

Originalarbeiten

Innenraumlufbelastung deutscher Kindergärten mit flüchtigen organischen Verbindungen (VOC)

Hartwig Schreiner¹, Harald Wetzel¹, Isabel Kirbach²

¹LinoDiagnostic AG, Neuwieder Str. 15, D-90411 Nürnberg

²Fresenius Ingenieur Consult GmbH, Alt-Stralau 54, D-10245 Berlin

Korrespondenzautor: Dipl.-Chem. Hartwig Schreiner; e-mail: hschreiner@linoag.de

Zusammenfassung. Um eine Grundlage zur Beurteilung der Innenraumlufqualität insbesondere in Kindergärten zu schaffen, wurde im März letzten Jahres eine bundesweite Studie gestartet. Zur Bestimmung von Fremdstoffen in der Raumluft (flüchtigen organischen Verbindungen, VOC) wurden an die Hälfte aller bundesdeutschen Kindergärten Passivsammler auf Aktivkohlebasis verteilt. Nach einer 14-tägigen Anreicherung wurden die Proben mittels eines gaschromatographischen Verfahrens (GC-MS/FID) gemäß VDI-Richtlinie 4300 Bl.6 untersucht. Derzeit liegen die Ergebnisse von 559 Kindergärten vor. Durch Abfrage spezifischer Daten im Probenahmeprotokoll wurden gebäude- bzw. raumbezogene und nutzungsbezogene Rahmenbedingungen während des Messzeitraums erfasst.

Anhand der bisherigen Auswertungen lassen sich erste Tendenzen aufzeigen. Die Belastung der Innenräume mit Benzol und den "klassischen Lösemitteln" Toluol und Xylol ist deutlich abgesunken. Halogenierte Kohlenwasserstoffe, wie Tri- und Perchloroethylen finden sich kaum noch in der Inneraumluft. Andere VOC jedoch, wie bestimmte Terpene, Alkohole und Ester zeigen eine deutliche Tendenz zu höheren Werten. Insgesamt ist eine Veränderung der Zusammensetzung von VOC in der Innenraumluf zu beobachten.

Anhand der Auswertung der Probenahmeprotokolle sollen mögliche Zusammenhänge zwischen Bauweise, Raumausstattung oder Nutzung mit der Innenraumlufkonzentration einzelner VOC aufgezeigt werden.

Schlagwörter: Flüchtige organische Verbindungen; Gaschromatographie; GC-MS/FID; Innenraumluf; Kindergärten; VOC

Abstract

Volatile Organic Compounds (VOC) in Indoor Air of German Nursery Schools

In order to determine the quality of indoor air, especially in German nursery schools, a detailed study was launched last march. 50% of the German nursery schools received diffusive charcoal samplers for the analysis of volatile organic compounds (VOC). After a fortnights sampling period these passive samplers were evaluated following GC-MS/FID analysis according to VDI-Guideline 4300 sheet No. 6. The results of 559 samples are currently available. Specific data including the characteristics of the building, the room and the way of use during the sampling period were recorded in sampling protocols.

Some trends as to the content of VOC compounds in indoor air are already apparent from our early-stage evaluations. The occurrence of benzene and frequently used solvents, e.g. toluene and xylene, is obviously on the retreat. Only insignificant amounts of halogenated hydrocarbons such as tri- and tetrachloroethylene were found. However, other VOC components like certain terpenes, alcohols and esters show a distinct rise in their contents. There has been a noticeable change in the spectrum of VOC compounds in indoor air over the past years. By evaluation of the sampling protocols, possible relations and interdependencies between the concentrations of airborne VOC and the style of the respective building, room or the way of usage are to be pin-pointed.

Keywords: Gaschromatography; GC-MS/FID; German nursery schools; indoor air; VOC; volatile organic compounds

1 Einleitung

Häufig werden Gesundheitsstörungen und Erkrankungen auf eine Schadstoffexposition aus dem Innenraum zurückgeführt. Um die bisherigen Grundlagen zur Beurteilung der Raumluft aktuell diskutieren zu können, wurde im März 2000 bundesweit eine Studie zur Bestimmung flüchtiger organischer Verbindungen (VOC) in Kindergärten gestartet.

Da einer Schadstofffreisetzung in Aufenthaltsräumen von Kindern eine besondere Bedeutung zukommt, wurden hierfür die Hälfte aller bundesdeutschen Kindergärten angeschrieben. Diese konnten freiwillig und kostenlos an der Studie teilnehmen. Der Rücklauf umfasst derzeit ca. 3500

Proben. Zum Stichtag 31.12.2000 sind davon genau 559 Proben untersucht. Die Auswertung wird fortgesetzt. Ziel der Untersuchung soll es sein, eine aktuelle Beurteilungsgrundlage für die Innenraumlufqualität aus präventiver und umweltmedizinischer Sicht zu schaffen. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen beispielhaft den derzeitigen Stand der Untersuchung auf, weitere Ausführungen sollen folgen.

2 Material und Methoden

Im März und Juli 2000 wurden bundesweit an Kindergärten Passivsammler vom Typ Orsa 5 der Dräger Sicherheitstechnik GmbH auf Aktivkohlebasis versendet. Hierfür wur-

Tabelle 1: Zusammenfassung der bei 559 Messungen in Kindergärten ermittelten Verteilungen (Median bzw. 50. Perzentil und 95. Perzentil der Verteilung, z.w.D.= zu wenig Daten, siehe Anzahl n; fettgedruckte Zahlen weisen auf Einzelkomponenten hin, die im Vergleich Lino zu BGA deutlich abweichen und im Text vertiefend behandelt werden).

Nr.	Bezeichnung	Anzahl n	50% Lino µg/m ³	95% Lino µg/m ³	95% BGA µg/m ³	95% UfU µg/m ³
1	1,1,1-Trichlorethan	15	z.w.D.	z.w.D.	26	13
2	Trichlorethen	6	z.w.D.	z.w.D.	20	2
3	Tetrachlorethen	11	z.w.D.	z.w.D.	27	3
4	1,4-Dichlorbenzol	58	1,2	4,5	23	-
5	(+)-3-Caren	321	2,9	21	-	-
6	Limonen	509	13	59	103	66
7	α-Pinen	522	7,1	54	27	56
8	β-Pinen	240	1,1	6,0	4,3	-
9	Longifolen	24	z.w.D.	z.w.D.	-	-
10	n-Hexan	131	5,2	66	22	-
11	n-Heptan	242	2,0	15	26	7
12	n-Octan	288	1,1	7,5	15	6
13	n-Nonan	295	1,7	18	31	25
14	n-Decan	455	4,4	36	52	44
15	n-Undecan	501	3,2	27	28	31
16	n-Dodecan	471	6,6	29	17	11
17	n-Tridecan	472	2,3	10	22	-
18	n-Tetradecan	385	8	37	-	-
19	n-Pentadecan	329	3,3	15	-	-
20	n-Hexadecan	350	2,6	7,3	-	-
21	Cyclohexan	240	2,0	21	18	10
22	Methylcyclopentan	117	1,5	7,2	7,4	-
23	Methylcyclohexan	160	2,3	21	23	-
24	2-Methylpentan	25	z.w.D.	z.w.D.	-	-
25	3-Methylpentan	106	1,3	5,2	-	-
26	1-Octen	5	z.w.D.	z.w.D.	-	-
27	1-Decen	18	z.w.D.	z.w.D.	-	-
28	Benzol	471	1,7	4,4	22	5,0
29	Toluol	536	8,8	36	190	95
30	m/p-Xylol	467	2,7	13	57	68
31	o-Xylol	538	1,4	8,1	18	22
32	Ethylbenzol	529	1,6	8,3	25	21
33	2-Ethyltoluol	376	1,0	5,9	12	-
34	3-Ethyltoluol	434	1,5	9,8	24	10
35	4-Ethyltoluol	373	0,8	5,2	9,0	14
36	1,2,3-Trimethylbenzol	391	1,1	5,7	11	10
37	1,3,5-Trimethylbenzol	328	0,8	4,6	13	7
38	n-Propylbenzol	422	0,9	6,0	27	9
39	1,2,4-Trimethylbenzol	304	2,6	15	5,9	12
40	Styrol	46	0,6	2,9	-	-
41	4-Phenylcyclohexen	2	z.w.D.	z.w.D.	-	-
42	Naphthalin	40	0,2	0,9	4,9	2
43	2-Propanol	229	30	487	-	-
44	1-Butanol	199	4,4	19	4,1	-
45	2-Butanol	0	z.w.D.	z.w.D.	7,1	-
46	2-Ethyl-1-hexanol	392	3,9	25	4,0	-
47	2-Ethoxyethylacetat	3	z.w.D.	z.w.D.	-	-
48	2-Methoxyethanol	0	z.w.D.	z.w.D.	-	-
49	2-Ethoxyethanol	1	z.w.D.	z.w.D.	-	-
50	1-Methoxy-2-propanol	4	z.w.D.	z.w.D.	-	-
51	2-Butoxyethanol	25	z.w.D.	z.w.D.	-	-
52	2-Butoxyethoxyethanol	68	1,5	8,2	-	-
53	Butanal	2	z.w.D.	z.w.D.	-	-
54	Pentanal	21	z.w.D.	z.w.D.	4,3	-
55	Hexanal	244	2,6	7,3	-	-
56	Heptanal	44	1,1	3,0	-	-
57	Octanal	218	2,5	5,4	-	-
58	Nonanal	242	6,7	13	-	-
59	Decanal	163	3,3	9,2	-	-
60	Benzaldehyd	168	2,3	10	-	-
61	Methylethylketon	189	3,0	13	13	-
62	Methylisobutylketon	89	1,9	17	-	-
63	Cyclohexanon	38	z.w.D.	z.w.D.	-	-
64	Acetophenon	75	0,8	2,8	-	-
65	Ethylacetat	284	6,1	63	28	-
66	Isopropylacetat	7	z.w.D.	z.w.D.	-	-
67	Butylacetat	433	4,5	28	19	-
68	TXIB (Texanolisobutytrat)	150	3,8	35	-	-
69	Tetrahydrofuran	16	z.w.D.	z.w.D.	-	-
70	2-Pentylfuran	1	z.w.D.	z.w.D.	-	-
	Summe VOC	559	153	625	928	-

de aus einer käuflichen Liste aller deutschen Kindergärten jeweils jeder 3. und 4. angeschrieben. Der Passivsammler arbeitet nach dem Diffusionsprinzip und liefert einen integralen Messwert als Mittel über den gewählten Expositionszeitraum von ca. zwei Wochen. Die Nutzer können ihre üblichen Lüftungs- und Lebensgewohnheiten beibehalten. Es bedarf keiner weiteren Vorbereitung des Raumes. Die Vorgehensweise entspricht der Messstrategie der VDI 4300 Bl.6, Aufgabenstellung B: Ermittlung der durchschnittlichen Konzentration über einen längeren Zeitraum. Diese Art der Probenahme wurde auch aus dem Grund der besseren Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen des Umweltsurveys von 1985/86 (Krause et al. 1991) gewählt, welche in 479 Wohnräumen ebenfalls durch passive Probenahme erfolgte.

Zusammen mit dem Diffusionssammler wurde eine Anleitung mit Gebrauchshinweisen zur Probenahme sowie einem Hängeschild versendet, mit dem das Messröhrchen zentral an der Decke in max. 2 m Höhe in einem Gruppenraum aufzuhängen war. Das beigelegte Messprotokoll diente zur Dokumentation von Messort und Messzeit, raumklimatischer als auch gebäude- und nutzungsbezogener Daten, wie Raumausstattung, Aktivitäten, Renovierung im letzten Jahr und Umgebung. Nach ca. 14 Tagen wurde der Passivsammler zusammen mit dem ausgefüllten Protokoll zurück in das Labor gesendet. Die bisherigen Rücksendungen haben gezeigt, dass die Nutzer die Randbedingungen der Probenahme im Allgemeinen sehr gewissenhaft dokumentieren.

Für die Auswertung wurde das Labor der LinoDiagnostic AG mit Gaschromatographen vom Typ Perkin-Elmer Autosystem XL mit kombinierter GC-MS und -FID ausgerüstet. Die eindeutige Kennzeichnung der Proben wird durch Barcode-Etikettierung gewährleistet. Durch Einscannen der Probenahmeprotokolle sind somit sämtliche Daten einer Probe zu jedem Bearbeitungsstatus über eine Datenbank abzurufen.

Die Analyse erfolgt nach Desorption mit CS_2 und kapillargaschromatographischer Trennung (Trennsäule: DB-VRX, Fa. J&W Scientific oder ZB-624, Fa. Phenomenex; jeweils: Länge 60 m, Innendurchmesser 0,25 mm, Filmdicke 1,4 μm , Trägergas: H_2 5.0) parallel über Massenspektrometer und Flammenionisationsdetektor (GC-MS/-FID). Die Nachweisgrenze der einzelnen Verbindungen liegt in Abhängigkeit der chemischen Struktur bei den genannten Bedingungen zwischen 0,1 und 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Zur Auswertung gelangen die nach VDI 4300 Bl. 6 Anhang A aufgeführten VOC. Falls sich unter den zehn größten Peaks zusätzliche VOC befinden, werden diese ebenfalls identifiziert und quantifiziert. Der Gesamt-VOC-Gehalt der Proben wird als Summe der ermittelten Einzelkonzentrationen ausgewiesen.

3 Ergebnisse

Für die aktuelle Auswertung wurde von allen 559 bisherigen Einzelergebnissen stoffbezogen die jeweilige Häufigkeitsverteilung ermittelt. Eine Aufstellung der 50. (Mediane) und 95. Perzentile enthält **Tabelle 1**. Darin aufgeführt ist ebenso

die Anzahl (n), wie oft die jeweilige Verbindung nachgewiesen werden konnte. Für einzelne Stoffe, die bis dato nur selten gefunden wurden, konnte keine Statistik aufgestellt werden (z.w.D. = zu wenig Daten vorhanden). Die letzten beiden Spalten enthalten zum Vergleich die 95. Perzentile der Ergebnisse des Umweltsurveys von 1985/86 des ehemaligen Bundesgesundheitsamtes BGA über VOC in 479 Wohnräumen (Krause et al. 1991) und der Raumluftuntersuchung der Untersuchungsstelle für Umweltoxikologie UfU von 1990-93 in 395 Kindergarten- und Schulräumen (Heinzow et al. 1994). Die Häufigkeitsverteilung der Summe VOC aller ausgewerteten Proben wurde in **Abb. 1a** aufgestellt.

Aus der großen Fülle an Daten werden im Folgenden die ausgewählten Komponenten Benzol, Butylacetat und α -Pinen getrennt betrachtet. Die **Abb. 2a bis 4a** enthalten deren Häufigkeitsverteilungen. Schließlich wurden die Daten bestimmten Kriterien im Probenahmeprotokoll gegenübergestellt (**Abb. 2b bis 4b**):

- Benzolkonzentration in Abhängigkeit von der Umgebung,
- Butylacetat in Abhängigkeit von einer Renovierung,
- α -Pinen in Abhängigkeit von Holzeinbauten und Renovierung.

4 Diskussion

Bei Betrachtung der Einzelergebnisse in **Tabelle 1** fällt zunächst auf, dass 2-Propanol mit Abstand den höchsten 95 %-Wert aufweist und allein zwei Drittel der Gesamtsumme an VOC ausmacht. Darin kommt offensichtlich der erhöhte Einsatz von alkoholischen Reinigungsmitteln in Kindergärten zum Ausdruck. 2-Propanol findet neben dem Einsatz als Desinfektionsmittel und Antiseptikum auch als Lösemittel für Beschichtungen, Parkettkleber, etherische Öle, Einreibemittel, Kosmetika und als Bestandteil von Fensterputzmitteln, flüssiger Seife und Frostschutzmitteln Verwendung (Falbe und Regnitz 1990, HSDB 2000 u.a.). Ohne Spezifizierung des Expositionspfads gilt 2-Propanol als mäßig toxisch (Lewis 1992). Für eine Kanzerogenität der reinen Substanz gibt es keine spezifischen Anhaltspunkte. 2-Propanol erwies sich in *In-vitro*- und *In-vivo*-Untersuchungen als nicht gentoxisch (BIA-Gestis 2000, Kapp et al. 1993). Um den Einfluss dieses Stoffes auszugrenzen, wurde 2-Propanol für die Darstellung der Häufigkeitsverteilung aus der Summe VOC herausgerechnet (**Abb. 1b**). Eine getrennte Einzelbetrachtung wird sich anschließen. In diesem Zusammenhang sei auf die gemeinsame Presse-Information des Umweltbundesamtes (UBA) zusammen mit dem Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin (BgVV) und dem Robert-Koch-Institut (RKI) vom 22.08.00 verwiesen, welche antibakterielle Reinigungsmittel im Haushalt für nicht erforderlich ansehen. Vielleicht kann die vorliegende Untersuchung auch dazu beitragen, die Anwendung von antibakteriell ausgerüsteten Reinigungsmitteln, welche in Kindergärten offensichtlich heutzutage verstärkt zum Einsatz kommen, einzuschränken.

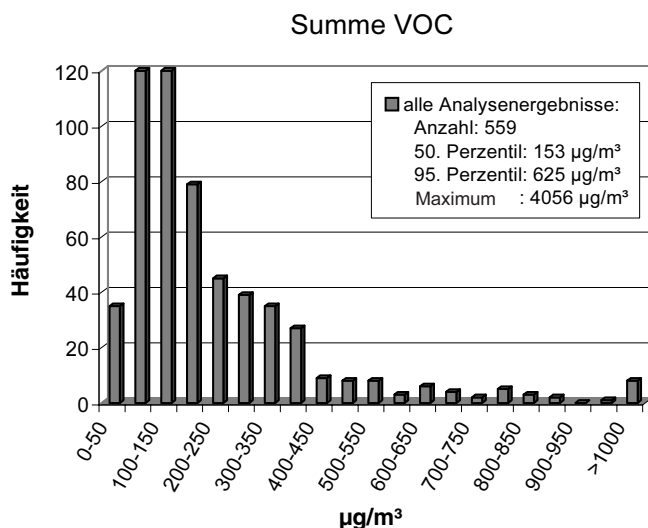


Abb. 1a: Häufigkeitsverteilung der Summe VOC aller Einzelergebnisse in der Raumluft deutscher Kindergärten

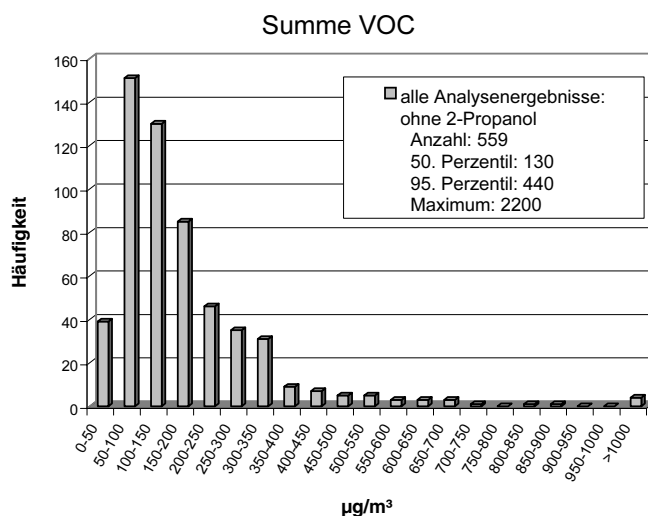


Abb. 1b: Häufigkeitsverteilung der Summe VOC der Einzelergebnisse ohne 2-Propanol in der Raumluft deutscher Kindergärten

Wie in **Abb. 1b** ersichtlich, liegen von 559 untersuchten Kindergärten etwas mehr als 10% (exakte Anzahl: 73) über dem von Seifert (Institut für Wasser, Boden und Lufthygiene, Berlin) genannten Zielwert von $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Seifert 1990). Dieser Wert ist nicht toxikologisch begründet, sondern soll die durchschnittliche (und offensichtlich erreichbare) Gesamt-VOC (TVOC) Konzentration in Innenräumen definieren, deren Überschreiten einen Hinweis auf das Vorhandensein zusätzlicher Quellen im Innenraum gibt (Seifert 1999). Die Ad-hoc-Arbeitsgruppe aus Mitgliedern der Innenraumlufthygienekommission (IRK) des Umweltbundesamtes und des Ausschusses für Umwelthygiene der Arbeitsgemeinschaft der leitenden Medizinalbeamtinnen und -beamten (AOLG), welche für Einzel-VOC toxikologisch begründete Richtwerte (RW I und II) herausgibt, empfiehlt im langfristigen Mittel eine TVOC-Konzentration von 200 bis $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Bei höheren TVOC-Belastungen müssen Einzelstoffanalysen erfolgen (Moriske und

Turowski 2000). Wie aufgezeigt, ist der Gesamtgehalt an VOC in Kindergärten in Bezug auf frühere Untersuchungen rückläufig, und damit ist der empfohlene Konzentrationsbereich für TVOC, der als hygienischer Vorsorgebereich zu verstehen ist, heute durchaus zu realisieren.

Halogenierte Kohlenwasserstoffe werden kaum gefunden und tragen im Mittel zur Innenraumluftbelastung nicht mehr bei. "Klassische" organische Lösemittel wie Toluol, Ethylbenzol oder Xylole sind in Innenräumen offensichtlich rückläufig. Dagegen liegen die Konzentrationen aus den Verbindungsklassen der Terpene, insbesondere α -Pinen, der Ester, wie Ethyl- und Butylacetat sowie einzelner Verbindungen aus der Gruppe der Alkane (n-Hexan, n-Dodekan) und Alkohole (1-Butanol, 2-Ethyl-1-hexanol) deutlich über den Orientierungswerten (95. Perzentile) des Umweltsurveys des BGA. Auch im Vergleich mit der Untersuchung der Untersuchungsstelle für Umwelttoxikologie UfU (Heinzow et al. 1994) zeigt sich eine weiterhin abnehmende Tendenz an Aromaten in der Innenraumluft während sich die Höhe der Terpenkonzentrationen offensichtlich bestätigen.

Benzol

Die Konzentration an krebserregendem Benzol in der Innenraumluft ist seit Mitte der 80er Jahre rückläufig. Eine Anwendung von Benzol als Lösemittel in Lacken, Wachsen und Ölen ist heute nicht mehr existent, sodass das 95. Perzentil mit $4,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (**Abb. 2a**) deutlich unter dem Wert des Umweltsurveys des BGA von 1985/86 ($22 \mu\text{g}/\text{m}^3$) liegt und die Untersuchung der UfU ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) aus heutiger Sicht bestätigt wird. Die wichtigste Quelle für Benzol im Innenraumbereich, das Tabakrauchen, kommt in Kindergärten nicht in Betracht, sodass möglicherweise auch hierin die große Abnahme des Benzolwertes im Vergleich zum Umweltsurvey in Wohnräumen begründet ist.

Benzol kann aber auch von Außen in die Innenräume diffundieren. Wichtigste Emissionsquelle in der Außenluft ist Benzin für Ottomotoren und dessen Verbrennungsabgase. Höhere Benzol-Immissionskonzentrationen treten in erster Linie in stark verkehrsbelasteten Gebieten auf (Eikmann et al. 2000).

Ein Vergleich der Ergebnisse in Abhängigkeit von den Angaben zur Umgebung (mit/ohne stark befahrene Straße, **Abb. 2b**) zeigt die Abhängigkeit der Verteilungen von der Außenluft auf. Das 95. Perzentil der Ergebnisse in Nachbarschaft einer stark befahrenen Straße ist mit $7,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ genau doppelt so groß wie das Ergebnis ohne diese Angabe ($3,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Diese Konzentrationen liegen um mehrere Größenordnungen unter dem Konzentrationsbereich bei dem bei exponierten Personen akute Gesundheitsstörungen auftreten (Eikmann 1992). Allerdings hat der Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI) aufgrund der Kanzerogenität von Benzol einen Richtwert von $2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vorgeschlagen, der insbesondere in Ballungsgebieten noch nicht erreicht ist (Kappos und Schmitt 1993). Ein weiterer Rückgang der Außenluft-Werte für Benzol ist durch die ab 2000 gültige EG-Kraftstoff-Richtlinie (98/70/EG) zu erwarten, welche einen auf 1% reduzierten Benzolgehalt in Ottokraftstoffen festlegt.

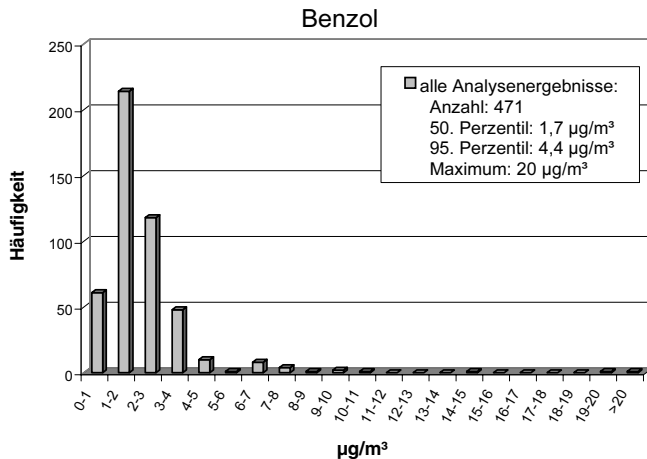


Abb. 2a: Häufigkeitsverteilung von Benzol in deutschen Kindergärten

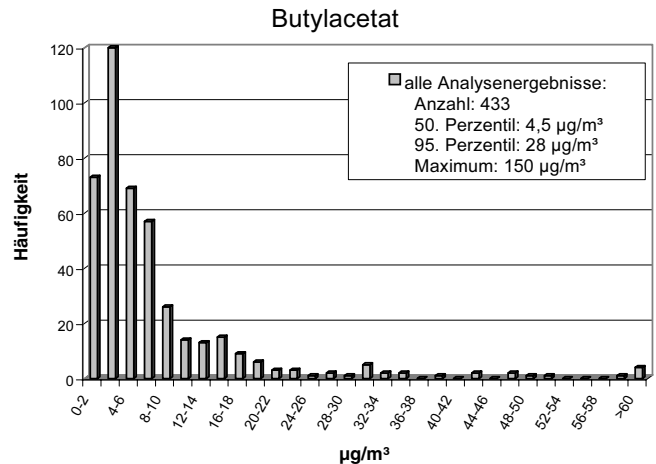


Abb. 3a: Häufigkeitsverteilung von n-Butylacetat in deutschen Kindergärten

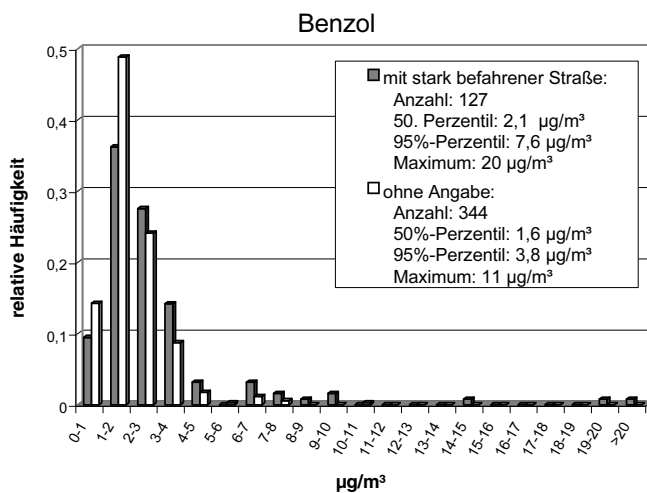


Abb. 2b: Vergleich der relativen Häufigkeiten von Benzol in Abhängigkeit der Umgebung

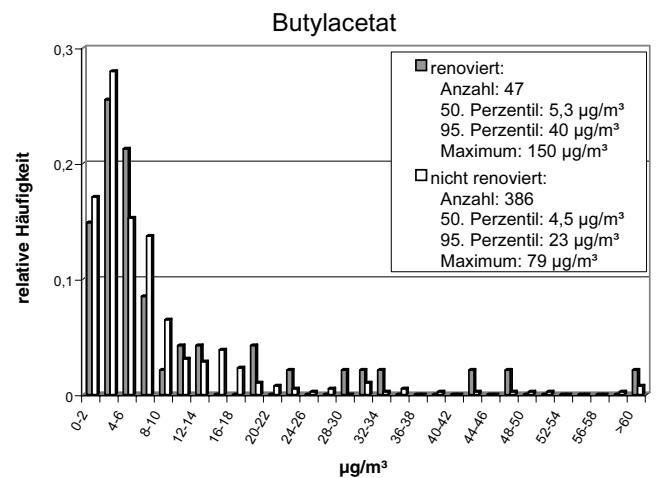


Abb. 3b: Vergleich der relativen Häufigkeiten von n-Butylacetat in Abhängigkeit einer Renovierung im letzten Jahr

Butylacetat

Essigsäurebutylester (n-Butylacetat), das in über 77% der bisher ausgewerteten Proben gefunden wurde, scheint heutzutage eines der gebräuchlichsten Lösemittel aus der Gruppe der Ester zu sein. Dessen verstärkte Anwendung wird auch aus der Häufigkeitsverteilung (Abb. 3a) und dem Ansteigen des 95. Perzentils von 19 auf 28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ im Vergleich mit dem Umweltsurvey des BGA ersichtlich.

Die Aufspaltung der Ergebnisse in renoviert (während des letzten Jahres)/nicht renoviert (Abb. 3b) zeigt eine Tendenz zu höheren Werten durch die Renovierung und damit verbundene Anwendung von Farben, Klebern und Lacken. Auch hier liegt das 95. Perzentil mit 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bei Renovierungsarbeiten innerhalb des letzten Jahres nahezu um das Doppelte über dem Ergebnis ohne derartige Arbeiten (23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Insgesamt beinhalten nur etwas mehr als 10% der ermittelten Ergebnisse mit Butylacetat die Angabe der Renovierung. Diese Tendenz sollte daher nicht überbewertet werden. Darüber hinaus kann Butylacetat als umweltmedizinisch weniger bedeutsam eingestuft werden.

α -Pinen

Zunächst fällt bei Betrachten der Häufigkeiten von α -Pinen (Abb. 4a) auf, dass dieses Terpen in über 93% der untersuchten Luftproben gefunden wurde und einige Proben Werte deutlich über 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ enthielten. Der Maximalwert lag bei 190 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Diese Tendenz zu höheren Konzentrationen zeigt sich sowohl in der Häufigkeitsverteilung als auch in der Verdoppelung des 95% Wertes von 27 auf 54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ im Vergleich zum Umweltsurvey des BGA.

Pinene sind in den meisten "Bio"-Farben, -wachsen und -ölen, in Terpentinöl (enthält als Hauptkomponente α -Pinen), in Duftstoffen, aber auch in Holz und Holzwerkstoffen, insbesondere aus Nadelhölzern, enthalten (Pluschke 1996). Auf Augen und Atemwege wirkt α -Pinen reizend, auf die Haut stark reizend (Lewis 1992). Diese Reizwirkung wird stark von der Peroxid-Konzentration (α -Pinen unterliegt leicht Autoxidationsreaktionen) bestimmt (BIA-Gestis 2000).

Es liegt aufgrund der genannten Anwendungen nahe, die Häufigkeitsverteilung von α -Pinen in Bezug auf Renovierungsarbeiten im Raum (im Fragebogen innerhalb eines Jah-

res erfasst) und Holzeinbauten zu betrachten. Die Aufspaltung der Häufigkeitsverteilung in Bezug auf Renovierung und Holzbauteile zeigt jedoch keine eindeutige Unterscheidung. Der Anstieg der 95. Perzentile von $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ohne Angaben im Protokoll auf 58 und $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mit Angaben zu Holzeinbauten und Renovierung zeigt nur eine geringe Tendenz auf (Abb. 4b).

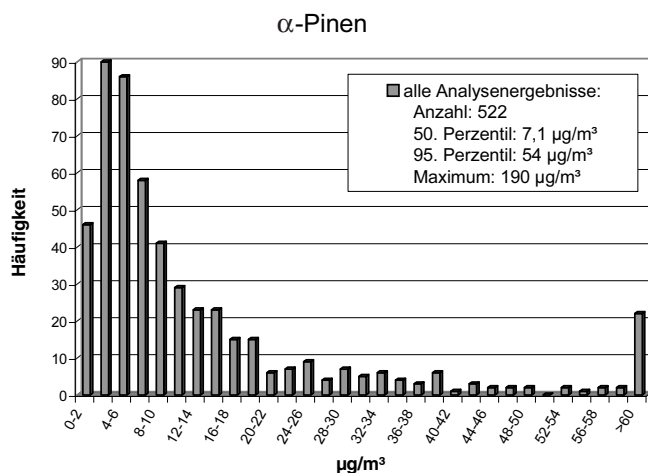


Abb. 4a: Häufigkeitsverteilung von α -Pinen in deutschen Kindergärten

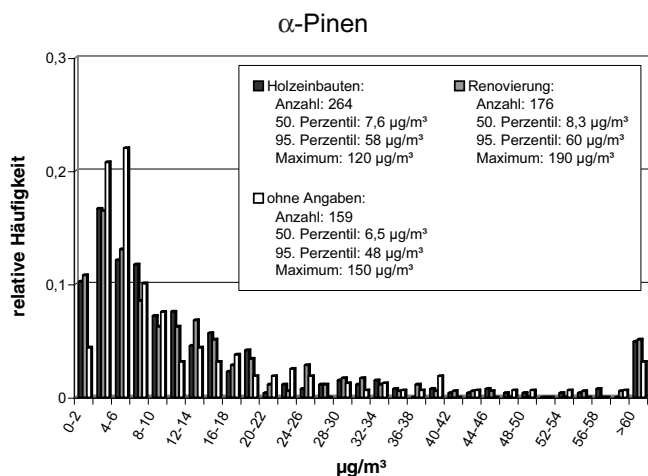


Abb. 4b: Vergleich der relativen Häufigkeiten von α -Pinen in Abhängigkeit von Holzeinbauten bzw. einer Renovierung im letzten Jahr mit Ergebnissen ohne Angaben

Als Zielwert zur Vorsorge wurde von Seifert (1990) für die Summe Terpene $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und damit für die Einzelverbindung α -Pinen $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vorgeschlagen. Dieser wird mit den aktuellen Ergebnissen ebenso wie in der UfU-Untersuchung von 1990 bis 1993 von vielen Proben deutlich überschritten. Darin spiegelt sich offensichtlich die seit den 90er Jahren verstärkte Anwendung von "Bio"-Produkten im Innenausbau wieder. Der genannte Zielwert für Terpene soll demnächst durch die Innenraumluftkommission (IRK) des Umweltbundesamtes revidiert werden.

Die sensibilisierende Wirkung von α -Pinen ist hinreichend bekannt. Dies zeigten insbesondere allergische Hautreaktionen

bei Testungen von Personen, die gegenüber Terpentinöl (enthält 58 bis 65% α -Pinen) oder anderen etherischen Ölen sensibilisiert waren (BIA-Gestis 2000, HSDB 2000). Als allergieauslösend gelten in erster Linie die Oxidationsprodukte (Hydroperoxide, Epoxide) dieses Terpens (BIA-Gestis 2000).

Da α -Pinen aus Pflanzen und Bäumen emittiert wird, existiert für diesen Stoff eine ubiquitäre Grundbelastung. In bewaldeten Gegenden in den USA wurden z.B. durchschnittliche Konzentrationen von ca. $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (tagsüber) bzw. $0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (nachts) ermittelt (HSDB 2000).

Terpentinöl selbst gilt entsprechend den Empfehlungen der MAK-Kommission als Stoff, der "wegen erwiesener/möglicher krebserzeugender Wirkung beim Menschen Anlass zur Besorgnis gibt" (Kategorie 3A). Als Ursache für die Toxizität stehen u.a. α -Pinen bzw. dessen Hydroperoxid unter Verdacht. Es fehlt aber noch an systematischen vergleichenden Untersuchungen (DFG 2000). Diese defizitäre Datenlage, die sensibilisierende und eventuell chronisch toxische Wirkung von α -Pinen sollten – unter dem Aspekt des vorbeugenden Gesundheitsschutzes – Anlass genug sein, die Konzentration von α -Pinen in der Raumluft möglichst gering zu halten. Aus Vorsorgegründen wird, solange für α -Pinen keine Richtwerte im Innenraum vorliegen, für Kinder ein Tausendstel des (niedrigsten und aktuellsten, in der Literatur gefundenen) MAK-Wertes (Norwegen: $140 \text{mg}/\text{m}^3$) vorgeschlagen, d.h. es sollte eine Raumluftkonzentration von unter $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ angestrebt werden, um gesundheitliche Gefährdungen auch einer Risikogruppe unter den Kindern (Allergikern) weitgehend zu minimieren.

5 Schlussfolgerungen

Die bisherigen Daten bestätigen, dass sich das Spektrum der Innenraumluftverunreinigungen gewandelt hat. Statt leichter flüchtigen Komponenten dominieren jetzt schwerer flüchtige Verbindungen. Dies bedeutet, dass diese Stoffe, wenn Sie über Renovierungsarbeiten oder Raumausstattung eingebracht werden, über lange Zeit in den Innenraum abgegeben werden. Da einige der Stoffe natürlich sind und daher, wie am Beispiel α -Pinen aufgezeigt, fälschlicherweise als besonders unbedenklich angesehen werden, findet sich oft eine übermäßige Verwendung im Innenraum. Mit diesem Irrglauben sollte durch verstärkte Aufklärung der Verbraucher aufgeräumt werden.

6 Literatur

- BIA-Gestis: GESTIS-Stoffdatenbank der gewerblichen Berufsgenossenschaften (via Internet: <http://www.hvbg.de/d/bia/FAC/zesp/zesp.htm>)
- DFG, Deutsche Forschungsgemeinschaft (2000): MAK- und BAT-Liste 2000. Mitteilung 36 der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe. Wiley-VCH, Weinheim
- Eikmann Th (1992): Organische Verbindungen/Benzol. In: Wichmann, Schlipkötter, Fülgraff, Eds: Handbuch der Umweltmedizin. ecomed Verlag, Landsberg VI-4
- Eikmann Th, Eikmann S, Göen Th (2000): Benzol – Exposition und Risikoabschätzung. Umweltmed Forsch Prax 5, 309-318
- Falbe, Regnitz, Eds. (1990): Römpp Chemie Lexikon. Thieme, Stuttgart

- Heinzow B, Mohr S, Mohr-Kriegshammer K, Janz H (1994): Organische Schadstoffe in der Innenraumluft von Schulen und Kindergärten. In: Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN, Ed: Luftverunreinigungen in Innenräumen. Düsseldorf: VDI Verlag p. 269-281
- HSDB (2000): Hazardous Substances DataBase, Datenbank erstellt vom der U.S. National Library of Medicine; Quelle: Chem-Bank / SilverPlatter
- Kapp RW Jr, Marindo DJ, Gardiner TH, Masten LW, McKee RH, Tyler TR et al. (1993): Abstract of In Vitro and In Vivo Assays of Isopropanol for Mutagenicity. Environmental and Molecular Mutagenesis 22 (2), 93-100
- Kappos AD, Schmitt OA (1993): Das Konzept des Länderausschusses für Immisionsschutz zur Regulierung kanzerogener Luftschadstoffe in der Außenluft. Gesundheitswesen 55, 40-45
- Krause C, Chutsch M, Henke M, Schwarz E, Seifert B (1991): Umwelt-Survey, Band IIIc, Wohn-Innenraum: Raumluft (WaBo Lu-Hefte 4/1991). Inst. für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Berlin
- Lewis RJ (1992): Sax's dangerous properties of industrial materials. 8. Auflage. Van Nostrand, New York
- Moriske HJ, Turowsky E (2000): Hygienische Bewertung von Außenluft- und Innenraumluftverunreinigungen. In: Moriske HJ, Turowsky E, Eds: Handbuch für Bioklima und Lufthygiene. ecomed Verlag, Landsberg, 4. Erg.Lfg. III 5.3.2.
- Pluschke P (1996): Luftschadstoffe in Innenräumen. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York
- Seifert B (1990): Regulating indoor air. Proc. Indoor Air '90. Toronto, 29 July-3 Aug. 5, 35-49
- Seifert B (1999): Richtwerte für die Innenraumluft. Die Beurteilung der Innenraumluftqualität mit Hilfe der Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC-Wert). Bundesgesundheitsbl-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz 42, 270-278
- VDI, Verein Deutscher Ingenieure (1999): Messen von Innenraumluftverunreinigungen. Meßstrategie für flüchtige organische Verbindungen (VOC). VDI Richtlinie 4300 Bl. 6 E. In: VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft Düsseldorf