

Vergleichswerte für flüchtige organische Verbindungen (VOC und Aldehyde) in der Innenraumluft von Haushalten in Deutschland

Ergebnisse des repräsentativen Kinder-Umwelt-Surveys (KUS) des Umweltbundesamtes

Flüchtige organische Verbindungen (VOC, engl.: volatile organic compounds, hier: VOC im Bereich zwischen n-Hexan und n-Hexadekan) und Aldehyde (hier als separate Gruppe betrachtet) treten üblicherweise in Innenräumen in höheren Konzentrationen als im Außenluftbereich auf, weil sie aus einer Vielzahl von Innenraumquellen freigesetzt werden. In Innenräumen verbringen die Menschen in Deutschland den größten Teil ihres Lebens, davon im Durchschnitt etwa 2 Drittel in ihrer eigenen Wohnung. Kinder halten sich im Durchschnitt täglich über 15 Stunden in der Wohnung ihrer Eltern auf [1]. Besonders die eigene Wohnung sollte ein Ort sein, an den sich der Mensch zurückziehen kann, ohne nachteilige Einflüsse auf seine Gesundheit befürchten zu müssen. Nicht immer jedoch hat die Innenraumluft eine Qualität, die der menschlichen Gesundheit zuträglich ist. So ist bekannt, dass sich die Qualität der Innenraumluft aufgrund reduzierter Raumluftwechselraten – häufig infolge falsch angewandter Energiesparmaßnahmen – verschlechtern kann. Darüber hinaus wird sie durch die Verwendung von neuartigen Baustoffen, Renovierungs- und Haushaltsprodukten stetig verändert.

Nach wie vor ist die Bewertung von Verunreinigungen der Innenraumluft schwierig. Im Gegensatz zur Außenluft, wo mit verschiedenen Verordnungen und Verwaltungsvorschriften zum Bundesimmissionsschutz verbindliche Handlungsanweisungen bestehen, gibt es für die Innenraumluft – mit äußerst wenigen Ausnahmen – weder auf nationaler noch auf internationaler Ebene Konzentrationswerte, deren Einhaltung verbindlich ist. Bei der Beurteilung von VOC-Konzentrationen in der Innenraumluft, die in Einzelfällen oder bei Studien gemessen wurden, helfen die Ergebnisse einer bevölkerungsrepräsentativen, nicht Anlassbezogenen Untersuchung. Derartige Vergleichswerte wurden erstmals mit den Daten der ersten Umwelt-Surveys 1985/86 für Erwachsene in den alten Bundesländern [2, 3] vorgelegt.

Mit dem Kinder-Umwelt-Survey 2003–2006 [4, 5] legt das Umweltbundesamt aktuelle repräsentative Daten zur Innenraumluftbelastung in Deutschland (■ **Tabelle 1**, **Tabelle 2**) vor. Zur Probenahme wurden 3 Passivsammlertypen (Perkin-Elmer-Tenax-Röhrchen, 3M OVM-3500 und SKC UMEEx-100) über eine Woche eingesetzt. Damit konnten

Wochenmittelwerte unter realen Bedingungen der Raumnutzung bestimmt werden, sodass die tatsächliche Exposition der Raumnutzer über diese Zeitspanne abgebildet werden kann. Die Probenahme erfolgte in dem Raum, in dem sich das Kind (3–14 Jahre) im Allgemeinen während der 24 Stunden eines Tages am längsten aufhält. Zu ca. 95 % war dies das Kinderzimmer, in gut 4 % der Fälle das Elternschlafzimmer und in 1 % ein anderer Wohnraum.

Die chemischen Analysen erfolgten mittels Gaschromatographie (Detektion der VOC mittels FID oder Massenspektrometer) und HPLC (Detektion der umgesetzten Aldehyd-Hydrazone mittels Diodenarray-Detektor) [6]. Die spezifischen Aufnahmeraten für die Passivsammler und wichtige Maßnahmen zur Qualitätssicherung sind bei Ullrich et al. [7] beschrieben. Darüber hinaus wurde die erreichte „Erweiterte Unsicherheit“ nach ISO GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement) für bedeutende Substanzen mit 10–30 % im Konzentrationsbereich von 1–100 µg/m³ ermittelt [8].

Die ausführliche statistische Beschreibung der Daten, d. h. die Angabe der

Tabelle 1

VOC in der Innenraumluft ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – Kinder-Umwelt-Survey 2003–2006 (3- bis 14-jährige Kinder in Deutschland, N = 555)

	BG	n < BG	% \geq BG	P10	P50	P90	P95	P98	MAX	AM	GM	KI GM
Alkane ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)												
n-Hexan	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
n-Heptan	1,0	204	63	<1,0	1,4	12,7	22,8	85,2	414	6,69	2,09	1,88–2,31
n-Octan	1,0	257	54	<1,0	1,1	4,5	10,3	24,5	69,4	2,97	1,44	1,33–1,56
n-Nonan	1,0	293	47	<1,0	<1,0	5,2	12,1	20,7	66,4	2,72	1,40	1,29–1,52
n-Decan	1,0	222	60	<1,0	1,4	8,2	14,9	27,2	108	3,65	1,77	1,62–1,94
n-Undecan	1,0	220	60	<1,0	1,4	9,8	14,8	24,2	135	3,95	1,84	1,68–2,02
n-Dodecan	1,0	255	54	<1,0	1,1	4,8	7,9	18,2	186	2,72	1,41	1,31–1,52
n-Tridecan	1,0	323	42	<1,0	<1,0	2,7	4,2	7,5	44,0	1,59	1,10	1,04–1,16
n-Tetradecan	1,0	86	85	<1,0	1,7	4,1	5,4	8,7	55,4	2,42	1,83	1,73–1,93
n-Pentadecan	1,0	204	63	<1,0	1,2	2,7	3,7	5,4	21,1	1,56	1,26	1,20–1,32
n-Hexadecan	1,0	298	46	<1,0	<1,0	1,9	2,3	3,1	9,7	1,15	1,00	<1,0–1,04
n-Heptadecan	1,0	427	23	<1,0	<1,0	1,4	2,0	2,8	6,3	<1,0	<1,0	
n-Octadecan	1,0	516	7	<1,0	<1,0	<1,0	2,0	2,8	3,5	<1,0	<1,0	
Cyclohexan	1,0	152	73	<1,0	2,5	15,6	39,1	65,3	456	9,18	2,87	2,58–3,20
Methylcyclohexan	1,0	266	52	<1,0	1,1	10,4	26,5	57,9	400	5,86	1,74	1,58–1,93
Σ 14 Alkane				11,7	22,3	97,2	158	300	707	46,2	28,2	26,3–30,3
Aromaten ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)												
Benzol	1,0	137	75	<1,0	1,8	5,7	7,7	11,2	61,0	2,74	1,90	1,78–2,04
Toluol	1,0	0	100	4,1	13,5	47,2	57,6	92,8	2400	27,2	13,6	12,5–14,8
Ethylbenzol	1,0	179	68	<1,0	1,4	4,6	6,8	12,4	40,8	2,40	1,59	1,49–1,70
m-, p-Xylol	1,0	52	91	1,0	3,2	11,1	16,0	30,3	200	5,62	3,30	3,05–3,57
o-Xylol	1,0	241	57	<1,0	1,2	4,1	5,5	9,1	47,8	1,95	1,33	1,25–1,42
m-, o-, p-Xylol				1,8	4,5	15,0	21,2	34,5	248	7,57	4,81	4,48–5,16
Isopropylbenzol	1,0	516	7	<1,0	<1,0	<1,0	1,3	1,8	3,7	<1,0	<1,0	
n-Propylbenzol	1,0	454	18	<1,0	<1,0	1,7	2,6	3,8	14,4	<1,0	<1,0	
Iso- + n-Propyl-benzol				1,4	1,4	1,4	2,6	3,6	7,4	1,54	1,48	1,46–1,51
2-Ethyltoluol	1,0	475	14	<1,0	<1,0	1,6	2,3	3,6	13,6	<1,0	<1,0	
3-Ethyltoluol	1,0	341	39	<1,0	<1,0	3,3	5,5	9,6	41,2	1,66	1,10	1,04–1,17
4-Ethyltoluol	1,0	475	14	<1,0	<1,0	1,4	2,6	4,1	19,7	<1,0	<1,0	
3- + 4-Ethyltoluol				1,4	1,4	5,1	8,3	13,4	60,9	2,64	1,96	1,87–2,07
1,2,3-Trimethylbenzol	1,0	446	20	<1,0	<1,0	1,9	2,9	4,6	12,3	1,05	<1,0	
1,2,4-Trimethyl-benzol	1,0	177	68	<1,0	1,5	5,8	10,3	14,9	58,8	2,87	1,69	1,57–1,82
1,3,5-Trimethyl-benzol	1,0	449	19	<1,0	<1,0	1,7	2,9	4,6	24,3	1,07	<1,0	
Styrol	1,0	329	41	<1,0	<1,0	2,8	4,8	8,3	32,0	1,57	1,10	1,04–1,17
Naphthalin	1,0	517	7	<1,0	<1,0	<1,0	1,2	2,8	4,9	<1,0	<1,0	
4-Phenylcyclo-hexen	1,0	555	0									
Σ 16 Aromaten				16,2	32,9	88,7	123	218	2430	53,4	36,4	34,2–38,6
Halogenhaltige Verbindungen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)												
1,1,1-Trichlor-ethan	1,0	528	5	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	2,2	14,3	<1,0	<1,0	
Trichlorethen	1,0	534	4	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	2,0	64,3	<1,0	<1,0	
Perchlorethen	1,0	517	7	<1,0	<1,0	<1,0	1,4	3,4	28,0	<1,0	<1,0	
1,4-Dichlorbenzol	1,0	548	1	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	11,3	<1,0	<1,0	
Σ 4 halogenhaltige Verbindungen				2,8	2,8	3,6	5,4	11,5	70,5	3,44	3,07	2,98–3,16

Tabelle 1 (Fortsetzung)

	BG	n < BG	% ≥ BG	P10	P50	P90	P95	P98	MAX	AM	GM	KI GM
Sauerstoffhaltige Verbindungen (µg/m³)												
Ethylacetat	1,0	12	98	2,3	9,3	47,0	70,8	170	785	22,4	9,78	8,84–10,8
Butylacetat	1,0	64	88	<1,0	4,1	18,0	30,7	63,2	214	8,74	4,11	3,73–4,52
1-Methoxy-2-propanolacetat	1,0	426	23	<1,0	<1,0	2,0	3,6	7,5	93,5	1,36	<1,0	
Methylethylketon	7,5	519	6	<7,5	<7,5	<7,5	9,2	18,1	139	<7,5	<7,5	
Methylisobutylketon	1,0	407	27	<1,0	<1,0	1,9	2,6	4,5	17,3	1,12	<1,0	
1-Butanol	1,0	10	98	2,3	5,4	12,9	17,6	29,1	71,6	6,98	5,35	5,03–5,69
Isobutanol	3,5	505	9	<3,5	<3,5	<3,5	4,9	7,9	40,7	<3,5	<3,5	
2-Methoxyethanol	1,0	528	5	<1,0	<1,0	<1,0	1,2	1,4	14,1	<1,0	<1,0	
2-Ethoxyethanol	1,0	502	10	<1,0	<1,0	<1,0	1,5	2,4	7,1	<1,0	<1,0	
2-Butoxyethanol	1,0	215	61	<1,0	1,4	5,8	10,3	23,1	117	2,99	1,65	1,53–1,79
2-Butoxyethoxyethanol	1,0	374	33	<1,0	<1,0	2,7	6,0	9,6	35,5	1,60	1,03	<1,0–1,10
2-Phenoxyethanol	1,0	357	36	<1,0	<1,0	2,8	3,7	5,6	11,5	1,28	1,01	<1,0–1,06
1-Methoxy-2-propanol	1,0	198	64	<1,0	1,5	5,3	8,4	15,5	86,1	2,95	1,70	1,58–1,84
1-Butoxy-2-propanol	1,0	295	47	<1,0	<1,0	7,6	12,8	30,6	126	3,69	1,49	1,36–1,63
1-Phenoxy-2-propanol	1,0	544	2	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	1,1	3,1	<1,0	<1,0	
2-Ethyl-1-hexanol	1,0	86	85	<1,0	2,6	7,5	11,4	20,2	67,0	3,91	2,56	2,38–2,75
Dipropylenglykolmonobutylether	1,0	457	18	<1,0	<1,0	1,6	3,2	8,6	35,0	1,37	<1,0	
Texanol	1,0	407	27	<1,0	<1,0	2,0	2,8	5,4	126	1,54	<1,0	
TXIB	1,0	227	59	<1,0	1,2	4,0	5,5	10,8	62,1	2,14	1,38	1,29–1,47
Σ 19 sauerstoffhaltige Verbindungen				27,4	52,8	130	194	281	850	73,4	57,8	54,8–60,9
Terpene (µg/m³)												
α-Pinen	1,0	8	99	2,2	9,8	47,0	67,6	98,9	800	19,8	9,90	8,96–10,9
β-Pinen	1,0	240	57	<1,0	1,2	4,2	8,3	16,5	47,8	2,39	1,40	1,31–1,51
Limonen	1,0	38	93	1,5	11,5	71,4	103	169	400	26,3	10,7	9,52–12,1
λ-3-Caren	1,0	141	75	<1,0	2,6	14,6	22,7	41,5	336	6,48	2,93	2,65–3,24
Longifolen	1,0	465	16	<1,0	<1,0	1,3	1,8	2,2	8,0	<1,0	<1,0	
Σ 5 Terpene				7,9	34,8	123	184	264	1220	55,8	33,3	30,5–36,3
TVOC¹ (mg/m³)				0,1	0,3	0,8	1,1	1,5	3,0	0,39	0,29	0,27–0,31

N Stichprobenumfang; n < BG Anzahl der Werte unter der Bestimmungsgrenze (BG); % ≥ BG Anteil der Werte ab der Bestimmungsgrenze; P10, P50, P90, P95, P98 = Perzentile; MAX Maximalwert; AM arithmetisches Mittel; GM geometrisches Mittel; KI GM approximatives 95 %-Konfidenzintervall für GM; Werte unter BG sind als 2/3 BG berücksichtigt; wenn GM < BG, dann keine Angabe von KI GM; TVOC „Total Volatile Organic Compounds“, Summe aller VOC im Bereich von n-Hexan bis n-Hexadecan, in Toluol-Äquivalent-Einheiten. Quelle: Umweltbundesamt; Kinder-Umwelt-Survey 2003–06

Verteilungen inkl. Signifikanzprüfungen nach den Merkmalen alte und neue Bundesländer, Gebietstyp (städt./vorstädt./ländl.), Sozial- und Migrantenstatus sowie nach substanzrelevanten potenziellen Einflussgrößen wie Zahl der Raucher im Haushalt, Renovierung, Anwendung von Haushaltschemikalien/mitteln wird in dem Berichtsband „Kinder-Umwelt-Survey 2003–2006 (KUS) – Innenraumlufthygiene. Flüchtige organische Verbindungen (VOC und Aldehyde) in der Innenraumlufthygiene aus Haushalten mit Kindern in Deutschland“ [9] publiziert werden.

Weitere Hinweise zu Fragen der Bewertung der Luftqualität in Innenräumen sind bei der „Innenraumlufthygiene-Kommission“ (IRK) des Umweltbundesamtes (<http://www.umweltbundesamt.de/gesundheit/innenraumhygiene/index.htm>) und in verschiedenen Veröffentlichungen zu finden:

- BMU (2005) Verbesserung der Luftqualität in Innenräumen – Ausgewählte Handlungsschwerpunkte aus Sicht des BMU,
- UBA (2006) Optionen für rechtliche Regelungen von Innenraumbelastun-

gen – Brauchen wir eine „TA Innenraum“?

- Handreichung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden (2007) Beurteilung von Innenraumlufthygiene mit Referenz- und Richtwerten. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 7 (2007), 50: 990–1005.

Ansprechpartner/innen sind für:

Tabelle 2

Aldehyde in der Innenraumluft ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – Kinder-Umwelt-Survey 2003–06 (3- bis 14-jährige Kinder in Deutschland, N = 586)

	BG	n < BG	% \geq BG	P10	P50	P90	P95	P98	MAX	AM	GM	KI GM
Formaldehyd	1,0	0	100	13,2	23,5	41,0	47,7	58,3	68,9	25,7	23,3	22,4–24,2
Acetaldehyd	2,0	8	99	5,1	15,5	37,2	50,3	60,5	86,3	21,2	14,7	13,7–15,7
Propanal	0,2	0	100	1,4	2,5	4,8	6,1	9,2	40,9	3,04	2,54	2,43–2,65
Butanal	0,6	4	99	1,1	2,4	5,9	8,1	10,0	43,2	3,17	2,49	2,35–2,63
Pentanal	0,5	7	99	1,5	3,7	7,2	10,6	13,6	28,4	4,28	3,44	3,25–3,64
Hexanal	0,3	0	100	4,3	9,8	21,2	30,0	40,5	81,7	11,9	9,67	9,17–10,2
Heptanal	0,7	68	88	<0,7	1,3	2,4	3,0	4,1	9,1	1,48	1,27	1,21–1,33
Octanal	0,3	3	99	0,7	1,6	3,2	3,6	4,3	6,8	1,77	1,53	1,46–1,60
Nonanal	0,7	0	100	3,3	7,2	12,5	14,7	17,9	30,2	7,72	6,77	6,47–7,08
Decanal	0,5	17	97	0,9	2,5	4,8	5,5	6,3	9,9	2,66	2,19	2,07–2,32
Undecanal	1,0	327	44	<1,0	<1,0	2,3	3,1	4,9	13,2	1,30	1,06	1,01–1,11
Furfural	0,2	21	96	0,4	0,9	2,0	2,8	4,2	19,3	1,18	0,89	0,84–0,95
Benzaldehyd	0,5	13	98	1,2	2,9	5,6	6,6	8,4	11,9	3,15	2,62	2,48–2,76
Isovaleraldehyd	0,5	384	35	<0,5	<0,5	3,1	3,9	5,2	15,9	1,14	0,61	0,56–0,66
Methylglyoxal	1,0	295	50	<1,0	<1,0	14,1	17,8	26,9	54,1	4,66	2,08	1,88–2,31
Σ 11 Aldehyde (Formaldehyd bis Undecanal)				44,8	75,5	122	155	190	1010	85,0	76,9	74,3–79,6
Σ 15 Aldehyde (Formaldehyd bis Methylglyoxal)				53,1	85,5	135	170	208	1020	95,1	87,3	84,6–90,1

N Stichprobenumfang; n < BG Anzahl der Werte unter der Bestimmungsgrenze (BG); % \geq BG Anteil der Werte ab der Bestimmungsgrenze; P10, P50, P90, P95, P98 = Perzentile; MAX Maximalwert; AM arithmetisches Mittel; GM geometrisches Mittel; KI GM approximatives 95 %-Konfidenzintervall für GM; Werte unter BG sind als 2/3 BG berücksichtigt, Quelle: Umweltbundesamt; Kinder-Umwelt-Survey 2003–06

- den Kinder-Umwelt-Survey: Dr. Marika Kolossa-Gehring und Christine Schulz;
- die chemischen Analysen der Innenraumluftuntersuchungen: Dr. Detlef Ullrich.

Literatur

1. Umweltbundesamt (2007) Hintergrundpapier: Wie Schadstoffe und Lärm die Gesundheit unserer Kinder belasten; <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/hintergrund/kus-jb2006.pdf>
2. Krause C, Chutsch M, Henke M et al. (1991) Umwelt-Survey, Band IIIc: Wohn-Innenraum. Raumluft. WaBoLu-Hefte 4/1991. Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes. Eigenverlag, Berlin
3. Bundesgesundheitsamt(1993) Bekanntmachungen. Bewertung der Luftqualität in Innenräumen. Bundesgesundhbl 36(3): 117–118
4. Schulz C, Becker K, Seiwert M (2002) Kinder-Umwelt-Survey. Gesundheitswesen 64 (Sonderheft 1): 69–79
5. Schulz C, Babisch W, Becker K et al. (2004) Kinder-Umwelt-Survey – das Umweltmodul im KiGGS. Teil 1: Konzeption und Untersuchungsprogramm. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 11(47): 1066–1072
6. Ullrich D, Gleue C (2002) German Environmental Survey for Children (GerES IV). Symposium: Human Biomonitoring (HBM) as a key tool in environment and health. In: INDOOR AIR '02. Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate Vol. I. Monterey, CA, USA, June 30–July 5, 2002, pp 209–213
7. Ullrich D, Ball M, Brenske KR et al. (2006) Uptake rates of diffusive samplers for VOC in Indoor Air Quality Analysis. ISEA 2006, Paris, France, September 2–6, 2006. Abstract Book, p 257 (Poster 331)
8. Richtlinie VDI 2100, Blatt 6 (2007) Messen gasförmiger Verbindungen in der Außenluft, Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Gaschromatographische Bestimmung organischer Verbindungen – Praktische Anleitung zur Bestimmung der Messunsicherheit, Gründruck für Ende 2007 geplant. Beuth, Berlin
9. Schulz C, Seiwert M, Conrad A et al. (2008). Kinder-Umwelt-Survey 2003–06 (KUS) – Innenraumluft. Flüchtige organische Verbindungen (VOC und Aldehyde) in der Innenraumluft aus Haushalten mit Kindern in Deutschland. WaBoLu-Heft (in Bearbeitung). Umweltbundesamt, Eigenverlag, Berlin