

AGÖF-Orientierungswerte für Inhaltsstoffe von Raumluft und Hausstaub.

1. Vorbemerkungen: Bewerten!

Für Innenraumschadstoffe gibt es bislang mit wenigen Ausnahmen keine gesetzlich festgelegten Grenzwerte. Trotzdem müssen Ergebnisse von Raumluft- und Hausstaubuntersuchungen hinsichtlich ihrer Gefährlichkeit für die exponierten Personen beurteilt werden. Die gegenwärtig existierenden Bewertungskonzepte für Innenraumschadstoffe lassen sich in zwei Kategorien unterteilen:

- toxikologisch abgeleitete Bewertungskonzepte,
- statistisch abgeleitete Bewertungskonzepte.

Bei der toxikologischen Ableitung von Richtwerten geht man häufig von Experimenten aus, bei denen Versuchstiere verschiedenen hohen Konzentrationen eines einzelnen Schadstoffes ausgesetzt wurden. Mit Hilfe dieser Versuche wird eine Dosis ermittelt, bei der im Tierversuch keine erkennbaren Gesundheitsschäden wie Organveränderungen oder Stoffwechselstörungen mehr auftreten. Aus den Ergebnissen des Tierversuchs werden dann mit Hilfe sogenannter „Unsicherheitsfaktoren“ Richtwerte für den Menschen berechnet.

Statistisch abgeleitete Richtwerte werden aus den Ergebnissen einer Vielzahl möglichst repräsentativer Raumluftmessungen berechnet. Mit Hilfe statistischer Rechenverfahren werden aus diesen Daten für die einzelnen Schadstoffe Schadstoffbelastungen ermittelt, deren Überschreitung eine Auffälligkeit darstellt.

Beide Verfahren haben Vor- und Nachteile. Die Ableitung von Vorsorgewerten für den Menschen aus Tierversuchsdaten ist trotz der Verwendung von „Sicherheitsfaktoren“ eine äußerst unsichere Angelegenheit. Berücksichtigt werden nur Gesundheitsschäden, die an den Versuchstieren erkennbar sind. Da ein Tier nicht über Kopfschmerzen und Konzentrationsstörungen klagen kann, bleiben derartige Beschwerden, die einen Großteil der von Innenraumschadstoffen verursachten gesundheitlichen Probleme ausmachen, unberücksichtigt. Auch die Frage, welcher „Sicherheitsfaktor“ zum Beispiel für den Schutz besonders empfindlicher Bevölkerungsgruppen wie Kleinkinder oder kranke Menschen verwendet wird, ist wissenschaftlich fundiert nicht zu beantworten. Ob und wie sich mehrere verschiedene Schadstoffe in ihrer Giftigkeit gegenseitig beeinflussen, ist mit dem toxikologischen Bewertungsansatz ebenfalls kaum zu klären. Gerade die Einwirkung einer Vielzahl von Schadstoffen auf den Menschen ist aber für die Belastungssituation in Innenräumen kennzeichnend.

Das statistische Verfahren zur Ableitung von Richtwerten geht einen anderen Weg: hier wird die durchschnittlich existierende Schadstoffbelastung der Innenraumluft ermittelt und als „normal“ definiert. Statistisch abgeleitete Konzepte erlauben die Einstufung einer Vielzahl von Schadstoffen bei vertretbarem Aufwand. Allerdings kann das bereits vorhandene allgemeine Gesundheitsrisiko durch die existierende Schadstoffbelastung mit Hilfe statistisch abgeleiteter Richtwerte nicht erkannt werden. Die Überschreitung statistisch errechneter Richtwerte zeigt eine Auffälligkeit an, deren Ursache ermittelt und beseitigt werden sollte. Statistisch abgeleitete Richtwerte müssen regelmäßig anhand

aktueller Analysedaten überprüft und gegebenenfalls einer veränderten Belastungssituation angepasst werden.

Eine befriedigende Lösung der Probleme bei der Einschätzung des gesundheitlichen Risikos durch Schadstoffbelastungen in Innenräumen bietet keines der oben beschriebenen Bewertungskonzepte. In der Praxis hat sich jedoch herausgestellt, dass mit Hilfe statistisch begründeter Richtwerte in vielen Fällen Ursachen für gesundheitliche Beschwerden in Innenräumen ermittelt werden können.

2. Datenbasis und Hinweise zur Analytik

Die vorliegenden „AGÖF-Orientierungswerte“ gründen auf den in der täglichen Arbeit ermittelten Untersuchungsergebnissen der beteiligten Mitgliedsinstitute. Der Zeitraum der Datenerhebung umfasst dabei die letzten zehn Jahre und repräsentiert ein Grundgesamt von mehr als 2.000 Raumluftmessungen und über 3.500 Hausstaubanalysen.

Die von verschiedenen Instituten zusammengeführten Analysedaten beruhen auf unterschiedlichen Laborverfahren. Bei den angewendeten Probenahme- und Analysemethoden handelt es sich um validierte Verfahren, die durch das AGÖF-Qualitätsmanagement, zum Beispiel durch Ringversuche, laufend evaluiert und kontrolliert werden.

Der Vergleich der verschiedenen Datensätze untereinander zeigt, dass zwischen den einzelnen Labor-Statistiken eine gute Übereinstimmung besteht. Zu Abweichungen kann es dann kommen, wenn neben analytischen Effekten vor allem die Probenahme unter besonderen Bedingungen oder in unüblichen Situationen vorgenommen wird. Daher sollen im Folgenden analytische Methoden und die probenahme-technischen Aspekte erläutert werden, auf deren Grundlage die vorliegenden Orientierungswerte erhalten wurden und deren Beachtung Voraussetzung ihrer Anwendbarkeit ist.

2.1 Raumluftanalysen

Die Probenahme orientiert sich an den Vorgaben der VDI-Richtlinien 4300, Blatt 1 (Messen von Innenraumluftverunreinigungen) und 4300, Blatt 6 (Messstrategie für flüchtige organische Verbindungen). Die Standardprobenahme erfolgt in einem Raum, der nach einer Intensivlüftung über Fenster mindestens sechs Stunden ungelüftet bleibt, wobei dann auch die Innentüren geschlossen gehalten werden (sogenannte *worst-case*-Messung).

Zur Erfassung der Luftinhaltsstoffe wird die aktive Probenahme durchgeführt, Daten einer passiven Probenahme sind auf Grund der unterschiedlichen Randbedingungen nicht vergleichbar und auch nicht in der AGÖF-Orientierungswerte-Liste enthalten.

Als Adsorptionsmedium können - je nachdem welche Verbindungen oder Verdachtsstoffe bestimmt werden sollen - unterschiedliche Sammler eingesetzt werden. In Ergänzung zur DIN ISO 16000-6 (Entwurf) mit Tenax kommen auch Aktivkohle (Typ NIOSH), Anasorb 747, DNPH oder Florisil in Frage.

Die in der Liste der AGÖF-Orientierungswerte aufgeführten Substanzen sind im Wesentlichen mittels Tenax, Aktivkohle und Anasorb 747 erfasst worden. DNPH ist lediglich für die Analytik von Aldehyden und Ketonen einsetzbar.

Die weitere Aufarbeitung der Sammler erfolgt entweder durch Thermodesorption (bei Tenax) oder durch Lösemittel. Als Lösemittel haben sich bei Aktivkohle bewährt: Schwefelkohlenstoff (CS₂), Schwefelkohlenstoff / Methanol-Gemisch, Dichlormethan / Methanol-Gemisch oder Phenoxyethanol. Bei reinem Schwefelkohlenstoff ergeben sich

relevante Minderbefunde bei polaren Stoffen, dies gilt eingeschränkt (Aldehyde, Glykole) auch bei Verwendung eines Schwefelkohlenstoff / Methanol-Gemisches (Reiner 1999). Zur Bestimmung unterschiedlich polarer Substanzgruppen ist daher eine parallele Probenahme mit zwei verschiedenen Sammlern (zum Beispiel Aktivkohle, Typ NIOSH und Anasorb 747) und anschließender getrennter Elution mit Schwefelkohlenstoff bzw. Dichlormethan / Methanol (Schleibinger 2002) erforderlich. Die Desorption von DNPH-Sammlern erfolgt mit Acetonitril. Florisil zur Bestimmung schwererflüchtiger polarer Komponenten wird mit Aceton desorbiert.

Die Analyse der (thermisch oder durch Lösemittel) desorbierten Verbindungen erfolgt in der Regel kapillar-gaschromatographisch mit massenselektivem Detektor (GC/MS) oder mit Flammenionisations- und Elektroneneinfang-Detektor (GC/FID-ECD). Zur Bestimmung von Aldehyden und Ketonen nach DNPH-Derivatisierung wird die Hochdruckflüssigkeitschromatographie mit UV-Detektor (HPLC/UV) eingesetzt.

2.2 Hausstaubanalysen

Die Probenahme von Hausstaub ist in der VDI-Vorschrift 4300, Blatt 8 beschrieben. Das Standardverfahren geht von einem Staub aus, der nach einer Grundreinigung der Wohnung über einen Zeitraum von sieben Tage in der Wohnung anfällt und dann mittels handelsüblichem Staubsauger von der frei begehbaren Bodenfläche in einen neuen Staubsaugerbeutel gesaugt wird. Die publizierten Daten (Kersten 2003, Walker 1999, Anbus 1998) ergeben, dass dadurch ein Probenmaterial gewonnen wird, dessen Inhaltsstoffe ein stabiles Verteilungsmuster zeigen. Abweichungen entstehen dann, wenn der Staub über einen deutlich längeren Zeitraum gebildet wurde (sogenannter „Altstaub“) oder wenn die Probenahme direkt auf belasteten Oberflächen vorgenommen wurde. In diesen Fällen können die „AGÖF-Orientierungswerte“ nicht mehr vergleichend zur Beurteilung der Messwerte heran gezogen werden.

Die Aufarbeitung der Hausstaub-Probe erfolgt aus dem Gesamtstaub oder daraus abgeseibten Fraktionen ($< 2 \text{ mm}$, $< 63 \text{ }\mu\text{m}$). Generell gilt, dass die Konzentrationen der Staubinhaltsstoffe mit abnehmender Korngröße zunehmen. Der Gehalt im Feinstaub ($< 63 \text{ }\mu\text{m}$) kann bis um das Fünffache über dem Gehalt im Gesamtstaub liegen. Die Homogenität des Staubes nimmt ebenfalls mit abnehmende Korngröße zu. Aus praktischen Gründen kann jedoch das Absieben einer Probe auf $< 63 \text{ }\mu\text{m}$ in Ermangelung ausreichender Masse Schwierigkeiten bereiten. Die den „AGÖF-Orientierungswerten“ zu Grunde liegenden Messdaten wurden aus der Fraktion $< 2 \text{ mm}$ des Zwischenlagenstaubes (Staub zwischen den einzelnen Papierlagen eines Staubsaugerbeutels) oder aus der Fraktion $< 63 \text{ }\mu\text{m}$ aus dem Gesamtstaub gewonnen. Vergleichsuntersuchungen zeigen, dass beide Verfahren der Probenvorbereitung übereinstimmende Ergebnisse liefern. Bei Untersuchungsbefunden an anderen Korngrößen-Fractionen sind diese Aspekte zu berücksichtigen.

Die Extraktion der Staubprobe erfolgt mit n-Hexan, n-Hexan/Aceton oder Toluol. Bei Verwendung von reinem Aceton können sich Probleme mit der Matrix ergeben, da dieses polare Lösemittel eine Vielzahl sonstiger Staubinhaltsstoffe freisetzt. Die Aufarbeitung des organischen Extraktes kann über Festphasenextraktion (SPE), Gelpermeationschromatographie (GPC) oder Säulenchromatographie (SC) erfolgen.

Für die Bestimmung der Schwermetalle im Hausstaub wird die abgeseibte Staubfraktion mit Königswasser aufgeschlossen und extrahiert.

Für die analytische Bestimmung von Phenolen (unter anderem PCP) wird ein Derivatisierungsschritt für die Acetylierung vorgenommen, Fettsäuren werden mittels N,O-bis(Trimethylsilyl)acetamid silyliert.

Die Bestimmung der extrahierten Verbindungen erfolgt gaschromatographisch mit massenselektivem Detektor (GC/MS), Elektroneneinfang- und Flammenionisations-Detektor (GC/ECD-FID) oder Phosphor-Stickstoff-Detektor (GC/PND). Schwermetalle werden mittels Induktiv gekoppeltem Plasma (ICP) und Massenspektrometer (MS) beziehungsweise mittels Atomabsorptionsspektrometer (AAS) bestimmt.

3. Erläuterung der Werte

Die „AGÖF-Orientierungswerte“ basieren auf statistischer Ableitung und umfassen „Hintergrund-, Normal- und Auffälligkeitswerte“. Als Hintergrundwert wird dabei das 10-Perzentil der Messwerteverteilung verwendet, als Normalwert das 50-Perzentil und als Auffälligkeitswert das 90 Perzentil.

„Hintergrundwert“

Der „Hintergrundwert“ beschreibt einen Zustand, der durch die konsequente Vermeidung von Emissionsquellen erreichbar und deswegen grundsätzlich anzustreben ist. Diese Hintergrundwerte liegen vielfach kleiner gleich der Nachweisgrenze der angewandten Methoden.

„Normalwert“

Der „Normalwert“ stellt die durchschnittliche Belastungssituation des betrachteten Kollektivs vor, die im Allgemeinen auf Quellen im Innenraum zurückgeht. Bei diesen Werten können zwar Innenraumquellen angenommen werden, ein Handlungsbedarf läßt sich daraus üblicherweise jedoch nicht ableiten.

„Auffälligkeitswert“

Der „Auffälligkeitswert“ beschreibt eine Überschreitung von in Innenräumen üblichen Konzentrationen und legt das Vorhandensein einer Schadstoffquelle nahe. Je nach Konzentration und Eigenschaften der Substanz sind weitere Untersuchungen zur Identifizierung der Quelle angezeigt. Unter Umständen ist eine Sanierung zu empfehlen.

„Hinweise“

In der Spalte „Hinweise“ werden stoffbezogene Kenntnisse aus dem Erfahrungsbereich der AGÖF und der wissenschaftlichen Literatur angegeben. Da es sich, anders als beim Arbeitsschutz, hier um das gesamte Bevölkerungsklientel handelt, werden die Langzeitwirkungen, bevölkerungsgruppenspezifische Sensibilität, wie Allergenität, und Risikogruppen wie Kleinkinder, besonders gewertet und in dieser Rubrik vermerkt.

In Einzelfällen wurden **nicht** statistisch begründete „Auffälligkeitswerte“ festgesetzt. Diese Werte sind in der Tabelle mit einem **Stern *** gekennzeichnet. Bei diesen Substanzen liegen die 90-Perzentil-Werte bereits oberhalb bekannter Wirkungen, so dass hier ein niedrigerer Auffälligkeitswert angegeben wurde. Die Gründe für die Herabsetzung werden in der Rubrik „Hinweise“ genannt.

Für den VOC-Summenwert und für Formaldehyd werden von der statistischen Ableitung abweichend „Zielwerte“ und „Handlungswerte“ angegeben. Dabei beschreibt der „Zielwert“ eine Größe, die bei Verwendung von schadstoffarmen Materialien erreicht werden kann. Der „Handlungswert“ ist eine Größe, deren Überschreitung Maßnahmen zur Minimierung der Belastung erfordert.

4. Hinweise zur Anwendung

Die von der AGÖF herausgegebenen Richtwerte sind zunächst statistisch und nicht toxikologisch abgeleitet. Sie beschreiben eine Überschreitung von in Innenräumen üblichen Konzentrationen. Eine Überschreitung dieser Werte weist auf eine Auffälligkeit bzw. einen abnormen Zustand hin. Bei einigen Substanzen wurde unter Berücksichtigung bekannter Stoffeigenschaften eine gegenüber den statistisch begründeten Werten verringerte Konzentration angegeben.

Solange toxikologisch aufgrund mangelnder Datenbasis bei dieser Konzentration unter Berücksichtigung chronischer und synergistischer Wirkungen, sowie bei Wirkungen, die die Befindlichkeit betreffen, eine Wirkung nicht definitiv ausgeschlossen werden kann, ist von einer abstrakten gesundheitlichen Gefährdung auszugehen. Im Gegensatz dazu kann eine konkrete gesundheitliche Gefährdung nur über toxikologisch abgeleitete Richtwerte (z.B. über die Innenraumrichtwerte der Ad-Hoc-Kommission für die Raumluft oder die Risikoabschätzung für den Hausstaub im Bundesgesundheitsblatt 1-99, S. 88, Bekanntmachungen des WaBoLu des Umweltbundesamtes: „DDT in Housings“) beurteilt werden. Dieser Unterschied zwischen abstrakter und konkreter gesundheitlicher Gefährdung sollte bei der Anwendung von Richt- und Grenzwerten zur Begutachtung von Innenräumen bedacht und definiert werden.

Bei krebserregenden Substanzen, wie Benzol oder Benzo(a)pyren, gilt grundsätzlich das Minimierungsgebot. Hier kann auch bei Unterschreitung der Auffälligkeitswerte eine gesundheitliche Gefährdung durch ein zusätzliches Krebsrisiko nicht ausgeschlossen werden. Auch kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich durch synergistische Wirkungen Effekte unterhalb der Auffälligkeitswerte ergeben. Beispielsweise können beim Vorkommen mehrerer Substanzen mit niedrigen Geruchsschwellen auch unterhalb der Auffälligkeitswerte störende Geruchsbelästigungen auftreten.

Toxikologische und statistische Richtwerte sind im Laufe der Zeit Veränderungen unterworfen. Während toxikologische Richtwerte durch neue Erkenntnisse angepasst werden (die Erfahrung zeigt, dass sie meistens mit zunehmender Erkenntnis nach unten korrigiert werden), ändern sich statistisch gewonnene Werte aufgrund des technischen Wandels. So sind die Referenzkonzentrationen aromatischer Lösemittel in den letzten Jahren stetig gesunken, weil sie aus arbeitsschutztechnischen Gründen durch entaromatisierte Lösemittelgemische oder lösemittelfreie Systeme ersetzt wurden. Demgegenüber stiegen die Referenzkonzentrationen für die in wasserbasierten Systeme eingesetzten Glykolverbindung bislang an. Zukünftig ist durch die Entwicklung lösemittelfreier Klebstoff- oder Farbsysteme wieder mit einem Absinken zu rechnen. Methodenbedingt hinken also die statistischen Orientierungswerte der technischen Entwicklung hinterher, was bei Anwendung der Werte berücksichtigt werden sollte.

Die von der AGÖF herausgegebenen Referenzwerte gründen auf den in der täglichen Arbeit ermittelten Untersuchungsergebnissen der beteiligten Mitgliedsinstitute. Zum überwiegenden Anteil handelt es sich dabei um Auftragsanalytik in Verdachtsfällen, weshalb damit zu rechnen ist, dass die festgestellten Hintergrundkonzentrationen oberhalb der Konzentrationen liegen, die bei einem statistisch ausgewählten Kollektiv festgestellt worden wären. Dieser Effekt tritt jedoch in den Hintergrund, da nur Ergebnisse von Multiparameteranalysen in der Auswertung berücksichtigt werden. Dies bedeutet, dass bei jeder Analyse nur für einen geringen Teil der untersuchten Substanzen Verdachtsmomente bestanden, so dass die Verteilung der übrigen Verbindungen einem zufällig ausgewählten Kollektiv entsprechen. Dennoch ist damit zu rechnen, dass insbesondere die Auffälligkeitswerte gegenüber einem unbelasteten Kollektiv eher zu

hoch liegen. Zu beobachten war beispielsweise an Ansteigen der „Hintergrundkonzentrationen“ von Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) im Hausstaub nach bekannt werden der Teerkleberproblematik in US-Housing-Areas. Solange für die allermeisten Substanzen keine Daten aus unbelasteten Kollektiven vorliegen, muss oben genannter Effekt in Kauf genommen und gegebenenfalls bei der Anwendung der Werte im Einzelfall berücksichtigt werden.

Die AGÖF-Richtwerte sollen Sachverständigen ein Werkzeug in die Hand geben, die Relevanz von Innenraumschadstoffen beurteilen zu können. Letztendlich liegt es in der Verantwortung der Sachverständigen im Einzelfall unter Berücksichtigung der Umstände vor Ort (Art der Probenahme, Nutzung der Räumlichkeiten, Charakteristik der Quellen) die Anwendbarkeit der Richtwerte zu prüfen und Maßnahmen bei Überschreiten von Auffälligkeits- oder Handlungswerten festzulegen.

Die Liste der „AGÖF-Orientierungswerte“ ist offen für weitere Erkenntnisse. Sie wird fortlaufend überarbeitet. Gültig ist daher jeweils immer nur die auf der Internetseite der AGÖF abrufbare neuste Version.

5. Orientierungswerte für flüchtige Luftinhaltsstoffe ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	Hintergrundwert	Normalwert	Auffälligkeitswert	Hinweise
Alkane				
n-Hexan	< 1	< 2	5	
n-Heptan	< 1	3	15	
n-Oktan	< 1	1	10	
n-Nonan	< 1	1	20	
n-Decan	< 1	3	30	
n-Undecan	< 1	4	30	
n-Dodecan	< 1	3	20	
n-Tridecan	< 1	2	10	
n-Tetradecan	< 1	2	5	
n-Pentadecan	< 1	< 1	4	
n-Hexadecan	< 1	< 1	3	
2-Methylpentan	< 1	5	20	
3-Methylpentan	< 1	2	20	
2,3-Dimethylpentan	< 1	1	5	
2,2,4-Trimethylpentan	< 1	< 1	1	
2,2,4,4,6-Pentamethylheptan	< 1	< 1	15	
2,2,4,4,6,8,8-Heptamethylnonan	< 1	< 1	10	
Cyclohexan	< 1	2	15	
Methylcyclopentan	< 1	< 1	10	
Methylcyclohexan	< 1	1	10	
2-Methylhexan	< 1	2	20	
3-Methylhexan	< 1	4	50	
2-Methylheptan	< 1	< 1	10	

	Hintergrundwert	Normalwert	Auffälligkeitswert	Hinweise
3-Methylheptan	< 1	< 1	10	
4-Methylheptan	< 1	< 1	5	
1,2,5-Trimethylhexan	1	1	2	
4-Vinylcyclohexen	< 1	< 1	1	Riechstoff
4-Phenylcyclohexen	< 1	< 1	1	Riechstoff
trimeres Isobuten	< 1	< 1	5	Riechstoff
1-Octen	< 1	< 1	1	
1-Nonen	< 1	< 1	1	
1-Decen	< 1	< 1	1	
1-Undecen	< 1	< 1	1	
1-Dodecen	< 1	< 1	1	
Acrolein **				

Aromaten				
Benzol	1	3	6	Kanzerogen
Toluol	5	20	100	
Ethylbenzol	1	3	15	
m,p-Xylol	3	10	30	
o-Xylol	1	3	15	
n-Propylbenzol	< 1	< 1	10	
i-Propylbenzol	< 1	< 1	5	
2-Ethyltoluol	< 1	1	10	
3-Ethyltoluol	< 1	2	15	
4-Ethyltoluol	< 1	1	10	
1,2,3-Trimethylbenzol	< 1	1	10	
1,2,4-Trimethylbenzol	< 1	5	20	
1,3,5-Trimethylbenzol	< 1	1	10	
1,2,4,5-Tetramethylbenzol	< 1	< 1	2	
1,3-Diisopropylbenzol	< 1	< 1	1	
1,4-Diisopropylbenzol	< 1	< 1	1	
Indan	< 1	< 1	3	Riechstoff
Naphthalin	< 2	< 2	2	Riechstoff
1,2,3,4-Tetrahydronaphthalin	< 1	< 1	1	
p-Cymol	< 1	< 1	5	
Styrol	< 1	2	10	Riechstoff
Phenol	< 1	< 1	3	Riechstoff

HKW				
1,1,1-Trichlorethan	< 1	< 1	5	
Trichlorethen (Tri)	< 1	< 1	3	Kanzerogen
Tetrachlorethen (Per)	< 1	< 1	5	Kanzerogen
1,4-Dichlorbenzol	< 1	< 1	1	Riechstoff
Trichlormethan (Chloroform)	< 1	< 1	1	Kanzerogen
Tetrachlormethan	< 1	< 1	1	Kanzerogen
Bromdichlormethan	< 1	< 1	1	
1,1,2-Trichlorethan	< 1	< 1	1	

	Hintergrundwert	Normalwert	Auffälligkeitswert	Hinweise
Chlordibrommethan	< 1	< 1	1	
Tribrommethan	< 1	< 1	1	Kanzerogen

Alkohole				
1-Propanol	10	50	300	
2-Propanol	10	50	500	
n-Butanol	3	10	25	
Isobutanol	< 3	5	10	
Isoamylalkohol	< 3	< 3	3	Riechstoff
2-Ethyl-1-Hexanol	< 2	3	10	Riechstoff
1-Octen-3-ol	< 0,1	< 0,1	0,1*	* MVOC

Terpenoide Verbindungen				
α -Pinen	< 1	10	50	Allergen
β -Pinen	< 1	5	20	Allergen
Δ^3 -Caren	< 1	5	20	Allergen
Limonen	1	10	50	Allergen
Campher	< 2	< 2	2	Allergen
Camphen	< 2	< 2	3	
Eucalyptol	< 1	< 1	5	
Menthol	< 2	< 2	2	
α -Terpinen	< 1	< 1	1	Allergen
γ -Terpinen	< 1	< 1	1	
Borneol	< 1	< 1	1	
Verbenon	< 1	< 1	2	
Isolongifolen/Isolongicyclen	< 1	< 1	1	
Longifolen	< 1	< 1	5	
β -Caryophyllen	< 1	< 1	1	
Citronellol	< 1	< 1	5	Allergen
Eugenol/Iso-Eugenol	< 1	< 1	5	Allergen
Vanillin	< 1	< 1	5	Allergen
Geraniol	< 1	< 1	5	
α -Ionon	1	1	5	Allergen

Aldehyde				
Formaldehyd (siehe Teil 4)				reaktives Kontaktallergen, Reizstoff
Acetaldehyd	10	20	60	
Propanal	< 3	5	10	
n-Butanal	< 3	5	10	Riechstoff
2-Methyl-1-Propanal	< 3	5	10	Riechstoff
n-Pentanal	< 2	6	10	Riechstoff
2-Methyl-1-Butanal	< 3	5	10	Riechstoff
3-Methyl-1-Butanal	< 3	5	10	Riechstoff

	Hintergrundwert	Normalwert	Auffälligkeitswert	Hinweise
n-Hexanal	3	15	25*	Riechstoff, *Niedrige Geruchsschwelle
n-Heptanal	< 2	< 2	10	Riechstoff
n-Octanal	< 2	2	5*	Riechstoff *Niedrige Geruchsschwelle
n-Nonanal	< 3	6	10*	Riechstoff *Niedrige Geruchsschwelle
n-Decanal	< 2	< 2	5*	Riechstoff *Niedrige Geruchsschwelle
Benzaldehyd	< 2	< 2	5	Riechstoff
Furfural **				Riechstoff

Ketone				
Cyclohexanon	< 2	< 2	10	
2-Butanon (MEK)	< 2	3	20	
4-Methyl-2-pentanon (MIBK)	< 1	< 1	5	
2-Hexanon (MBK)	< 1	< 1	1	Riechstoff
2-Heptanon	< 1	< 1	1	Riechstoff
3-Heptanon	< 1	< 1	3	Riechstoff
3-Octanon	< 1	< 1	1	Riechstoff
Acetophenon	< 1	< 1	2	Riechstoff
N-Methyl-Pyrrolidon	< 2	< 2	10	Reizstoff
Propanon (Aceton)	10	60	150	
3,3,5-Trimethyl-2-cyclohexen-1-on (Isophoron)	2	4	10	

Ester				
Ethylacetat	< 1	5	25	Riechstoff
n-Propylacetat	< 1	< 1	1	
Isopropylacetat	< 1	< 1	1	
n-Butylacetat	< 1	5	25	Riechstoff
Isobutylacetat	< 1	< 1	10	Riechstoff
Methylbenzoat	< 1	< 1	2	Riechstoff
Methacrylsäuremethylester	< 1	< 1	1	Riechstoff, Allergen
2-Methoxyethylacetat (2-MEA)	< 2	< 2	2	
2-Ethoxyethylacetat (2-EEA)	< 2	< 2	2	
2-Butoxyethylacetat (2-BEA)	< 2	< 2	2	
1-Methoxy-2-propylacetat (PGMMA)	< 2	< 2	10	
1-Butanol-3-methoxyacetat	< 1	< 1	1	

	Hintergrundwert	Normalwert	Auffälligkeitswert	Hinweise
Diethylenglykolmonobutyletheracetat (DEGMBA)	< 3	< 3	3	
2,2,4-Trimethyl-1,3-pentandioldiisobutyrat (TXIB)	< 1	< 1	3	
Texanol-1	< 1	< 1	2	
Texanol-3	< 1	< 1	4	
Dibutylmaleinat	< 1	< 1	3	
Dimethylphthalat	< 1	< 1	10	
Diethylphthalat	< 1	< 1	3	
Diisobutylphthalat	< 1	< 1	3	
Di(n-butyl)phthalat	< 1	< 1	5	
Mehrwertige Alkohole / Ether				
Methyl-tert.-butylether (MTBE)	< 1	< 1	5	
Ethylenglykol (EG)	< 20	< 20	20	
1,2-Propylenglykol (1,2-PG)	< 10	10	25	
Diethylenglykol (DEG)	< 20	< 20	20	
Dipropylenglykol (DPG)	< 15	< 15	15	
Tripropylenglykol (TPG)	< 6	< 6	6	
Ethylenglykolmonomethylether (EGMM)	<10	10	25	
Ethylenglykolmonoethylether (EGME)	<10	10	25	
Ethylenglykolmonobutylether (EGMB)	<10	10	25	
Ethylenglykolmonophenylether (EGMP)	<5	5	10	
Ethylenglykolmonomethyletheracetat (EGMMA)	<5	5	10	
Propylenglykolmonomethyletheracetat (PGMMA)	<5	5	10	
Ethylenglykolmonoethyletheracetat (EGMEA)	<5	5	10	
Ethylenglykolmonobutyletheracetat (EGMBA)	<5	5	10	
Diethylenglykolmonomethylether (DEGMM)	< 5	< 5	5	
Diethylenglykolmonoethylether (DEGME)	< 10	< 10	10	
Diethylenglykolmonobutylether (DEGMB)	< 3	< 3	15	
Diethylenglykolmonobutyletheracetat (DEGMBA)	<5	5	10	
Propylenglykolmonomethylether (1,2-PGMM)	< 2	10	25	
Propylenglykolmonobutylether (PGMB)	< 2	10	25	
Propylenglykolmonophenylether (PGMP)	< 2	5	10	

	Hintergrundwert	Normalwert	Auffälligkeitswert	Hinweise
Dipropylenglykolmonomethylether (DPGMM)	< 3	5	10	
Dipropylenglykolmonobutylether (DPGMB)	< 3	5	10	
Tripropylenglykolmonobutylether (TPGMB)	< 3	< 3	10	

Siloxane				
D3	< 2	< 2	5	
D4	< 2	< 2	10	
D5	< 2	3	20	

** Befindet sich in der Diskussion, wird zu einem späteren Zeitpunkt festgelegt.

Orientierungswerte für mittel- und schwerflüchtige Stoffe im Hausstaub (mg/kg)

	Hintergrundwert	Normalwert	Auffälligkeitswert	Hinweise
Pestizide				
Aldrin	< 0,1	< 0,1	1	
Bromophos	< 0,1	< 0,1	0,1	
Chlordan	< 0,1	< 0,1	0,1	
Chlorpyrifos	< 0,1	0,1	1	
Chlorthalonil	< 0,1	< 0,1	1,5	
Summe DDT/DDD/DDE	< 0,1	< 0,1	3	Immun-suppressiv, endokrin
Dichlofluanid	< 0,1	0,1	0,2	
para-Dichlorbenzol	< 0,1	< 0,1	0,1	
Dichlorphos/Naled	< 0,1	< 0,1	0,5	
Dieldrin	< 0,1	< 0,1	0,1*	*Gefahrenwert für Kleinkinder
Summe Endosulfane	< 0,1	< 0,1	0,5	
Endrin	< 0,1	< 0,1	0,5	
Ethiofencarb	< 0,1	< 0,1	0,1	
Furmecyclo	< 0,1	< 0,1	0,5	
Heptachlor	< 0,1	0,1	0,5	
Hexachlorbenzol	< 0,1	< 0,1	0,1	
Hexachlorethan	< 0,1	< 0,1	0,1	
gamma-HCH (Lindan)	< 0,1	0,1	0,5	
Methoxychlor	< 0,1	0,1	5	
Nicotin	< 1	5	20	
Parathion	< 0,1	< 0,1	0,1	
PCP	< 0,1	0,3	1*	*Unbelastet nach PCP - Richtlinie

	Hintergrundwert	Normalwert	Auffälligkeitswert	Hinweise
PCSD/PCAD	< 0,1	< 0,1	10	
Propiconazol	< 0,1	< 0,1	0,1	
Propoxur	< 0,1	< 0,1	0,1	
Tebuconazol	< 0,1	< 0,1	0,1	
Tolyfluanid	< 0,1	0,1	0,2	
Pyrethroide				
Allethrin	< 0,5	< 0,5	1	Immunsuppressiv mit PBO
Cyfluthrin	< 0,5	< 0,5	1	Immunsuppressiv mit PBO
Cypermethrin	< 0,5	< 0,5	1	Immunsuppressiv mit PBO
Deltamethrin	< 0,5	< 0,5	1	Immunsuppressiv mit PBO
Fenvalerat	< 0,5	< 0,5	1	Immunsuppressiv mit PBO
Permethrin	< 0,5	< 0,5	5	Immunsuppressiv mit PBO
Phenothrin	< 0,5	< 0,5	1	Immunsuppressiv mit PBO
Pyrethrin	< 0,5	< 0,5	1	Immunsuppressiv mit PBO Allergen
Tetramethrin	< 0,5	< 0,5	1	Immunsuppressiv mit PBO
Piperonylbutoxid (PBO)	< 0,5	< 0,5	1	Synergist für Pyrethroide
Pyrethrum **				
PCB				
PCB # 28	< 0,02	< 0,02	0,02	
PCB # 52	< 0,02	< 0,02	0,02	
PCB # 101	< 0,01	0,02	0,2	
PCB # 138	< 0,01	0,05	0,4	
PCB # 153	< 0,01	0,05	0,4	
PCB # 180	< 0,01	0,03	0,3	
PCB Summe nach LAGA			5	
PAK				
Naphthalin	< 0,1	<0,2	0,2	
Acenaphthylen	< 0,1	<0,2	0,2	
Acenaphthen	< 0,1	<0,2	0,2	
Fluoren	< 0,1	<0,2	0,2	
Phenanthren	< 0,05	0,3	1	
Anthracen	< 0,05	<0,2	0,2	
Fluoranthren	< 0,05	<0,2	1	

	Hintergrundwert	Normalwert	Auffälligkeitswert	Hinweise
Pyren	< 0,05	<0,2	1	
Benz-(a)-anthracen	< 0,05	<0,2	0,5	
Chrysen	< 0,05	<0,2	0,5	
Benzo-(b)-fluoranthen	< 0,05	<0,2	0,2	
Benzo-(k)-fluoranthen	< 0,05	<0,2	0,2	
Benzo-(a)-pyren	< 0,05	<0,2	0,2	
Indeno-(1,2,3-cd)-pyren	< 0,05	<0,2	0,2	
Dibenz-(a,h)-anthracen	< 0,05	<0,2	0,2	
Benzo-(ghi)-perylen	< 0,05	<0,2	0,2	

Flammschutzmittel				
<i>Phosphorsäureester</i>				
Triphenylphosphat (TPP)	< 0,1	< 0,1	1	
Kresyl-Phenyl-Phosphate	< 0,1	< 0,1	1	
Tris-(butoxyethyl)-phosphat (TBEP)	< 0,1	0,5	50	
Tris-(n-butyl)-phosphat (TnBP)	< 0,1	0,5	50	
Tris-(2-chlorethyl)-phosphat (TCEP)	< 0,1	0,5	5*	* Karzinogen
Tris-(2-chlorisopropyl)-phosphat (TCPP)	< 0,1	1	5	
Tris-(1,2-dichlorisopropyl)-phosphat (TdCPP)	< 0,1	< 0,1	1	
Tris-(2-ethylhexyl)-phosphat (TEHP)	< 0,1	< 0,1	0,5	
<i>Bromierte Verbindungen</i>				
Tetrabrom-Bisphenol A	< 0,1	< 0,1	0,5	
polybromierte Biphenyle	< 0,1	< 0,1	0,5	
polybromierte Diphenylether	< 0,1	0,25	0,5	
Tribrom-phenylallylether	< 0,1	< 0,1	0,5	
Tribrom-Benzoesäureallylester	< 0,1	< 0,1	0,5	
Hexabrom-Benzol	< 0,1	< 0,1	0,5	
Hexabrom-Cyclododecan	< 0,1	< 0,1	0,5	
Pentabrommethylbenzol	< 0,1	< 0,1	0,5	
<i>Chlorparaffine</i>				
Chlorparaffine C10-13	< 2,5	< 2,5	50*	* Verbotener Stoff
Chlorparaffine C14-17	< 2,5	< 2,5	50	

Weichmacher				
Dimethylphthalat	<2	5	10	Reizstoff
Diethylphthalat	<2	5	10	
Benzylbutylphthalat	< 5	5	150	
Dibutylphthalat	< 10	30	200	
Diisobutylphthalat	20	50	200	
Di-(2-ethylhexyl)-phthalat (DEHP)	150	400	1000	hormonell wirksam, 100 mg/kg Richtwert für Kleinkinder
Di-n-octylphthalat	< 5	5	10	

	Hintergrundwert	Normalwert	Auffälligkeitswert	Hinweise
--	-----------------	------------	--------------------	----------

Moschus-Verbindungen				
-----------------------------	--	--	--	--

Nitro-Moschus-Ambrette	< 0,1	<0,1	0,1	Allergen
Nitro-Moschus-Xylol	< 0,1	<0,1	0,1	
Nitro-Moschus-Keton	< 0,1	<0,1	0,5	hormonell wirksam

Schwermetalle				
----------------------	--	--	--	--

Arsen	0,5	1	3	
Blei	5	20	150	
Cadmium	0,5	1,5	5	
Chrom	20	75	200	Chrom VI Kancerogen Allergen
Kupfer	40	80	500	
Nickel	5	20	30*	*Kontaktallergen
Quecksilber	0,15	0,5	1	
Zink	100	500	1500	
Zinn	5	15	50	
Kobalt	1	2	5	
Antimon	1	1	3	

Fettsäuren	P 10***	P 50***	P 90***	Hinweise
-------------------	---------	---------	---------	----------

Hexansäure	< 2	8	15	Riechstoff
Heptansäure	< 2	5	15	Riechstoff
Octansäure	< 2	10	30	Riechstoff
Nonansäure	< 5	25	60	Riechstoff
Decansäure	< 5	20	40	Riechstoff Reizstoff
Undecansäure	< 2	3	5	Riechstoff Reizstoff
Dodecansäure	< 20	60	220	Riechstoff Reizstoff
Tridecansäure	< 2	5	10	Reizstoff
Tetradecansäure	< 20	80	230	Reizstoff
Pentadecansäure	< 10	40	200	
Hexadecansäure	< 10	650	1500	Reizstoff
Heptadecansäure	< 2	20	90	Reizstoff
Octadecansäure	< 50	180	460	Reizstoff
Ölsäure	< 5	230	850	Reizstoff Aldehyd- Bildner
Linol/Linolensäure	< 10	120	340	Aldehyd- Bildner

** Befindet sich in der Diskussion, wird zu einem späteren Zeitpunkt festgelegt.

*** Die Perzentilwerte für die Fettsäuren bilden sich aus einer geringen Fallzahl (100). Aus diesem Grund ist eine sichere statistische Benennung von Hintergrund-, Normal- und Auffälligkeitswerte im Moment nicht abschließend möglich.

Summenwert für flüchtige Luftinhaltsstoffe ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	Zielwert	Normalwert	Handlungswert
Summe VOC	100	300	1000

Die Summe der VOC wird auf der Basis der in der VDI 4300 Bl. 6 gegebenen Einzelstoffe erstellt.

Formaldehyd ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	Zielwert	Normalwert	Handlungswert
Formaldehyd	10	40	60

Literatur

AgBB: Vorgehensweise bei der gesundheitlichen Bewertung der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC und SVOC) aus Bauprodukten. Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten - AgBB, www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/voc.htm (2002) 1-17.

Diel F, Schubert H, Fischer M, Schuetz T, Weber KM, Gagelmann M, Boonen H, Steneberg A, Axt-Gadermann M, Khanferyan R, Diel E: „Criteria for allergenic building materials“; in: *Med Immunol* 3 4 (2002) 407-16.

Hott U, Schleibinger H, Marchl, Braun P, Plieninger P: „Konzentrationen flüchtiger organischer Verbindungen (VOC) in der Innenraumluft im Zeitraum von 1988 bis 1999“, in: Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute – AGÖF (Hrsg.): *Umwelt, Gebäude & Gesundheit*. (Springe-Eldagsen 2001) 204-15.

HVGB: BIA-Report - Grenzwerteliste 7/1999. Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften - HVBG (Hrsg.) (Sankt Augustin 1999) 161-74.

Kersten W, Reich T: „Schwer flüchtige organische Umweltchemikalien in Hamburger Hausstäuben“, in: *Gefahrstoffe - Reinhalt. Luft* 63 (2002) 85-91.

Plieninger P, Marchl D: “Occurance of ester and ether derivatives of polyvalent alcohols in indoor air or 200 Berlin households”, in: *Proceedings of the 8th international conference on indoor air and climate, Indoor Air 99 4* (Edinburgh 1999) 171-6.

Pöhner A, Simrock S, Thumulla J, Weber S, Wirkner T: Hintergrundbelastung des Hausstaubes von Privathaushalten mit mittel- und schwerflüchtigen organischen Schadstoffen. AnBUS e.V. 1997, Zusammenfassungen in *Zeitschrift für Umweltmedizin* 6 (1998) 337-45 und in *Diel F; Feist W; Krieg HU, Linden, W* (Hrsg.): *Ökologisches Bauen und Sanieren*. C.F. Müller (Heidelberg 1998) 122-7.

Reiner M, Santl H: “Adsorption and desorption rates of selected volatile organic compounds (VOC) from different sorbents at low concentration ranges”, in: *Indoor Air* 99 1 (1999) 487-92.

Schleibinger H, Hott U, Marchl D, Plieninger P, Braun P, Rüden H: „Ziel- und Richtwerte zur Bewertung der VOC-Konzentrationen in der Innenraumluft – ein Diskussionsbeitrag“, in: *Umweltmed Forsch Prax* 3 7 (2002) 139-47

Scholz H: „Vorkommen ausgewählter VOC in Innenräumen und deren Bewertung“, in: AGÖF (Hrsg.): *Gebäudestandard 2000: Energie & Raumluftqualität* (Springe-Eldagsen 1998) 205-15.