

BEWERTUNG DER INNENRAUMLUFT

FLÜCHTIGE ORGANISCHE VERBINDUNGEN – VOC

ALLGEMEINER TEIL

AUTORENVERZEICHNIS

Dr. Ruth BAUMANN

Dr. Rolf BOOS

Dipl.-Ing. Bernhard DAMBERGER

Dr. Andrea HANUS-ILLNAR

Dipl.-Ing. Dr. Hans-Peter HUTTER

Univ.-Prof. Dr. MICHAEL KUNDI

Dr. Hanns MOSHAMMER

Dr. Georg PALMISANO

Dipl.-Ing. Peter TAPPLER

Dipl.-Ing. Felix TWRDIK

INHALTSVERZEICHNIS

1	Allgemeine Eigenschaften flüchtiger organischer Verbindungen	5
1.1	Definitionen, chemisch-physikalische Eigenschaften.....	5
1.2	Verbreitung in der Umwelt	7
1.3	Vorkommen und Quellen von VOC in Innenräumen.....	8
2	Gruppen flüchtiger organischer Verbindungen, Quellen.....	14
2.1	Aromatische Kohlenwasserstoffe	14
2.2	Aliphatische und cycloaliphatische Kohlenwasserstoffe	15
2.3	Chlorierte Kohlenwasserstoffe	16
2.4	Alkohole, Ketone, Ester	16
2.5	Isoprenoide.....	17
2.6	Aldehyde.....	17
2.7	Phthalate	18
2.8	Siloxane	18
2.9	Mikrobiell verursachte flüchtige organische Verbindungen (MVOC).....	19
2.10	Reaktive Substanzen, Sekundärprodukte.....	19
2.11	Weitere für die Innenraumluft bedeutende VOC.....	21
2.12	Hauptquellen flüchtiger organischer Verbindungen - Tabelle	21
2.13	Konzepte zur Bewertung von VOC-Konzentrationen in Innenräumen.....	25
3	Allgemeine Messstrategie, Analytik und Untersuchungsbericht.....	29
3.1	Messstrategie, Probenahme	29
3.2	Analytik.....	31
3.3	Prüfbericht	32
4	Literatur	33

1 ALLGEMEINE EIGENSCHAFTEN FLÜCHTIGER ORGANISCHER VERBINDUNGEN

1.1 DEFINITIONEN, CHEMISCH-PHYSIKALISCHE EIGENSCHAFTEN

Die Abgrenzung der flüchtigen organischen Verbindungen gegenüber anderen Substanzgruppen ist von der gewählten Definition für den Begriff „VOC“ abhängig. Da eine Reihe von unterschiedlichen Definitionen existiert, ist dieser Unterschied bei einer vergleichenden Beurteilung immer zu berücksichtigen. Bei der Beurteilung der Luft von Innenräumen werden am häufigsten die sich weitgehend deckenden Definitionen der European Collaborative Action – Indoor Air Quality and it's Impact on Man (ECA) und der Weltgesundheitsorganisation (WHO) herangezogen.

Flüchtige organische Verbindungen umfassen laut ECA (1997) organische Verbindungen, die im analytischen Fenster im Elutionsbereich zwischen C₆ (n-Hexan) und C₁₆ (n-Hexadecan) detektierbar sind. Mit dieser Definition wird der Bereich der VOC bezogen auf eine bestimmte analytische Säule zwar exakt bestimmt, aufgrund der auf verschiedenen analytischen Säulen unterschiedlichen Retentionszeiten existieren aber im sehr flüchtigen bzw. gering flüchtigen Randbereich Substanzen, deren Zugehörigkeit zu den VOC nicht exakt definiert ist.

Die Definition der ECA spiegelt in etwa den Bereich der Substanzen wieder, der von einer WHO Working Group (WHO 1989) als VOC bezeichnet wird (Tabelle 1). Die Einbeziehung der Spalte „Probenahmetechnik“ in die Tabelle soll unterstreichen, dass die Definition nicht ohne die verfügbaren analytischen Möglichkeiten gesehen werden darf.

Tabelle 1: Klassifizierung organischer Substanzen nach WHO (1989)

Kategorie	Abkürzung	Siedebereich in °C	Probenahmetechnik ^{a)}
Very volatile (gaseous) organic compounds	VVOC	< 0 bis Bereich 50 - 100	Gasmaus oder Kanister, Adsorption an PDMS
Volatile organic compounds	VOC	Bereich 50 - 100 bis Bereich 240 - 260	Adsorption an Tenax, graphitiertem Kohlenstoff oder Aktivkohle, PDMS
Semivolatile organic compounds	SVOC	Bereich 240 - 260 bis Bereich 380 - 400	Adsorption an PU-Schaum oder XAD-2
Organic compounds associated with particulate matter or particulate organic matter	POM	> 380	Probenahme mit Filtern

a) Auf die Problematik der Probenahmetechnik wird im Kapitel 3 eingegangen

In den Luftqualitätskriterien VOC der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (1997) wird der VOC-Begriff sehr weit gefasst und beinhaltet sämtliche flüchtige organische Verbindungen, auch im Siedepunktsbereich unter 50 °C. Halogenhaltige organische Verbindungen und organische Verbindungen mit Heteroatomen werden allerdings nicht behandelt.

Im der VOC-Anlagen-Verordnung, BGBl. II Nr. 301/2002, werden VOC als organische Verbindungen definiert, die bei 293,15 K einen Dampfdruck von 0,01 kPa oder mehr haben oder unter den jeweiligen Verwendungsbedingungen eine entsprechende Flüchtigkeit aufweisen; der Kreosotanteil, der bei 293,15 K diesen Dampfdruck übersteigt, gilt als flüchtige organische Verbindung. Diese Definition wurde aus der VOC-Richtlinie der EU übernommen (Richtlinie des Rates vom 11. März 1999 über die Begrenzung von Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen).

In der österreichischen Lösungsmittelverordnung (Lösungsmittelverordnung 1995) werden als „Organische Lösungsmittel“ flüssige organische Verbindungen definiert, die einen Siedepunkt < 200°C besitzen, andere Stoffe zu lösen vermögen sowie nach deren bestimmungsgemäßer Anwendung verdunsten. Damit stellen „Organische Lösungsmittel“ laut der Definition der Lösungsmittelverordnung eine Teilmenge der VOC dar. Der Begriff „lösungsmittelfrei“ bei einer Rezeptur bedeutet in diesem Zusammenhang, dass keine organischen Lösungsmittel mit einem Siedepunkt kleiner 200 °C eingesetzt werden.

Der Bedeutung der VOCs in der Außenluft als Ozonvorläufersubstanzen entsprechend, zielen einige gebräuchliche Definitionen auf diese Eigenschaft ab. In der EU-Richtlinie

über nationale Emissionshöchstmengen für bestimmte Schadstoffe findet sich in Artikel 3 folgende Definition: „*Flüchtige organische Verbindung*“ und „*VOC*“ bedeuten *jede organische Verbindung, die sich aus menschlicher Tätigkeit ergibt, mit Ausnahme von Methan, die durch Reaktion mit Stickstoffoxiden in Gegenwart von Sonnenlicht photochemische Oxidantien erzeugen kann.*

Abschließend ist zu erwähnen, dass bei der chemischen Charakterisierung der Raumluft und Bestimmung der Raumluftverunreinigungen der Aspekt der „Indoor Chemistry“ zu berücksichtigen ist (Salthammer 2000). In vielen Fällen sind für die Charakterisierung von reaktiven Substanzen und Sekundärprodukten spezielle analytische Methoden und Probenahmestrategien notwendig; manche Substanzen können derzeit überhaupt nicht erfasst werden.

1.2 VERBREITUNG IN DER UMWELT¹

VOC werden sowohl von anthropogenen als auch von biogenen Quellen emittiert.

Für anthropogene VOC-Emissionen (ohne Methan) ist eine Vielzahl von Quellen verantwortlich. In Reihenfolge abnehmender Bedeutung waren diese in Österreich für das Jahr 1999 die Lösungsmittelverdunstung, die Emission aus dem Straßenverkehr und die Verbrennung von Biomasse und Kohle in Kleinf Feuerungsanlagen (Ritter et al. 2000). Zu den biogenen Quellen der VOC (ohne Methan) zählen Wälder (Terpenkohlenwasserstoffe) sowie bakterielle Stoffwechselprodukte bei Gärungs- und Fäulnisvorgängen.

Organische Lösungsmittel werden in vielen Produkten wie Lacken, Klebstoffen, Reinigungsmitteln und Konsumartikeln eingesetzt. Weiters kommt es zu Emissionen von organischen Lösungsmitteln bei etlichen industriellen und gewerblichen Prozessen, etwa der Entfettung von Metallen, bei der Kleiderreinigung und beim Drucken.

Bei Kleinf Feuerungsanlagen entstehen VOC-Emissionen durch unvollständige Verbrennung vor allem fester Brennstoffe, da besonders in älteren Anlagen die Verbrennung wenig kontrolliert und hinsichtlich der Emissionen nicht optimiert ist.

Industrielle Prozesse, die zu VOC-Emissionen führen, sind unter anderem die Verarbeitung von Erdöl, die Kunststoffherstellung, die Nahrungsmittelherstellung, die Koksherstellung und die Erzsinterung bei der Stahlerzeugung, die Herstellung von Textilien und Leder, die Herstellung von Holzspanplatten und die Papierherstellung. Die

¹ Dieses Kapitel folgt weitgehend den Ausführungen der Luftqualitätskriterien-VOC der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW 1997). Bei den Ausführungen über die VOC-Emissionen in die Außenluft ist allerdings zu berücksichtigen, dass im Vergleich zur WHO bzw. der ECA von der Akademie der Wissenschaften eine weiter gefasste VOC-Definition angewendet wird (siehe Kapitel 1.1).

Erdölverarbeitung liefert den größten Anteil industrieller VOC-Emissionen. Die VOC-Emissionen von Kraftwerken und industriellen Feuerungsanlagen sind gering.

Beim Straßenverkehr entstehen VOC-Emissionen durch unvollständige Verbrennung im Motor und durch Treibstoffverdunstung. Kleinere Quellen sind der nicht straßengebundene Verkehr (z.B. Baumaschinen, landwirtschaftliche Geräte) und kleinere Arbeitsgeräte (z.B. Rasenmäher, Motorsägen).

Über die Zusammensetzung der emittierten VOC ist sehr wenig bekannt, da bei Emissionsmessungen und Emissionsabschätzungen meist nur die Gesamtsumme erfasst wird. Nähere Untersuchungen finden sich für spezielle Substanzen, die etwa auf Grund ihrer Toxizität von besonderem Interesse sind. Hierzu gehören u.a. Aromaten und hier insbesondere Benzol.

Hauptquellen für Benzolemissionen sind der Straßenverkehr und die Verbrennung biogener Brennstoffe in Kleinf Feuerungsanlagen. Toluol wird etwa zu gleichen Teilen durch Lösungsmittelverdunstung und mit Automobilabgasen emittiert, die dritt wichtigste Quelle sind Kleinf Feuerungsanlagen.

1.3 VORKOMMEN UND QUELLEN VON VOC IN INNENRÄUMEN²

In Innenräumen existiert eine Vielzahl von Quellen an flüchtigen organischen Verbindungen. Am wichtigsten sind neben dem Tabakrauch Haushalts-, Hobby- und Bauprodukte, die bei ihrer Verarbeitung eingesetzten Materialien sowie Einrichtungsgegenstände. VOC können z.B. in der Nähe von Industrie- und Gewerbebetrieben auch von außen in nennenswertem Ausmaß durch Lüftungsvorgänge in die Innenraumluft gelangen.

Die VOC-Emissionen von neu in einen Raum gebrachten Materialien, Anstrichstoffen oder Einrichtungsgegenständen verringern sich im Laufe der Zeit. Mit dem zu beobachtenden Ersatz leichter flüchtiger Lösungsmittel durch höher siedende Stoffe reduziert sich zwar meistens die Konzentration, es verlängert sich aber die Zeitspanne, während welcher mit relevanten Emissionen zu rechnen ist. Wie lang die jeweilige Zeitspanne im Einzelnen ist, hängt vom Charakter der einzelnen Verbindung und den räumlichen Bedingungen, hauptsächlich von der Lüftungsintensität, aber auch von der Raumtemperatur ab. Aus diesem Grunde kann es für einen bestimmten Raum aus der Erfahrung zwar Hinweise dafür geben, nach welcher Zeit, z.B. nach einer Renovierung, die VOC-Konzentration auf einen vorgegebenen Wert abgesunken sein wird, eine sichere Prognose ist aber nicht möglich. Wenn keine signifikanten Quellen im Raum oder in der näheren Umgebung einer Wohnung vorhanden sind, übersteigt die

² Das Kapitel folgt weitgehend den Ausführungen von Seifert (1999).

Konzentration einzelner VOC nur in seltenen Fällen Werte zwischen 10 und 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Für viele VOC liegt sie im Mittel sogar unter 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Die Gesamtkonzentration an VOC bewegt sich in Wohnungen im Mittel in der Größenordnung von einigen hundert $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dies hat sich im Umwelt-Survey 1985/86 für deutsche Wohnungen (Krause et al. 1991) sowie in neueren Studien in der BRD gezeigt (Scholz 1998, Plieninger 1998, Schleibinger et al. 2001) und ist auch durch eine Reihe von weiteren Studien in nicht deutschsprachigen Ländern belegt (vgl. Maroni et al. 1995).

In neuen Gebäuden, nach Renovierungs- oder intensiven Reinigungsarbeiten oder nach Einbringen neuer Einrichtungsgegenstände in einen Raum können die VOC - Konzentrationen kurzzeitig um einen Faktor 10 oder noch mehr den Durchschnitt übersteigen. Auch in Räumen, die in der unmittelbaren Nachbarschaft von Gewerbebetrieben liegen, evtl. sogar unmittelbar an die Betriebsräume angrenzen, wie häufig im Falle von Chemisch-Reinigungsbetrieben und anderen Kleinbetrieben in Mischgebieten, können für bestimmte flüchtige organische Substanzen Konzentrationen im mg/m^3 -Bereich angetroffen werden (Sagunski 1996).

Die Spannweite der in der Praxis auftretenden Konzentrationen lässt sich etwa aus den von Rothweiler et al. (1990) veröffentlichten Ergebnissen ermessen: Bei einstündiger Probenahme in drei neuen Gebäuden wurden unter vergleichbaren Bedingungen vor dem Bezug Gesamtkonzentrationen an VOC zwischen 10 und 20 mg/m^3 gefunden. In einem vierten Gebäude betrug die Gesamtkonzentration an VOC acht Wochen nach Einzug der Bewohner etwa 1,5 mg/m^3 . In zwei weiteren Objekten ergaben Messungen vor einer Renovierung und eine Woche danach Gesamtkonzentrationen an VOC von etwa 0,7 mg/m^3 bzw. 5 - 7 mg/m^3 . Die Außenluftkonzentrationen betragen im Mittel 0,17 mg/m^3 . Seifert et al. (1989) verfolgten die VOC - Konzentrationen in zehn Häusern in Berlin über ein Jahr hinweg. Während dieser Zeit wurden in einem Raum auch die Wände mit Dispersionsfarben gestrichen. Die Gesamtkonzentration an VOC, die als Mittelwert über zwei Wochen bestimmt wurde, stieg dabei um einen Faktor von knapp 5, wobei hauptsächlich C_9 - bis C_{11} - Aliphaten beitrugen. Bei der Neuverlegung von Teppichböden in einem klimatisierten kanadischen Bürogebäude fiel die Gesamtkonzentration an VOC bei einer Luftwechselzahl von $1,5 \text{ h}^{-1}$ innerhalb von etwa zehn Tagen von rund 10 mg/m^3 auf rund 0,2 mg/m^3 ab (Kerr 1992).

Für Österreich sind mit Ausnahme einzelner nicht für die Gesamtsituation repräsentativer Studien keine Untersuchungen veröffentlicht worden, in denen die VOC-Konzentrationen von Innenräumen ermittelt worden wären. Für Wien liegen Ergebnisse einer Messserie in über 150 Wohnungen vor (Hutter et al. 2002). In insgesamt 20 Klassenräumen oberösterreichischer Schulen wurde die Konzentration an VOC bestimmt (Brandl et al. 2001). In einer weiteren zum Zeitpunkt der Veröffentlichung des vorliegenden Richtliniensteiles noch nicht abgeschlossene Studie in

oberösterreichischen Schulen und Kinderbetreuungseinrichtungen wurden mehr als 50 Räume auf VOC untersucht (OÖ Landesregierung 2003).

Der 1985/86 in Deutschland durchgeführte Umwelt-Survey zeigt die durchschnittliche Belastung für Wohnungen in den Achtzigerjahren (Krause et al. 1991). Es ist zu berücksichtigen, dass sich das VOC-Spektrum in der Innenraumluft zwischenzeitlich durch das Auftreten früher nicht beobachteter Verbindungen (z.B. Glykolether und höhere Aldehyde) und die deutliche Verringerung der Konzentrationen einiger anderer Verbindungen (z.B. Halogenkohlenwasserstoffe) so verändert hat, dass die von Krause et al. aufgenommenen und angegebenen Werte nicht mehr der heutigen Situation entsprechen. Neuere statistische Auswertungen der durch unterschiedliche deutsche Institute durchgeführten, jedoch nicht repräsentativen Raumluft-untersuchungen geben Aufschluss über die Größenordnungen der Konzentration flüchtiger organischer Verbindungen in deutschen Wohnungen (Scholz 1998, Plieninger 1998, Schleibinger et al. 2001, Lux 2001).

Die Ergebnisse der meisten in Bezug auf VOC durchgeführten Studien können aufgrund unterschiedlicher Probenahmestrategien nicht direkt verglichen werden, die Tabelle 2 erlaubt jedoch eine ungefähre Einschätzung der Größenordnungen der zu erwartenden Konzentrationen häufig auftretender Einzelverbindungen. In der Tabelle werden die Ergebnisse des Umwelt-Surveys des Bundesgesundheitsamtes (BGA) aus den Jahren 1985-1986, der Untersuchung von Lux et al., die im Jahre 1997 durchgeführt wurde, der Ergebnisse der Gesellschaft für Umweltchemie (GfU) aus den Jahren 1995 - 2000 sowie eines Berliner Umweltlabors (BAUCH) aus den Jahren 1990 – 1999 zusammengefasst.

Tabelle 2: Konzentrationen ausgewählter flüchtiger organischer Verbindungen in deutschen Innenräumen, zusammengefasst nach Schleibinger et al. (2001), Lux et al. (2001); alle Konzentrationsangaben in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Verbindung	n	AM	50%	95%
<i>Aromatische Kohlenwasserstoffe</i>				
Benzol	2135	8,0	3,6	28,8
Toluol	2146	77,2	28,0	292
Ethylbenzol	2138	10,0	3,6	37,9
m-/p-Xylol	2138	26,3	8,9	100
o-Xylol	2138	8,9	2,8	34,2
Styrol	1841	7,5	0,6	23,9
1,3,5-Trimethylbenzol	1830	9,0	1,0	31,2
1,2,4-Trimethylbenzol	1832	25,5	4,1	95,2
1,2,3-Trimethylbenzol	1713	4,4	0,8	16,6
n-Propylbenzol	1685	5,0	1,0	19,2
Isopropylbenzol	1288	3,1	1,1	11,8
2-Ethyltoluol	1638	5,3	0,6	18,8
3-/4-Ethyltoluol	1680	20,2	1,0	55,5
<i>Aliphatische und cycloaliphatische Kohlenwasserstoffe</i>				
n-Hexan	1512	7,1	2,4	27,0
n-Heptan	1677	9,3	3,0	35,7
n-Octan	1830	5,3	1,1	20,3
n-Nonan	2136	9,7	1,8	36,9
n-Decan	2136	16,8	3,8	64,7
n-Undecan	2133	14,1	3,9	54,5
n-Dodecan	1838	8,2	2,5	31,7
n-Tridecan	1681	4,8	2,1	17,5
n-Tetradecan	1198	2,9	1,9	8,4
n-Pentadecan	1193	1,8	0,5	7,1
n-Hexadecan	1035	1,0	0,6	3,4
Cyclohexan	1830	7,3	2,4	28,0
Methylcyclopentan	1152	3,6	0,9	14,1

VOC – Allgemeiner Teil

Verbindung	n	AM	50%	95%
Methylcyclohexan	1479	7,5	1,4	28,6
<i>Alkene</i>				
Trimeres Isobuten	1159	6,4	0,6	43,0
<i>Chlorierte Kohlenwasserstoffe</i>				
1,1,1-Trichlorethan	1826	13,9	0,9	91,0
Trichlorethen	1892	4,6	0,8	17,3
Tetrachlorethen	1935	10,6	0,9	34,5
1,4-Dichlorbenzol	667	8,0	1,4	30,2
<i>Ester einwertiger Alkohole</i>				
Ethylacetat	1613	37,8	2,6	117
n-Butylacetat	1676	29,2	3,2	102
Isobutylacetat	1434	2,4	0,6	19,0
<i>Ketone</i>				
Methylethylketon	653	5,5	4,4	27,0
Methylisobutylketon	1042	5,1	0,5	17,4
Cyclohexanon	375	8,0	0,5	24,0
<i>Alkohole</i>				
Ethylhexanol	1074	2,4	1,1	32,0
Isobutanol	856	5,5	2,5	42,0
n-Butanol	1072	13,7	2,4	200
<i>Glykolester und -ether</i>				
Diethylglykolmonomethylether	472	13,5	1,1	43,6
Diethylglykolmonoethylether	324	28,0	1,0	69,8
Diethylglykolmonobutylether	472	9,7	1,1	107
1,2-Propylglykol	472	6,2	1,1	36,0
Ethylglykolmonoethylether	382	1,0	0,5	3,5
Ethylglykolmonobutylether	473	16,6	2,6	100
Ethylglykolmonophenylether	465	38,0	1,9	237
1,2-Propylglykolmonomethylether	472	14,0	1,5	48,7
Propylglykolmonobutylether	372	3,7	0,5	52,0
Propylglykolmonophenylether	372	8,3	0,6	45,0
Ethylglykolmonomethyletheracetat	30	2,0	0,5	19,0

VOC – Allgemeiner Teil

Verbindung	n	AM	50%	95%
Ethylenglykolmonobutyletheracetat	89	18,0	0,5	92,0
Diethylenglykolmonobutyletheracetat	480	6,4	0,6	42,0
Propylenglykolmonomethyletheracetat	413	5,2	0,5	63,0
2,2,4-Trimethyl-1,3-pentandiolmonoisobutyrat	653	1,7	0,5	91,0
<i>Terpenkohlenwasserstoffe</i>				
a-Pinen	2128	38,9	9,6	311
β-Pinen	1945	4,5	1,2	27,0
Limonen	2133	26,6	8,9	101
?-3-Caren	1647	17,3	3,4	112
Eucalyptol	840	2,1	0,5	8,1
Camphen	812	1,0	0,5	3,5
Longifolen	999	2,6	0,5	10,0
<i>Aldehyde</i>				
Pentanal	621	9,2	4,2	55,0
Hexanal	1292	14,1	3,0	438
Heptanal	592	2,1	0,5	15,0
Octanal	621	3,1	0,6	11,8
Nonanal	622	0,7	6,3	69,0
<i>Siloxane</i>				
Hexamethylcyclotrisiloxan	654	1,0	0,5	3,5
Octamethylcyclotetrasiloxan	775	8,9	0,5	25,9
Decamethylcyclopentasiloxan	776	8,6	0,5	25,2

n: Anzahl der Messungen
 AM: arithmetisches Mittel
 50%: 50. Perzentil der Konzentrationsverteilung (= Median)
 95%: 95. Perzentil der Konzentrationsverteilung

2 GRUPPEN FLÜCHTIGER ORGANISCHER VERBINDUNGEN, QUELLEN

2.1 AROMATISCHE KOHLENWASSERSTOFFE

Als aromatische Kohlenwasserstoffe bezeichnet man die Abkömmlinge der einfachsten aromatischen Verbindung Benzol. Aromatische Kohlenwasserstoffe, vor allem Toluol, sind aufgrund ihrer vielfältigen Anwendung im Bereich der Bauprodukte und Materialien der Inneneinrichtung in nahezu jeder Innenraumluft nachweisbar. Auch Tabakrauch stellt eine nicht zu unterschätzende Quelle an aromatischen Kohlenwasserstoffen dar.

Aromaten wie Toluol, Ethylbenzol oder Xylole werden hauptsächlich in Nitro- und Kunstharzlacken als Verdünner eingesetzt. Auch bestimmte Dispersionskleber für Bodenbeläge können aromatische Lösungsmittel enthalten. Der Einsatz von Benzol als Lösungsmittel ist auf Grund seiner kanzerogenen Wirkung in Österreich nicht erlaubt. Als Verunreinigung kann es jedoch in Toluol und anderen Lösungsmitteln enthalten sein. Durch die Vorgaben der Österreichischen Lösungsmittelverordnung wurde die Verwendung aromatenhaltiger Rezepturen im Bau- und Renovierungsbereich im letzten Jahrzehnt stark eingeschränkt; eine gewisse Bedeutung als Quelle in Innenräumen haben heute noch höhersiedende Aromaten in Bitumenanstrichen. Toluol wird mitunter noch in Möbelpolituren eingesetzt. Styrol wird vor allem nach der Aufbringung von Feuchtigkeitsabdichtungen auf Polyesterbasis sowie in unmittelbarer Nähe kunststoffverarbeitender Betriebe nachgewiesen.

Eine bedeutende Quelle an aromatischen Kohlenwasserstoffen im Innenbereich ist auch die Außenluft, in der sich praktisch immer nachweisbare Mengen an aromatischen Kohlenwasserstoffen wie Toluol, Benzol, Xylolen und Ethylbenzol finden und die vor allem durch Verbrennungsvorgänge freigesetzt werden. Bei Gebäuden, in denen es keine vollständige lufttechnische Trennung zwischen Garagen und Innenräumen gibt (Tappler und Damberger 1998), kann mit Treibstoffdämpfen belastete Garagenluft zu einer relevanten Quelle an Aromaten werden. Als Primärquelle kommen weiters Gewerbebetriebe, wie z.B. Druckereien oder Lackieranlagen, in denen aromatenhaltige Lösungsmittel eingesetzt werden, in Frage.

2.2 ALIPHATISCHE UND CYCLOALIPHATISCHE KOHLENWASSERSTOFFE

Aliphatische Kohlenwasserstoffe sind Kohlenwasserstoffe mit offenkettiger Struktur, die eine Gruppe von chemisch relativ stabilen Substanzen darstellen. Sie kommen häufig als Verdüner für Farben, Lacke und Öle vor. Petrolether, Siedegrenzenbenzin und Testbenzin sind Sammelbezeichnungen für Gemische dieser Substanzen mit unterschiedlichen Siedepunkten. Testbenzin enthält außer aliphatischen Lösungsmitteln geringe Mengen an aromatischen Kohlenwasserstoffen. Aliphatische Kohlenwasserstoffe besitzen einen vergleichsweise hohen Geruchsschwellenwert.

Diesel- und Heizöl setzen sich zum Großteil aus einer charakteristischen Mischung geradkettiger und verzweigter aliphatischer Kohlenwasserstoffe im Siedebereich von etwa C₉-C₁₄ zusammen. Bei nicht vollständiger lufttechnischer Trennung zwischen Räumen mit Heizöltanks (bzw. Garagen mit Dieselöltanks, undichten Fahrzeugtanks etc.) und Innenräumen kann diese mit Heiz- oder Dieselöl belastete Luft zu einer relevanten Quelle werden. Relativ hohe Konzentrationen an Aliphaten in der Raumluft treten auch nach Lecks von Heizölleitungen auf. Durch die niedrige Geruchsschwelle von Verunreinigungen und Zusätzen des Heiz- oder Dieselöls können Kontaminationen der Raumluft schon in niedrigen Konzentrationen geruchlich wahrgenommen werden.

Auch im Bereich der Chemisch-Reinigungen kommen verstärkt Alkane (n-Undecan) als Ersatzprodukte für Tetrachlorethen (Per, TCE) zum Einsatz. Bei Gebäuden, in denen es keine wirksame lufttechnische Trennung zwischen dem Einsatzbereich dieser Stoffe und anderen Innenräumen gibt, ist eine erhöhte Konzentration z.B. an n-Undecan auch in nicht zum Betrieb gehörigen Innenräumen zu erwarten. Ein weiterer möglicher Durchtrittsweg ist die Diffusion durch massive Mauern.

Isoaliphatische Lösungsmittel (Isoparaffine) weisen in ihrer Molekülkette im Unterschied zu den geradkettig aufgebauten n-Alkanen Verzweigungen auf. Iso-Aliphaten treten in der Praxis meist als Substanzgemische auf, deren genaue Zusammensetzung nicht bis ins Detail bekannt ist. Charakteristisch für die Iso-Aliphaten ist die große Variationsbreite der in den Gemischen vorkommenden Verbindungen mit gleicher Kohlenstoffzahl. Einer einzigen Summenformel entsprechen eine Vielzahl von Isomeren mit unterschiedlichen chemischen, physikalischen und auch toxikologischen Eigenschaften. Iso-Aliphaten werden in Naturfarben und -lacken anstelle von Terpenkohlenwasserstoffen als Lösungsmittel verwendet. Als Begründung wird von den Herstellern ein gegenüber den Terpenen geringeres allergenes Potential und geringere Toxizität der Iso-Aliphaten angeführt.

Aus der Gruppe der Cycloaliphaten ist Cyclohexan, das als Lösungsmittel für Lacke und andere Anstrichmittel verwendet wird, in Innenräumen häufig messbar. Daneben sind auch Methylcyclohexan und Methylcyclopentan zu nennen, da diese Substanzen in vielen

Erdölprodukten, die im Baubereich verwendet werden, enthalten sind und dadurch in relevanten Konzentrationen in der Innenraumluft detektiert werden (Pluschke 1996). Auch Reinigungslösungen und ähnliche Produkte können diese Substanzen enthalten.

2.3 CHLORIERTE KOHLENWASSERSTOFFE

Chlorierte Kohlenwasserstoffe wurden in der Vergangenheit unter anderem zum chemischen Reinigen (Tetrachlorethen), zum Abbeizen (Dichlormethan), als Lösungsmittel in Korrekturflüssigkeiten (1,1,1-Trichlorethan), als Duftstoff und Desinfektionsmittel (Dichlorbenzol) sowie in einer Vielzahl technischer Prozesse (z.B. in der Kunststoffverarbeitung) verwendet. Durch die Vorgaben der Lösungsmittelverordnung wurde die Verwendung dieser Substanzen stark zurückgedrängt. In Innenräumen existieren heute als Quellen chlorierter Kohlenwasserstoffe vor allem Chemisch-Reinigungsbetriebe (Tetrachlorethen). Belastungen der Innenraumluft mit der Substanz Dichlorbenzol treten nur mehr selten auf. Quellen können in diesen Fällen Desinfektionsmittel (z.B. WC-Steine) sowie biozid wirkende Präparate, die zur Verhinderung von Schädlingsbefall z.B. in Museen eingesetzt werden, sein (Tappler 2001).

2.4 ALKOHOLE, KETONE, ESTER

Diese Substanzgruppen sind in vielen lösungsmittelhaltigen Zubereitungen enthalten. Alkohole wie Isobutanol werden als Lösungsmittel und zur Verbesserung der Verlaufsbarkeit und des Glanzes in konventionellen Kunstharzlacken (z.B. Alkydharzlacken) und aufgrund ihrer Wasserlöslichkeit zunehmend in wässrigen Lacksystemen, Wandfarben und Bodenbelagsklebern eingesetzt. Die Substanz Methylethylketon (MEK) und Cyclohexanon findet man ebenfalls als häufigen Bestandteil von Lösungsmitteln. Ethylacetat und Butylacetat gehören zur Gruppe der Essigsäureester und werden als Lösungsmittel z.B. für Polyurethanlacke sowie in UV-gehärteten Lacksystemen eingesetzt. Die Substanzen Benzophenon und Cyclohexanon finden sich als Sekundäremission aus UV-gehärteten Lacksystemen (Salthammer 1999).

Lacke, wie sie z.B. zur Versiegelung von Holzfußböden verwendet werden, enthalten sehr oft leichtflüchtige Essigsäureester. Am häufigsten findet man hier die Substanz n-Butylacetat. Essigsäureester und Ketone sind häufig schon in relativ niedrigen Konzentrationen an ihrem charakteristischen durchdringend-fruchtigen Geruch erkennbar.

Ester und Ether mehrwertiger Alkohole finden sich als Bestandteil lösungsmittelarmer Rezepturen von Wandfarben und so genannter „Wasserlacke“, die in zunehmendem Ausmaß eingesetzt werden. Bei den in der Raumluft häufig detektierten Substanzen

handelt es sich durchwegs um Glykole, Glykolether und deren Acetate. Obwohl ihre Vertreter in der Mehrzahl schwerer flüchtig sind als klassische Lösungsmittel, finden sich dennoch relevante Mengen dieser Substanzen in der Raumluft von Innenräumen (Plieninger 1998).

2.5 ISOPRENOIDE

Isoprenoide sind Stoffe, deren Grundkörper aus Isopren (C_5H_8)-Bausteinen aufgebaut ist. Die für die Innenraumluft bedeutendsten Vertreter sind Terpenkohlenwasserstoffe (Terpene) wie α -Pinen, Limonen oder Campher.

Einige Vertreter der Isoprenoide werden seit einigen Jahrzehnten in zunehmenden Ausmaß als Alternativen zu synthetisch hergestellten Lösungsmitteln verwendet. Hier ist vor allem das Zitruschalenterpen Limonen zu nennen, das als Lösungsmittel in Naturöl- und Naturharzpräparaten eingesetzt wird. Weiters findet man diese Substanz als Duftstoff in einer Vielzahl von im Haushalt eingesetzten Produkten (z.B. Waschmittel, Spülmittel, Duftölen). Die Verwendung von Terpentinöl (eine Mischung unterschiedlicher Terpene) als Lösungsmittel ist stark rückläufig. Verbindungen wie α -Pinen, β -Pinen oder Delta-Caren wurden auch in relevanten Konzentrationen als Abgasung von frischem Nadelholz nachgewiesen (Salthammer et al. 1996). In Innenräumen findet man mitunter die einen charakteristischen Geruch aufweisende Substanz Campher, die als Riech- und Geschmacksstoff z.B. in Mottenschutzstreifen sowie in Arzneimitteln enthalten sein kann.

Durch die zunehmende Verwendung von lösungsmittelfreien Klebern können Sesquiterpene, die in diesen Produkten enthaltenen sind, in erhöhten Konzentrationen in der Innenraumluft vorliegen.

Neben den genannten Substanzen existieren noch eine Reihe weitere Isoprenoide, die in Produkten in Innenräumen als Duftölbestandteil enthalten sind und zum Teil von den Nutzern bewusst zur ‚Luftverbesserung‘ freigesetzt werden.

2.6 ALDEHYDE

Aldehyde nehmen insofern eine Sonderstellung unter den in Innenräumen vorkommenden flüchtigen Verbindungen ein, als für die in der Raumluft nachgewiesenen höheren Aldehyde in der Regel keine primären Quellen existieren. Aldehyde entstehen vor allem im Raum selbst als Reaktionsprodukte von in Baustoffen und Materialien der Inneneinrichtung enthaltenen Substanzen. Beispiele dafür sind die Entstehung von höheren Aldehyden aus Alkydharzlacken oder aus Produkten, die Leinöl enthalten wie z.B. ölhältige Imprägnierungen oder Linoleum (Jensen et al. 1993). Der häufigste in

Innenräumen gefundene höhere Aldehyd ist Hexanal. Höhere Aldehyde besitzen einen relativ niedrigen Geruchsschwellenwert.

Der einfachste Aldehyd, Formaldehyd, gehört laut WHO-Definition nicht zu den VOC. Formaldehyd wird wegen seiner raumlufthygienischen Bedeutung in einem eigenen Teil der vorliegenden Richtlinie abgehandelt.

2.7 PHTHALATE

Phthalsäureester werden vor allem als Weichmacher eingesetzt. Der wichtigste Vertreter ist die Substanz Di-2-(ethylhexyl)-phthalat (DEHP). Geringer flüchtige Phthalate wie auch DEHP fallen allerdings aufgrund ihres hohen Siedepunktes nicht mehr in die vorgegebene VOC-Definition laut WHO. Neben DEHP werden Di-n-butylphthalat (DBP) sowie Butylbenzylphthalat und Diethylphthalat eingesetzt (B.A.U.C.H. 1991). Der Haupteinsatzbereich von Phthalsäureestern sind Produkte aus Weich-PVC wie Bodenbeläge, Spielzeug und Tapeten, aber auch Körperpflegemittel (Duftstoffe, Haarsprays, Nagellacke), Pestizide und Lösungsmittel.

2.8 SILOXANE

Ein relativ neuer Rezepturbestandteil in speziellen Lacken (z.B. für Möbeloberflächen) sind flüchtige organische Siliciumverbindungen vom Siloxan-Typ. Sie werden unter anderem als Additive zur Verminderung der Grenzflächenspannung, zur Verbesserung des Verlaufs und der Pigmentnetzung sowie zur Erhöhung der Kratzfestigkeit eingesetzt. Siloxane besitzen einen sehr hohen Geruchsschwellenwert, dies prädestiniert sie für eine immer stärkere Verwendung in für die Anwendung in Innenräumen eingesetzten Rezepturen von Farben und Lacken.

Flüchtige Siloxane in der Innenraumluft kommen zum Teil in erheblichen Konzentrationen (bis $> 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) vor. Die Siedepunkte der in der Raumluft nachgewiesenen zyklischen Methyl-Siloxane liegen in der Regel zwischen ca. 170°C und über 220°C . Es handelt sich um methylierte Cyclotri-, Cyclotetra- und Cyclopentasiloxane. In den meisten Untersuchungen, in denen Konzentrationen flüchtiger organischer Verbindungen in Innenräumen bestimmt wurden, wurde diese Substanzgruppe nicht berücksichtigt. Eine Bewertung anhand von statistisch ermittelten Durchschnitts- oder Perzentilwerten ist daher derzeit nur für einzelne Vertreter möglich.

2.9 MIKROBIELL VERURSACHTE FLÜCHTIGE ORGANISCHE VERBINDUNGEN (MVOC)

Als MVOC-Verbindungen (Microbially Volatile Organic Compounds) bezeichnet man die organischen Stoffwechselprodukte der Mikroorganismen im Bereich der VOC, vor allem von Schimmelpilzen (Keller 1998). Aufgrund ihrer niedrigen Geruchsschwelle lassen sich zahlreiche MVOCs geruchlich wahrnehmen. Beispiele für MVOCs sind die Substanzen 3-Octanol, Methylfuran oder Dimethyldisulfid.

Ob sich MVOCs als Indikatoren zur Beurteilung für das Vorliegen von mikrobieller Aktivität bzw. eines Schimmelwachstums eignen, wird derzeit kontroversiell diskutiert. Es wird angenommen, dass einige dieser Verbindungen für Schimmelpilze spezifisch sind, manche von Schimmelpilzen abgegebenen Verbindungen werden aber auch von Baumaterialien und Einrichtungsgegenständen emittiert. MVOCs kommen in der Innenraumluft in der Regel in deutlich geringeren Konzentrationen vor als Lösungsmittelbestandteile, es ist daher für deren Nachweis unter Umständen eine spezielle Probenahme und Analytik notwendig.

2.10 REAKTIVE SUBSTANZEN, SEKUNDÄRPRODUKTE

In Innenräumen produzierte oder aus der Außenluft stammende Luftbestandteile wie Ozon und andere reaktive Verbindungen können in der Gasphase oder an Materialoberflächen mit anderen Stoffen reagieren und neue Verbindungen erzeugen. Art und Menge dieser so genannten sekundären Emissionsprodukte sind von den Vorläufersubstanzen und den klimatischen Parametern abhängig. Zahlreiche im Innenraum gebräuchliche Produkte emittieren darüber hinaus herstellungsbedingt reaktive Verbindungen oder Sekundärprodukte (Salthammer 2000). Solche Verbindungen können schon in niedrigen Konzentrationen durch ihre Geruchsintensität oder ihre irritative Wirkung das menschliche Wohlbefinden negativ beeinflussen (Wolkoff et al. 1997).

Für den Nachweis dieser Verbindungen ist zum Teil eine über Routinemethoden hinausgehende, spezielle Analytik notwendig; manche Substanzen können derzeit überhaupt noch nicht charakterisiert werden.

Tabelle 3: Mögliche Reaktionsprodukte und reaktive Komponenten in der Innenraumluft mit potentiellen Emissionsquellen und Vorläufersubstanzen (nach Salthammer 2000)

Quelle	Vorläufersubstanz	Reaktive Verbindung/Reaktionsprodukt
Textile Bodenbeläge	Styrol/Butadien cis-/trans-Butadien	Styrol, 4-Phenyl-cyclohexen (4-PC), 4-Vinyl-cyclohexen (4-VCH)
Kork	Pentosen	Furfural, Ameisensäure, Essigsäure, Hydroxymethylfurfural
Wässrige Beschichtungssysteme	T4MDD	MIKB, 3,5-Dimethyl-1-hexyn-3-ol
UV-Lacke	PHMP	Benzaldehyd, Benzil, Aceton, Pinacol, 1-Phenyl-2-methyl-1,2-propandiol
UV-Lacke	HCPK	Benzaldehyd, Benzil, Cyclohexanon
Weichholz, Terpentin		α -Pinen, β -Pinen, Δ^3 -Caren, Longifolen, β -Phellandren, Camphen, Myrcen, Carvon
Linoleum NC-Lacke, Öko-Lacke (Alkydharze)	Ölsäure	Heptanal, Octanal, Nonanal, Decanal, 2-Decenal
	Linolensäure	2-Pentanal, 2-Hexanal, 3-Hexanal, 2- Heptanal, 2,4-Heptedienal, 1Penten-3- on
	Linolsäure	Hexanal, Heptanal, 2-Heptenal, Octanal, 2-Octenal, 2-Nonenal, 2-Decenal, 2,4- Nonadienal, 2,4-Decadienal
Acrylbeschichtungen		Butylacrylat, HDDA, TPGDA, 2- Ethylhexyl-acrylat, Methyl-methacrylat
Reaktivlöser		Styrol, Vinyltoluol, n-Vinylpyrrolidon, 2-Phenyl-1-propen
PUR-Beschichtung ³		Hexamethylesocyanat (MDI)
Montageschäume ³		4,4'-Diphenylmethan-diisocyanat (MDI) 2,6-/2,4-Toluylen-diisocyanat (2,4/2,6- TDI)

³ Emissionen treten im Wesentlichen während der Verarbeitungsphase auf

2.11 WEITERE FÜR DIE INNENRAUMLUFT BEDEUTENDE VOC

Synthetische Wandbeschichtungen und Teppiche sind mitunter eine relevante Quelle von Stoffen mit niedrigem Geruchsschwellenwert wie Vinylcyclohexen oder 4-Phenylcyclohexen sowie weiterer ungesättigter Substanzen wie trimeres Isobuten (Sollinger und Levsen 1992, Loidl und Pagani 1996). Als Hauptquelle dieser Substanzen stellte sich bei einer österreichischen Untersuchung vor allem die Rückenbeschichtung von Teppichen heraus (Tappler et al. 1994).

Die bis in die Neunzigerjahre als Feuchteisolierung verwendeten Teerepoxyanstriche führten neben der Abgasung an polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) zu einer Beeinträchtigung der Innenraumluftqualität durch naphthalinartige Gerüche (Brown et al. 1990). Die für den Geruch verantwortlichen Methylnaphthaline können sowohl der Gruppe der flüchtigen organischen Verbindungen als auch der PAK zugeordnet werden. Ähnliches gilt für die Gruppe der charakteristisch riechenden Chlornaphthaline, die in der Vergangenheit als Holzschutzmittelwirkstoffe eingesetzt wurden (Pluschke et al. 1996). Naphthalin selbst wurde in der Vergangenheit als Mottenschutz verwendet.

2.12 HAUPTQUELLEN FLÜCHTIGER ORGANISCHER VERBINDUNGEN - TABELLE

Im Folgenden soll versucht werden, den unterschiedlichen VOC bestimmte Quellen zuzuordnen (erweitert nach ALAB 2001).

Tabelle 4: Quellen von VOC in Innenräumen

A = Autoabgase	Ö = Möbel, Möbellacke
B = (Bodenbelags-)Klebstoffe	P = Produktionsrückstand
C = trocknende Öle	PVC = Produkte aus Polyvinylchlorid
D = Desodorierungsmittel	Q = Wasserchlorierung
E = Salben, Einreibemittel	R = Naturharzprodukte, trocknende Öle
F = Siliconprodukte	S = Kork
G = Abbau- und Reaktionsprodukt	T = Teppichböden
H = Heizöl, Dieselmotoren	U = Haushaltsprodukte
I = Kunststoffe	V = Vergaserkraftstoff
K = Kunstharzbeschichtungen	W = Speziallacke
L = Lösungsmittel	X = Duftöle
M = wasserlösliche Lacke und Farben	Y = Kosmetikartikel
N = Nadelhölzer	Z = Zigarettenrauch
O = Latexfarben	

Tabelle 5: Einzelsubstanzen (VOC) und typische Quellen in Innenräumen (Abkürzungen siehe Tabelle 4)

<i>Substanzen</i>	<i>Typische Quelle(n)</i>
<i>Aromatische Kohlenwasserstoffe</i>	
Benzol	A, V, Z
Toluol	A, B, K, L, T, U, V, Z, PVC
Ethylbenzol	A, B, K, L, T, V, Z
Xylole	A, B, K, L, T, V, Z, PVC
Styrol	I, S, T, Z, Feuchteabdichtungen, Elastomere
Trimethylbenzole	K, L, T, V
n-Propylbenzol	K, L, T, V
Isopropylbenzol	K, L, T, V
2-Ethyltoluol	K, L, T, V
3/4-Ethyltoluol	K, L, T, V
1-Methyl-4-isopropylbenzol	K, L, V
1,2,4,5-Tetramethylbenzol	K, L, V
Diisopropylbenzol	K, L, V
<i>Aliphatische und Cycloaliphatische Kohlenwasserstoffe</i>	
n-Hexan	B, L, T, V
n-Heptan	B, L, T, V
n-Oktan	B, K, L, P, V
n-Nonan	B, H, K, L, P, T, V
n-Decan	B, H, K, L, P, T, V, PVC
n-Undecan	H, K, L, P, T, PVC
n-Dodekan	H, K, L, P, T
n-Tridekan	H, K, L, P, T
n-Tetradekan	H, P, T
n-Pentadekan	H, P, T
n-Hexadekan	H, P, T
2,2,4,6,6-Pentamethylheptan	K, L, R
2,2,4,4,6,8,8-Heptamethylnonan	K, L, R
Cyclohexan	H, K, L, T, V

VOC – Allgemeiner Teil

<i>Substanzen</i>	<i>Typische Quelle(n)</i>
<i>Aromatische Kohlenwasserstoffe</i>	
Methylcyclopentan	H, K, L, T, V
<i>Aliphatische und Cycloaliphatische Kohlenwasserstoffe</i>	
Methylcyclohexan	H, K, L, T, V
Isoaliphaten	L, R, T, Linoleum
<i>Chlorierte Kohlenwasserstoffe</i>	
Trichlormethan	L, Q
Tetrachlormethan	L, W
1,1,1-Trichlorethan	T, Korrekturflüssigkeit
Trichlorethen, Tetrachlorethen	chem. Reinigung
1,4-Dichlorbenzol	D, T, Mottenschutz
<i>Alkohole, Ketone, Ester</i>	
Vinylacetat	B
Ethylacetat	B, K, L
Propylacetat	B, K, L
Methacrylsäuremethylester	B, I, K
n-Butylacetat, Isobutylacetat	B, K, L, Ö, T
Methylbenzoat	Heizkostenanzeiger
Methylethylketon (MEK), Methylisobutylketon (MIBK)	B, K, L, Ö, PVC
Cyclohexanon	G, I, K, L, W
Ethylhexanol	G, PVC
Methoxypropanol	K, L, Ö
Benzophenon	G, K
Phenoxyethanol	B, U
Butoxyethoxyethanol, Butoxyethoxyacetat	B
Isobutanol, n-Butanol	B, L, M, O,
Glykole und Glykolester	K, M, Ö
<i>Terpenkohlenwasserstoffe</i>	
α -Pinen, β -Pinen	N, U, P, R
Limonen	N, U, P, R, X
3-Caren	N, R
Eucalyptol	R, U, X, Y

VOC – Allgemeiner Teil

<i>Substanzen</i>	<i>Typische Quelle(n)</i>
<i>Aromatische Kohlenwasserstoffe</i>	
Campher	E, Zelluloid, Mottenschutz
Longifolen	B, L, N, U
<i>Aldehyde</i>	
Höhere Aldehyde (Butanal - Decanal)	C, G, K, Ö, S, U, X, Z, Linoleum
Benzaldehyd	G, PVC
Furfural	S
<i>Phthalate</i>	
Dimethylphthalat	B, I, O
Diethylphthalat	I, K, Ö, Y
Dibutylphthalat	I, K, Ö
Diisobutylphthalat, Di-n-butylphthalat	B, I, K
<i>Sonstige</i>	
Methylierte Cyclosiloxane	E, F, Ö, W, Y
4-Vinylcyclohexen, 4-Phenylcyclohexen	G, T
Trimeres Isobuten	G, T
Ungesättigte Aliphaten	I, L, R, T, Linoleum
Alkenkohlenwasserstoffe (Hepten - Tridecen)	T, G
Methyltertiärbutylether (MTBE)	V
1,4-Dioxan	L
Dibutylmaleinat	I
TXIB (2,2,4-trimethyl-1,3-pentandiol-diisobutytrat)	I
Mikrobielle VOC (MVOC)	Schimmelwachstum
Naphthalin und alkylierte Naphthaline	Mottenschutz, Bitumen- und Teerprodukte

2.13 KONZEPTE ZUR BEWERTUNG VON VOC-KONZENTRATIONEN IN INNENRÄUMEN

Für die Bewertung von in Innenräumen auftretenden VOC wurden folgende Konzepte verfolgt:

- Das TVOC Konzept nach Molhave (1991)
- Das Einzelstoffkonzept der Ad-hoc Arbeitsgruppe (Ad-hoc Arbeitsgruppe 1996)
- Das TVOC Konzept der Ad-hoc Arbeitsgruppe (Moriske 1998; Seifert 1999)
- Das Einzelstoffkonzept der WHO (2000)
- Das statistische Konzept des HVBG und BIA (1999)
- Das erweiterte statistische Konzept von Schleibinger et al. (2002)

Molhave (1991) hat auf der Basis von experimentellen Untersuchungen an Probanden Zusammenhänge zwischen der Konzentration eines definierten VOC-Gemisches und Befindlichkeitsbeeinträchtigungen ermittelt. Es fanden sich systematische Beziehungen zwischen der Konzentration der eingesetzten VOC - Mischung als Summenwert und Wirkungen (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: Beziehung zwischen Gesamtkonzentrationen einer VOC - Mischung und Expositionswirkungen nach Molhave (1991)

<i>TVOC Konzentration (mg/m³)</i>	<i>Wirkungen</i>
< 0,2	Keine Reizwirkung, keine Beeinträchtigung des Wohlbefindens
0,2 - 3	Bei Wechselwirkung mit anderen Expositionsparametern Reizwirkung oder Beeinträchtigung des Wohlbefindens
3 - 25	Reizwirkung und/oder Beeinträchtigung des Wohlbefindens, bei Wechselwirkung mit anderen Expositionsparametern können Kopfschmerzen auftreten
> 25	Kopfschmerzen und weitere neurotoxische Wirkungen möglich

Sofern bei einem konkreten Beurteilungsfall das vorgefundene Substanzgemisch dem von Molhave untersuchten sehr nahe kommt, stellen dessen Ergebnisse eine ausgezeichnete Basis für die toxikologische Bewertung dar, in allen anderen Fällen eignet es sich jedoch nicht. Die Gründe dafür sind:

Molhave konnte selbstverständlich aus ethischen Gründen keine Substanzen einsetzen, die zum damaligen Zeitpunkt als kanzerogen oder stark toxisch ausgewiesen waren. Solche Substanzen können jedoch durchaus in der Innenraumluft vorkommen.

Durch den Einsatz der VOC in einem immer gleichen Substanzverhältnis können Kombinationswirkungen anderer Mischungsverhältnisse nicht beurteilt werden. Da nur ein bestimmtes definiertes Gemisch eingesetzt wurde, sind Gemische mit anderen Konstituenten nicht auf derselben Basis beurteilbar.

Der toxikologischen Wirkung relevanter Einzelbestandteile wird bei der summativen Betrachtung nicht das notwendige Augenmerk geschenkt.

Das TVOC Konzept der Ad-hoc Arbeitsgruppe (Moriske 1998, Seifert 1999) steht in gewissem Widerspruch zu den von dieser Gruppe herausgegeben Einzelstoffanalysen. Das Konzept ist zwar für eine erste Abschätzung der Innenraumluftbelastung mit VOC hilfreich und kann auch für die Kontrolle von Maßnahmen und die begleitende Verlaufskontrolle nach Sanierungen hilfreich sein, für eine Beurteilung im Sinne des Richtwertkonzepts der vorliegenden Richtlinie eignet es sich jedoch genauso wenig wie das Konzept von Molhave.

Die Ad-hoc Arbeitsgruppe schlug vor, dass in permanent benutzten Innenräumen Werte zwischen 1 und 3 mg TVOC/m³ nicht dauerhaft überschritten werden sollen. Ein Mittelwert von 0,2 bis 0,3 mg TVOC/m³ kann erreicht bzw. unterschritten werden. Bei höheren TVOC Konzentrationen müssen Einzelstoffanalysen angestellt werden. Hier zeigt sich klar die Schwäche des Konzeptes, denn gemäß der Ad-hoc Arbeitsgruppe beträgt der Richtwert I für Styrol 30 µg/m³ (Sagunski 1998) und für Tetrachlorethen beträgt in Deutschland der Grenzwert 0,1 mg/m³. Auch für andere VOC würde sich bei einer Einzelstoffbetrachtung ein Richtwert unter dem Bereich 200 bis 300 µg/m³ für die Summe der VOC ergeben. Das Konzept kann also im Allgemeinen weder als Beurteilungsbasis noch als Weichenstellung für eine genauere Analyse der Bestandteile des Gemisches an VOC dienen. In Verbindung mit der im Kapitel 6 des Allgemeinen Teils vorgestellten Situativ-Integrativen-Bewertung kann die Kenntnis der Konzentration eines Summenparameters jedoch hilfreich sein.

Die WHO (2000) hat in ihren Air Quality Guidelines for Europe eine Reihe von VOC behandelt und Richtwerte abgeleitet. Es wurden zwar bei diesen Ableitungen mögliche Wechselwirkungen zwischen den VOC nicht berücksichtigt, bei dem hohen Sicherheitsniveau der Ableitung sind aber solche Wechselwirkungen im Bereich unterhalb der Richtwerte unwahrscheinlich. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass bei

gleichen oder ähnlichen Endpunkten der Wirkung der betrachteten VOC zumindest eine additive Wirkung angenommen werden muss. In diesem Fall (z.B. neurotoxische Wirkung von Styrol und Tetrachlorethen) kann man prinzipiell aus dem Schutzkonzept der WHO schließen, dass die Summe der durch ihren Richtwert dividierten VOC den Wert 1 nicht überschreiten darf, obwohl das nicht ausdrücklich in den Guidelines angeführt wird. Ein weiteres Beispiel wäre die Gruppe der Aromaten mit ihren oft ähnlichen Endpunkten der Wirkung.

Auf ganz anderen Überlegungen beruhen die statistischen Konzepte des Hauptverbands der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG) und des Berufsgenossenschaftlichen Instituts für Arbeitssicherheit (BIA) aus dem Jahr 1999 sowie das Konzept von Schleibinger et al. (2002). HVBG und BIA haben für 11 Einzelsubstanzen und mehrere Substanzklassen Richt- und Zielwerte angegeben, die auf den 50. Perzentilwerten (Zielwerte) bzw. auf den 90. oder 95. Perzentilwerten (Richtwerte) aus verschiedenen zwischen 1995 und 1998 durchgeführten Innenraumuntersuchungen beruhen. Diese Richt- und Zielwerte sind also statistisch begründet und sollten streng von toxikologisch begründeten Richtwerten unterschieden werden. Es hat einiges für sich, übliche in repräsentativ ausgewählten Innenräumen vorgefundene Konzentrationen als Zielwerte vorzugeben, denn wären solche Konzentrationen gesundheitlich bedenklich, sollte dies in Gesellschaften hoch entwickelter Gesundheitssysteme als Quelle von Beeinträchtigungen bereits aufgefallen sein. Einen Richtwert beim 90. oder 95. Perzentil anzusetzen, würde bei entsprechender praktischer Umsetzung allmählich zu einer relevanten Reduktion der VOC-Immissionen führen, wie dies etwa beim Konzept der umsichtigen Vermeidung angestrebt wird. Darüber hinaus können die so definierten Richtwerte Indikatoren für die Effektivität von Maßnahmen (z.B. Lüftungsanlagen) sein.

Allerdings ist es grundsätzlich nicht unbedenklich, ohne toxikologische Überlegungen bloß auf Basis der ‚Üblichkeit‘ Richt- bzw. Zielwerte zu definieren. Gerade bei der Fülle an Stoffen aus der Gruppe der VOC, die in Innenräumen vorkommen können und von denen manche erst in den letzten Jahren aufgrund der Reaktion der Industrie auf geänderte rechtliche Rahmenbedingungen und toxikologische Erkenntnisse weitere Verbreitung finden, können statistische Ableitungen toxikologische Überlegungen nicht ersetzen. Allerdings muss das starke Missverhältnis zwischen dem Einsatz und der Verbreitung bestimmter VOC und deren toxikologischer Abklärung ins Kalkül gezogen werden. In silico Methoden (computergestützte Ableitungen), die im Prinzip geeignet wären, um Hinweise auf eine toxikologische Problematik zu erhalten, sind noch nicht ausgereift genug, um aufwendige in vitro und in vivo Methoden zu ersetzen. In manchen Fällen ist erst durch Langzeituntersuchungen (insbesondere an beruflich exponierten Personen) eine Klärung zu erwarten. Es sind daher nicht von allen VOC und insbesondere nicht bei erst in jüngerer Zeit in größerem Umfang eingesetzte Stoffen für eine Beurteilung ausreichende toxikologische Erkenntnisse vorhanden und in nächster

Zeit auch nicht zu erwarten. Daher stellt ein solches statistisches Konzept eine zumindest vorübergehende Lösung dar.

Auf demselben Konzept beruht der Vorschlag von Schleibinger et al. (2002). Dieser Vorschlag basiert auf jüngeren Messergebnissen und ergänzte die statistisch abgeleiteten Richt- und Zielwerte mit Überlegungen zu den Geruchsschwellen. Schleibinger et al. (2002) geben Richt- und Zielwerte für alle relevanten Einzelstoffe und Stoffgruppen an. In der folgenden Tabelle sind diese Werte für Substanzklassen zusammengestellt.

Tabelle 7: Auszug aus dem Vorschlag von Schleibinger et al. (2002) für statistisch definierte „Richt- und Zielwerte“ für Klassen von VOC⁴

Substanzklasse	„Richtwert“ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	„Zielwert“ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Summe Alkane	200	50
Summe Alkene	10	5
Summe Aromaten	200	50
Summe Terpene und Sesquiterpene	150	40
Summe Chlorierte Kohlenwasserstoffe	20	5
Summe Aldehyde	120	50
Summe Alkohole	50	20
Summe Glykolester und -ether	100	20
Summe Ketone	50	20
Summe Esther einwertiger Alkohole	50	20
Summe VOC	1000	300

⁴ Richt- und Zielwerte im Sinne von Schleibinger et al. (2002) sollen nicht mit toxikologisch abgeleiteten Werten im Sinne Wirkungsbezogener Innenraumluftrichtwerte verwechselt werden.

3 ALLGEMEINE MESSSTRATEGIE, ANALYTIK UND UNTERSUCHUNGSBERICHT

3.1 MESSSTRATEGIE, PROBENAHEME

Die jeweils einzusetzende Probenahmetechnik hängt von der zu untersuchenden Substanz/Substanzgruppe ab sowie von der Mittelungszeit des jeweils relevanten Richtwerts.

Die Probenahme hat in der Regel mittels aktiver Probenahme auf geeigneten Sorbentien zu erfolgen. Diese Methode eignet sich vor allem bei kürzeren Mittelungszeiten (kleiner/gleich 24 Stunden). Eine Ausnahme stellt zum Beispiel Tetrachlorethen (Per, TCE) dar, für das die Probenahme einen Zeitraum von einer Woche umfasst und sinnvollerweise eine passive Probenahme anzuwenden ist.

Zur Anreicherung flüchtiger organischer Verbindungen können je nach Anwendung und Siedebereich unterschiedliche Adsorbentien verwendet werden, die sich meist hinsichtlich der Desorptionstechnik unterscheiden. Als Sorbentien dienen in den meisten Fällen Tenax und Aktivkohle in unterschiedlichen Ausführungen. Die Verwendung von Aktivkohle ist für die meisten unpolaren und schwach polaren VOC gut geeignet. Für polare Substanzen (z.B. Aldehyde) sollten andere Sammelmedien (z.B. Anasorb 747) verwendet werden. Die Probennahme auf Tenax mit nachfolgender thermischer Desorption ist bei entsprechender Beachtung und sorgfältiger Durchführung der Konditionierung wegen der hohen Nachweisempfindlichkeit insbesondere für den Nachweis spezieller Einzelsubstanzen geeignet.

Die Vorteile des Einsatzes von Aktivkohleröhrchen als Adsorbens mit anschließender Lösungsmitteldesorption (Schwefelkohlenstoff) liegt vor allem bei der Möglichkeit, wiederholte Einspritzungen durchführen zu können. Manche der den VOC zugezählten Substanzen können mit dem üblicherweise angewendeten Desorptionsmittel CS₂ von Aktivkohle jedoch nicht oder nur in unzureichendem Ausmaß desorbiert werden. Ein Beispiel dafür sind hochsiedende polare Komponenten, die nur mit speziellen Lösungsmitteln desorbiert werden können (z.B. Dichlormethan/Methanolgemisch). Weitere Nachteile der Lösungsmitteldesorption sind die schlechtere Empfindlichkeit (da immer nur ein kleiner Teil der Probe zur Analyse gelangt) und der Lösungsmittelpeak, der unter Umständen den Nachweis eines Teiles der interessierenden Substanzen unmöglich macht. Manche Substanzen sind von Aktivkohle nicht oder nur unvollständig desorbierbar.

Die Verwendung von Tenax TA als Adsorbens mit anschließender Thermodesorption erlaubt die Erfassung einer größeren Substanzpalette als bei der

Lösungsmitteldesorption (polare und unpolare Substanzen). Die Nachweisgrenze ist gegenüber der Methode der Lösungsmittlextraktion wesentlich besser, da der Verdünnungsschritt der Extraktion entfällt, allerdings ist auch das Sammelvolumen geringer und damit gegebenenfalls das Proben/Hintergrund-Verhältnis ungünstiger. Außerdem werden Substanzen mit niedrigem Siedepunkt schlecht adsorbiert. Für die TVOC-Bestimmung gemäß ECA ist die Methode Tenax/Thermodesorption das empfohlene Verfahren (ECA 1997). Ein weiterer Nachteil der Methode liegt darin, dass die Analyse bei Unklarheiten nicht wiederholt werden kann. Deshalb empfiehlt sich eine parallele Probennahme mit zwei Sammelpumpen.

In Sonderfällen (z.B. Abschätzung der mittleren Exposition über einen längeren Zeitraum) kann die Probenahme zusätzlich zur aktiven Probenahme mittels eines Passivsammlers über einen Gesamtzeitraum von einigen Tagen erfolgen. Zusätzliche Informationen über den zeitlichen Verlauf z.B. eines definierten Gemisches flüchtiger organischer Verbindungen können über simultan durchgeführte Messungen mit anderen Methoden, z.B. einem Flammenionisationsdetektor (FID) oder PID gewonnen werden. Diese ergänzenden Methoden eignen sich auch hervorragend zur Quellensuche bei höheren Konzentrationen.

Die aktive Probenahme durch Anreicherung auf Aktivkohle – Lösungsmittlextraktion beschreibt ÖNORM M 5700-2. Auf die Probenahme wird weiters in VDI2100 Blatt 2 eingegangen (allerdings nur in Verbindung mit der Auswertung mittels FID oder ECD). Die ÖNORM EN ISO 16017 Teil 1 und 2 sowie VDI2100 Blatt 3 beschreibt die Probenahme flüchtiger organischer Verbindungen durch Sorptionsröhrchen in Verbindung mit thermischer Desorption und Kapillar-Gaschromatographie.

Neben den im „Allgemeinen Teil“ der Richtlinie behandelten Punkten und der VDI-Richtlinie 4300 Blatt 1 und 6, die Fragen zur allgemeinen Messstrategie bzw. zur speziellen Messstrategie in Bezug auf flüchtige organische Verbindungen behandelt, sind vor allem folgende Punkte zu beachten:

- Es soll so weit wie möglich die tatsächliche Belastungssituation der Benutzer unter ungünstigen Bedingungen erfasst werden (bei einzelnen Schadstoffen wie z.B. TCE wird eine andere Vorgangsweise gewählt). Bei natürlich belüfteten Räumen werden nach einer etwa 15-minütigen intensiven Lüftungsphase die Türen und Fenster des Raumes vor der Messung über einen Zeitraum von mindestens 5 Stunden verschlossen. Die Türen dürfen kurzfristig geöffnet werden. Bei mechanisch belüfteten Räumen ist die Anlage auf die Leistungsstufe einzustellen, die den ungünstigsten (jedoch realistischen) Bedingungen entspricht.
- Die Benutzer des Raumes müssen darauf hingewiesen werden, dass vor und während der Messung keine lösungsmittelhaltigen Produkte (z.B. Reinigungs- und Pflegemittel) in den zu untersuchenden Räumlichkeiten vorhanden sein bzw.

verwendet werden dürfen. In den zu untersuchenden Räumen darf vor und während der Probenahme nicht geraucht werden und es dürfen keine offenen Feuerstellen wie z.B. Gasherde in Betrieb sein (außer das Ziel der Untersuchung bezieht sich auf die Erfassung der Belastung mit Substanzen aus diesen Quellen).

- Die Auswahl der Räume richtet sich nach den örtlichen Verhältnissen und der Raumnutzung. Es sollten Räume untersucht werden, die dem dauernden Aufenthalt von Personen dienen (z.B. Wohnräume, Schlafräume, Büros, Schulräume, Gruppenräume von Kindergärten).
- Zur Beurteilung möglicher Immissionsbelastungen durch gewerbliche Anlagen, bei denen eine VOC-Belastung zu erwarten ist (z.B. Lackieranlagen, Druckereien, Chemisch Reinigungsbetriebe), ist es zweckmäßig, die Messungen in mehreren Räumen in der Nachbarschaft der gewerblichen Anlage durchzuführen. Grenzt ein Wohn- oder Aufenthaltsraum direkt an eine gewerbliche Anlage, so ist dieser Raum jedenfalls als einer der Messorte auszuwählen. Zu Vergleichszwecken kann eine Parallelmessung in der gewerblichen Anlage vorgenommen werden. Es ist wünschenswert, dass sich die Anlage in normalem Betrieb befindet. Weiters kann eine Messung der Außenluftkonzentration, möglichst an der Gebäudeseite, von der die Zuluft überwiegend herrührt, vorgenommen werden.
- Das Probenahmenvolumen ist zur Ermittlung des Beurteilungswertes bei kurzen Bezugszeiträumen des Richtwertes (Kurzzeitprobenahme, z.B. Halbstundenmittelwerte) auf durchschnittliche Innenraumlufbedingungen in Bezug auf Temperatur und Luftdruck umzurechnen. Als durchschnittliche Innenraumlufbedingungen werden 20 °C und 1013 hPa festgelegt.

Das Formblatt für das Probenahmeprotokoll ist im Anhang II der Richtlinie zu finden und kann auch unter www.lebensministerium.at/publikationen als Datenfile bezogen werden.

3.2 ANALYTIK

Die Analyse wird im Labor im Allgemeinen unter Anwendung einer chromatographischen Analysenmethode vorgenommen. In den speziellen Kapiteln, in denen die Einzelschadstoffe behandelt werden, wird jeweils ein Referenzverfahren angegeben. Bei Anwendung eines anderen Analyseverfahrens ist dieses anzugeben und die Gleichwertigkeit mit den in den jeweiligen Kapiteln angegebenen Referenzverfahren nachzuweisen.

Grundlagen der gaschromatographischen Bestimmung organischer Verbindungen finden sich in ÖNORM M 5700-1. Weiters finden sich Grundlagen der gaschromatographischen Bestimmung organischer Substanzen in VDI 2100 Blatt 1, wo auch verschiedene Möglichkeiten der Detektion beschrieben werden.

Die ÖNORM EN ISO 16017 Teil 1 und 2 geht auf die Analyse flüchtiger organischer Verbindungen durch Sorptionsröhrchen in Verbindung mit thermischer Desorption und Kapillar-Gaschromatographie ein. Der Entwurf der VDI-Richtlinie 3862 Bl. 3 behandelt die Bestimmung von Aldehyden mittels HPLC (DNPH-Methode).

In den Luftqualitätskriterien VOC (Akademie der Wissenschaften 1997) widmet sich ein Kapitel detailliert der Analytik flüchtiger organischer Verbindungen, wobei der Schwerpunkt bei der Untersuchung der Außenluft liegt.

3.3 PRÜFBERICHT

Der Prüfbericht hat zusätzlich zu den im „Allgemeinen Teil“ der Richtlinie behandelten Angaben folgende Angaben zur Probenahme zu enthalten:

Wenn der Raum unmittelbar an eine gewerbliche Anlage angrenzt, ist der Aufbau der raumumschließenden Flächen (Boden-, Decken- und Wandaufbau) in Erfahrung zu bringen und im Probenahmeprotokoll laut Anhang II der Richtlinie zu beschreiben.

4 LITERATUR

Eine Auflistung innenraumrelevanter Regelwerke findet sich im Anhang III der Richtlinie.

Ad-hoc Arbeitsgruppe (1996) Richtwerte für die Innenraumluft: Basisschema, Bundesgesundheitsblatt 39, 11, S. 422-426

ALAB (2001) Leistungsverzeichnis 2001, Werbeschrift, Berlin

B.A.U.C.H. (1991) Analyse und Bewertung der in Raumluft und Hausstaub vorhandenen Konzentrationen der Weichmacherbestandteile Diethylhexylphthalat und Dibutylphthalat, Eigenverlag Verein für Umweltchemie, Berlin

Brandl A, Tappler P, Twrdik F, Damberger B (2001) Untersuchungen raumlufthygienischer Parameter in oberösterreichischen Schulen, 6. AGÖF Fachkongress Nürnberg: Umwelt, Gebäude und Gesundheit, S. 355 – 366

Brown VM, Cockram AH, Crump DR, Gardiner D (1990) Investigations of the volatile organic compound content of indoor air in homes with an odorous damp proof membrane, in INDOOR AIR '90- Proc. 5th Internat. Conf. on Indoor Air Quality and Climate, Toronto Canada, Vol. 3, pp. 557-580

ECA (1997) Total Volatile Organic Compounds (TVOC) in Indoor Air Quality Investigations, ECA-Report No 19

HVBG und BIA (1999) Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften und Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit, BIA Report 7/99 Grenzwerteliste 1999 – Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit. Eigenverlag, Sankt Augustin

Hott U (2001) Konzentrationen flüchtiger organischer Kohlenwasserstoffe (VOC) in Innenräumen im Zeitraum 1988 bis 1999, B.A.U.C.H.-Eigenverlag, Berlin

Hutter H-P, Moshhammer H, Wallner P, Damberger B, Tappler P, Kundi M (2002) Volatile organic compounds and formaldehyde in bedrooms: results of a survey in Vienna, Austria, in INDOOR AIR '02- Proc. 9th Internat. Conf. on Indoor Air Quality and Climate (Monterey, USA, 30.06.-05.07.2002), Vol. 2, pp. 239-243

Jensen B, Wolkoff P, Wilkins CK, Knudsen H (1993) Characterisation of linoleum, Part 1+2, in INDOOR AIR '93- Proc. 7th Internat. Conf. on Indoor Air Quality and Climate, Helsinki Finland, Vol. 2, pp. 443-454

Keller R, Senkpiel K, Ohgke H (1998) Geruch als Indikator für Schimmelpilzbelastungen in natürlich belüfteten Innenräumen – Nachweis mit analytischer MVOC-Messung, in Gesundheitliche Gefahren durch biogene Luftschadstoffe, Schriftenreihe des Instituts für Medizinische Mikrobiologie und Hygiene der medizinischen Universität zu Lübeck, Heft 2, S. 161-170

Kerr G (1992) Chemical emissions during recarpeting of a canadian office building, in Proc. 5th Internat. J. Cartier Conf., Montreal Canada, pp. 147-156

- Krause C, Chutsch M, Henke M, Huber M, Kliem C, Leiske M, Mailan W, Schulz C, Schwarz E, Seifert B, Ullrich D (1991) Umwelt-Survey. Band IIIc. Wohn-Innenraum: Raumlufte. WaBoLu-Hefte 4/1991, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Berlin
- Loidl D, Pagani A (1996) Untersuchungen zum Emissionsverhalten organischer, nicht textiler Fußbodenbeläge, Fortschrittsbericht Chemie und Kunststoffe, Österreichisches Kunststoffinstitut, Band 10
- Lösungsmittelverordnung (1995) 872. Verordnung: Lösungsmittelverordnung 1995 – LMVO 1995, Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich, 29.Dez. 1995, 294. Stück
- Lux W, Mohr S, Heinzow B, Ostendorp G (2001) Belastungen der Raumlufte privater Neubauten mit flüchtigen organischen Verbindungen, Bundesgesundheitsblatt 44: 619-624
- Maroni M et al. (Hrsg.) (1995) Indoor Air Quality. A comprehensive reference book. Elsevier, Amsterdam, Lausanne, New York
- Molhave L (1991) Volatile organic compounds, indoor air quality and health, Indoor Air 4: 357-376
- Moriske HJ (1998) Hygienische Bewertung von Außenluft- und Innenraumlufteverunreinigungen. In: Moriske HF Turowski E, Eds: Handbuch für Bioklima und Lufthygiene. ecomed Verlag, Landsberg
- OÖ Landesregierung (2003) Innenraumsituation in OÖ. Pflichtschulen, Berufsschulen und Landwirtschaftlichen Fachschulen, Messprogramm in Oberösterreichs Schulen, Entwurf zum Endbericht
- Oppl R, Höder B, Lange A (2000) Innenraumlufte und TVOC: Messung, Referenz- und Zielwerte, Bewertung, Bundesgesundheitsblatt 43:513-518
- Österreichische Akademie der Wissenschaften (1997) Flüchtige Kohlenwasserstoffe in der Atmosphäre - Luftqualitätskriterien VOC, Hrsg. Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie
- Plieninger P (1998) Ester und Ether mehrwertiger Alkohole in der Raumlufte – Eine repräsentative Untersuchung in 200 Berliner Haushalten, in Gebäudestandard 2000 : Energie und Raumluftequalität, 4. AGÖF Fachkongress in Nürnberg, S. 220-224
- Pluschke P, Bolzer W, Nix N, Schelle G (1996) The Contamination of a Primary School Building by Chlornaphtalenes – Chemical Analysis and Risk Assessment, in INDOOR AIR '96- Proc. 7th Internat. Conf. on Indoor Air Quality and Climate, Nagoya, Japan, Vol. 3, pp. 71-76
- Pluschke P (1996) Luftschadstoffe in Innenräumen, Springer Vlg.
- Ritter M, Poupa S, Waitz E (2000) Aktualisierung der Luftschadstoff-Trends in Österreich 1980-1999. Umweltbundesamt BE-181, Wien
- Rothweiler H, Wager P, Schlatter C (1990) Volatile organic compounds and very volatile organic compounds in new and freshly renovated buildings, in INDOOR AIR '90- Proc. 5th Internat. Conf. on Indoor Air Quality and Climate, Toronto Canada, Vol. 2, pp. 747-752

- Sagunski H (1996) Komplexe Umwelteinwirkungen Teil 7: Kleingewerbe und industrielle Anlagen, in Beyer A., Eis D. (Hrsg.) Praktische Umweltmedizin, Sektion 09: Umweltbelastungen und ihre Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit, Springer Loseblatt Systeme, Springer, Berlin
- Sagunski H (1998) Richtwerte für die Innenraumlufte: Styrol, Bundesgesundheitsblatt 41: 392-398
- Salthammer T, Fuhrmann F (1996) Emission of Monoterpenes from wooden furniture, in INDOOR AIR '96- Proc. 7th Internat. Conf. on Indoor Air Quality and Climate, Nagoja, Japan, Vol. 3, pp. 607-612
- Salthammer T, Bednarek M, Fuhrmann F (1999) Effect of climatic parameters on the release of VOC from UV-cured furniture coatings, in INDOOR AIR '99- Proc. 8th Internat. Conf. on Indoor Air Quality and Climate, Edinburgh, Scotland, Vol. 5, pp. 99-104
- Salthammer T (2000) Verunreinigung der Innenraumlufte durch reaktive Substanzen – Nachweis und Bedeutung von Sekundärprodukten, Teil III-6.4.2 des Handbuch für Bioklimatologie und Lufthygiene, 4. Erg.Lfg. 12/2000
- Schleibinger H, Hott U, Marchl D, Braun P, Plieninger P, Rüdén H (2001) VOC-Konzentrationen in Innenräumen des Großraums Berlin im Zeitraum von 1988 bis 1999, Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 61: 26-38
- Schleibinger H, Hott U, Marchl D, Plieninger P, Braun P, Rüdén H (2002) Ziel- und Richtwerte zur Bewertung der VOC-Konzentrationen in der Innenraumlufte – ein Diskussionsbeitrag, Umweltmedizin in Forschung und Praxis 7(3): 139-147
- Scholz H (1998) Vorkommen ausgewählter VOC in Innenräumen und deren Bewertung, in Gebäudestandard 2000 : Energie und Raumluftequalität, 4. AGÖF Fachkongress in Nürnberg, S. 205-214
- Seifert B et al. (1989) Seasonal variation of concentrations of volatile organic compounds in selected German homes, Environ. Internat. 15:397-408
- Seifert B (1990) Flüchtige Organische Verbindungen in der Innenraumlufte, Bundesgesundheitsblatt 33(3): 111-115
- Seifert B (1999) Richtwerte für die Innenraumlufte – Die Beurteilung der Innenraumluftequalität mit Hilfe der Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC-Wert). Bundesgesundheitsblatt 42: 270-278
- Sollinger S, Levsen K (1992) Methoden zur Charakterisierung der Emissionen aus textilen Bodenbelägen, in: Schadstoffbelastung in Innenräumen, Tagung 1992 der Ges. deutscher Chemiker und der Komm. Reinhaltung der Luft im VDI
- Tappler P, Boos R, Fiala F (1994) Emissions of volatile organic compounds from textile floor coverings, in: Healthy Buildings '94, Proc. 3th Internat. Conf. of Healthy Buildings, Budapest 1994, Vol. 1, pp. 237-242
- Tappler P, Damberger B (1998) Interzonaler Schadstofftransfer in Gebäuden als Ursache von Geruchsproblemen; Vorgehensweise, Einsatz der Tracergastechnik, Sanierung, VDI-Berichte 1373 „Gerüche in der Umwelt, Innenraum- und Außenlufte“, Tagung Bad Kissingen, 4.-6.3.1998, S. 489-500

Tappler P (2001) persönliche Mitteilung

Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 1999/13/EG über die Begrenzung der Emissionen bei der Verwendung organischer Lösungsmittel in gewerblichen Betriebsanlagen (VAV; CELEX Nr.: 399L013)

WHO (1989) Indoor Air Quality: organic pollutants. Euro Reports and Studies No. 111. Copenhagen: World Health Organisation, Regional Office for Europe

WHO (2000) Air Quality Guidelines for Europe. Second Edition. WHO Regional Publications, European Series, No. 91. Copenhagen.

Wolkoff P, Clausen PA, Jensen B, Nielsen GD, Wilkins CK (1997) Are we measuring the relevant indoor pollutants?, Indoor Air 7: 92-106