jahre nach deren Fertigstellung) in Schleswig-Holstein^{4,5} vorgelegt und mit Ergebnissen von



294 Raumlufmessungen des LANU in renovierten Gebäuden¹ mit gesundheitlichen und/oder Geruchsproblematiken zwischen 1995 und 1997 verglichen.

Tabelle 4: Ergebnisse von Raumlufmessungen in Schleswig-Holstein

	Neubauten nach 1 - 3 Jahren, 1997 ^{4,5}			nach Renovierungen, 1995/1997 ²⁰		
	50-Perzentil	95-Perzentil	Maximal	50-Perzentil	95-Perzentil	Maximal
TVOC µg/m ³	160	650	1.400	117	1.160	4.800

3.3 Meßtechnische Untersuchungen in Leipzig

Zwischen 1994 und 1997 wurde die Raumlufbelastung durch einen Teil der VOC (Kohlenwasserstoffe, Chlorkohlenwasserstoffe und Terpene) in 313 Leipziger Wohnungen mit Neugeborenen, in 88 Wohnungen mit Vorschulkindern und in 13 Kindergärten¹ ermittelt.

Die Luft in den Kindergärten enthielt wesentlich weniger der gemessenen Stoffe als die Luft in den Wohnungen, die Außenluft war noch weniger belastet.

Im Vergleich zum Umwelt-Survey 1985/86 (vgl. Kap. 3.1.1) ergaben sich niedrigere Ergebnisse für Chlorkohlenwasserstoffe und für aromatische Kohlenwasserstoffe, während die Luftbelastung durch Alkane und durch Terpene höhere Werte ergab.

Da nur ein Teil des VOC-Stoffspektrums gemessen wurde, stehen keine TVOC-Werte zur vergleichenden Bewertung zur Verfügung. Deshalb wurde hier auf eine tabellarische Darstellung verzichtet.

3.4 Meßtechnische Untersuchungen in Frankfurt

Zwischen Juni und Juli 1996 trugen 13 Anwohner von Tankstellen und 6 Kontrollpersonen in Frankfurt am Main eine Woche lang einen Aktivkohle-Passivsammler des Typs 3M OVM-3500. Die aus der Raumluf gesammelten Stoffe wurden mit Schwefelkohlenstoff desorbiert und gaschromatographisch analysiert (vgl. Kap. 2.2.1 und 2.2.2.). Die Meßdaten wurden für Einzelstoffe sowie als Summe der identifizierten Stoffe und als TVOC dokumentiert¹.

Die Meßdaten wurden statistisch ausgewertet und das arithmetische Mittel und der Maximalwert angegeben. Aus einem begleitenden Fragebogen wurden verschiedene mögliche Einflüsse auf die



Belastungshöhe entnommen (Aufenthaltszeiten, Raummerkmale, spezielle Belastungen), um die Korrelation zwischen diesen Einflüssen und der Belastungshöhe zu prüfen.

Aufgrund der geringen Fallzahl ist ein Vergleich der TVOC-Werte mit den Werten aus anderen Studien problematisch. Deshalb wurde hier auf eine tabellarische Übersicht verzichtet.

Die personengebundenen Meßergebnisse für den Summenwert TVOC waren für die Tankstellenanwohner 20 bis 25 % höher als für die Kontrollpersonen, während sich bei den Ergebnissen für die einzelnen Stoffe kein Unterschied zeigte. Im Vergleich zum Umwelt-Survey 1990/91 (vgl. Kap. 3.1.2), bei dem ebenfalls an Personen gemessen wurde, ergaben sich niedrigere Ergebnisse für alle Stoffe, was im wesentlichen auf jahreszeitliche Einflüsse zurückgeführt wurde (vermehrter Aufenthalt im Freien).

3.5 European Audit Project

Im Jahre 1994 wurden Raumlufmessungen in 56 Bürogebäuden in 9 europäischen Ländern durchgeführt¹. In jeweils mehreren Räumen, in der Außenluft und ggf. in der Zuluft einer Lüftungsanlage wurde eine aktive Luftprobenahme auf Tenax TA durchgeführt. Die Auswertung des TVOC-Werts erfolgte nach Thermodesorption und Gaschromatographie als Toluol-Äquivalent am Flammenionisationsdetektor.

50 % aller TVOC-Meßergebnisse lagen unter 200 µg/m³, die meisten Ergebnisse lagen unter 500 µg/m³, nur 2 Ergebnisse lagen über 1.000 µg/m³ (bei 1.800 µg/m³).

Tabelle 5: Ergebnisse von Raumlufmessungen in 56 Bürogebäuden (EAP)

	56 Bürogebäude in 9 Ländern, 1994 ²³		
	50-Perzentil	95-Perzentil	Maximal
TVOC µg/m ³	200	500	1.800



4 Auswertung von Gutachten und Raumlufmessungen

Im Rahmen der Gutachtertätigkeit des Umweltinstituts MILJÖ-CHEMIE wurden zahlreiche Messungen der Raumluf in Gebäuden durchgeführt (überwiegend in Bürogebäuden).

Solche Messungen wurden aus folgenden Anlässen durchgeführt:

- die Nutzer der Räume klagten über Befindlichkeitsstörungen oder über Geruchsbelästigungen, in einzelnen Fällen auch über objektivierbare Krankheitssymptome,
- aus Vorsorgegründen sollte die Raumlufbelastung ermittelt werden,
- nach dem Abschluß von Baumaßnahmen sollte die Raumlufbelastung vor der Übergabe der Räume an die Nutzer ermittelt werden - insbesondere zur Erfolgskontrolle für Bemühungen um die Verwendung emissionsarmer Bauprodukte.

4.1 Konzeption der gutachterlichen Untersuchungen

Wenn die Messung durch Beschwerden der Raumnutzer veranlaßt worden war, wurde aufgrund der vorgetragenen Details im Vorwege entschieden, ob neben der Raumlufmessung auch eine Überprüfung der Staub- und der Faserbelastung sowie des Raumklimas, der Beleuchtung und der ergonomischen Gestaltung der Arbeitsplätze sinnvoll erschien. In vielen Fällen wurde auch auf eine Raumlufmessung zugunsten der nicht-chemischen Prüfungen verzichtet.

Die Meßstrategie wurde gemäß der VDI-Richtlinie 4300-1 Abs. 5 festgelegt². Die Meßräume wurden entweder als repräsentative Räume für das Gebäude ausgewählt, oder es wurden gezielt Meßräume ausgewählt, deren Nutzer besonders über Gesundheitsstörungen klagten.

Die Raumlufmessungen wurden ortsfest in der Raummitte durchgeführt. Die Meßgeräte wurden in Büroräumen in 1,20 Meter Höhe aufgestellt - in Anlehnung an die mittlere Höhe von Mund und Nase sitzender Erwachsener. In Wohnungen u. dgl. wurden die Messungen dagegen üblicherweise in 1,00 Meter Höhe durchgeführt - in Anlehnung an die mittlere Höhe von Mund und Nase bei Kindern.

In fast allen Fällen wurde eine Vergleichsmessung entweder in der Außenluft oder in der Luft eines offensichtlich unbelasteten Raums durchgeführt.

In der Regel wurden die Messungen außerhalb der normalen Nutzung als sogenannte worst-case-Messung durchgeführt. Dafür wurden die Meßräume am Vortag gründlich gelüftet und anschließend bis zum Abschluß der Raumlufmessung geschlossen gehalten. Mit diesem Vorgehen sollte



die Maximalbelastung ermittelt werden, die sich aus den stationären Emissionsquellen im Raum ergab. Die tatsächliche Belastung durch die ermittelten Stoffe wird bei der normalen Nutzung in der Regel erheblich niedriger sein, da die emittierten Stoffe durch Lüftungsmaßnahmen verdünnt werden.

Falls eine raumluftechnische Anlage vorhanden war, wurde diese während der Messung im normalen Betriebszustand gefahren.

Wenn Raumlufmessungen durchgeführt wurden, dann umfaßte das Meßprogramm in der Regel eine Übersichtsmessung der flüchtigen organischen Stoffe, wobei auch weniger flüchtige Stoffe (mit einem Siedepunkt von bis zu circa 300 °C) erfaßt wurden. In der Regel wurde parallel eine Messung der flüchtigen Aldehyde durchgeführt.

Spezielle Stoffe wie Isocyanate, Polychlorierte Biphenyle, Holzschutzmittel, Asbest u.a. wurden nur in speziellen Fällen bei besonderen Verdachtsmomenten untersucht. Derartige Messungen sowie die Messung der flüchtigen Aldehyde (Form- und Acetaldehyd, Propanal, Butanal, Pentanal) wurden in der vorliegenden Studie nicht ausgewertet. Diese Stoffe wurden auch nicht in die Berechnung der Summe der flüchtigen organischen Stoffe (TVOC) einbezogen.

4.2 Untersuchungsmethoden für die Raumlufmessung

4.2.1 Messung der flüchtigen organischen Stoffe

In der Regel erfolgte die Probenahme mit kalibrierten Probenahmepumpen auf zwei in Serie geschaltete Edelstahlrohre mit Füllungen aus Tenax TA (Front-Rohr) und Chromosorb 106 (Back-up-Rohr). Der thermischen Desorption bei 300 °C (für Tenax TA) und bei 250 °C (für Chromosorb 106) folgte die Auswertung mit Gaschromatographie/Massenspektroskopie gemäß der ISO/CD 16017-1⁷. Die Wiederfindungsraten für die beteiligten Stoffe lagen bei der Messung mit Tenax/Chromosorb bei über 95 %.

Ältere Meßergebnisse wurden ermittelt durch parallele Probenahme auf Aktivkohle und XAD-II, getrennte Lösemitteldesorption und Auswertung mit Gaschromatographie/Massenspektroskopie. Die Wiederfindungsraten für einige beteiligte Stoffe sind von Aktivkohle sehr niedrig und für andere Stoffe von XAD-II. Deshalb wurden beide Methoden als gegenseitige Ergänzung eingesetzt. Zusätzlich wurde das Desorptionsgleichgewicht bei der Kalibrierung durch Zugabe des Adsorptionsmittels zu den Kalibrierlösungen experimentell berücksichtigt.

Die Nachweisgrenzen lagen für beide Methoden bei circa 1 - 5 µg/m³ je Einzelstoff, die Bestimmungsgrenzen in den meisten Fällen bei 10 - 50 µg/m³ je Einzelstoff, die Präzision bei ± 10 - 20 % (jedoch mit einer erhöhten Ungenauigkeit im Spurenbereich nahe der Nachweisgrenze).



Die Präsenz der folgenden 52 Einzelstoffe wurde regelmäßig überprüft: Ethanol, iso-Propanol, n-Butanol, iso-Butanol, Ethylacetat, n-Butylacetat, iso-Butylacetat, Aceton, 2-Butanon, Hexanal, Heptanal, Octanal, Nonanal, Dichlormethan, 1,1,1-Trichlorethan, Trichlorethen, Tetrachlorethen, α -Pinen, 3-Karen, Limonen, 1-Octen-3-ol, 3-Methyl-1-butanol, 2-Hexanon, 2-Heptanon, Benzol, Toluol, Xylol (inkl. Ethylbenzol), Styrol, C9-Aromaten (Mesitylen, Propylbenzol usw.), Naphthalin, n-Pentan, n-Hexan, n-Heptan, n-Octan, n-Nonan, n-Decan, n-Undecan, n-Dodecan, n-Tridecan, n-Tetradecan, n-Pentadecan, 4-Vinylcyclohexen, 4-Phenylcyclohexen, Phenol, 2-Phenoxyethanol, Butylglykol, Butylglykolacetat, Butyldiglykol, Butyldiglykolacetat, Triisobutylene, Texanol, 2-Ethylhexanol. Andere Stoffe wurden ausgewertet, wenn sie bei der Analyse ein auffälliges Meßsignal ergaben.

4.2.2 TVOC - Summe der flüchtigen organischen Stoffe

Die "Summe der flüchtigen organischen Stoffe" (TVOC) wurde in der Regel als Toluol-Äquivalent ermittelt, also durch Berechnung der gesamten Signalfläche im Chromatogramm mit dem Kalibrierfaktor für Toluol. Dies entspricht **nicht** der künftigen ISO-Definition des TVOC¹⁶. Der Unterschied ist allerdings nicht sehr groß - für die hier eingesetzte Berechnungsmethode läßt sich ein Minderbefund von 5 bis 15 % gegenüber der ISO-Definition des TVOC abschätzen¹⁴.

4.2.3 Qualitätssicherung

Alle Messungen wurden im Zentrallabor der MILJØ-KEMI-Gruppe in Galten/Dänemark mit Analysenmethoden durchgeführt, die durch DANAK unter der Nr. 168 gemäß EN 45001 akkreditiert worden sind. Die EN 45001 ist eine Konkretisierung der ISO 9001 für Untersuchungslabors, die jedoch im Unterschied zur ISO 9001 nicht nur die Konstanz der Qualität regelt, sondern darüber hinaus scharfe Anforderungen an das Qualitätsniveau enthält. Die EN 45001 soll in absehbarer Zeit durch die ISO 17025-1 abgelöst werden. Die Richtigkeit der Analysen wurde durch Mitführen von Kontrollproben, die an einem dynamischen Prüfgasgenerator hergestellt wurden, sowie durch Teilnahme an Ringversuchen sichergestellt.

In allen Fällen wurden Blindproben mitgeführt und ausgewertet, um eine eventuelle Kontamination der Proben auf dem Weg zum Labor erkennen zu können. In der Regel wurde eine Vergleichsmessung entweder in der Außenluft oder in der Luft eines offensichtlich unbelasteten Raums durchgeführt.

4.3 Ergebnisse der Auswertung

Alle im folgenden ausgewerteten Ergebnisse entstammen **nicht** einer repräsentativen Stichprobe. Dennoch können sie Hinweise auf die Belastung der Raumluft in Büroräumen durch flüchtige organische Stoffe in den Jahren 1994 bis 1998 geben. Die Meßdaten beruhen auf insgesamt 167 Luftmessungen in 67 Gebäuden sowie auf 25 begleitenden Messungen in der Außenluft, überwie-

gend in städtischer Umgebung. Alle Meßdaten wurden vor der Auswertung für diese Studie vollständig anonymisiert, um den Datenschutz der Beteiligten zu gewährleisten.

4.3.1 Bewertung der Ursachen im Falle von Beschwerden

59 Gutachten, die wegen Beschwerden wie Kopfschmerzen und Reizung der Haut, der Augen oder der Atemwege durchgeführt wurden, und die eine oder mehrere mögliche Ursachen identifizierten, wurden ausgewertet.

In nur 41 dieser Fälle wurde eine Raumluftmessung durchgeführt - entweder weil die Raumluftbelastung als Ursache der vorgetragenen Beschwerden denkbar war, oder weil der Auftraggeber trotz gegenteiliger Beratung auf einer Raumluftmessung bestand. In den anderen Fällen wurden nach einer Beurteilung beispielsweise des Raumklimas Maßnahmen zur Abhilfe empfohlen, ohne daß eine Messung chemischer Stoffe in der Raumluft durchgeführt wurde.

Eine mögliche Ursache wurde als solche ausgewiesen, wenn eine auffällige Abweichung vom Normal- oder Komfortbereich vorlag, und wenn die vorgetragenen Symptome zu dieser Abweichung paßten. Der Norm- und der Komfortbereich ergaben sich aus den Anforderungen der Arbeitsstättenverordnung und der DIN 1946 Teil 2; zu den Normalwerten für Raumluftbelastungen vgl. Kap. 6.2.

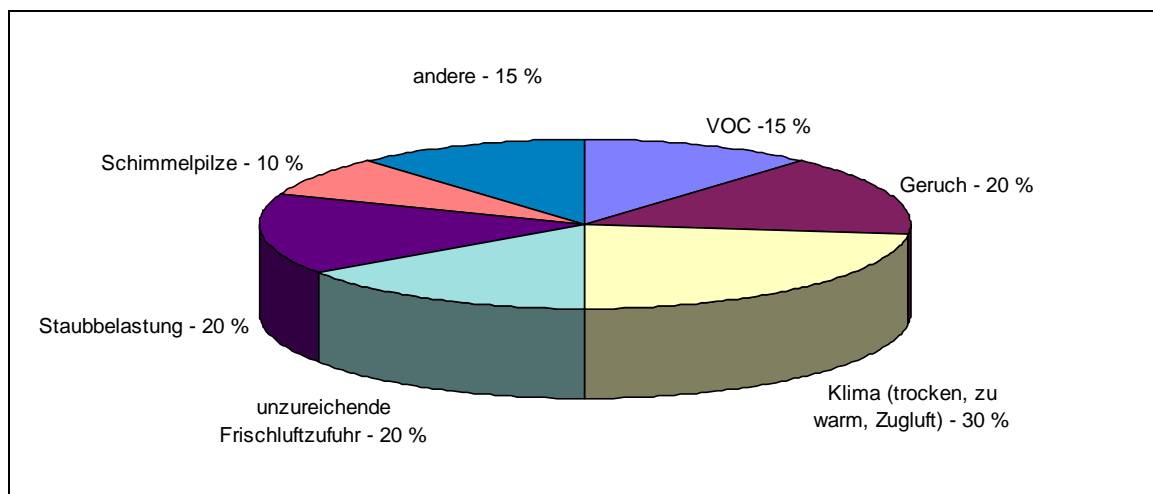


Abb. 2: Beurteilung der gebäudebezogenen Ursachen von Gesundheitsstörungen in 59 Gebäuden durch die Gutachter des Umweltinstituts MILJÖ-CHEMIE. Die Summe ergibt mehr als 100 %, da in einigen Fällen mehrere Ursachen benannt wurden. In den letzten 3 Monaten (z.T. sehr viel länger) wurden keine Baumaßnahmen durchgeführt.

Mit dieser Vorgehensweise konnte allerdings nicht zweifelsfrei entschieden werden, ob Gesundheitsstörungen einzelner Personen tatsächlich auf die benannten Ursachen zurückzuführen waren. Eine Besserung der Symptome nach Beseitigung des gerügten Mangels kann als Indiz für eine



zutreffende Diagnose gewertet werden. Aufgrund möglicher Placebo-Effekte genügt dieser Erfolg jedoch nicht als Beweisführung für einen Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung.

4.3.2 Raumlufmessungen

In die Tabelle 6 "**95 Raumlufmessungen (1994-1998) ohne Baumaßnahmen**" wurden Meßdaten aufgenommen, wenn in den zurückliegenden 3 Monaten keine umfangreichen Bau- oder Renovierungsarbeiten oder Neumöblierungen im Gebäude ausgeführt worden waren. Der überwiegende Teil (80 %) dieser Messungen wurde in Räumen durchgeführt, in denen die Nutzer der Räume über Gerüche, Reizerscheinungen oder Kopfschmerzen klagten. In 20 % der Fälle standen andere Symptome im Vordergrund. Ausgewertet wurden Messungen **zwischen 1994 und 1998 in 41 Gebäuden in 5 Bundesländern**.

In die Tabelle 7 "**72 Raumlufmessungen (1994-1998) höchstens 3 Monate nach Baumaßnahmen**" wurden Meßdaten aufgenommen, wenn höchstens 3 Monate vorher umfangreiche Bau- oder Renovierungsarbeiten oder Neumöblierungen im Gebäude ausgeführt worden waren. Ein Viertel der Messungen wurde aufgrund von Gerüchen oder von Beschwerden der Nutzer im Gebäude durchgeführt, drei Viertel der Messungen wurden zur Bauabnahme oder aus Vorsorgegründen veranlaßt. In einigen Fällen wurden während der Messungen in der Nachbarschaft Abschlußarbeiten am Bau durchgeführt. Ausgewertet wurden Messungen **zwischen 1994 und 1998 in 26 Gebäuden in 10 Bundesländern**.

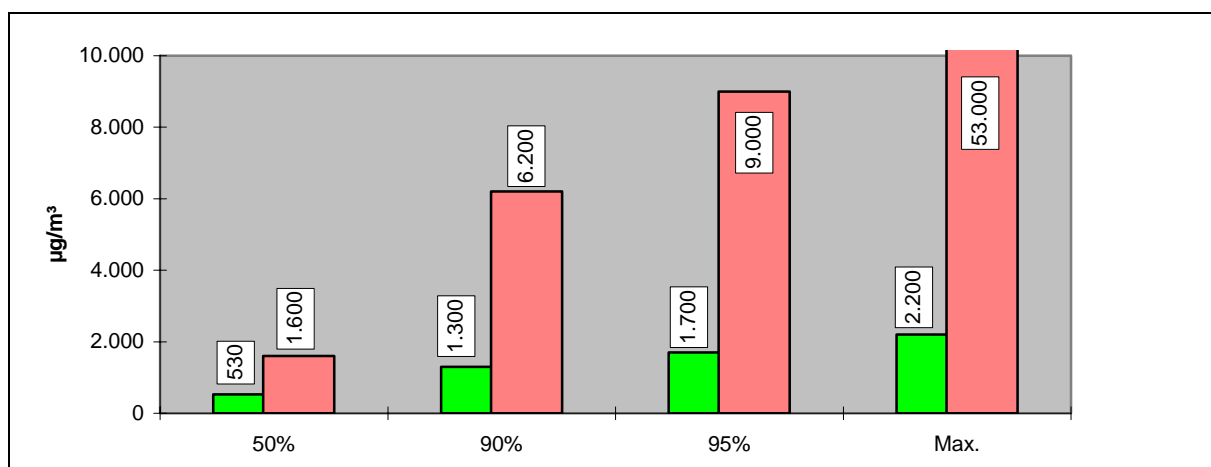


Abb. 3: Ergebnisse: TVOC in der Raumluf von Bürogebäuden

links: ohne Baumaßnahmen, mit Symptomen - rechts: nach Baumaßnahmen, ¼ mit Symptomen
Weitere Einzelheiten siehe Tabelle 6 und Tabelle 7

Die Meßdaten werden als Median, 90-Perzentil, 95-Perzentil und Maximalwert angegeben. Der Median gibt die Luftbelastung an, die in der Hälfte der Fälle nicht überschritten wurde. Das 90- und das 95-Perzentil geben die Luftbelastungen an, die in 90 % und in 95 % der Fälle unterschritten wurden. Da nicht bei jeder Raumlufmessung alle Einzelstoffe ausgewertet wurden, ließ sich der Median in vielen Fällen für Einzelstoffe und für einzelne Stoffgruppen aufgrund einer zu geringen Fallzahl nicht sinnvoll angeben. In diesen Fällen enthalten die Tabellen den Eintrag n.a. (nicht auswertbar).

4.3.2.1 Raumlufte in Gebäuden ohne Bauarbeiten, Renovierung oder Neumöblierung

Tabelle 6: 95 Raumluftemessungen (1994-1998) ohne Baumaßnahmen
in den zurückliegenden 3 Monaten in 41 Gebäuden in 5 Bundesländern

	Median µg/m ³	90-Perzentil µg/m ³	95-Perzentil µg/m ³	Maximalwert µg/m ³
TVOC	530	1.300	1.700	2.200
Alkane	n.a.	390	530	1.700
Aromatische Kohlenwasserstoffe	23	160	270	790
davon am häufigsten:				
Toluol	12	81	230	730
Xylol-Gemisch	n.a.	35	58	320
Terpene	n.a.	67	100	230
Halogenierte Kohlenwasserstoffe	n.a.	10	32	270
Ester	n.a.	96	140	700
davon am häufigsten:				
Ethylacetat	n.a.	17	42	110
Butyldiglykolacetat	n.a.	6	34	550
Aldehyde, Ketone (ohne Formaldehyd)	44	120	150	350
davon am häufigsten:				
Aceton	16	78	135	220
Sonstige	110	420	620	1.300
davon am häufigsten:				
Ethanol	18	190	310	1.200
iso-Propanol	n.a.	78	190	870
1-Methoxypropanol	n.a.	51	96	470
Butyldiglykol	n.a.	7	34	60
2-Phenoxyethanol	n.a.	17	31	210

n.a.: nicht auswertbar aufgrund einer zu geringen Fallzahl

Messung ohne Lüftung, ohne Nutzung der Räume, Aktivprobenahme, Analyse vgl. Kap. 4.2

4.3.2.2 Raumlufte in Gebäuden nach Bauarbeiten, Renovierung oder Neumöblierung

Tabelle 7: 72 Raumlufte messungen (1994-1998) höchstens 3 Monate nach Baumaßnahmen in 26 Gebäuden in 10 Bundesländern

	Median µg/m ³	90-Perzentil µg/m ³	95-Perzentil µg/m ³	Maximalwert µg/m ³
TVOC	1.600	6.200	9.000	53.000
Alkane	88	3.200	6.300	35.000
Aromatische Kohlenwasserstoffe	160	780	1.500	7.300
davon am häufigsten:				
Toluol	13	120	200	5.800
Xylol-Gemisch	40	400	530	740
Gemische aus C9-Aromaten	n.a.	360	760	1.600
Terpene	n.a.	120	470	1.700
Halogenierte Kohlenwasserstoffe	n.a.	n.a.	23	2.200
Ester	47	900	1.300	4.200
davon am häufigsten:				
Ethylacetat	n.a.	280	1.200	3.900
n-Butylacetat	n.a.	110	260	430
Butyldiglykolacetat	n.a.	15	100	1.000
Aldehyde, Ketone (ohne Formaldehyd)	140	1.300	1.500	4.000
davon am häufigsten:				
Aceton	100	990	1.300	2.700
Sonstige	240	780	1.100	1.800
davon am häufigsten:				
Ethanol	n.a.	90	160	660
iso-Propanol	n.a.	190	280	960
n-Butanol	n.a.	160	200	370
1-Methoxypropanol	n.a.	86	180	450
Butyldiglykol	n.a.	74	180	620
2-Phenoxyethanol	n.a.	120	190	770

n.a.: nicht auswertbar aufgrund einer zu geringen Fallzahl

Messung ohne Lüftung, ohne Nutzung der Räume, Aktivprobenahme, Analyse vgl. Kap. 4.2

4.3.2.3 Außenluftbelastungen

Ein Teil der Raumlufmessungen wurde von einer Außenluftmessung als Referenzmessung begleitet. In anderen Fällen wurden offensichtlich unbelastete Räume zur Referenzmessung herangezogen. In wenigen Fällen mußte aus wirtschaftlichen Gründen (entgegen der fachlichen Beratung durch den Gutachter) auf eine Referenzmessung verzichtet werden.

Die Tabelle enthält die Ergebnisse, die bei den Referenzmessungen in der Außenluft erhalten wurden. Höhere Einzelwerte traten vereinzelt auf Baustellen auf und konnten in der Regel entsprechenden Arbeiten in räumlicher Nähe des Meßorts zugeordnet werden.

Aufgrund der geringen Fallzahl, und da nicht in jedem Fall alle Einzelstoffe ausgewertet wurden, ließ sich der Median nicht sinnvoll für Einzelstoffe und für einzelne Stoffgruppen angeben.

Tabelle 8: 25 Außenluftmessungen (1994-1998) in städtischer Umgebung

	Median µg/m ³	90-Perzentil µg/m ³	95-Perzentil µg/m ³	Maximalwert µg/m ³
TVOC	85	260	510	1.370

Aktivprobenahme, Analyse vgl. Kap. 4.2

Am häufigsten (bei 12 Messungen) wurden in der Außenluft Kohlenwasserstoffgemische festgestellt (90-Perzentil 89 µg/m³, 95-Perzentil 380 µg/m³), die in der Regel Aromaten enthielten (90-Perzentil 63 µg/m³, 95-Perzentil 87 µg/m³).

Erhöhte Benzolwerte in der Außenluft wurden (bis auf einen Ausnahmefall mit 23 µg/m³) nicht festgestellt, chlorierte Kohlenwasserstoffe waren ebenfalls nicht auffällig.

Bei der Bewertung dieser Feststellungen ist allerdings zu berücksichtigen, daß die Außenluftmessungen nicht auf die Feststellung von Spuren einzelner Stoffe ausgerichtet waren.



4.3.2.4 Erläuterungen

Die Werte der Tabelle 6 (ohne Baumaßnahmen) sind größer als entsprechende Werte aus mehreren Querschnittuntersuchungen. Als Ursachen für diesen Unterschied kommen in Frage:

- Unterschiedliche Meßtechnik. Die hier ausgewerteten Messungen erfaßten die VOC-Gemische vollständiger als die früher übliche Messung mit Aktivkohle-Adsorption und CS₂-Desorption.
- Unterschiedliche Rahmenbedingungen. Die hier ausgewerteten Messungen wurden ohne Lüftung durchgeführt, während ein Teil der Querschnittuntersuchungen mit dem normalerweise üblichen Lüftungsverhalten durchgeführt wurden.
- Unterschiedliche Auswahl der Gebäude. Die in Tabelle 6 ausgewerteten Messungen wurden in Gebäuden durchgeführt, in denen die Nutzer über Gerüche oder über Gesundheitsstörungen klagten.

Die Werte der Tabelle 7 (nach Baumaßnahmen) sind größer als entsprechende Werte aus 188 neuen und aus 294 renovierten Häusern in Schleswig-Holstein (vgl. Kap. 3.2). Als Ursachen für diesen Unterschied kommen in Frage:

- Unterschiedliche Meßtechnik. Die hier ausgewerteten Messungen erfaßten die VOC-Gemische vollständiger als die früher häufig eingesetzte Messung mit Aktivkohle-Adsorption und CS₂-Desorption.
- Unterschiedlicher Zustand der Gebäude. Die hier ausgewerteten Messungen wurden überwiegend sehr kurz nach Freigabe der Räume durchgeführt. Während eines Teils der hier dokumentierten Messungen wurden in der Nähe noch Bauarbeiten durchgeführt, wodurch einzelne Meßergebnisse beeinflußt sein können. Dennoch sind die vorgelegten Zahlen realitätsnah, da die meisten der Räume bereits während oder kurz nach den Messungen genutzt wurden.

Bemerkenswert ist, daß die Nutzer der neuen Bürogebäude nur in 25 % der Fälle über Gerüche oder über Gesundheitsstörungen klagten, obwohl diese Gebäude höher belastet waren als die Gebäude, deren Ergebnisse in Tabelle 6 dargestellt wurden.

5 Vergleich der vorliegenden Untersuchungen

Im folgenden werden die zitierten Studien gegenüber gestellt und verglichen. Entscheidend ist, daß die Meßergebnisse nicht isoliert gesehen, sondern im Zusammenhang mit ihrer Entstehungsgeschichte bewertet werden. Insbesondere müssen die äußeren Umstände bei der Messung, der Gebäudezustand und die verwendete Meßtechnik in die Betrachtung einbezogen werden.

Zur Bedeutung und zum Einfluß der wichtigsten Parameter sei auf Kapitel 2 verwiesen.

Tabelle 9: Liste der ausgewerteten Studien

Kurztitel	vgl. Kap.	Zeitraum	Symptome berichtet:	durchgeführt von
Survey 85/86 ¹⁸	3.1.1	1985/86	nein	Bundesgesundheitsamt (heute: Umweltbundesamt)
Survey 90/91 ¹⁹	3.1.2	1990/91	nein	
SH Neubau ^{4,5}	3.2	1995/97	ja	Landesamt für Natur und Umwelt
SH Renov. ^{4,20}	3.2	1995/97	ja	
EAP ²³	3.5	1994	unbestimmt	Europäische Projektgruppe
MC, Sympt.	4.3.2.1	1994/98	ja	MILJÖ-CHEMIE
MC Neu, ¼ Sympt.	4.3.2.2	1994/98	bei 25 %	

SH: Schleswig-Holstein
MC: MILJÖ-CHEMIE

EAP: European Audit Project
Sympt.: Symptome

Die Studie aus Leipzig²¹ (vgl. Kap. 3.3) wurde nicht in diese Auswertung einbezogen, weil nur ein Teil der VOC gemessen wurde. Die Studie aus Frankfurt²² (vgl. Kap. 3.4) wurde aufgrund der geringen Fallzahl nicht in diese Auswertung einbezogen.



Tabelle 10: Gebäudezustand und Rahmenbedingungen während der Messungen

Kurztitel	Gebäudezustand	Nutzung	Lüftung
Survey 85/86	unbestimmt	ja	ja
Survey 90/91	(Messung an der Person)	ja	ja
SH Neubau	1 bis 3 Jahre alt	nein	nein
SH Renov.	nach Baumaßnahmen	nein	nein
EAP	unbestimmt	ja	ja
MC Sympt.	keine Baumaßnahmen seit mind. 3 Monaten	nein	nein (außer bei RLT)
MC Neu ¼ Sympt.	nach Baumaßnahmen in den letzten 3 Monaten	nein	nein (außer bei RLT)

Tabelle 11: Meßtechniken zur VOC-Messung

Kurztitel	Probenahme		Desorption		Analyse: GC mit	
	Aktivkohle	Tenax TA	CS ₂	TD	MS	FID
Survey 85/86	X		X			X
Survey 90/91	X		X			X
SH Neubau	X		X			X
SH Renov.	X		X			X
EAP		X		X		X
MC Sympt.		übw.		übw.	X	
MC Neu ¼ Sympt.		übw.		übw.	X	

RLT: Raumluftechnische Anlage

GC: Gaschromatographie

CS₂: Schwefelkohlenstoff

TD: Thermodesorption

MS: Massenspektroskopie

FID: Flammenionisationsdetektor

übw.: überwiegend (einige Messungen mit Aktivkohle/XAD-II, vgl. Kap. 4.2.1)

Weitere Abkürzungen: siehe Tabelle 9.

Tabelle 12: Ergebnisse der TVOC-Messungen

Kurztitel	50-Perzentil TVOC $\mu\text{g}/\text{m}^3$	95-Perzentil TVOC $\mu\text{g}/\text{m}^3$	wichtige Parameter der Messung
Survey 85/86	330	930	AK/FID/oS
Survey 90/91	510	2.800	AK/FID/oS
SH Neubau	160	650	AK/FID/mS
SH Renov.	120	1.200	AK/FID/mS
EAP	200	500	TA/FID
MC Sympt.	530	1.700	TA/MS/mS
MC Neu ¼ Sympt.	1.600	9.000	TA/MS/twS

AK: Aktivkohle
FID: Flammenionisationsdetektor
oS: ohne Symptome
twS: teilweise mit Symptomen
TA: Tenax TA
MS: Massenspektrometer
mS: mit Symptomen

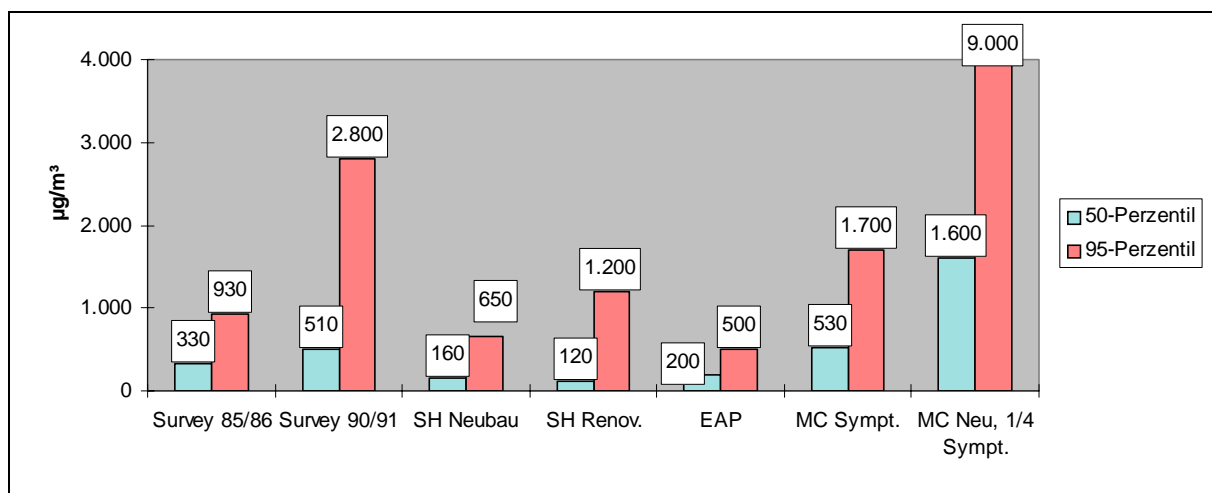


Abb. 4: Ergebnisse TVOC aus verschiedenen Studien
Zu Hintergrund und Details der Studien vgl. Tabelle 9 bis Tabelle 12



Ein bewertender Vergleich der Studien läßt folgende Aussagen zu:

- Die Messung des TVOC in Anlehnung an die künftige TVOC-Definition der ISO 16000-6 führt tendenziell zu höheren Werten als bei Verwendung der bisher üblichen Meßtechniken
 - vgl. die Studien MC Sympt. und MC Neu gegenüber den anderen Studien und die Kapitel 2.2.2 und 2.3.,
 - Die EAP-Studie liefert entgegen dieser Tendenz vergleichsweise niedrige Werte, was aber darauf zurückzuführen ist, daß in den Räumen bei normaler (häufig technischer) Lüftung gemessen wurde.
- Eine Dosis-Wirkungsbeziehung für den TVOC-Wert und das Auftreten von Gesundheitsstörungen ist nicht unmittelbar erkennbar. Die drei Studien, bei denen Messungen aufgrund vortragener Beschwerden durchgeführt wurden (SH Neubau, SH Renov. und MC Sympt.), lieferten
 - nur wenig höhere TVOC-Werte als zufällig ausgewählte Meßorte (Survey 1985/86, SH Neubau, EAP) und sogar
 - niedrigere TVOC-Werte als Messungen in neuen Gebäuden, in denen nur in 25 % der Fälle Symptome beobachtet wurden (MC Neu).
- Messungen an Personen liefern tendenziell höhere Werte als ortsfeste Messungen
 - vgl. hierzu den Unterschied von Survey 90/91 und Survey 85/86.
- Bei einer Detailbetrachtung (vgl. Kap. 3 und 4.3.2) lassen sich darüber hinaus folgende Tendenzen erkennen:
 - Der Anteil der chlorierten Kohlenwasserstoffe am TVOC nahm seit Mitte der achtziger Jahre deutlich ab.
 - Der Anteil der aromatischen Kohlenwasserstoffe am TVOC nahm seit Mitte der achtziger Jahre etwas ab.
 - Der Anteil der Terpene am TVOC nahm seit Mitte der achtziger Jahre deutlich zu.
 - Der Anteil der höheren Glykole und Glykolester am TVOC nahm seit Mitte der achtziger Jahre deutlich zu.



6 VOC, TVOC und die Bewertung von Raumlufbelastungen

Der Begriff VOC wird uneinheitlich gebraucht. Er umfaßt eine große Zahl von Einzelstoffen, zudem gibt es eine Reihe verschiedener Definitionen für VOC und TVOC. Bisher wurde der Begriff VOC meistens nach dem Siedebereich (z.B. im Intervall 50 bis 250 oder bis 260 °C) definiert. Einige reaktive Stoffe (wie die flüchtigen Aldehyde und Diisocyanate) gehören zwar dem Begriff und dem Siedepunkt nach zu den VOC, können aber nicht mit den unter Kap. 4.2.1 beschriebenen Meßmethoden erfaßt werden. In den meisten Untersuchungen werden diese Stoffe deshalb nicht zu den VOC gerechnet.

Da die bisherigen VOC- und TVOC-Definitionen einander widersprachen, und da die meisten dieser Definitionen die Möglichkeit offen ließen, unterschiedliche Meßergebnisse durch Einsatz verschiedener Meßtechniken zu erhalten, sollen VOC und TVOC künftig in der ISO 16000-6 im Zusammenhang mit einer genau definierten Meßtechnik definiert werden (vgl. Kap. 2.4).

Die als VOC beschriebenen Stoffgemische in der Raumluf unterliegen einem ständigen Wandel. Während der letzten 10 bis 20 Jahre nahmen die Anteile der aromatischen und insbesondere der chlorierten Kohlenwasserstoffe am TVOC ab, während die Anteile der Terpene sowie der Glykolether und der Glykolester zunahmen (vgl. Kap. 5). Die chemischen Emissionen aus vielen Bauprodukten werden heute erfahrungsgemäß dominiert durch Alkohole und Ester, Glykolether und deren Ester, höhere Aldehyde, Terpene (teilweise auch Sesquiterpene) sowie Gemische aliphatischer Kohlenwasserstoffe mit 9 bis 12 Kohlenstoffatomen im Molekül¹⁵.

6.1 Wirkung der VOC auf den Menschen

Für die Bewertung der Wirkung dieser Stoffgemische auf den Menschen gibt es zur Zeit mehrere grundlegend unterschiedliche Ansätze.

6.1.1 Die Bewertung der beteiligten Einzelstoffe

Eine gemeinsame adhoc-Arbeitsgruppe der Innenraumlufthygiene-Kommission (IRK) des Umweltbundesamtes und der Arbeitsgemeinschaft der Leitenden Medizinalbeamtinnen und -beamten der Länder (AGLMB) veröffentlichte 1996 ein Schema zur Ableitung von Innenraum-Richtwerten¹. Jeweils für einzelne Stoffe ist vorgesehen, folgende Richtwerte zu veröffentlichen:

- Richtwert I:
Auch bei lebenslanger Exposition ist keine gesundheitliche Beeinträchtigung zu erwarten, wenn der Richtwert I eingehalten wird.
- Richtwert II:
Bei Überschreitung besteht unverzüglicher Handlungsbedarf wegen gesundheitlicher Gefährdung bei Daueraufenthalt in den Räumen, insbesondere für empfindliche Personen.



Die Richtwerte werden abgeleitet aus den Wirkungsschwellen bei Mensch oder Tier und aus Sicherheitsfaktoren

- für besonders empfindliche Personen,
- für Dauerbelastung und
- für die besondere Situation von Kindern (geringes Körpergewicht u.a.).

So wurden beispielsweise für Toluol $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als Richtwert I und $3.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als Richtwert II festgesetzt¹.

6.1.2 Belastungsuntersuchungen mit VOC-Gemischen, Mølhav-Werte

Im Jahre 1984 setzte Mølhav¹ 62 gesunde Menschen, die jedoch häufig über trockene Augen oder Schleimhäute klagten, für jeweils $2\frac{3}{4}$ Stunden einem Gemisch aus 22 damals weit verbreiteten Lösemitteln aus (vgl. Tabelle 13). Je ein Drittel des Gemisches bestand aus p-Xylol und aus n-Butylacetat. Die Gesamtbelastung der Luft betrug $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $5.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $25.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Mit einem Fragebogen wurde das Auftreten verschiedener Symptome während und unmittelbar nach der Exposition abgefragt. Für Augen- und Schleimhautreizungen wurde eine signifikante Korrelation zur Belastungshöhe festgestellt. Dies wurde durch weitere Untersuchungen in der gleichen Arbeitsgruppe sowie bei der US-Umweltbehörde EPA¹ bestätigt.

Eine weitere Untersuchung mit 25 gesunden Menschen bei einer 50 Minuten andauernden Belastung der Raumluft durch $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $1.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $3.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $8.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $25.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ des gleichen VOC-Gemisches führte Mølhav zur Aufstellung eines mehrstufigen Schemas¹ (vgl. Tabelle 14).

Die Summe des VOC-Gemisches wird oft als TVOC bezeichnet. Da es sich aber nicht um ein universelles VOC-Gemisch handelte, wird die Summe der 22 von Mølhav ausgewählten und zusammengestellten VOC-Stoffe hier als "Mølhav"-TVOC bezeichnet. Mit dem TVOC aus Raumluftmessungen hängt dieser Wert nur dann zusammen, wenn die bei der Messung gefundenen Stoffe und deren Anteile am Gemisch in etwa mit dem Mølhav-Gemisch übereinstimmen.

In einem neueren Beitrag zur Diskussion um das TVOC-Konzept warnt Mølhav davor, aufgrund seiner Studien alleine aus TVOC-Meßergebnissen ein Gebäude als akzeptabel oder nicht akzeptabel zu bewerten: "Clearly, the scientific literature does not support this. Therefore, this practice is a misuse of TVOC ..." ¹. Seine Studien beschreiben eine Dosis-Wirkungs-Beziehung im wesentlichen für Reizwirkungen und Geruchsbelastungen für das getestete VOC-Gemisch. TVOC-Meßergebnisse können nach Mølhav lediglich einen ersten Überblick über mögliche Beiträge der VOC zur Luftbelastung geben **Fehler! Textmarke nicht definiert.** (vgl. auch Kap. 6.2.2).



Tabelle 13: Mølhav-VOC-Gemisch

Stoff	% des TVOC Fehler! Textmarke nicht definiert.	Stoff	% des TVOC Fehler! Textmarke nicht definiert.
p-Xylol	32	n-Butylacetat	32
n-Hexan	3,2	n-Nonan	3,2
n-Decan	3,2	1-Decen	3,2
Ethylbenzol	3,2	α -Pinen	3,2
1,1-Dichlorethan	3,2	Ethoxyethylacetat	3,2
n-Hexanal	3,2	n-Butanol	3,2
n-Undecan	0,32	n-Propylbenzol	0,32
1.2.5-Trimethylbenzol	0,32	Cyclohexan	0,32
2-Butanon	0,32	3-Methyl-2-butanon	0,32
5-Methyl-2-pentanon	0,32	n-Pentanal	0,32
iso-Propanol	0,32	1-Octen	0,032

Tabelle 14: Experimentell ermittelte Dosis-Wirkungs-Beziehungen

Mølhav-TVOC - $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Symptome Fehler! Textmarke nicht definiert.
bis 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	keine Symptome zu erwarten
200 bis 3.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Reizungen und Unwohlsein möglich (aber nur, wenn andere Belastungen hinzukommen)
3.000 bis 25.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Reizungen und Unwohlsein wahrscheinlich, Kopfschmerzen möglich (aber nur, wenn andere Belastungen hinzukommen)
über 25.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Kopfschmerzen und neurotoxische Wirkungen möglich



6.1.3 Die Geruchswirkung von VOC als Belastungsfaktor

Nach Fanger¹ wird das menschliche Wohlbefinden u.a. von der wahrgenommenen Luftqualität beeinflusst. Die Gesamtheit der chemischen Luftinhaltsstoffe wirkt zusammen mit der thermischen Umgebung (Lufttemperatur, Strahlungstemperatur, Luftbewegung und Luftfeuchte) auf den Menschen ein. Die resultierende Luftqualität wird als akzeptabel oder weniger akzeptabel wahrgenommen, wobei verschiedene Menschen unterschiedliche Beurteilungen abgeben. Im Rahmen dieses Konzepts werden VOC nicht nach ihren toxikologischen Eigenschaften beurteilt, sondern primär als Quellen für Gerüche und Reizwirkungen betrachtet.

Sowohl Berglund¹ wie auch die Arbeitsgruppe um Cain¹ beschrieben die Geruchs- und die Reizwirkung von Spuren chemischer Stoffe in komplexen Gemischen und kamen zum Ergebnis, daß als negativ empfundene Gerüche Reizwirkungen verstärken oder sogar auslösen können. Innerhalb der chemischen Stoffgruppen zeigt sich die Tendenz, daß größere Moleküle niedrigere Geruchsschwellen aufweisen¹, und daß Stoffgemische um so stärker zur Geruchsbildung neigen, je komplexer sie sind¹.

Das Risiko für das Auftreten diverser Symptome wird außerdem durch die subjektiv als belastend und bedrohlich empfundene Wahrnehmung von Umweltbedingungen (wie "schlechte Luft") erhöht¹.

Auch die in Kap. 4.3.1 und in Abb. 2 dargestellte Auswertung von Gutachten aus 59 Bürogebäuden stützt die große Bedeutung der Geruchsbelastung für das Auftreten von Beschwerden in Bürogebäuden.

6.2 Vergleichs-, Ziel-, Vorsorge- und Richtwerte

Angesichts der Komplexität der in der Praxis vorkommenden VOC-Gemische dürfte eine Bewertung aller Einzelstoffe allenfalls in wissenschaftlichen Studien versucht werden. Über das Zusammenwirken dieser sehr komplexen Gemische liegen jedoch kaum begründete Daten vor.

Deshalb hat es sich eingebürgert, mit dem Summenparameter TVOC die Größenordnung der VOC-Belastung in erster Näherung abzuschätzen. Wenn ein gemessenes Stoffgemisch im Ausnahmefall Stoffe mit besonders hoher biologischer Aktivität enthält, wird deren Wirkung allerdings mit dieser Betrachtungsweise nicht ausreichend erfaßt.

6.2.1 Seifert-Werte

Aus der Beschreibung¹⁸ der normalen Belastung deutscher Wohnungen in den Jahren 1985 und 1986 leitete Seifert¹ Zielwerte ab, die aus Vorsorgegründen bei normaler Nutzung und normaler Lüftung von Wohnungen nicht überschritten werden sollten:

Tabelle 15: Seifert-Werte für langfristige TVOC-Werte in Innenräumen
bei Lüftung und Nutzung ^{Fehler! Textmarke nicht definiert.,Fehler! Textmarke nicht definiert.,17} - man beachte die Einschränkung auf S. 36 oben!

Chemische Gruppe	µg/m ³
Alkane	100
Aromatische Kohlenwasserstoffe	50
Terpene	30
Halogenierte Kohlenwasserstoffe	30
Ester	20
Aldehyde und Ketone (ohne Formaldehyd)	20
Sonstige	50
Zielwert TVOC	300
Kein einzelner Stoff soll mehr als 50 % der zugehörigen Gruppe oder mehr als 10 % der Gesamtbelastung bestimmen.	

Diese Werte sind jedoch, wie auch Seifert¹ immer betont, nicht als toxikologisch begründete Grenz- oder Zielwerte zu verstehen. Eine Überschreitung dieser Werte bedeutet ausschließlich, daß an dem Meßort eine erhöhte Luftbelastung im Vergleich zu durchschnittlichen Wohnungen in den Jahren 1985 und 1986 vorliegt.

Wären die Messungen für den Umwelt-Survey 1985/86

- als worst-case-Messung ohne jede Lüftung
- mit einer aktiven Probenahme auf Tenax TA, sowie
- die Auswertung mit Thermodesorption

durchgeführt worden, dann wären die Zahlenwerte der Meßergebnisse in derselben Raumluft deutlich höher ausgefallen - und dann würden sich heute viele Gutachter auf wesentlich höhere Referenzwerte beziehen und noch entsprechend höhere Luftbelastungen als normale Werte ansehen.



Angesichts der inzwischen zu beobachtenden Veränderung der Zusammensetzung des VOC-Spektrums in der Innenraumluft sollten auch nach Auffassung von Seifert¹⁷ die in der Tabelle angegebenen anteiligen Konzentrationen der einzelnen Stoffgruppen nicht mehr zur Beurteilung herangezogen werden.

Eine Beeinträchtigung oder gar Vergiftung der Menschen in diesen Räumen läßt sich in keiner Weise alleine aus einer moderat höheren Luftbelastung ableiten.

6.2.2 European Collaborative Action on Indoor Air Quality

Im Rahmen des europäischen Forschungsprojekts European Collaborative Action on Indoor Air Quality and its Impact on Man (ECA) arbeitete die Arbeitsgruppe 13 an einem TVOC-Konzept, für das Mølhavé seine früheren Arbeiten (vgl. Kap. 6.1.2) weiterentwickelte¹.

Mølhavé schlug vor ein **Niveau I** zu beschreiben, bei dessen Unterschreitung bisher keine Wirkungen bekannt geworden sind, und das - je nach Zusammensetzung des jeweiligen Stoffgemisches - bei einem **TVOC-Wert zwischen 200 und 300 µg/m³** anzusiedeln sei. Daneben wäre ein **Niveau II** zu definieren, bei dessen Überschreitung regelmäßig Wirkungen beobachtet würden. TVOC-Werte für dieses Niveau gibt Mølhavé wie folgt an:

Tabelle 16: Die aktuellen Mølhavé-Werte für TVOC in Innenräumen (Niveau II)

TVOC	Wirkungen <small>Fehler! Textmarke nicht definiert.</small>
ab 3.000 µg/m ³	Belästigungen, Gerüche und Kopfschmerzen
ab 5.000 µg/m ³	physiologische Wirkungen
ab 8.000 µg/m ³	signifikante Reizungen der Schleim- und Bindehaut
Es ist zu beachten, daß allergische Reaktionen bei sensibilisierten Personen bereits bei niedrigeren Luftbelastungen auftreten können ¹ .	

Im Bereich **zwischen den Niveaus I und II** sind nach diesem Schema Wirkungen möglich, wenn gleichzeitig andere Belastungen auftreten: z.B. durch Stoffe in der Raumluft, die definitionsgemäß nicht zu den VOC gehören (wie Formaldehyd), sowie durch thermische Belastungen, erhöhte Lärmpegel¹, das soziale Arbeitsklima¹ u. dgl.

Die oben genannte ECA-Arbeitsgruppe, die aus führenden Experten für Innenraumluft aus 11 europäischen Ländern bestand, entschied sich in ihrer Abschlußempfehlung¹ für weniger detaillierte Aussagen. Ihre Empfehlung lautete: Nur bei TVOC-Werten oberhalb von 300 µg/m³ ist eine ge-



nauere Untersuchung angezeigt. Ab circa 1.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sind Reizungen der Augen, Schleimhaut und Haut möglich. Erst ab 25.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sind weitere Symptome zu erwarten.

6.2.3 Die neuen Seifert-Werte

In einer neuen Veröffentlichung¹⁷ von Seifert vom März 1999 sind eine Reihe von Klarstellungen enthalten. Es wird darauf hingewiesen, daß die Seifert-Werte "nicht mit toxikologischen Erkenntnissen begründet" wurden und lediglich den durchschnittlichen Normalzustand auf Grundlage der Ergebnisse des Umwelt-Surveys 1985/86 beschreiben. In Anlehnung an die Arbeiten der oben genannten ECA-Arbeitsgruppe finden sich in der Arbeit u.a. folgende Einschätzungen:

- "... ist ein Aufenthalt in Räumen mit TVOC-Konzentrationen zwischen 10 und 25 mg/m^3 (10.000 bis 25.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) allenfalls vorübergehend zumutbar. Derartige Konzentrationen können im Falle von Renovierungen vorkommen."
- "In Räumen, die für einen längerfristigen Aufenthalt bestimmt sind, sollte auf Dauer ein TVOC-Wert im Bereich von 1 bis 3 mg/m^3 (1.000 bis 3.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) nicht überschritten werden. Erfahrungsgemäß ist davon auszugehen, daß derartige TVOC-Konzentrationen durch eine beschränkte Zahl von chemischen Stoffen oder Stoffklassen bedingt sind. Daher ist das Überschreiten dieses Bereichs als Hinweis dafür aufzufassen, daß eine Einzelstoffbetrachtung durchgeführt werden sollte."
- "Ziel sollte es ein, in Innenräumen im langfristigen Mittel eine TVOC-Konzentration von 0,2 bis 0,3 mg/m^3 (200 bis 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) zu erreichen bzw. nach Möglichkeit sogar zu unterschreiten."
- "Es ist daher keineswegs sinnvoll, die Ergebnisse der Ermittlung von TVOC-Konzentrationen starr mit den oben beschriebenen TVOC-Wertebereichen zur vergleichen, insbesondere den Zielwert streng als Sanierungsleitwert zu verwenden, ..."
- "Um ... eine möglichst weitgehende Vereinheitlichung bei der Ermittlung von TVOC-Konzentrationen zu erzielen, sollte nach der im Anhang angegebenen Methode verfahren werden." Die dort beschriebene Methode ähnelt weitgehend der Methode ISO/CD 16000-6 (vgl. Kap. 2.4), verzichtet aber - im Unterschied zur ISO/CD 16000-6 - auf eine Festlegung des Detektors für die Analytik.

6.2.4 Die Verwendung der Meßgröße TVOC in Gutachten

Für die Gutachterpraxis bietet die Verwendung des TVOC-Werts für eine erste Voruntersuchung viele Vorteile. Die genannten Ziel- und Richtwerte sollten allerdings nicht unkritisch übernommen werden, da sowohl die zur Zeit üblichen TVOC-Meßverfahren wie auch die Meßmethode des Normentwurfs ISO/CD 16000-6 (vgl. Kap. 2.4) tendenziell höhere Meßwerte liefern als andere, früher verwendete Meßverfahren.



Nach eigenen Erfahrungen könnte bei Verwendung der von ISO und von Seifert vorgeschlagenen Meßverfahren die Schwelle zu unauffälligen Meßwerten zwischen 300 und 1.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ liegen, und die Schwelle zu erhöhten, aber noch unkritischen Meßwerten bei 1.000 bis 3.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - je nach der Zusammensetzung des jeweils vorliegenden VOC-Gemischs.

Nur bei Meßergebnissen oberhalb dieser Bereiche wäre es sinnvoll, tiefergehende Untersuchungen und Beurteilungen durchzuführen. Allerdings werden gelegentlich Einzelfälle berichtet, in denen besonders empfindliche Menschen schon auf sehr geringe Luftbelastungen reagieren.
Fehler! Textmarke nicht definiert..

Bei der Bewertung von Meßergebnissen ist zu beachten, daß die TVOC-Konzentrationen in der Raumluft von vielen Faktoren beeinflußt werden, insbesondere von der beabsichtigten und auch von der ungeplanten Lüftung (z.B. durch den Winddruck auf dem Gebäude), von der Raumlufttemperatur und -feuchte sowie von der Nutzung. Beispielsweise können in der Vorweihnachtszeit deutlich erhöhte TVOC-Werte in der Raumluft gemessen werden, da die Verwendung von Tannenschmuck und der Verzehr von Zitrusfrüchten zu erhöhter Konzentrationen von Terpenen in der Raumluft führen¹.

Bei Ozonbelastungen der Innenraumluft ist mit der zusätzlichen Bildung von Aldehyden aus VOC-Stoffen zu rechnen, die Doppelbindungen im Molekül enthalten¹ (z.B. Styrol). Dieser Effekt wurde bereits bei 50 bis 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Ozon in der Luft beobachtet¹. Dies kann sowohl den TVOC-Wert wie auch die Zusammensetzung und den Charakter des jeweils vorliegenden VOC-Gemisches beeinflussen.

Das Ergebnis einer einmaligen TVOC-Messung kann aus den genannten Gründen nur ein Indiz sein für die Höhe der Raumluftbelastung auch an anderen Tagen als dem Meßtag.

Ferner ist zu beachten, daß Formaldehyd und einige andere Aldehyde von der VOC-Messung nicht erfaßt werden. Beim Vorliegen dieser Stoffe in erhöhten Konzentrationen ist eine gesonderte Betrachtung erforderlich.



7 Die Qualität der allgemeinen gutachterlichen Praxis

Eine Vielzahl von Gutachtern führt Messungen und Beurteilungen der Raumluft in Innenräumen durch. Die Qualität dieser Gutachter ist sehr unterschiedlich. Neben erfahrenen Instituten sind häufig auch kleine und kleinste Firmen ohne ausreichenden fachlichen Hintergrund auf dem Markt aktiv.

So ist der Tagespresse zu entnehmen, daß sich ein Schornsteinfegermeister zutraut, nach einer Messung der Raumluft mit direktanzeigenden Prüfröhrchen die Ursache für Fußschmerzen der Bewohnerin zu erkennen¹. Die Zeitung vergaß nicht, den Lesern die Telefonnummer dieses Sachverständigen zu liefern.

Aus den Gutachten, die dem Autor vorliegen, sind vor allem folgende wiederkehrende Fehlinterpretationen erkennbar.

7.1 Bewertungsmaßstab der Gutachter

Die meisten Gutachter vergleichen ihre Meßergebnisse mit den Ergebnissen des Umwelt-Surveys¹⁸ und dem daraus von Seifert abgeleiteten Vorschlag für Zielwerte^{Fehler! Textmarke nicht definiert.} (vgl. Kap. 6.2.1), häufig auch mit den Wirkungsschwellen aus den Studien von Mølhave^{Fehler! Textmarke nicht definiert.} (vgl. Kap. 6.1.2). Dabei wird nicht berücksichtigt, daß diese Zahlenwerte auf andere Weise zustande gekommen sind als die heute durchgeführten Raumluftmessungen, und daß die TVOC-Werte deshalb nicht vergleichbar sind.

7.1.1 Stofflicher Umfang der Messungen

Die TVOC-Werte, die Mølhave^{Fehler! Textmarke nicht definiert.} als unkritisches Niveau angab, beruhen auf Experimenten mit einem Gemisch von 22 Stoffen, von denen ein Teil heute nur noch selten angetroffen wird. Die Zahlenwerte in der Studie von Mølhave sind als Summe dieser 22 Stoffe zu verstehen (vgl. Kap. 6.1.2).

In die Auswertung des Umwelt-Surveys wurden viele Stoffe nicht mit einbezogen, die zur damaligen Zeit noch nicht in der Raumluft anzutreffen waren, die aber heute in sehr vielen Innenräumen wesentlich zur Belastung durch VOC beitragen (vgl. Kap. 2.2 und 2.3).



7.1.2 Meßtechnik

Die Werte des Umwelt-Surveys wurden mit Passivsammlern ermittelt, was tendenziell zu Minderbefunden führt (vgl. Kap. 2.2.1). Die Adsorption der VOC erfolgte nach dem damaligen Stand der Technik mit Aktivkohle, was in Gegenwart polarer Stoffe mit Sicherheit zu Minderbefunden führt (vgl. Kap. 2.2.2). Wenn die Messung eines Gutachters dagegen mit Tenax TA und Thermodesorption durchgeführt wurde, muß bei der Interpretation berücksichtigt werden, daß auf diese Weise systematisch deutlich höhere Meßwerte erzielt werden als mit der Meßtechnik der Umwelt-Surveys. Daß doppelt oder dreifach so hohe Werte erzielt werden wie mit der früheren Meßtechnik, ist eher die Regel als die Ausnahme (vgl. Kap. 2.5).

7.1.3 Meßstrategie, Lüftung

Die Werte des Umwelt-Surveys wurden während der normalen Nutzung ermittelt, was eine regelmäßige Lüftung einschließt. In den meisten Fällen wenden die Gutachter dagegen heute die worst-case-Meßstrategie gemäß den VDI-Richtlinien 4300-1 und 4300-6 (speziell für VOC) an². Die Messung wird also bei geschlossenen Fenstern und Türen durchgeführt.

Dies Vorgehen ist sinnvoll, um eine Verfälschung des Meßergebnisses durch äußere Quellen oder durch die Raumnutzung ebenso zu vermeiden wie unkontrollierte Verdünnungseffekte durch Lüftungsmaßnahmen.

Oftmals werden die Meßwerte dann undifferenziert mit den Ergebnissen anderer Studien (z.B. mit dem Umwelt-Survey) verglichen, die bei normaler Lüftung und Raumnutzung erhalten wurden, obwohl die Datenbasis nicht auf vergleichbare Weise zustande kam. Ohne Lüftung erhält man in fast allen Fällen eine deutlich höhere Luftbelastung als mit Lüftung.

Die neuen Empfehlungen von Seifert (vgl. Kap. 6.2.3) und aus dem ECA-Projekt (vgl. Kap. 6.2.2) könnten zu einer sachgerechteren Bewertung führen. Viele Gutachter scheinen aber entweder die aktuelle wissenschaftliche Diskussion nicht zu verfolgen, oder sie ignorieren diese Erkenntnisse wider besseres Wissen.

7.1.4 Sorgfalt

Oftmals werden alte Berichts-Textbausteine verwendet und weder aktualisiert noch dem Einzelfall angepaßt. So liegt dem Autor ein Gutachten eines bekannten Instituts vor, das bei einem TVOC-Wert von 60 µg/m³ von einer zu hohen Belastung spricht und feststellt, daß die gemessenen Stoffe zu diversen Gesundheitsstörungen führen können. Dieser Befund wurde bei einer Luftbelastung erhoben, die nur 20 % des langfristigen Zielwerts nach Seifert beträgt (selbst wenn man alle Probleme mit der Vergleichbarkeit von TVOC-Werten nicht berücksichtigt).

Aus den Formulierungen läßt sich ablesen, daß Teile eines vorbereiteten Textbausteins nicht gelöscht oder nicht angepaßt wurden. Die Wirkung auf den Auftraggeber der Messung ist trotzdem



verheerend, da ihm das Gutachten testiert, daß er sich in einer ungesunden Raumluft aufhält. Die Wahrscheinlichkeit ist sehr groß, daß sich das Befinden der Beteiligten nach Vorlage eines derartigen Gutachtens erheblich verschlechtert, und daß nach einer Sanierung und weiteren Messungen gerufen wird.

7.2 Gutachterliche Empfehlungen

Wenn eine erhöhte Luftbelastung durch VOC festgestellt wurde, dann trauen sich manche Gutachter bereits zu, die betreffenden Räume für gefährlich und unbewohnbar zu erklären.

Vor solch einer Aussage müßten aber zunächst die möglichen Wirkungen des VOC-Gemisches differenziert beurteilt werden. Wenn Geruchsbelästigungen und reversible (wenn auch u.U. intensive) Befindlichkeitsstörungen möglich erscheinen, mag es in vielen Fällen tolerierbar sein, die Belastung durch eine zeitweise intensivierete Lüftung zu senken. Falls dagegen die Höhe und der Charakter der Luftbelastung toxische Wirkungen befürchten lassen, kann ein Verlassen der Räume bis zum Abschluß einer Sanierung angemessen sein.

Eine übertrieben dramatisierende Bewertung führt nicht nur zu einem übertriebenen Sanierungsaufwand, sondern sie kann ihrerseits reale Krankheitssymptome hervorrufen. Es liegen Berichte^{1,1} vor, wonach die Art und Weise, wie eine Raumluftuntersuchung durchgeführt wurde, zu einer signifikanten Vermehrung von Befindlichkeitsstörungen und Krankmeldungen und sogar zur Räumung des betroffenen Gebäudes führen kann.

Wenn bereits Gerüchte im Umlauf sind, wenn gleichzeitig eine nachvollziehbare Information der Gebäudenutzer unterbleibt, und wenn schließlich Meßtechniker in weißen Kitteln mit schwerem Gerät anrücken, dann werden Ängste vor einer chemischen Vergiftung ausgelöst, die ihrerseits zum Auftreten von Krankheitssymptomen führen können. Auch unsachgemäße Fragebögen können solche Wirkungen auslösen. In den zitierten Fällen^{Fehler! Textmarke nicht definiert.} bestanden die einmal ausgelösten Gesundheitsstörungen fort, obwohl die Meßergebnisse erfreulich niedrig ausgefallen waren.

7.3 Qualitätsstandards

Da die aufgezeigten Fehlinterpretationen keine Einzelfälle sind, wäre es vorteilhaft, wenn die durchschnittliche Qualität der Raumluftmessungen und der Gutachten deutlich angehoben würde.

Für die Messung von Innenraumluft gibt es derzeit keine etablierten Systeme der externen Qualitätskontrolle und der Akkreditierung von Gutachtern und Meßinstituten, wie es in vielen verwandten Tätigkeitsfeldern für Meßtechniker mittlerweile gute fachliche Praxis ist.



Wer zum Beispiel ein entsprechend akkreditiertes Labor mit Emissionsmessungen nach §§ 26,28 Bundesimmissionsschutzgesetz oder mit Gefahrstoffmessungen nach § 18(2) Gefahrstoffverordnung beauftragt, hat eine relativ hohe Sicherheit, qualifizierte und angemessene Messungen und Gutachten zu erhalten. Bei der Auswahl von Raumluftgutachtern gibt es diese Sicherheit nicht.

Eine Zertifizierung nach ISO 9001 ist in diesem Zusammenhang wenig aussagefähig, da sie lediglich die Existenz eines Qualitätssicherungssystems bestätigt, ohne etwas über das Niveau der Qualität auszusagen.

Die Kassenärztlichen Vereinigungen veröffentlichten 1996 Qualitätsanforderungen für die Beurteilung von Innenraumluftbelastungen¹. Dieser wichtige erste Schritt stellt leider nur wenige konkrete Anforderungen an die Messung und Bewertung von VOC in Innenraumluft.

Ein aussagefähiges System zur externen Qualitätskontrolle von Gutachtern zur Innenraumluft - zum Beispiel im Rahmen einer für diesen Bereich spezifischen Akkreditierung gemäß EN 45001 und demnächst gemäß ISO 17025-1 - könnte dem Verbraucher verlässliche Kriterien für die Auswahl eines qualifizierten Gutachters in die Hand geben. Der Aufbau eines derartigen Systems wäre deshalb von erheblichem Nutzen für den präventiven Gesundheitsschutz.



8 VOC-Emissionen aus Produkten

Um die Belastung der Raumluft durch VOC-Stoffe zu senken, bietet sich neben einer intensivierten Lüftung vor allem eine Verringerung des Eintrags von VOC in die Gebäude an.

Nach Baumaßnahmen setzen viele eingebrachte Produkte chemische Stoffe in die Raumluft frei. Dies gilt auch für Einrichtungsgegenstände wie beispielsweise Möbel.

Der Ersatz von organischen Lösemitteln durch das anorganische Lösemittel Wasser in vielen Anstrichen und Klebstoffen führt zum verstärkten Einsatz von wenig flüchtigen Lösevermittlern, Weichmachern und Konservierungsstoffen. Diese Stoffe werden nur sehr langsam aus dem Produkt ausgetragen. Emissionen aus Bauprodukten und Einrichtungsgegenständen verlieren anfangs schnell an Intensität, Restemissionen können aber häufig noch nach mehreren Monaten beobachtet werden.

Die emittierten Stoffe werden mit Frischluft verdünnt und teilweise aus dem Raum abtransportiert, teilweise aber auch an Wänden, Textilien, Büchern usw. zunächst adsorbiert und später erneut freigesetzt. Aus diesem Grunde ist es schwierig, nach einer Laborprüfung der Emissionen einzelner Produkte eine präzise Berechnung der erwarteten Gesamt-Luftbelastung vorzunehmen. Solche Prognosen^{1,1} liefern in der Regel zu hohe Werte.

8.1 Prüfung der Produktemissionen

Die Prüfung von Produktemissionen¹ beschreibt dagegen in erster Linie das Emissionspotential des jeweiligen Produkts und ermöglicht einen Vergleich des Emissionspotentials ähnlicher Produkte. Für diesen Zweck wird jeweils ein repräsentatives Muster angefertigt und in einer Edelstahl- oder Glaskammer bei realitätsnahen Klimabedingungen mit hochreiner Luft umspült. Typische Betriebsparameter dieser Prüfkammern sind: 23 °C Lufttemperatur, 50 % relative Luftfeuchte, ½ Luftwechsel pro Stunde bei 0,1 bis 0,3 m/sec Luftgeschwindigkeit an der Oberfläche des Prüflings.

Am Ausgang der Prüfkammer werden zu bestimmten Zeitpunkten Luftmessungen durchgeführt, beispielsweise für VOC, Aldehyde, Isocyanate usw. Das Ergebnis wird entweder als Luftbelastung in der Kammer angegeben ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) oder als Emissionsrate ($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{h})$). Wenn eine ausreichende Anzahl von Prüfungen durchgeführt wird, läßt sich die Abklingkurve der Emissionen berechnen.

8.2 Bedeutung der Prüfmethode für das Ergebnis

Verschiedene Prüfmethode werden heute verwendet, um Produktemissionen zu bewerten. Die Prüfergebnisse werden wesentlich von den eingesetzten Prüfmethode beeinflusst. Damit Aussagen über die Langzeitemissionen vergleichbar sind, müssen diese Methoden präzise festgelegt werden, insbesondere:

- die Entnahme des Musters und der Transport in das Prüflabor
- die Probenvorbereitung im Prüflabor
- der Zeitpunkt der Messung an der Prüfkammer
- die Luftprobenahmetechnik
- die Luftprobenaufarbeitung
- die Analysetechnik
- die Quantifizierungsmethode

Beispielsweise ergaben sich erhebliche Minderbefunde, als die Emission lösemittelfreier Klebstoffe mit der Aktivkohle-Schwefelkohlenstoff-Methode statt mit der Tenax-Thermodesorptions-Methode geprüft wurde (vgl. Kap. 2.2.2). Eine typische Vergleichsmessung am gleichen Produkt lieferte mit den beiden Meßmethoden 250 bzw. 550 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ TVOC-Emission nach 10 Tagen¹⁴.

Ein Beispiel für die Abweichung von Prüfergebnissen aus zwei Prüfinstituten bei unzureichender Harmonisierung der verwendeten Methoden wurde in einem Normungsausschuß berichtet¹²:

Tabelle 17: Beispiel für eine schlechte Übereinstimmung von Prüfergebnissen

10-Tage-TVOC ¹²	Prüflabor 1	Prüflabor 2
Klebstoff 1	1.640 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	3.700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Klebstoff 2	650 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1.800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Bei einer besseren Abstimmung der Prüfmethode läßt sich auch eine wesentlich bessere Übereinstimmung zwischen verschiedenen Prüflabors erzielen¹³. Wesentliche Maßnahmen für die interne Qualitätssicherung von Prüflabors sind intensive Blind- und Wiederfindungskontrollen. Zur Beschreibung des erforderlichen Qualitätsniveaus für alle Teilschritte wird eine Reihe von Prüfnormen vorbereitet.



Tabelle 18: Prüfnormen für TVOC-Emissionen aus Bauprodukten

Prüfnorm ^{16,1}	Anwendungsbereich
prENV 13419-1	Betrieb von Prüfkammern
prENV 13419-2	Betrieb von mobilen Prüfzellen
prENV 13419-3	Probenvorbereitung für Emissionsprüfungen
prENV 13419-4	Bestimmung der TVOC-Emission (die ISO/CD 16000-6 soll nach deren Verabschiedung als Teil 4 der ENV 13419 übernommen werden) ¹

8.3 Verwendung von Daten über Produktemissionen

Als Entscheidungshilfe für interessierte Bauplaner, Einkäufer und auch für private Endverbraucher sind Kennzeichnungssysteme sinnvoll, aus denen das Emissionsverhalten der Produkte deutlich wird.

Die Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppichboden (GuT) vergibt Lizenzen für die Kennzeichnung schadstoffkontrollierter textiler Bodenbeläge, wenn - neben anderen Anforderungen - bei Produktprüfungen eine Reihe von Grenzwerten eingehalten werden. Die Kennzeichnung von Verlegewerkstoffen (Bodenbelagsklebstoffe, Spachtelmassen, Vorstriche, Klebebänder und Verlegeunterlagen) mit dem EMICODE[®] EC 1 "sehr emissionsarm" wird von der Gemeinschaft Emissionskontrollierte Verlegewerkstoffe auf der Grundlage von Emissionsprüfungen lizenziert¹.

Die Gesamtemission eines kompletten Systems kann nicht aus den Beiträgen der verschiedenen Schichten (z.B. im Fußbodenaufbau: Beton, Estrich, Vorstrich, Ausgleichsmasse, Klebstoff, Bodenbelag) abgeschätzt oder gar berechnet werden. Dem stehen in der Praxis komplexe Diffusions- und Adsorptionsvorgänge entgegen.

Beispielsweise kann die tatsächliche Emission einer von einem Bodenbelag abgedeckten Klebstoffschicht um den Faktor 10 oder mehr von dem Emissionswert des Klebstoffs alleine abweichen¹². Der Gesamtbeitrag der emittierenden Flächen (Wände, Fußboden, usw.) zur Raumluftbelastung nach dem Abschluß von Innenausbauarbeiten kann nur durch Emissionsprüfungen am jeweiligen Gesamtsystem ermittelt werden.

In manchen Fällen helfen Untersuchungen in Prüfkammern, die wesentlichen primären Quellen einer identifizierten Raumluftbelastung aufzuspüren. Hierfür sind besonders mobile Prüfzellen¹ geeignet. Beim Auftreten einer Sekundäradsorption freigesetzter Stoffe an anderen Flächen gelingt der Nachweis des Verursachers allerdings nicht in allen Fällen¹⁵.



Als Ursachen für einen Teil der Geruchsbelastungen in Neubauten werden in Skandinavien Hydrolysereaktionen und ein mikrobielles Wachstum auf einem unzureichend getrockneten Untergrund vermutet¹. Solche Effekte lassen sich am besten mit einer kompletten Systemprüfung unter dem Einfluß von Feuchtigkeit untersuchen.

9 Schlußfolgerungen

1. Die vorgelegte Studie belegt, daß ein Meßergebnis für die Belastung der Raumluft durch flüchtige organische Stoffe (VOC) nicht nur von der tatsächlichen Belastung abhängt, sondern auch von der Meßstrategie und von der Meßtechnik. Dies gilt besonders für den Summenparameter TVOC (Summe der flüchtigen organischen Stoffe).

Daraus ergibt sich eine hohe Dringlichkeit für die Vereinheitlichung der Meßstrategie sowie der VOC- und TVOC-Meßtechnik. Die künftige Norm ISO 16000-6 kann als Grundlage für diese Vereinheitlichung dienen.

2. Die vorgelegte Studie belegt, daß keine Dosis-Wirkungs-Beziehung erkennbar ist zwischen dem Summenparameter TVOC als Indikator für die Raumluftbelastung einerseits und auftretenden Gesundheitsstörungen andererseits.

Daraus ergibt sich, daß die Charakteristik des angetroffenen VOC-Stoffgemisches von größerer Bedeutung für die Bewertung eines Meßergebnisses sein kann als der Summenparameter TVOC. Insbesondere geruchsintensive Stoffe erhöhen die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Gesundheitsstörungen. Dennoch sind sehr hohe und sehr niedrige TVOC-Meßwerte ein erstes Anzeichen für eine auffällige oder unauffällige Raumluftbelastung.

3. Die vorgelegte Studie belegt, daß sich die Referenzwerte nach Seifert und nach Møllhave, die von vielen Gutachtern als Bewertungsmaßstab für TVOC-Meßergebnisse herangezogen werden, auf völlig andere Rahmenbedingungen beziehen als heutige Meßergebnisse. Letztere fallen alleine aufgrund meßtechnischer Unterschiede häufig doppelt oder dreimal so hoch aus.

Daraus ergibt sich, daß die Referenzwerte nach Seifert und nach Møllhave nicht mehr als Referenzwerte zum Vergleich mit Meßergebnissen geeignet sind, die mit der heute üblichen Meßstrategie und Meßtechnik ermittelt wurden. Es wäre für die gutachterliche Praxis hilfreich, wenn die heutige durchschnittliche Raumluftbelastung in Wohnungen mit der heute in Gutachten üblichen Meßstrategie und Meßtechnik ermittelt und die Ergebnisse als aktuelles Referenzmaterial für die Bewertung von Luftmessungen zur Verfügung gestellt würden.



4. Die vorgelegte Studie belegt, daß eine Vielzahl von Gutachten erhebliche Defizite bei der sachgerechten Bewertung von Meßergebnissen aufweisen, die in anderen Tätigkeitsfeldern für Meßtechniker im Rahmen entsprechender Akkreditierungssysteme durch Kontrollen von Auditoren erkannt und unterbunden werden können.

Daraus ergibt sich, daß ein Verfahren zur externen Qualitätskontrolle und zur Akkreditierung von Raumlufgutachtern anzustreben ist, um dem Verbraucher verläßliche Kriterien für die Auswahl eines qualifizierten Gutachters an die Hand zu geben.

5. Die vorgelegte Studie belegt, daß die Höhe der Raumlufbelastung in Bürogebäuden nach Abschluß von Baumaßnahmen sehr unterschiedlich ist.

Daraus ergibt sich die Möglichkeit, durch eine zielgerichtete Auswahl emissionsarmer Baustoffe und Möbel sowie durch eine lufthygienisch durchdachte Organisation der Baumaßnahmen und der Einrichtung des Gebäudes eine niedrige Luftbelastung auch im Neubau und nach Renovierungsarbeiten zu erreichen. Kennzeichnungssysteme für emissionsarme Bauprodukte wie GuT und EMICODE[®] können den Architekten und Handwerkern bei der Realisierung VOC-armer Gebäude helfen.

10 Literaturverzeichnis

1. Seifert B: Das "sick-building"-Syndrom. *Öff.Gesundh.Wesen* 53 (1991), 376-382
2. VDI-Richtlinie 4300 Blatt 1 (1995): Messen von Innenraumluftverunreinigungen, Allgemeine Aspekte der Meßstrategie, vgl. auch ISO/CD 16000-1 (1999): Indoor Air, General aspects of sampling strategy, sowie Entwurf der VDI-Richtlinie 4300 Blatt 6 (1999): Messen von Innenraumluftverunreinigungen, Meßstrategie für flüchtige organische Verbindungen (VOC)
3. Smimi BS: The effect of face air velocity on the rate of sampling of air contaminants by a diffusive sampler, 166-169. Pannwitz KH: Influence of air currents on the sampling of organic vapours with diffusive samplers, 157-160. Bortoli M et al.: Laboratory testing of a thermally desorbable passive sampler for volatile organic compounds in indoor air, 375-378 - alle in: Berlin A et al. (Hrsg.), *Proceed. Symp. Diffusive Sampling, Europ.Commun.Publ. 10555 EN, London 1986*
4. Mohr S: Vortrag bei den WaBoLu-Innenraumluf-Tagen, Berlin 11.-13.5.1998 (im Vergleich zur Arbeit von Bode⁵ wurden zusätzliche Daten in die Auswertung einbezogen)
5. Bode W: Innenraumstudie, Hintergrunddaten zur Raumlufbelastung privater Neubauten, Diplomarbeit Fachhochschule Lübeck 1998
6. Hallama R et al.: Entwicklung und Vergleich von Methoden für die Analytik von flüchtigen organischen Verbindungen in der Arbeitsplatzatmosphäre. *GIT Labor-Fachzeitschrift* 10/97 993-998
7. ISO/DIS 16017-1 (1998): Indoor, ambient and workplace air - Sampling and analysis of volatile organic compounds by sorbent tube / thermal desorption / capillary gas chromatography - Part 1: Pumped sampling, sowie Health Safety Executive (UK): *Methods for the Determination of Hazardous Compounds no. 72*
8. VDI-Richtlinie 3482 Blatt 4 (1984): Messen gasförmiger Immissionen; Gas-chromatographische Bestimmung organischer Verbindungen mit Kapillarsäulen; Probenahme durch Anreicherung an Aktivkohle; Desorption mit Lösemittel
9. Haunsø N: Ergebnisse der Methodenevaluation (unveröff.)
10. Knöppel H, de Bortoli M: Experience with indoor measurements of organic compounds, 131-149 in: Weekes DM, Gammage RG (eds.), *The practitioners approach to indoor air quality investigations*, Akron OH 1989
11. Krüger U et al.: Field studies on the indoor air quality by Photo Acoustic Spectrometer. *Environm.Intern.* Vol 21, 791-801
12. Krieger R: Mißverständnisse erschweren die Diskussion. *BodenWandDecke* (1998)10, 91-95
13. De Bortoli M et al.: State-of-the-Art in the Measurement of Volatile Organic Compounds Emitted from Building Products: Results of European Interlaboratory Comparison. Veröff. in *Indoor Air* ist in Vorber.
14. Bohne-Matusall R, Höder B: Prüfbericht MILJÖ-CHEMIE 90300-9-7 (rev.1), vorgelegt am 11.11.1996 für die Technische Kommission Bauklebstoffe des Industrieverbandes Klebstoffe
15. Oppl R, Höder B, Lange A: unveröffentlichte Gutachten für Kunden von MILJÖ-CHEMIE
16. ISO/CD 16000-6 (1999): Indoor air and emission test chamber air - determination of VOCs; active sampling on Tenax TA, thermal desorption and gas chromatography
17. Seifert B: Richtwerte für die Innenraumluf - Die Beurteilung der Innenraumlufqualität mit Hilfe der Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC-Wert), *Bundesgesundheitsbl.* 42(1999)3, 270-278
18. o.V.: Bewertung der Luftqualität in Innenräumen. *Bundesgesundheitsbl.* 36(1993)3, 117-118. Langfassung: Krause C et al.: *Umwelt-Survey Bd. IIIc Wohn-Innenraum: Raumluf.* WaBoLu-Hefte 4/1991, Berlin 1991
19. Schulz C: *Umwelt-Survey - Belastung der deutschen Bevölkerung durch Umweltschadstoffe.* *Bundesgesundheitsbl.* 41(1998)3, 118-124. Langfassung: Hoffmann K et al.: *Umwelt-Survey 1990/1991, Bd. IV Personengebundene Exposition gegenüber flüchtigen organischen Verbindungen (FOV) in den alten Bundesländern.* WaBoLu-Hefte 4/1996, Berlin 1996

20. Ploigt A: Innenraumluftuntersuchungen nach Renovierungen, Diplomarbeit Fachhochschule Lübeck 1998, sowie Reitzig M, Mohr S, Heinzow B, Knöppel H: VOC Emissions after Building Renovations: Traditional and Less Common Indoor Air Contaminants, Potential Sources, and Reported Health Complaints. *Indoor Air* 8(1998), 91-102
21. Herbarth O, Rehwagen M: VOC - Untersuchungen zur Indoor- und Outdoor-Exposition. *Umwelt-med.Forsch.Prax* 3(1998)5, 281-286
22. Heudorf U et al.: Untersuchung der personenbezogenen Luft im Atembereich auf über 70 flüchtige organische Verbindungen. *Umweltmed.Forsch.Prax* 3(1998)5, 291-296
23. Bernhard CA et al.: Volatile organic compounds in 56 European office buildings, 1347-1352 in: *Proc. Healthy Buildings, Milano 1995*
24. ad-hoc-Arbeitsgruppe: Richtwerte für die Innenraumluft: Basisschema. *Bundesgesundheitsbl.* 39(1996)11, 422-426
25. Sagunski H: Richtwerte für die Innenraumluft: Toluol. *Bundesgesundheitsbl.* 39(1996)11, 416-421
26. Møhlhave L et al.: Human reactions to low concentrations of volatile organic compounds. *Environm.Intern.* 12 (1986)12, 167-175
27. Otto DA et al.: Neurobehavioral and sensory irritant effects of controlled exposure to a complex mixture of volatile organic compounds. *Neurotoxicol.Teratol.* 12(1990), 649-652
28. Møhlhave L: Volatile Organic Compounds, Indoor Air Quality and Health. *Indoor Air* 4(1991), 357-376
29. L.Møhlhave responds to "TVOC: Is it dead?", in: *Indoor Air Bulletin Vol.3, No. 10, 9-10*
30. Fanger PO: Perceived Indoor Environment, in Bischof W et al. (Hrsg.): *Sick Building Syndrome, Karlsruhe 1993*
31. Berglund B, Olsson MJ: Odor-Intensity Interaction in Binary Mixtures. *J.Experim.Psychol.* 19 (1993), 302-314
32. z.B.Cometto-Muñiz JE, Cain WS: Agnostic sensory effects of airborne chemicals in mixtures: Odor, nasal pungency, and eye irritation. *Perception Psychophysics* 59(1997), 665-674
33. Fitzner K: "Perceived Air Quality" und Molekülgröße flüchtiger organischer Substanzen (VOC), 41-49 in: *Tagungsband Gerüche in der Umwelt, VDI-Ber. 1373, Düsseldorf 1998*
34. Iwashita G: Time Profile of Perceived Air Pollution from Individual VOC and Mixture of VOC, 630-635, in BRE (ed.): *Proc.8th Indoor Air Conf. (Vol.2), Watford 1999*
35. Wiesner G, Grimm J: Gesundheitliche Effekte von Risikowahrnehmungen, *Bundesgesundheitsbl.* 40(1997) 10, 394-398
36. Seifert B: Regulating Indoor Air, 35-49 in Walkingshaw DS (ed.): *Proc.5th Indoor Air Conf. (Vol.5), Toronto 1990*
37. Seifert B: Editorial im *Bundesgesundheitsbl.* 39 (1996)11, 413
38. Møhlhave L, Clausen G: The use of TVOC as an indicator in IAQ investigations, 37-46 in Ikeda K, Iwata T (Hrsg.): *Proc.7th Indoor Air Conf. (Vol.2), Tokyo 1996*
39. z.B.Martin JR: The Sensitive Individual and the Indoor Environment: Case Study. *Am.Ind.Hyg.Assoc.J.* 56 (1995), 1121-1126
40. Clausen G et al.: A Comparative Study of Discomfort caused by Indoor Air Pollution, Thermal Load and Noise. *Indoor Air* 5 (1993), 255-262
41. Baker DB: Social and organizational factors in office building-associated illness, 607-624 in: Cone JE, Hodgson MJ (eds.), *Occupational Medicine, State of the art reviews Vol.4, Philadelphia 1989*
42. Møhlhave L et al.: Total Volatile Organic Compounds (TVOC) in Indoor Air Quality Investigations. *Indoor Air* 9 (1997), 225-240. Langfassung im Report No. EUR 17675 EN, Luxembourg 1997
43. Wolkoff P: Volatile Organic Compounds - Sources, Measurements, Emissions, and the Impact on Indoor Air Quality. *Indoor Air* 7 (1995) Suppl.no.3, 9-73
44. Zhang J et al.: Characteristics of Aldehydes: Concentrations, Sources, and Exposures for Indoor and Outdoor Residential Microenvironments. *Environ.Sci.Technol.* 28(1994), 146-152
45. Salthammer T: Contribution of Reactive Compounds and Secondary Emission Products to Indoor Air Pollution - A Review of Case Studies, 337-346 in: *Tagungsband Neuere Entwicklungen bei der Messung und Beurteilung der Luftqualität, VDI-Berichte 1443, Düsseldorf 1999*
46. o.V.: Auf der Jagd nach dem Gift im Haus. *Hamburger Abendblatt* Nr. 210/1998, Seite 5
47. Hedge A et al.: Indoor air quality as a psychological stressor, 552-556 in: *Proc.4th Indoor Air Conf. (Vol.2), Berlin(West) 1987*



48. o.V.: Can IAQ Investigations Make Building Problems Worse? Indoor Air Quality Update Dec. 1992, 5-6
49. z.B. Träder JM: Umweltmedizinische Forderungen an meßtechnische Labors. Zt.Umw.med 12(1996)1, 6-9
50. Sparks LE et al.: Gas-Phase Mass Transfer Model for Predicting Volatile Organic Compounds (VOC) Emission rates from Indoor Pollutant Sources. Indoor Air 8 (1996), 31-40
51. Dokka TH, Jørgensen RB, Bjørseth O, Malvik B: Comparison of Field Experiments in a Refurbished Bedroom with Small Chamber Experiments, 93-98, in BRE (ed.): Proc.8th Indoor Air Conf. (Vol.5), Watford 1999
52. Maroni M, Lundgren B: Assessment of the Health and Comfort Effects of Chemical Emissions from Building Materials: the State of the Art in European Union. Indoor Air 8 (1996) Suppl. no. 4, 26-31
53. prENV 13419 (1999) Bauprodukte - Bestimmung der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen - Teil 1: Emissionskammerprüfverfahren, Teil 2: Emissionsprüfzellenverfahren, Teil 3: Verfahren zur Probenahme, Lagerung der Proben und Vorbereitung der Prüfstücke
54. Woppowa L, persönl. Mitteilg.
55. Oppl R: Emissionen aus Bodenbelags-Klebstoffen und Geruchsbelastungen im Neubau, 657-571 in: Tagungsband Gerüche und Umwelt, VDI-Berichte 1373, Düsseldorf 1998
56. Ekberg LE et al.: Identification of air pollution sources in office buildings using the field and laboratory emission cell, 1353-1358 in: Proc.Healthy Buildings, Milano 1995
57. Wetre-Johnsen E: Våt betong - den store synderen [Nasser Beton - der große Sünder] (auf Norweg.), NæringsEiendom (1995)12, 24-32



- ¹ Seifert B: Das "sick-building"-Syndrom. *Öff.Gesundh.Wesen* 53 (1991), 376-382
- ² VDI-Richtlinie 4300 Blatt 1 (1995): Messen von Innenraumluftverunreinigungen, Allgemeine Aspekte der Meßstrategie, vgl. auch ISO/CD 16000-1 (1999): Indoor Air, General aspects of sampling strategy, sowie Entwurf der VDI-Richtlinie 4300 Blatt 6 (1999): Messen von Innenraumluftverunreinigungen, Meßstrategie für flüchtige organische Verbindungen (VOC)
- ³ Smimi BS: The effect of face air velocity on the rate of sampling of air contaminants by a diffusive sampler, 166-169. Pannwitz KH: Influence of air currents on the sampling of organic vapours with diffusive samplers, 157-160. Bortoli M et al.: Laboratory testing of a thermally desorbable passive sampler for volatile organic compounds in indoor air, 375-378 - alle in: Berlin A et al. (Hrsg.), *Proceed. Symp. Diffusive Sampling, Europ.Commun.Publ. 10555 EN, London 1986*
- ⁴ Mohr S: Vortrag bei den WaBoLu-Innenraumluft-Tagen, Berlin 11.-13.5.1998 (im Vergleich zur Arbeit von Bode⁵ wurden zusätzliche Daten in die Auswertung einbezogen)
- ⁵ Bode W: Innenraumstudie, Hintergrunddaten zur Raumluftbelastung privater Neubauten, Diplomarbeit Fachhochschule Lübeck 1998
- ⁶ Hallama R et al.: Entwicklung und Vergleich von Methoden für die Analytik von flüchtigen organischen Verbindungen in der Arbeitsplatzatmosphäre. *GIT Labor-Fachzeitschrift* 10/97 993-998
- ⁷ ISO/DIS 16017-1 (1998): Indoor, ambient and workplace air - Sampling and analysis of volatile organic compounds by sorbent tube / thermal desorption / capillary gas chromatography - Part 1: Pumped sampling, sowie Health Safety Executive (UK): *Methods for the Determination of Hazardous Compounds no. 72*
- ⁸ VDI-Richtlinie 3482 Blatt 4 (1984): Messen gasförmiger Immissionen; Gas-chromatographische Bestimmung organischer Verbindungen mit Kapillarsäulen; Probenahme durch Anreicherung an Aktivkohle; Desorption mit Lösemittel
- ⁹ Haunsø N: Ergebnisse der Methodenevaluation (unveröff.)
- ¹⁰ Knöppel H, de Bortoli M: Experience with indoor measurements of organic compounds, 131-149 in: Weekes DM, Gammage RG (eds.), *The practitioners approach to indoor air quality investigations, Akron OH 1989*
- ¹¹ Krüger U et al.: Field studies on the indoor air quality by Photo Acoustic Spectrometer. *Environm.Intern.* Vol 21, 791-801
- ¹² Krieger R: Mißverständnisse erschweren die Diskussion. *BodenWandDecke* (1998)10, 91-95
- ¹³ De Bortoli M et al.: State-of-the-Art in the Measurement of Volatile Organic Compounds Emitted from Building Products: Results of European Interlaboratory Comparison. Veröff. in *Indoor Air* ist in Vorber.
- ¹⁴ Bohne-Matusall R, Höder B: Prüfbericht MILJÖ-CHEMIE 90300-9-7 (rev.1), vorgelegt am 11.11.1996 für die Technische Kommission Bauklebstoffe des Industrieverbandes Klebstoffe
- ¹⁵ Oppl R, Höder B, Lange A: unveröffentlichte Gutachten für Kunden von MILJÖ-CHEMIE
- ¹⁶ ISO/CD 16000-6 (1999): Indoor air and emission test chamber air - determination of VOCs; active sampling on Tenax TA, thermal desorption and gas chromatography
- ¹⁷ Seifert B: Richtwerte für die Innenraumluft - Die Beurteilung der Innenraumluftqualität mit Hilfe der Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC-Wert), *Bundesgesundheitsbl.* 42(1999)3, 270-278
- ¹⁸ o.V.: Bewertung der Luftqualität in Innenräumen. *Bundesgesundheitsbl.* 36(1993)3, 117-118. Langfassung: Krause C et al.: *Umwelt-Survey Bd. IIIc Wohn-Innenraum: Raumluft. WaBoLu-Hefte 4/1991, Berlin 1991*
- ¹⁹ Schulz C: *Umwelt-Survey - Belastung der deutschen Bevölkerung durch Umweltschadstoffe. Bundesgesundheitsbl.* 41(1998)3, 118-124. Langfassung: Hoffmann K et al.: *Umwelt-Survey 1990/1991, Bd. IV Personengebundene Exposition gegenüber flüchtigen organischen Verbindungen (FOV) in den alten Bundesländern. WaBoLu-Hefte 4/1996, Berlin 1996*



- 20 Ploigt A: Innenraumluftuntersuchungen nach Renovierungen, Diplomarbeit Fachhochschule Lübeck 1998, sowie Reitzig M, Mohr S, Heinzow B, Knöppel H: VOC Emissions after Building Renovations: Traditional and Less Common Indoor Air Contaminants, Potential Sources, and Reported Health Complaints. *Indoor Air* 8(1998), 91-102
- 21 Herbarth O, Rehwagen M: VOC - Untersuchungen zur Indoor- und Outdoor-Exposition. *Umwelt-med.Forsch.Prax* 3(1998)5, 281-286
- 22 Heudorf U et al.: Untersuchung der personenbezogenen Luft im Atembereich auf über 70 flüchtige organische Verbindungen. *Umweltmed.Forsch.Prax* 3(1998)5, 291-296
- 23 Bernhard CA et al.: Volatile organic compounds in 56 European office buildings, 1347-1352 in: *Proc. Healthy Buildings, Milano 1995*
- 24 ad-hoc-Arbeitsgruppe: Richtwerte für die Innenraumluft: Basisschema. *Bundesgesundheitsbl.* 39(1996)11, 422-426
- 25 Sagunski H: Richtwerte für die Innenraumluft: Toluol. *Bundesgesundheitsbl.* 39(1996)11, 416-421
- 26 Mølhav L et al.: Human reactions to low concentrations of volatile organic compounds. *Environm.Intern.* 12 (1986)12, 167-175
- 27 Otto DA et al.: Neurobehavioral and sensory irritant effects of controlled exposure to a complex mixture of volatile organic compounds. *Neurotoxicol.Teratol.* 12(1990), 649-652
- 28 Mølhav L: Volatile Organic Compounds, Indoor Air Quality and Health. *Indoor Air* 4(1991), 357-376
- 29 L.Mølhav responds to "TVOC: Is it dead?", in: *Indoor Air Bulletin Vol.3, No. 10, 9-10*
- 30 Fanger P O: Perceived Indoor Environment, in Bischof W et al. (Hrsg.): *Sick Building Syndrome, Karlsruhe 1993*
- 31 Berglund B, Olsson MJ: Odor-Intensity Interaction in Binary Mixtures. *J.Experim.Psychol.* 19 (1993), 302-314
- 32 z.B.Cometto-Muñiz JE, Cain WS: Agnostic sensory effects of airborne chemicals in mixtures: Odor, nasal pungency, and eye irritation. *Perception Psychophysics* 59(1997), 665-674
- 33 Fitzner K: "Perceived Air Quality" und Molekülgröße flüchtiger organischer Substanzen (VOC), 41-49 in: *Tagungsband Gerüche in der Umwelt, VDI-Ber. 1373, Düsseldorf 1998*
- 34 Iwashita G: Time Profile of Perceived Air Pollution from Individual VOC and Mixture of VOC, 630-635, in BRE (ed.): *Proc.8th Indoor Air Conf. (Vol.2), Watford 1999*
- 35 Wiesner G, Grimm J: Gesundheitliche Effekte von Risikowahrnehmungen, *Bundesgesundheitsbl.* 40(1997) 10, 394-398
- 36 Seifert B: Regulating Indoor Air, 35-49 in Walkingshaw DS (ed.): *Proc.5th Indoor Air Conf. (Vol.5), Toronto 1990*
- 37 Seifert B: Editorial im *Bundesgesundheitsbl.* 39 (1996)11, 413
- 38 Mølhav L, Clausen G: The use of TVOC as an indicator in IAQ investigations, 37-46 in Ikeda K, Iwata T (Hrsg.): *Proc.7th Indoor Air Conf. (Vol.2), Tokyo 1996*
- 39 z.B.Martin JR: The Sensitive Individual and the Indoor Environment: Case Study. *Am.Ind.Hyg.Assoc.J.* 56 (1995), 1121-1126
- 40 Clausen G et al.: A Comparative Study of Discomfort caused by Indoor Air Pollution, Thermal Load and Noise. *Indoor Air* 5 (1993), 255-262
- 41 Baker DB: Social and organizational factors in office building-associated illness, 607-624 in: Cone JE, Hodgson MJ (eds.), *Occupational Medicine, State of the art reviews Vol.4, Philadelphia 1989*
- 42 Mølhav L et al.: Total Volatile Organic Compounds (TVOC) in Indoor Air Quality Investigations. *Indoor Air* 9 (1997), 225-240. Langfassung im Report No. EUR 17675 EN, Luxembourg 1997
- 43 Wolkoff P: Volatile Organic Compounds - Sources, Measurements, Emissions, and the Impact on Indoor Air Quality. *Indoor Air* 7 (1995) Suppl.no.3, 9-73
- 44 Zhang J et al.: Characteristics of Aldehydes: Concentrations, Sources, and Exposures for Indoor and Outdoor Residential Microenvironments. *Environ.Sci.Technol.* 28(1994), 146-152



-
- ⁴⁵ Salthammer T: Contribution of Reactive Compounds and Secondary Emission Products to Indoor Air Pollution - A Review of Case Studies, 337-346 in: Tagungsband Neuere Entwicklungen bei der Messung und Beurteilung der Luftqualität, VDI-Berichte 1443, Düsseldorf 1999
- ⁴⁶ o.V.: Auf der Jagd nach dem Gift im Haus. Hamburger Abendblatt Nr. 210/1998, Seite 5
- ⁴⁷ Hedge A et al.: Indoor air quality as a psychological stressor, 552-556 in: Proc.4th Indoor Air Conf. (Vol.2), Berlin(West) 1987
- ⁴⁸ o.V.: Can IAQ Investigations Make Building Problems Worse? Indoor Air Quality Update Dec. 1992, 5-6
- ⁴⁹ z.B. Träder JM: Umweltmedizinische Forderungen an meßtechnische Labors. Zt.Umw.med 12 (1996)1, 6-9
- ⁵⁰ Sparks LE et al.: Gas-Phase Mass Transfer Model for Predicting Volatile Organic Compounds (VOC) Emission rates from Indoor Pollutant Sources. Indoor Air 8 (1996), 31-40
- ⁵¹ Dokka TH, Jørgensen RB, Bjørseth O, Malvik B: Comparison of Field Experiments in a Refurbished Bedroom with Small Chamber Experiments, 93-98, in BRE (ed.): Proc.8th Indoor Air Conf. (Vol.5), Watford 1999
- ⁵² Maroni M, Lundgren B: Assessment of the Health and Comfort Effects of Chemical Emissions from Building Materials: the State of the Art in European Union. Indoor Air 8 (1996) Suppl. no. 4, 26-31
- ⁵³ Woppowa L, persönl. Mitteilg.
- ⁵⁴ Ekberg LE et al.: Identification of air pollution sources in office buildings using the field and laboratory emission cell, 1353-1358 in: Proc.Healthy Buildings, Milano 1995
- ⁵⁵ Wetre-Johnsen E: Våt betong - den store synderen [Nasser Beton - der große Sünder] (auf Norweg.), NæringsEiendom (1995)12, 24-32
- ⁵⁶ o.V.: Can IAQ Investigations Make Building Problems Worse? Indoor Air Quality Update Dec. 1992, 5-6
- ⁵⁷ z.B. Träder JM: Umweltmedizinische Forderungen an meßtechnische Labors. Zt.Umw.med 12 (1996)1, 6-9.