



UmweltWissen

Organische Luftschadstoffe in Innenräumen – Probenahme, Messung und Bewertung

Dieser knappe Leitfaden soll Ihnen konkrete Hilfestellungen für Schadstoffuntersuchungen in Innenräumen geben. Aufgrund ihrer besonderen Bedeutung in Innenräumen beschränken wir uns dabei auf organische Verbindungen. Sie finden hier Hinweise für die Planung der Untersuchungen, zur Beurteilung der Probenahme- und Messstrategie Ihres Labors und zur Bewertung der Analysenergebnisse.

Ergänzend empfehlen wir Ihnen unsere Publikation ► [Organische Luftschadstoffe in Innenräumen – ein Überblick](#). Dort finden Sie eine Beschreibung häufiger Schadstoffe, möglicher Quellen sowie einfacher Maßnahmen zur Verringerung von Innenraumbelastungen. Labore finden Sie in unserer Publikation ► [Labore und Sachverständige für Schadstoffuntersuchungen in Innenräumen](#).

1 Probenahme und Analytik

Um bei Analysen im Innenraumbereich aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, sind mehrere Voraussetzungen nötig: Zunächst muss der Anlass und damit auch das Ziel der Untersuchung klar definiert werden (s. Abschnitt 1.1). Daran wird dann die Probenahmestrategie ausgerichtet (s. Abschnitt 1.2). Anschließend werden die Proben im Labor aufbereitet und analysiert. Dabei unterscheidet sich die Messstrategie für leichtflüchtige (s. Abschnitt 1.3) erheblich von der für schwerflüchtige Substanzen (s. Abschnitt 1.4).

1.1 Fragestellung

Vor Beginn der Messungen muss das Ziel der Untersuchungen klar definiert sein. Folgende Fragestellungen sind denkbar:

- **Abklärung der Ursache von gesundheitlichen Beschwerden:** Die Raumnutzer stellen Belästigungen (z.B. Gerüche) oder gesundheitliche Beeinträchtigungen fest, die in einem zeitlichen Zusammenhang mit dem Aufenthalt in bestimmten Räumen bzw. Gebäuden stehen. Ziel der Untersuchung ist es, einen Überblick über mögliche Belastungen zu bekommen. Dazu werden die Raumluft und/oder der Hausstaub untersucht.
- **Quellensuche:** Aufgrund von Vorinformationen (z.B. orientierende Untersuchung, Baualter, Renovierungen) besteht der Verdacht, dass eine Schadstoffbelastung vorliegt. Je nach den Vorinformationen ist eine gezielte Entnahme von Materialproben sinnvoll.
- **Überprüfung:** Die Einhaltung eines Grenz- oder Richtwertes für einen bestimmten Schadstoff oder der Erfolg einer Sanierungsmaßnahme soll überprüft werden. Hierzu werden Raumluftmessungen durchgeführt.

Je nach Fragestellung können Materialproben, Staubproben und die Raumluft untersucht werden. Aus diesen Untersuchungen können verschiedene Aussagen abgeleitet werden (s. Tabelle 1).

Tabelle 1: Aussage von Schadstoffuntersuchungen von Materialproben, Hausstaub und Raumluft

Untersuchung von	Aussage
Materialproben	<ul style="list-style-type: none"> • Schadstoffnachweis • Identifizierung der Schadstoffquellen • Vorhandene Schadstoffmenge • Keine Aussage zum Gesundheitsrisiko!
Hausstaub (schwerflüchtige Verbindungen)	<ul style="list-style-type: none"> • Schadstoffnachweis • Abschätzung der Ausgasung aus Material • Abschätzung der oralen Schadstoffaufnahme bei Kleinkindern
Raumluft	<ul style="list-style-type: none"> • Einhaltung/Überschreitung von Richtwerten • Abschätzung der inhalativen Schadstoffaufnahme • Rückschluss auf Gesundheitsrisiko

1.2 Vorgehensweise bei der Probenahme für Raumluftuntersuchungen

Im Gegensatz zur Außenluft kann die Qualität der Innenraumluft wegen der Vielzahl der Quellen und Stoffe und der z. T. starken Geräuschkentwicklung der Messgeräte im allgemeinen nicht kontinuierlich überwacht werden. Deshalb kann nur in Ausnahmefällen eine größere Zahl von Raumluftproben genommen werden. Da aber andererseits die Analysenergebnisse oft weitreichende Konsequenzen wie die Sanierung oder gar Schließung von Gebäuden haben, kommt der Probenahmestrategie eine entscheidende Bedeutung zu.

Die Vorgehensweise bei der Probenahme ist ausführlich in der **Richtlinienreihe VDI 4300** beschrieben (s. Kasten 1). Dort werden allgemeine Aspekte für die Messung von Innenraumluftverunreinigungen genannt. Daneben werden auch die für einzelne Stoffe bzw. Stoffgruppen wichtigen Randbedingungen aufgeführt, die vor oder während der Messung zu beachten sind. Z.B. können der Zeitpunkt, die Raumtemperatur, die Luftfeuchte und die Luftwechselrate während der Probenahme das Messergebnis entscheidend beeinflussen.

Bei der Probenahme sollten klar definierte Umgebungsbedingungen eingehalten werden. So sind die Messergebnisse leichter mit anderen Untersuchungen zu vergleichen. Auch beziehen sich die Beurteilungswerte (s. Abschnitt 2) i.d.R. auf definierte Bedingungen. Meist misst man unter sehr ungünstigen Bedingungen (sog. „worst case-Bedingungen“) – die bei normaler Nutzung eigentlich nicht auftreten sollten. Dabei sind eher höhere Konzentrationen in der Raumluft als unter normalen Nutzungsbedingungen zu erwarten. Diese höheren Konzentrationen sind leichter messbar. Um allerdings auf die aktuelle Belastung der Raumnutzer rückschließen zu können, sollten die Messbedingungen nicht zu weit von den normalen Nutzungsbedingungen abweichen: Z.B. sollte nicht im Hochsommer bei 25 °C in einem eine Woche geschlossenen Raum gemessen werden, wenn zur Nutzung aber eine regelmäßige Lüftung gehört, wie in Schulen.

Kasten 1: Richtlinie VDI 4300

- **Blatt 1:** prinzipielle Aspekte einer Probenahmestrategie für die Untersuchung von Innenraumluft,
- **Blatt 2:** Messstrategie für polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), polychlorierte Dibenzo-p-dioxine und polychlorierte Dibenzofurane (PCDD/PCDF) sowie polychlorierte Biphenyle (PCB),
- **Blatt 3:** Formaldehyd aus kontinuierlich emittierenden Quellen,
- **Blatt 4:** Pentachlorphenol (PCP) und Gamma(γ)-Hexachlorcyclohexan (HCH) (Lindan),
- **Blatt 5:** Stickstoffdioxid (NO₂),
- **Blatt 6:** leicht flüchtige organische Substanzen (VOC),
- **Blatt 7:** Bestimmung der Luftwechselzahl,
- **Blatt 7:** Probenahme von Hausstaub.

Jedes Messinstitut, das Messungen von Schadstoffen in Innenraumluft durchführt, sollte die Probenahmen nach der Richtlinie VDI 4300 durchführen und auch in Angeboten und Messberichten darauf verweisen. Für die nachfolgende Interpretation und gesundheitliche Bewertung der Messergebnisse müssen unbedingt die Bedingungen während der Probenahme (z.B. Raumtemperatur, Luftfeuchte, Lüftung und Raumnutzung) im Messbericht angegeben werden. Die rein messtechnischen Aspekte für die Analytik im Labor sind in anderen VDI-Richtlinien behandelt, die ebenfalls in den Messberichten anzugeben sind.

1.3 Messung leichtflüchtiger organischer Verbindungen (VOC)

Auf leichtflüchtige organische Verbindungen (VOC = *volatile organic compounds*) wird i.d.R. dann untersucht, wenn sich Raumnutzer über unangenehme Gerüche, Kopfschmerzen, Konzentrationsstörungen, Reizungen der Augen und Schleimhäute und ähnliches beschweren. Dann werden in einem ersten Schritt Raumluftuntersuchungen durchgeführt. Erst wenn erhöhte VOC-Konzentrationen nachgewiesen wurden, sind Materialuntersuchungen zur Identifizierung der Quelle(n) sinnvoll.

Zur **Identifizierung der Substanzen** und zur **Abschätzung von Belastungen** werden i.d.R. Kurzzeitmessungen (aktive Probenahme) der Raumluft durchgeführt (s. Kasten 2). Dabei sind folgende Punkte zu beachten:

- Für Einzelverbindungen soll eine Nachweisgrenze von etwa 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ erreicht werden.
- Wenn vorab nichts anderes vereinbart wurde, müssen insgesamt 64 Einzelsubstanzen quantifiziert werden¹.
- Im Messbericht werden die Substanzen mit den 10 höchsten Konzentrationen und die Summe der VOC-Einzelkonzentrationen (TVOC = *total volatile organic compounds*) angegeben.

¹ VDI-Richtlinie 4300 Blatt 6

Kasten 2: Probenahme für eine Untersuchung von VOC in der Raumluft (Kurzzeitmessungen mit aktiver Probenahme)

- Stoßweise emittierende VOC-Quellen, wie z.B. einen Gasherd, ausschalten.
- Bei natürlich belüfteten Räumen werden nach 15minütiger intensiver Lüftung Fenster und Türen mindestens 8 Stunden vor der Probenahme, am besten über Nacht geschlossen. Ein längeres Schließen der Fenster ist nicht erforderlich, da sich die Bedingungen der Probenahme i.d.R. an den Nutzungsbedingungen orientieren sollen. Anschließend wird die Raumluftprobe bei weiterhin geschlossenem Raum mit einer Pumpe und einem Adsorberröhrchen über maximal 60 Minuten genommen.
- Raumtemperaturen sollen in etwa den normalen Nutzungsbedingungen entsprechen.
- Die Probenahme erfolgt aktiv in einer Höhe von 1,5 bis 2 m.

Bei Langzeitmessungen (mehrere Tage bis Wochen) ist die Probenahme mit Passivsammlern besser geeignet als eine aktive Probenahme. Passivsammler arbeiten überwiegend nach dem Diffusionsprinzip. Sie liefern eine mittlere Konzentration über den gewählten Zeitraum; Konzentrations-spitzen gehen dabei in den Mittelwert ein. Für die Anwendung von Passivsammlern zur Bestimmung von VOC-Konzentrationen liegen bislang keine Richtlinien oder Normen vor. Deshalb ist beim Einsatz von Passivsammlern das verwendete Verfahren einschließlich der ermittelten Verfahrenskenngrößen und Messunsicherheiten vollständig zu dokumentieren. I.d.R. sind Passivsammler frei im Raum aufzuhängen.

Das sogenannte „**personal air sampling**“ stellt eine weitere Möglichkeit dar, die Belastung durch flüchtige organische Substanzen in Innenräumen abzuschätzen. Dabei wird die Luft in der unmittelbaren Umgebung einer Person mit Hilfe eines am Körper getragenen Passivsammlers über einen Zeitraum von z.B. einer Woche gesammelt (Hoffmann et al. 1996). Hiermit ist eine sehr individuelle Abschätzung der Belastung möglich, wobei die ermittelten Gehalte sehr stark von den Aktivitätsmustern der Person und den individuellen Belastungsbedingungen abhängig sind. Ein unmittelbarer Vergleich mit den üblicherweise in Innenräumen gemessenen Werten ist jedoch nicht möglich.

Eine **Quellensuche** wird notwendig, wenn erhöhte VOC-Gehalte in der Raumluft gemessen wurden. Bei einem konkreten Verdacht wird eine Materialprobe entnommen und die VOC-Emissionen in einer kleinen Prüfkammer untersucht.

Zu beachten ist auch, dass **Schadstoffe aus der Außenluft** in den Innenraum eingetragen werden können – v.a. Benzol. Dann muss parallel eine Außenluftuntersuchung durchgeführt werden.

1.4 Messung schwerflüchtiger organischer Stoffe

Schwerflüchtige organische Verbindungen sind in der Raumluft nur mit großem Aufwand nachzuweisen. Daher stehen i.d.R. Material- oder Staubuntersuchungen an erster Stelle. Erst im zweiten Schritt wird die Belastung der Raumnutzer durch Raumluftmessungen untersucht. Im Gegensatz zu den VOC gibt es für schwerflüchtige organische Stoffe in Innenräumen bisher keine Messstrategie, die eine größere Zahl von Einzelsubstanzen oder Stoffgruppen erfasst.

Der **Nachweis von Quellen** steht bei der Analytik schwerflüchtiger organischer Stoffe meist an erster Stelle, da in der Regel bereits ein bestimmter Verdacht besteht. Der Nachweis wird mit Proben von Materialien oder Hausstaub geführt:

- **Materialproben:** Z.B. muss bei Verdacht auf Verwendung von Holzschutzmitteln eine Holzprobe von der obersten Schicht genommen werden (ca. 1 – 2 mm).
- **Hausstaub:** Schwerflüchtige organische Stoffe adsorbieren leicht an der Oberfläche von Staubpartikeln und können dort lange gebunden werden. Der Staub kann wie ein „Gedächtnis“ auf eine

frühere, aber auch auf eine aktuelle Belastung hinweisen. Er ermöglicht jedoch keine Aussage über die Quelle der Belastung.

Für eine genaue Untersuchung ist ein exaktes Vorgehen bei der Probenahme notwendig: Dazu nimmt ein Messinstitut eine Staubprobe mit definiertem Alter (7 Tage) von einer abgemessenen Fläche. Beispiel hierfür ist die Abschätzung einer Gefährdung durch Benzo[a]pyren bzw. PAK. Für eine erste orientierende Untersuchung, um sich einen Überblick über mögliche Belastungen zu verschaffen, kann man weniger exakt vorgehen (s. Kasten 3).

Kasten 3: Probenahme für eine erste, orientierende Hausstaubanalyse:

- mit neuem Beutel staubsaugen (v. a. an Orten mit starker Staubentwicklung, z.B. unter dem Bett, auf Regal- und Schrankflächen),
- der Staub sollte keine langen Fasern, Haare oder Sand enthalten,
- Probenmenge: 1-2 Esslöffel,
- luftdicht verpacken (Alufolie oder Gefrierbeutel),
- beschriften (Name, Datum, Adresse).

Zur **Abschätzung einer Belastung** werden Raumluftuntersuchungen durchgeführt (s. Kasten 4), nachdem die Existenz von Schadstoffquellen nachgewiesen wurde. Nur so kann ermittelt werden, wie stark die Schadstoffe in die Raumluft übertreten und wie stark daher die Raumnutzer über die Atemluft belastet werden. Allerdings ist dies bei sehr schwer flüchtigen Stoffen (z. B. Permethrin) nicht möglich, da die Konzentrationen in der Raumluft sehr gering sind.

Kasten 4: Probenahme für eine Untersuchung auf schwerflüchtige organische Verbindungen in der Raumluft:

- aktive Probenahme mit einem Kleinfiltergerät (2 – 5 Stunden, 0,5 – 5 m³),
- Probenahme bei klar definierten Bedingungen: geschlossener Raum, ohne Lüftung 12 Stunden vor und während der Probenahme.

Ein **Vergleich mit der Außenluft** ist erforderlich, wenn Schadstoffe aus der Außenluft stammen können. Dies ist v.a. bei PAK der Fall. Dann muss parallel eine Außenluftuntersuchung durchgeführt werden.

2 Bewertung von Einzelsubstanzen in der Raumluft

Für Innenraumluft gibt es bislang nur wenig Werte, die für eine Beurteilung herangezogen werden können. Im Folgenden geben wir eine Übersicht über die bisher vorhandenen Werte. Weitere Werte sind in der wissenschaftlichen Diskussion.

2.1 Rechtlich verbindliche Grenzwerte

Einen rechtlich verbindlichen Grenzwert gibt es derzeit nur für Tetrachlorethen (s. Tabelle 2). Dieser Grenzwert ist in der 2. Verordnung nach dem Bundes-Immissionsschutz-Gesetz (BImSchG) festgelegt. Zusätzlich gibt es Richtlinien für die Bewertung von PCP und PCB, die in einigen Bundesländern in das Baurecht eingeführt wurden. Das Baurecht bietet bei bestehenden Gebäuden bei Vorliegen einer akuten Gesundheitsgefahr eine behördliche Eingriffsmöglichkeit.

Tabelle 2: Grenzwerte für Innenraumluft

Stoff	Grenzwert [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Anmerkungen
Tetrachlorethen (Per)	100	Mittelwert über 7 Tage
Pentachlorphenol (PCP)	1	Eingreifwert
Polychlorierte Biphenyle (PCB)²	3,0	Eingreifwert
	0,3	Zielwert

2.2 Toxikologisch abgeleitete Richtwerte

Richtwerte haben keinen rechtsverbindlichen Charakter, sind aber als Entscheidungsgrundlage z.B. für Sanierungen allgemein anerkannt. Sie sind toxikologisch abgeleitet und wurden in einem länderübergreifenden Gremium erarbeitet. Bislang wurden erst für einige Substanzen Richtwerte festgelegt (s. Tabelle 3).

Die Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes definiert zwei Arten von Richtwerten (Ad-hoc-Arbeitsgruppe 1996):

- „Der **Richtwert I** ist die Konzentration eines Stoffes in der Innenraumluft, bei der (...) auch bei lebenslanger Exposition keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen zu erwarten sind. (...) Aus Vorsorgegründen besteht auch im Konzentrationsbereich zwischen Richtwert I und Richtwert II Handlungsbedarf. (...) Der Richtwert I kann als Sanierungszielwert dienen. Er soll nicht ‚ausgeschöpft‘, sondern nach Möglichkeit unterschritten werden.“
- „Der **Richtwert II** (...) stellt die Konzentration dar, bei deren Erreichen bzw. Überschreiten unverzüglich Handlungsbedarf besteht, da diese Konzentration geeignet ist, insbesondere für empfindliche Personen bei Daueraufenthalt in den Räumen eine gesundheitliche Gefährdung darzustellen.“

Tabelle 3: Richtwerte der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes
Quelle: Roßkamp, 2003

Stoff	Richtwert I	Richtwert II
Anorganische Stoffe		
Kohlenmonoxid	Langzeitwert (8 h): 1,5 mg/m ³ Kurzzeitwert (0,5 h): 6 mg/m ³	Langzeitwert (8 h): 15 mg/m ³ Kurzzeitwert (0,5 h): 60 mg/m ³
Quecksilberdampf	0,035 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Stickstoffdioxid³	Keine Angabe	Langzeitwert (7 d): 0,06 mg/m ³ Kurzzeitwert (0,5 h): 0,35 mg/m ³

² Die Richtwerte der PCB-Richtlinie sind in den meisten Bundesländern durch die Aufnahme in das geltende Baurecht rechtsverbindlich. Sie gelten für einen 24-stündigen Aufenthalt pro Tag; bei kürzerer Aufenthaltsdauer sind die Richtwerte entsprechend höher.

Tabelle 3 (Fortsetzung):

Stoff	Richtwert I	Richtwert II
Organische Stoffe		
Bicyclische Terpene (Leitsubstanz α-Pinen)	0,2 mg/m ³	2 mg/m ³
Dichlormethan	0,2 mg/m ³	2 mg/m ³
Pentachlorphenol (PCP)	0,1 μ g/m ³	1,0 μ g/m ³
Styrol	0,03 mg/m ³	0,3 mg/m ³
Toluol	0,3 mg/m ³	3 mg/m ³
Tris(2-chlorethyl)phosphat	0,005 mg/m ³	0,05 mg/m ³

2.3 Weitere toxikologisch abgeleitete Werte

Neben den o.g. Grenz- und Richtwerten gibt es Empfehlungen des ehemaligen Bundesgesundheitsamtes (s. Tabelle 4).

Tabelle 4: Empfehlungen des ehemaligen Bundesgesundheitsamtes (BGA) für Innenraumluft

Stoff	Richtwert	Bemerkung
Formaldehyd	120 μ g/m ³	Richtwert
Lindan (γ-HCH)	1,0 μ g/m ³	Empfehlung

Die **Leitwerte der Weltgesundheitsorganisation** wurden ebenfalls auf Grundlage toxikologischer Erkenntnisse unter Berücksichtigung von Schutzfaktoren aufgestellt. Sie sollen z. B. Bürgern und Behörden Hinweise zur Beurteilung gesundheitlicher Risiken von Luftverunreinigungen geben. Sie beziehen sich auf die Allgemeinbevölkerung, die einer langfristigen Belastungssituation der Außenluft – auch der Innenraumluft – ausgesetzt ist, und gelten in der Mehrzahl der Fälle nicht für Kurzzeit- oder Spitzenkonzentrationen (z.B. bei Unfällen, s. Abschnitt 6, Anhang 1).

Darüber hinaus gibt es auch Werte, die im Moment in der wissenschaftlichen Diskussion sind (Zusammenstellung s. z.B. Schleibinger et al. 2002). Sie können ebenfalls als Beurteilungshilfe herangezogen werden.

2.4 Weitere Werte zur Orientierung

Für die Mehrzahl an Substanzen gibt es noch keine toxikologisch abgeleiteten Grenz- oder Richtwerte. Um dennoch Belastungen mit diesen Substanzen einschätzen zu können, behilft man sich daher mit Vergleichswerten:

Hintergrundwerte zeigen die übliche Belastung der Innenraumluft in Deutschland. Sie wurden bei Untersuchungen einer großen Zahl von Räumen ermittelt (s. Abschnitt 6, Anhang 2). So hat das Umweltbundesamt in fast 500 Wohnungen die Raumluft auf eine Reihe von VOC untersucht. Für jede der untersuchten Verbindungen wurde ermittelt, mit welcher Häufigkeit sie in der Raumluft auftritt.

³ Ein Vorsorgewert wurde nicht angegeben, da 10 % des Eingreifwertes allein durch den Eintrag von Außenluft häufig überschritten wird. Anforderungen an Geräte, die in Innenräumen betrieben werden, sollten sich jedoch an 10 % des Eingreifwertes orientieren. Das unterstreicht die Notwendigkeit, die NO₂-Belastung in der Außenluft weiter zu reduzieren.

Durch den Vergleich der Messergebnisse mit den Werten dieser Studie kann festgestellt werden, ob eine auffällig erhöhte oder nur die „übliche“ VOC-Belastung der Raumluft vorliegt. Als erhöht gilt dabei i.A. ein Wert, der höher als 95 % aller beobachteten Werte liegt (95 %-Perzentil in Abschnitt 6, Anhang 2).

Dabei ist allerdings zu beachten, dass aus dem Vergleich mit Hintergrundwerten keine Aussage über eine gesundheitliche Belastung abgeleitet werden kann.

Die **MAK-Werte** (Maximale Arbeitsplatz-Konzentration) können **hilfsweise** als Anhaltspunkte verwendet werden wenn keine Richtwerte vorliegen. Dabei ist jedoch zu beachten, dass sich die MAK-Werte auf Einzelsubstanzen beziehen und für gesunde Arbeitnehmer bei einer 40-Stunden-Woche gelten. Sie berücksichtigen keine Risikogruppen wie Kinder oder Kranke. Auch die deutlich längere Aufenthaltsdauer in Innenräumen im Vergleich zu Arbeitsräumen wird mit diesen Werten nicht abgebildet.

Grundsätzlich dürfen die MAK-Werte daher nicht schematisch in Innenraumwerte umgerechnet werden. In erster Näherung gelten jedoch Gesundheitsrisiken auch für die Allgemeinbevölkerung als unwahrscheinlich, wenn die Konzentration eines Stoffes unter 1 % des MAK-Wertes liegt. Diese „Faustregel“ kann jedoch nur zur ersten orientierenden Abschätzung dienen, eine eingehende Betrachtung der toxikologischen Eigenschaften des jeweiligen Stoffes ist immer erforderlich.

3 Bewertung von VOC-Gemischen in der Raumluft

In der Raumluft liegen in der Regel Gemische von VOC vor. Für die meisten der darin enthaltenen Einzelsubstanzen sind die toxikologischen Daten unzureichend, so dass die gesundheitliche Bewertung schwierig ist. Dies gilt erst recht für Gemische von VOC. Die Zusammensetzung dieser Gemische kann sich von Raum zu Raum unterscheiden und auch innerhalb eines Raumes zeitlichen Schwankungen unterliegen.

Für die Bewertung der VOC-Gesamtkonzentration (TVOC = *total volatile organic compounds*) kann eine Empfehlung der Innenraumlufthygiene-Kommission herangezogen werden. Danach wird als langfristiges Ziel vorgeschlagen, einen TVOC-Konzentrationsbereich von 0,2 – 0,3 mg/m³ zu erreichen bzw. nach Möglichkeit zu unterschreiten. VOC-Werte von 1 – 3 mg/m³ sollten auf Dauer nicht überschritten werden. Bei diesen Werten ist eine Suche und Identifizierung der Quellen angezeigt. TVOC-Konzentrationen von 10 – 25 mg/m³ sind allenfalls kurzzeitig (z.B. in Neubauten oder nach Renovierungen) tolerierbar.

Dabei ist allerdings zu beachten, dass der TVOC kein alleiniges Kriterium für die gesundheitliche Bewertung darstellt. Eine gesicherte Dosis-Wirkungs-Beziehung kann allenfalls für Einzelsubstanzen, nicht aber für VOC-Gemische angegeben werden. Die TVOC-Konzentration ermöglicht lediglich eine Aussage darüber, wie wahrscheinlich ein Zusammenhang zwischen VOC-Exposition und den Beschwerden der Raumnutzer ist.

Aus diesem Grund sollte der TVOC-Zielwert auch nicht streng als Sanierungsleitwert verwendet werden. Insbesondere entbindet die Bestimmung des TVOC nicht von einer Einzelbetrachtung der im VOC-Gemisch enthaltenen Stoffe. So ist immer zu prüfen, ob und in welchen Konzentrationen in dem Gemisch Stoffe enthalten sind, die kritische toxikologische Eigenschaften besitzen, also z.B. Krebs erzeugen, Allergien auslösen oder die Leibesfrucht bzw. das Erbgut schädigen können.

4 Bewertung von Schadstoffgehalten im Hausstaub

Werden Schadstoffe im Hausstaub gefunden, ist damit generell noch keine Aussage über eine mögliche gesundheitliche Belastung verbunden, zumal der Staub als „Gedächtnis“ auch auf frühere Belastungen hinweisen kann.

Mit Staubuntersuchungen lässt sich lediglich ein Hinweis darauf ableiten, ob die gemessenen Schadstoffkonzentrationen auffällig erhöht sind. Hierzu vergleicht man die Messergebnisse mit Hintergrundwerten (s. Abschnitt 6, Anhang 3). Als erhöht gilt dabei ein Wert, der höher als 95 % aller beobachteten Werte liegt (95 %-Perzentil in Abschnitt 6, Anhang 3).

Findet man erhöhte Werte, müssen die Quellen durch Materialuntersuchungen identifiziert und die Belastungen der Raumnutzer durch Raumluftuntersuchungen abgeschätzt werden (s. Abschnitt 1.4).

Darüber hinaus gibt es spezielle Hinweise für die Bewertung von Belastungen durch teerhaltige Parkettkleber: Als Leitsubstanz für die PAK-Belastung wird dabei Benzo[a]pyren (BaP) verwendet. Expositionsmindernde Maßnahmen sollten ab folgenden Konzentrationen getroffen werden:

- > 10 mg/kg BaP im Frischstaub (Alter: 4 bis 7 Tage):
Wohnräume und andere Räume, in denen sich Kinder aufhalten
- > 100 mg/kg BaP im Frischstaub (Alter: 4 bis 7 Tage):
Sonstige Innenräume, in denen kürzere Aufenthaltszeiten üblich sind, z. B. Büroräume

Bei den Untersuchungen auf Schadstoffe in Innenräumen muss immer auch beachtet werden, dass neben Chemikalien auch andere Faktoren die Beschwerden der Raumnutzer verursachen können. Zu nennen sind hier z. B. eine häufig zu geringe Luftfeuchtigkeit, zu seltenes Lüften oder Schimmelbefall.

Weitere Auskünfte:

- **Labore und Sachverständige:** ► [Labore und Sachverständige für Schadstoffuntersuchungen in Innenräumen](#), Publikation des Infozentrums UmweltWissen.
- **Einfache Maßnahmen zur Verringerung von Innenraumschadstoffen:** ► [Organische Luftschadstoffe in Innenräumen – ein Überblick](#), Publikation des Infozentrums UmweltWissen.
- **Sanierung:** Adressen bei der IHK, dem Gewerbeaufsichtsamt oder im Branchenverzeichnis.
- **Beseitigung belasteter Materialien:** Adressen bei der IHK, dem Gewerbeaufsichtsamt oder im Branchenverzeichnis.
- **Umweltmediziner:** Adressen von Fachärzten mit Zusatzausbildung im Bereich Umweltmedizin erhalten Sie beim lokalen Gesundheitsamt.

5 Literatur

Ad-hoc-Arbeitsgruppe aus Mitgliedern der Innenraumlufthygiene-Kommission (IRK) des Umweltbundesamtes und des Ausschusses für Umwelthygiene der AGLMB (1996): Richtwerte für die Innenraumluft: Basisschema. Bundesgesundheitsblatt 11, 422-426

Becker K., Seiwert M., Kaus S., Krause S., Krause C., Schulz C. und Seifert B. (2002): German Environmental Survey 1998 (GerES III). Pesticides and other pollutants in house dust. In: INDOOR AIR '02. Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate. Monterey, USA

Deutsches Institut für Bautechnik (Hrsg., 2000): Hinweise für die Bewertung und Maßnahmen zur Verminderung der PAK-Belastung durch Parkettböden mit Teerklebstoffen in Gebäuden (PAK-Hinweise). DIBt Mitteilungen, 114-123

Deutscher Verband Unabhängiger Prüflaboratorien e.V. (Hrsg., 1998): Empfehlungen zur Vergabe und Kontrolle von Laborleistungen im Umweltbereich

Deutsche Forschungsgemeinschaft (2002): MAK- und BAT-Werte-Liste 2002. Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe. Mitteilung 38. WILEY-VCH, Weinheim

Englert N.:

(1997): Richtwerte für die Innenraumluft: Kohlenmonoxid. Bundesgesundheitsblatt 11, 425-428

(1998): Richtwerte für die Innenraumluft: Stickstoffdioxid. Bundesgesundheitsblatt 1, 9-12

Fromme H. (2003): Grenz-, Richt- und Orientierungswerte. In: Beyer A., Eis D. (Hrsg.): Praktische Umweltmedizin. Loseblattsammlung, Berlin

Hoffmann K., Krause C., Schulz C., Schwabe R., Seifert B. und Ullrich D. (1996): Umwelt-Survey 1990/91,

Band IV: Personengebundene Exposition gegenüber flüchtigen organischen Verbindungen in den alten Bundesländern. WaBoLu - Hefte 4/96, Berlin

Heinzow B., Mohr S., Mohr-Kriegshammer H., Janz H. (1994): Organische Schadstoffe in der Innenraumluft von Schulen und Kindergärten. In: Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (Hrsg.): Luftverunreinigung in Innenräumen, Düsseldorf

Krause C., Chutsch M., Henke M., Kliem C., Leiske M., Schulz C., Schwarz E. (1991): Umwelt-Survey. Messung und Analyse von Umweltbelastungsfaktoren in der Bundesrepublik Deutschland – Umwelt und Gesundheit.

Band IIIa – Wohn-Innenraum: Spurenelementgehalte im Hausstaub. WaBoLu-Hefte 2/1991

Band IIIc – Wohn-Innenraum: Raumluft, WaBoLu-Hefte 4/1991

Landeshauptstadt München (Hrsg., 1999): Wegweiser Umweltmedizin. München. PDF unter www.muenchen.de/cms/prod2/mde/de/rubriken/Rathaus/70_rgu/04_vorsorge_schutz/umweltmedizin/pdf/adressen_aerzte_umweltmedizin.pdf

Link B. (1999): Richtwerte für die Innenraumluft – Quecksilber. Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz 2, 168-173

Pluschke P. (1996): Luftschadstoffe in Innenräumen – Ein Leitfaden. Springer-Verlag, Berlin

Roßkamp E. (2003): aus der Arbeit der ad-hoc Arbeitsgruppe IRK-AOLG beim Umweltbundesamt, Umweltmedizin in Forschung und Praxis 8 (4) 2003, Berlin

Sagunski H. (1996): Richtwerte für die Innenraumluft: Toluol. Bundesgesundheitsblatt 39, 416-421

Schleibinger H., Hott U., Marchl D., Plieninger P., Braun P., Rüden H. (2002): Institut für Hygiene und Umweltmedizin der freien Universität Berlin, Beratung und Analyse – Verein für Umweltchemie (B.A.U.CH.) e.V.: Ziel- und Richtwerte zur Bewertung der VOC-Konzentration in der Innenraumluft – ein Diskussionsbeitrag – Umweltmed. Forsch. Prax. 7 (3) 139 – 147, Berlin

Schubert et al. (2000): Hinweise für die Bewertung und Maßnahmen zur Verminderung der PAK-Belastung durch Parkettböden mit Teerklebstoffen in Gebäuden (PAK-Hinweise). DiBt-Mitteilungen 4/2000, S. 114-123

Seifert B. (1999): Richtwerte für die Innenraumluft. Die Beurteilung der Innenraumluftqualität mit Hilfe der Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC-Werte). Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz 3, 270-278

Stiftung Warentest (2002): Wohnen ohne Gift: sanieren, renovieren, einrichten. Berlin

Umweltbundesamt (2008): Leitfaden für die Innenraumlufthygiene in Schulgebäuden. Berlin
PDF unter ► www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3689.pdf

Witten J. (2001): Gesundheitliche Bewertung von Luftverunreinigungen durch Bauprodukte. In: VDI-Seminar: Schadstoffe in Innenräumen 10./11. Mai 2001

Witten J., Sagunski H., Wildeboer B. (1996): Richtwerte für die Innenraumluft: Dichlormethan. Bundesgesundheitsblatt 40, 278-284

World Health Organization (2000): Guidelines for Air Quality. WHO Regional Publications. WHO Regional Office, Geneva

Richtlinien und gesetzliche Regelungen

PCB-Richtlinie, DIBt 2, S. 50-59, 1995

PCP-Richtlinie,

VDI-Richtlinie 4300, Blätter 1-8. Beuth-Verlag GmbH, Berlin.

Bundes-Immissionsschutzgesetz, 2. BImSchV, 23. BImSchV 1998

Weiterführende Publikationen des Infozentrums UmweltWissen

- | | |
|--|--|
| ► Asbest | ► Organische Luftschadstoffe in Innenräumen – ein Überblick |
| ► Künstliche Mineralfasern | ► Labore und Sachverständige für Schadstoffuntersuchungen in Innenräumen |
| ► Holzschutzmittel | ► Pentachlorphenol (PCP) |
| ► Lindan | ► Polychlorierte Biphenyle (PCB) |
| Flammenschutzmittel | ► Schimmel in Innenräumen |
| Formaldehyd | Phthalate |
| Passivrauchen | Pyrethroide |

Publikationen des Bayerischen Landesamtes für Umwelt

- [Abbruch - kein Problem? Was sie vor dem Gebäuderückbau beachten sollten](#) (Flyer)
- [Arbeitshilfe Kontrollierter Rückbau: Kontaminierte Bausubstanz - Erkundung, Bewertung, Entsorgung](#) (Fachbericht)

Anhang

Anhang 1: Leit- und Toleranzwerte (TC) der Weltgesundheitsorganisation für nichtkanzerogene Stoffe

Anhang 2: Hintergrundwerte von leichtflüchtigen Fremdstoffen in der Wohninnenraumluft (in mg/m³)

Anhang 3: Hintergrundwerte von Fremdstoffen im Hausstaub der allgemeinen Bevölkerung (in mg/kg)

6 Anhang

Anhang 1: Leit- und Toleranzwerte (TC)⁴ der Weltgesundheitsorganisation für nichtkanzerogene Stoffe, Quelle: World Health Organization (2000), zitiert nach Fromme (2003)

Substanz	Leitwert $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Expositionsdauer
Kohlenmonoxid (CO)	100.000	15 min
	60.000	30 min
	30.000	1 h
	10.000	8 h
Stickstoffdioxid (NO₂)	200	1 h
	40	1 Jahr
Blei	0,5	1 Jahr
Ozon	120	8 h
Schwefeldioxid (SO₂)	500	10 min
	125	24 h
	50	1 Jahr
Acetaldehyd	2.000 (TC)	24 h
	50 (TC)	1 Jahr
Acrolein	50	30 min
Acrylsäure	54	1 Jahr
Butoxyethanol, 2-	13.100 (TC)	1 Woche
Dichlorbenzol, 1,4-	1.000 (TC)	1 Jahr
Dichlormethan	3.000	24 h
Dieselmotorabgas	5,6	1 Jahr
	2,3	1 Jahr
Ethylbenzol	22.000	1 Jahr
Fluoride	1	1 Jahr
Formaldehyd	100	30 min
Isophoron	-	30 min
Mangan	0,15	1 Jahr
Quecksilber (anorganisch)	1	1 Jahr
Methylmethacrylat	200 (TC)	1 Jahr
Monochlorbenzol	500 (TC)	1 Jahr
Schwefelkohlenstoff	100	24 h
	20	30 min
Schwefelwasserstoff	150	24 h
	7	30 min
Styrol	260	1 Woche
	7	30 min
Tetrachlorkohlenstoff	6,1 (TC)	1 Jahr

⁴ Für verschiedene Stoffe, die in den „Luftqualitätsleitlinien für Europa“ nicht behandelt wurden, gibt die WHO Toleranzkonzentrationen (TC) an, die in ihrer Schutzfunktion mit den Leitwerten vergleichbar sind.

Anhang 1 (Fortsetzung):

Substanz	Leitwert $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Expositionsdauer
Tetrachlorethylen	250	24 h
	8.000	30 min
Toluol	260	1 Woche
	1.000	30 min
Trichlorbenzol, 1,3,5-	200 (TC)	1 Jahr
Trichlorbenzol, 1,2,4-	50 (TC)	1 Jahr
Vanadium	1	24 h
Xylole	4.800	24 h
	870	1 Jahr
	-	30 min

Anhang 2: Hintergrundwerte von leichtflüchtigen Fremdstoffen in der Wohninnenraumluft, Quellen: Heinzow et al. (1994), Krause et al. Band IIIc (1991), zitiert nach Fromme (2003)

Durch den Vergleich der Messergebnisse mit den unten zitierten Werten kann festgestellt werden, ob eine auffällig erhöhte oder nur die „übliche“ VOC-Belastung der Raumluft vorliegt. Als erhöht gilt dabei ein Wert, der höher als 95 % aller beobachteten Werte liegt (95 %-Perzentil).

	Wohnungen in der Bundesrepublik		Schulen und Kindertagesstätten in Schleswig-Holstein	
	Median $\mu\text{g}/\text{m}^3$	95.Perzentil $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Median $\mu\text{g}/\text{m}^3$	95.Perzentil $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Σ-n-Alkane	49	193	-	-
n-Hexan	7,4	22	-	-
n-Heptan	5,1	26	0,9	7
n-Octan	3,1	15	0,7	6
n-Nonan	5,0	31	1	25
n-Decan	8,3	52	2,2	44
n-Undecan	6,0	28	2,3	31
n-Dodecan	4,0	17	1,2	11
Isooctan	3,3	19	0,05	2
Σ-Isoalkane (C6-C9)	24	80	-	-
Cycloalkane	13,6	43	-	-
Methylcyclopentan	2,4	7,4	-	-
Cyclohexan	5,9	18	1	10
Methylcyclohexan	4,4	23	-	-
Σ-Aromaten	135	369	-	-
Benzol	7,2	22	1,5	5
Toluol	62,0	190	8,8	95
o-Xylol	5,0	18	1,9	22
m,p-Xylol	16,3	57	4,5	68
Styrol	0,7	6	0,6	12
Ethylbenzol	7,4	25	1,7	21
n-Propylbenzol	3,5	13	0,7	7
Ethyltoluol, 2-	2,4	12	-	-
Ethyltoluol, 3-/4-	5,8	24	0,2	10

Anhang 2 (Fortsetzung):

	Wohnungen in der Bundesrepublik		Schulen und Kindertagesstätten in Schleswig-Holstein	
	Median $\mu\text{g}/\text{m}^3$	95.Perzentil $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Median $\mu\text{g}/\text{m}^3$	95.Perzentil $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Trimethylbenzol, 1,3,5-	2,3	11	0,5	10
Trimethylbenzol, 1,2,3-	2,4	9	0,5	14
Trimethylbenzol, 1,2,4-	6,3	27	2	9
Tetramethylbenzol,1,2,3,4-	-	-	0,3	5
Naphthalin	2,2	4,9	0,6	2
Chlornaphthalin, Mono-	-	-	0,05	1
Σ -Chlorierte Kohlenwasserstoffe	-	61	-	-
Chloroform	-	-	0,2	1
Dichlorbenzol, 1-,4-	2,4	23	-	-
Trichlorethan, 1,1,1-	4,7	26	1,4	13
Tetrachlormethan	-	-	0,5	1,3
Trichlorethen	3,6	20	0,05	2
Tetrachlorethen	4,5	27	0,3	3
Σ-Terpene	27	133	-	-
Alpha-Pinen	6,8	27	4,5	56
Beta-Pinen	0,7	4,3	-	-
Limonen	13,2	103	5	66
Alpha-Terpinen	3,5	12	-	-
Σ-Carbonylverbindungen	19	81	-	-
Ethylacetat	6,2	28	-	-
n-Butylacetat	3,2	19	-	-
Isobutylacetat	1,0	5,9	-	-
Methylethylketon	4,6	13	-	-
4-Methyl-2-Pentanon	0,7	2,5	-	-
Hexanal	0,7	4,3	-	-
Σ-Alkohole	4,7	14	-	-
n-Butanol	0,7	4,1	-	-
Isobutanol	1,2	7,1	-	-
Isoamylalkohol	0,7	2,3	-	-
2-Ethylhexanol	0,7	4,0	-	-
Σ-aller VOC	329	928	-	-
Formaldehyd ⁵	70	161	-	-

⁵ Formaldehyd ist sehr leichtflüchtig (Definition: Siedepunkt < 50 °C) und gehört daher streng genommen nicht zu den leichtflüchtigen organischen Verbindungen.

Anhang 3: Hintergrundwerte von Fremdstoffen im Hausstaub der allgemeinen Bevölkerung,
Quelle: Becker et al. (2002), zitiert nach Fromme (2003)

Durch den Vergleich der Messergebnisse mit den unten zitierten Werten kann festgestellt werden, ob eine auffällig erhöhte oder nur die „übliche“ VOC-Belastung der Raumluft vorliegt. Als erhöht gilt dabei ein Wert, der höher als 95 % aller beobachteten Werte liegt (95 %-Perzentil).

Stoff	95.Perzentil mg/kg	Maximum mg/kg
Biozide		
PCP	2,9	32,3
Lindan	0,75	10,6
DDT	1,2	41,8
Propoxur	0,6	158
Methoxychlor	5,8	98,2
Chlorpyrifos	0,70	19,3
PSDE	17,0	186
Piperonylbutoxid	3,7	200
Permethrin	14,5	171
Phthalate (Weichmacher)		
DEP	89,7	1.233
DEHP	1190	7.530
DMP	3,7	75,8
DiBP	130	192
DnBP	160	502
BBP	207	745
DnOP	21,4	151
Organische Phosphorsäureester (z. B. Flammschutzmittel)		
TBEP	58,0	854
TCEP	1,0	6,0
TEHP	1,6	4,6
TCP	0,4	80,7
TPP	1,8	7,2

(PSDE: Polychlorierte Sulfonamid-Diphenylether, DEP: Diethylphthalat, DEHP: Di-(2-ethylhexyl)-phthalat, DMP: Dimethylphthalat, DiBP: Diisobutylphthalat, DnBP: Di-n-Butylphthalat, BBP: Butylbenzylphthalat, DnOP: Di-n-octylphthalat, TBEP: Tris-(2-Butoxyethyl)-phosphat, TCEP: Tris-(2-chlorethyl)-phosphat, TEHP: Tris-(2-ethylhexyl)-phosphat, TCP: Trikresylphosphat, TPP: Triphenylphosphat),

7 Ansprechpartner

Private Anfragen an das Bayerische Landesamt für Umwelt richten Sie bitte an unser Bürgerbüro:

E-Mail: oeffentlichkeitsarbeit@lfu.bayern.de

Fragen und Anregungen zu Inhalten, Redaktion und Themenwahl der Publikationen von UmweltWissen sowie Anfragen bezüglich Recherche und Erstellung von Materialien für die Umweltbildung/-beratung richten Sie bitte an:

UmweltWissen am Bayerischen Landesamt für Umwelt:

Telefon: 0821 / 9071 – 5671

E-Mail: umweltwissen@lfu.bayern.de

Internet: www.lfu.bayern.de/umweltwissen

Impressum:

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg

Postanschrift:

Bayerisches Landesamt für Umwelt
86177 Augsburg

Telefon: (08 21) 90 71-0

Telefax: (08 21) 90 71-55 56

E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de

Internet: www.lfu.bayern.de

Bearbeitung:

Dr. Wolfgang Körner (LfU)

Dr. Martin Wegenke (LfU)

Dr. Katharina Stroh (LfU)

Stand:

2003 (Links 2011)

Wir bedanken uns bei PD Dr. Hermann Fromme vom Bayerischen Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL), Fachgebiet Umweltmedizin, für die kritische Durchsicht unseres Textes und für seine konstruktiven Anregungen.

Diese Veröffentlichung wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Sofern auf Internetangebote Dritter hingewiesen wird, sind wir für deren Inhalte nicht verantwortlich.

Sie haben diese Veröffentlichung auf Papier, wollen aber auf die verlinkten Inhalte zugreifen?

Die jeweils aktuellste Ausgabe finden Sie im Internet unter:

▶ www.lfu.bayern.de/umweltwissen/doc/uw_46_organische_luftschadstoffe_innenraeume_messung_bewertung.pdf

oder unter

▶ www.lfu.bayern.de: UmweltWissen > Luft > Luftschadstoffe in Innenräumen