

Bundesgesundheitsbl 2025 · 68:190–200
<https://doi.org/10.1007/s00103-024-03999-y>
 Online publiziert: 3. Januar 2025
 © Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil
 von Springer Nature 2025



Bekanntmachung des Umweltbundesamtes

Bewertung von chemischen Innenraumluftverunreinigungen auf der Grundlage von Messergebnissen

Leitfaden des Ausschusses für Innenraumrichtwerte (AIR)

Vorbemerkung

Die Gesundheit und das Wohlbefinden des Menschen können beim Aufenthalt in Gebäuden durch chemische Verunreinigungen in der Innenraumluft beeinträchtigt werden. Im privaten und öffentlichen Bereich aber auch an Innenraumarbeitsplätzen ohne Tätigkeiten mit Gefahrstoffen¹ werden häufig Messungen von chemischen Innenraumluftverunreinigungen veranlasst, um gesundheitlichen Beschwerden und/oder Beschwerden über eine Geruchsbelästigung nachzugehen. Weitere Anlässe können Freimessungen² vor der Nutzungsaufnahme eines Neubaus oder nach einer Sanierungsmaßnahme sein. Neben amtlichen Institutionen sind private Gutachter, Institute und Labore auf diesem Feld tätig. Die Praxis zeigt, dass sowohl bei der Messung als auch bei der Beurteilung von Innenraumluftverunreinigungen nicht immer vergleichbare Vorgehensweisen und Beurteilungsmaßstäbe angewendet werden. Der vorliegende Leitfaden wurde vom Ausschuss für Innenraumrichtwerte (AIR) erarbeitet, um möglichen Unsicherheiten und Unterschieden bei der Bewertung von chemischen Verunreinigungen in der

Innenraumluft vorzubeugen. Chemische Verunreinigungen in der Innenraumluft werden im Folgenden verkürzt als „Stoffe in der Innenraumluft“³ bezeichnet. Der Leitfaden spiegelt den aktuellen Stand der Beurteilungsmaßstäbe für Stoffe in der Innenraumluft wider. Daher ersetzt dieser Leitfaden die Handreichung „Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten“ aus dem Jahr 2007 [1]. Gleichzeitig wird mit diesem Leitfaden auch das TVOC-Konzept aus der Stellungnahme „Ermittlung und Beurteilung chemischer Verunreinigungen der Luft von Innenraumarbeitsplätzen (ohne Tätigkeit mit Gefahrstoffen)“ aus dem Jahr 2014 ersetzt [2].

Der AIR stellt damit ein praxisbezogenes Verfahren bereit, das für die Beurteilung von Stoffen sowohl im öffentlichen als auch im privaten oder gewerblichen Innenraum herangezogen werden kann.

Zielgruppe

Der Leitfaden richtet sich an alle, die von Stoffen in der Innenraumluft ausgehende gesundheitliche Risiken abschätzen und bewerten. Angesprochen sind insbesondere Mitarbeitende im Arbeitsbereich Umweltbezogener Gesundheitsschutz/ Umwelthygiene der Gesundheitsämter,

Mitarbeitende im Bereich Arbeitsschutz, bei den Unfallversicherungsträgern sowie technisch und analytisch arbeitendes Personal in Messinstituten und Ingenieurbüros. Für das Abschätzen und Bewerten der gesundheitlichen Risiken ist ein Ablaufschema vorgesehen, das in **Abb. 1** dargestellt ist und dessen schrittweises Vorgehen im folgenden Kapitel beschrieben wird.

Schrittweises Vorgehen

Schritt 1: Feststellung der Raumart

Im ersten Schritt muss geprüft werden, ob der zu untersuchende Raum als Innenraum im Sinne dieses Leitfadens definiert werden kann.

Innenräume sind Räume, die als Aufenthaltsräume genutzt werden. Nach Musterbauordnung (MBO) § 2 Abs. 5 sind als Aufenthaltsräume alle Räume definiert, „die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt oder geeignet sind.“ [3]. Gemäß der Richtlinien VDI 4300 Blatt 1 [4] und VDI 6022 Blatt 3 Entwurf [5] entspricht dies einer regelmäßigen Aufenthaltszeit von mindestens 2 h am Tag oder mindestens 30 Tagen im Jahr.

Eine nähere Bestimmung erfolgt in Anlehnung an den Sachverständigenrat für Umweltfragen 1987 [6], die Richtlinien VDI 4300 Blatt 1 [4] und DIN EN ISO 16000 Blatt 1 [7] und den DGUV Report „Innenraumarbeitsplätze – Vorgehensempfehlung für die Ermittlungen

¹ Stoffe, Gemische oder Erzeugnisse mit gesundheitsschädigenden Eigenschaften.

² Überprüfung des Zielwertes eines Stoffs im Innenraum zumeist nach Sanierungsmaßnahmen, ggf. als Bedingung um den Erfolg einer Sanierung zu überprüfen und den Raum zur Nutzung wieder freigeben zu können.

³ In der Innenraumluft vorkommender Stoff (oder Stoffgemisch), welcher oder welches konzentrationsabhängig schädlich für die menschliche Gesundheit ist.

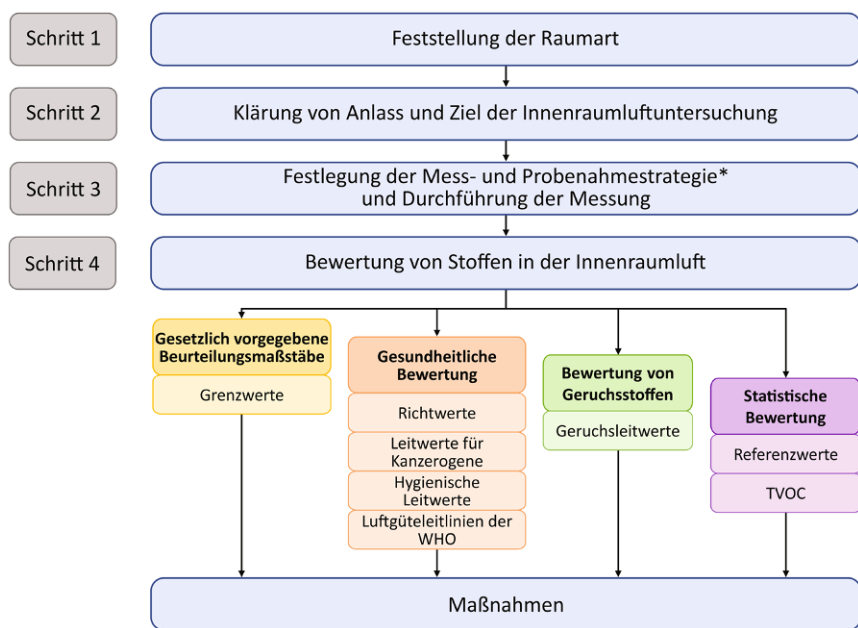


Abb. 1 ▲ Ablaufschema zur Bewertung von Stoffen in der Innenraumluft. * Je nach Anlass und Ziel der Messung sind die unterschiedlichen Probenahme-strategien zu beachten

zum Arbeitsumfeld“ [8]. Dort werden die Kriterien für den Begriff „Innenraum“ als Grundlage für diesen Leitfaden wie folgt festgelegt:

- Private Wohn- und Aufenthaltsräume wie Wohn-, Schlaf- und Badezimmer, Küche, Bastel-, Sport- und Kellerräume,
- Räume in öffentlichen Gebäuden (z. B. Schulen, Kindergärten, Jugendhäuser, Krankenhäuser, Sporthallen, Bibliotheken, Gaststätten und andere Veranstaltungsräume),
- Arbeitsräume und Arbeitsplätze in Gebäuden ohne Tätigkeiten mit Gefahrstoffen, an denen vorrangig die Forderungen der Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) [9] und ihrer dazugehörigen Technischen Regeln (ASR) gelten [10],
- Fahrgasträume von Kraftfahrzeugen und öffentlichen Verkehrsmitteln.

Die Festlegung einer Messstrategie für den Innenraum von Kraftfahrzeugen und öffentlichen Verkehrsmitteln ist sehr individuell und es liegen hierzu teils spezifische Regelungen vor. Daher sind Fahrgasträume von Kraftfahrzeugen und öffentlichen Verkehrsmitteln nicht Gegenstand dieses Leitfadens.

Schritt 2: Klärung von Anlass und Ziel der Innenraumluftuntersuchung

Im zweiten Schritt werden Anlass und Ziel der Innenraumluftuntersuchung geklärt. Häufig kann dabei unterschieden werden zwischen:

- Anlassbezogenen Innenraumluftuntersuchungen aufgrund gesundheitlicher Beschwerden von Raumnutzenden, Beschwerden über eine Geruchsbelästigung oder aufgrund anderer Verdachtsmomente mit dem Ziel einer Einschätzung, ob gesundheitliche Risiken vorliegen,
- Präventiven Innenraumluftuntersuchungen vor Nutzungsaufnahme eines Neubaus, z. B. im Rahmen einer Gebäudezertifizierung oder bei umfangreichen Sanierungsarbeiten, z. B. als Statuserhebung vor bzw. in Form einer Freimessung nach einer Schadstoffsanierung,
- Aufgrund der toxikologischen Neubewertung eines Stoffes.

Schritt 3: Festlegung der Mess- und Probenahme-strategie und Durchführung der Messung

In einem dritten Schritt wird je nach Anlass und Ziel der Innenraumluftuntersuchung die geeignete Mess- und insbesondere Probenahme-strategie ausgewählt. Ergebnisse von Innenraumluftmessungen hängen erheblich von der Messstrategie, dem Ort der Messung, der Lüftungssituation und den raumklimatischen Faktoren ab. Die Anforderungen an Innenraumluftmessungen sind in den „Ermittlung und Beurteilung chemischer Verunreinigungen der Luft von Innenraumarbeitsplätzen (ohne Tätigkeit mit Gefahrstoffen)“ [2] und in den Richtlinien VDI 4300 Blatt 1 [4] und DIN EN ISO 16000 Blatt 1 [7] beschrieben. Diese enthalten Angaben zur Temperatur und Luftfeuchte, die während der Durchführung einer Messung in einem für den Raum typischen Bereich liegen sollten. In der Regel sollten in dem für Innenräume übliche Temperaturbereiche von 19–24 °C und eine relative Luftfeuchte von 30–70 % eingehalten werden. Wenn bei davon abweichenden Temperatur- oder Luftfeuchtebedingungen gemessen wird, muss dies entsprechend begründet und dokumentiert werden. Im Zuge des Klimawandels kann es möglich sein, dass zukünftig andere Temperatur- und Luftfeuchtebereiche berücksichtigt werden müssen [11]. Lüftungsvorgaben unterscheiden sich je nach Raumart und sind entsprechend einzuhalten (siehe **Tab. 1**).

Zur Gewinnung einer Probe stehen aktive und passive Probenahmeverfahren zur Verfügung:

- Aktive Probenahmeverfahren nutzen Probenahmesysteme mit einer regelbaren Pumpe, um ein definiertes Luftvolumen anzusaugen und dann einem oder mehreren Sammelmedien (z. B. Sorbenzien, Filter) zuzuführen. Sie umfassen eine Messdauer im Bereich von mehreren Minuten bis wenigen Stunden und werden daher auch als Kurzzeitmessungen bezeichnet.
- Passive Probenahmeverfahren nutzen Passivsammelsysteme für die Aufnahme von Gasen und Dämpfen aus der Raumluft mittels Gasdiffusion an eine Sammelphase. Sie umfassen eine

Messdauer von mehreren Tagen und werden daher auch als Langzeitmessungen bezeichnet. Für die Überprüfung des Grenzwertes von Tetrachlorethen ist beispielsweise eine Langzeitmessung von 7 Tagen erforderlich.

Folgende Probenahmebedingungen müssen unterschieden werden:

1. Nutzungsbedingungen

Für eine gesundheitliche Bewertung von Stoffen in der Innenraumluft, einer Bewertung anhand von Geruchsleitwerten oder bei der statistischen Bewertung mithilfe des VOC-Summenwerts (TVOC) sollte die Probenahme unter üblichen Nutzungsbedingungen erfolgen. Dabei ist zu beachten, dass die Raumnutzenden aufgrund ihrer Anwesenheit und Tätigkeit in unterschiedlichem Maß auch selbst eine Quelle für Luftverunreinigungen sind, indem sie z. B. Kohlendioxid ausatmen oder Geruchsstoffe abgeben. Daher ist vor einer Messung zu klären, welcher der beiden nutzungsbedingten Aspekte im Fokus der Messung steht:

a) *Beurteilung einer möglichst realitätsnahen Exposition⁴ von Raumnutzenden*

Probenahme während der Anwesenheit der Raumnutzenden (einschließlich ihrer üblichen Tätigkeiten, gegebenenfalls einschließlich Gerätebetrieb und Lüftungsverhalten). Falls eine Beurteilung nicht möglich ist, dann zusätzliche Probenahme ohne Raumnutzende, um eine Unterscheidung zu bauseitigen Luftverunreinigungen zu ermöglichen.

b) *Exposition gegenüber gebäudebezogenen Luftverunreinigungen unter den nutzungsüblichen Lüftungsgegebenheiten*

Simulation des nutzungsüblichen Lüftungsverhaltens ohne Raumnutzende (z. B. Stoßlüften in nutzungsüblichen Zeitintervallen).

2. Ausgleichsbedingungen

Für eine Probenahme unter Ausgleichsbedingungen wird der Raum

⁴ Ausgesetzt sein von Lebewesen gegenüber Stoffen in der Innenraumluft.

Zusammenfassung · Abstract

Bundesgesundheitsbl 2025 · 68:190–200 <https://doi.org/10.1007/s00103-024-03999-y>
© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2025

Bekanntmachung des Umweltbundesamtes

Bewertung von chemischen Innenraumluftverunreinigungen auf der Grundlage von Messergebnissen. Leitfaden des Ausschusses für Innenraumrichtwerte (AIR)

Zusammenfassung

Der Ausschuss für Innenraumrichtwerte (AIR) erarbeitet Richtwerte, vorläufige bzw. risikobezogene Leitwerte und hygienische Leitwerte zur gesundheitlichen Bewertung von Stoffen in der Innenraumluft. Ebenso hat der AIR Geruchsleitwerte bei Vorliegen von Beschwerden über eine Geruchsbelästigung veröffentlicht. Darüber hinaus können Referenzwerte für eine statistische Bewertung herangezogen werden. Alle diese Beurteilungswerte werden in der gutachterlichen Praxis häufig angewendet. Für eine sachgerechte Anwendung soll der vorliegende Leitfaden eine Hilfestellung

bieten, um geeignete Beurteilungswerte und -konzepte für die Bewertung von Stoffen in der Innenraumluft heranziehen zu können. Im Leitfaden wird ein schrittweises Vorgehen vorgeschlagen. Damit soll sichergestellt werden, dass sinnvolle Schlussfolgerungen für die Bewertung von Stoffen in der Innenraumluft gezogen werden können. Der Leitfaden ersetzt damit die Handreichung der ad-hoc AG von 2007 sowie das TVOC-Stufenkonzept.

Schlüsselwörter

Innenraumluft · Bewertung · Richtwerte · Leitwerte · Referenzwerte · Geruchsleitwerte

Assessment of chemical indoor air pollution on the basis of indoor air measurement results. Guideline of the German Committee on Indoor Air Guide Values (AIR)

Abstract

The German Committee on Indoor Air Guide Values (AIR) develops indoor air guide values, preliminary guide values or risk-related guide values and hygienic guide values for the evaluation of substances in indoor air. Likewise, the AIR has published odour guide values if complaints about odour annoyance are raised. Reference values can be used for a statistical assessment of indoor air pollution. All these assessment values are frequently used in expert practice. For proper use, the present guideline is intended to provide guidance in using appropriate assessment values

or concepts for the evaluation of substances in indoor air by providing a graded approach. The tiered assessment approach is intended to ensure that appropriate conclusions can be drawn for the evaluation of substances in indoor air. The guideline thus replaces the handout of the ad-hoc AG from 2007 and the former TVOC concept.

Keywords

Indoor air · Evaluation · Guide values · Hygienic guide values · Reference values · Odour guide values

intensiv gelüftet und danach bis zur Probenahme mindestens 8 h verschlossen gehalten. Eine Probenahme unter Ausgleichsbedingungen kann dann sinnvoll sein, wenn für einen Stoff in der Innenraumluft nur Referenzwerte vorliegen, die unter Ausgleichsbedingungen ermittelt wurden oder wenn das Ziel der Innenraumluftuntersuchung das Aufspüren einer Emissionsquelle im Innenraum ist.

3. Andere Fragestellungen

Bei der Festlegung der Mess- und

Probenahmestrategie und Durchführung der Messung ist zu beachten, dass im Leitfaden nicht alle Szenarien abgedeckt werden können und im Einzelfall je nach Fragestellung und örtlichen Gegebenheit auch von den Vorgaben abgewichen werden kann.

Die Probenahme und Analytik sollte durch ein Labor durchgeführt werden, das für die zu bewertenden Stoffe in der Raumluft nach DIN EN ISO 17025 [12] akkreditiert ist. Das Labor sollte aber min-

Tab. 1 Lüftungsvorgaben und empfohlene Probenahme für Kurzzeitmessungen je nach Raumart mit oder ohne raumlüfttechnische Anlage (RLT-Anlage)

Raumart	Lüftungsvorgaben	Probenahme in Räumen ohne RLT-Anlage (nach DIN EN ISO 16000-5 [13])	Probenahme in Räumen mit RLT-Anlage (nach DIN EN ISO 16000-5 [13])
Innenraumarbeitsplätze (z. B. Büroräume)	Technische Regeln für Arbeitsstätten ASR A3.6	<ul style="list-style-type: none"> — Lüften nach ASR A3.6 — 1 h Fenster und Türen geschlossen halten — Anschließend Probenahme mit oder ohne anwesenden Raumnutzenden und weiterhin geschlossenen Fenstern und Türen^a 	<ul style="list-style-type: none"> — RLT-Anlage mindestens ab 3 h vor der Probenahme bei den für den Raum üblichen Betriebsbedingungen betreiben — Bei hybriden Lüftungskonzepten, parallel zur mechanischen Lüftung über Fenster und Türen lüften, wie im Konzept vorgesehen — 1 h Fenster und Türen geschlossen halten — Anschließend Probenahme mit anwesenden Raumnutzenden, mit laufender RLT-Anlage und weiterhin geschlossenen Fenstern und Türen^a
Bildungseinrichtungen (z. B. Schulen, Hochschulen oder Universitäten) oder Kindertagesstätten	Empfehlungen des UBA (2017) Lüften nach CO ₂ -Konzentration (Mittelwert 1000 ppm über die Nutzungseinheit) Technische Regeln für Arbeitsstätten ASR A3.6	<ul style="list-style-type: none"> — Witterungsabhängig 3 min im Winter/10 min im Sommer lüften — Bildungseinrichtungen: 45 min Fenster und Türen geschlossen halten (mit oder ohne Raumnutzende) — Kindertagesstätten: 1 h Fenster und Türen geschlossen halten (mit oder ohne Raumnutzende) — Anschließend Probenahme und weiterhin geschlossenen Fenstern und Türen (ohne anwesende Raumnutzende)^a 	<ul style="list-style-type: none"> — RLT-Anlage mindestens ab 3 h vor der Probenahme bei den für den Raum üblichen Betriebsbedingungen betreiben — Bei hybriden Lüftungskonzepten, parallel zur mechanischen Lüftung über Fenster und Türen lüften, wie im Konzept vorgesehen — Bildungseinrichtungen: 45 min Fenster und Türen geschlossen halten — Kindertagesstätten: 1 h Fenster und Türen geschlossen halten — Anschließend Probenahme mit oder ohne anwesenden Raumnutzenden, mit laufender RLT-Anlage und weiterhin geschlossenen Fenstern und Türen^a
Wohnräume	Keine Lüftungsvorgaben Beispielsweise werden von der Rechtsprechung mindestens 3 Lüftungen am Tag als Pflicht der Raumnutzenden angesehen	<ul style="list-style-type: none"> — Individuelles Lüften — Möglichst 8 h Fenster und Türen geschlossen halten (entspricht der am längsten anzunehmenden Belastungssituation: Schlafen bei geschlossenem Fenster) — Anschließend Probenahme mit oder ohne anwesenden Raumnutzenden und weiterhin geschlossenen Fenstern und Türen^a 	<ul style="list-style-type: none"> — RLT-Anlage mindestens ab 3 h vor der Probenahme bei den für den Raum üblichen Betriebsbedingungen betreiben — Bei hybriden Lüftungskonzepten, parallel zur mechanischen Lüftung über Fenster und Türen lüften, wie im Konzept vorgesehen — Mindestens 8 h Fenster und Türen geschlossen halten — Anschließend Probenahme mit oder ohne anwesenden Raumnutzenden, mit laufender RLT-Anlage und weiterhin geschlossenen Fenstern und Türen^a
Öffentliche Gebäude (z. B. Museum, Theater, Kino, religiöse Versammlungsstätten)	Versammlungsräume und sonstige Aufenthaltsräume mit mehr als 200 m ² Grundfläche müssen gemäß § 17 (2) MVStättVO [14] Lüftungsanlagen haben. Die Vorschrift gilt nicht für Räume, die dem Gottesdienst gewidmet sind, Unterrichtsräume in allgemein- und berufsbildenden Schulen und Ausstellungsräume in Museen	<ul style="list-style-type: none"> — Witterungsabhängig 3 min im Winter/10 min im Sommer lüften — 1 h Fenster und Türen geschlossen halten — Anschließend Probenahme ohne anwesende Raumnutzende und weiterhin geschlossenen Fenstern und Türen^a 	<ul style="list-style-type: none"> — RLT-Anlage mindestens ab 3 h vor der Probenahme bei den für den Raum üblichen Betriebsbedingungen betreiben — Bei hybriden Lüftungskonzepten, parallel zur mechanischen Lüftung über Fenster und Türen lüften, wie im Konzept vorgesehen — Fenster und Türen für den Zeitraum geschlossen halten, den das Lüftungskonzept als Lüftungsintervall vorsieht — Anschließend Probenahme ohne Raumnutzende, mit laufender RLT-Anlage und weiterhin geschlossenen Fenstern und Türen^a

^aBei Probenahmen, die länger als einen Lüftungszyklus dauern, wird empfohlen entsprechend des Lüftungskonzepts ggf. mehrfach während der Probenahme zu lüften. Dies betrifft z. B. Probenahmen auf PCB (polychlorierte Biphenyle), PAK (polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe) und PCP (Pentachlorphenol) (vgl. Kap. 4.3 in [2]). Um bei der Probenahme die an Schwebstaub adsorbierten, schwerflüchtigen Stoffe zu berücksichtigen, wird bei Abwesenheit der Raumnutzenden eine Nutzungssimulation empfohlen. Sie kann z. B. durch definiertes Anblasen erfolgen (analog der Asbestprobenahme nach VDI 3492 [15])

h Stunde; *min* Minute; *MW* Mittelwert; *RLT-Anlage* Raumlüfttechnische Anlage

destens über ein dokumentiertes Qualitätssicherungssystem verfügen und erfolgreich an externen Ringversuchen und/oder Laborvergleichsuntersuchungen teilnehmen.

Schritt 4: Bewertung von Stoffen in der Innenraumluft

Im folgenden Kapitel werden die einzelnen Bewertungskonzepte dargestellt, die für eine Beurteilung von Messergebnissen einer Innenraumluftuntersuchung herangezogen werden sollten.

Für die Beurteilung der Messergebnisse sollte die hier beschriebene Bewertungshierarchie herangezogen werden (siehe **Abb. 1**, Schritt 4). Dabei ist die folgende Priorisierung zu beachten.

1. Bewertung anhand von gesetzlich vorgegebenen Beurteilungsmaßstäben, wie z. B. Grenzwerte nach BImSchV⁵ oder nach landesrechtlichen Sanierungsvorgaben
2. Gesundheitliche Bewertung von Stoffen in der Innenraumluft anhand von Richtwerten, Leitwerten für Kanzerogene⁶, hygienischen Leitwerten des AIR und den Luftgüteleitlinien der WHO (Weltgesundheitsorganisation)
3. Bewertung mithilfe von Geruchsleitwerten, wenn Beschwerden über eine Geruchsbelästigung vorliegen
4. Statistische Bewertung, die eine erste Einordnung der Belastung mit Stoffen ermöglicht (z. B. durch den Vergleich mit Referenzwerten von Einzelstoffen und dem TVOC-Wert)

Im Folgenden wird die genaue Vorgehensweise bei der Anwendung der einzelnen Beurteilungsmaßstäbe sowie die dabei heranzuziehenden Beurteilungswerte erläutert. Im Weiteren werden die Folgen einer Unter- oder Überschreitung dieser Beurteilungswerte und die sich daraus ergebenden Maßnahmen erläutert.

Gesetzlich vorgegebene Beurteilungsmaßstäbe

Grenzwerte. Bei einem Grenzwert handelt es sich entsprechend VDI 6022 Blatt 3 [5] um einen „gesetzlich festgelegten Beurteilungswert, der eingehalten und hinreichend sicher unterschritten werden muss“.

Bislang gibt es nur für Tetrachlorethen nach der 2. BImSchV einen gesetzlich festgelegten Grenzwert für Innenräume, die sich z. B. in der Nachbarschaft von Chemisch-Reinigungen befinden. Die verbindlichen Beurteilungsmaßstäbe nach Gefahrstoffverordnung (GefStoffV), wie z. B. Arbeitsplatzgrenzwerte gelten nicht für Innenraumarbeitsplätze (Büroräume) gemäß der in Schritt 1 beschriebenen Definition, weil in diesen Räumen keine Tätigkeiten mit Gefahrstoffen durchgeführt werden.

Weitere Vorgaben, z. B. bezüglich der Sanierung von Bestandsgebäuden, werden über die Sanierungsrichtlinien (zu Asbest, polychlorierte Biphenyle (PCB), Pentachlorphenol (PCP)) mit bundesspezifischen Regelungen getroffen [16–18]. Diese sind in den Technischen Baubestimmungen der Länder verankert und richten sich unabhängig vom Privatraum und vom Arbeitsbereich an den Gebäudeeigentümer bzw. die am Bau Beteiligten (§§ 53–56 MBO [3]).

Andere Rechtsbereiche (z. B. Arbeitsschutz, Immissionsschutz, Abfallrecht) bleiben unberührt, d. h. bei der Durchführung von Maßnahmen sind auch die Regelungen aus diesen Rechtsbereichen zu beachten.

Gesundheitliche Bewertung

Richtwerte. Gesundheitsbezogene Richtwerte für die Innenraumluft werden vom AIR auf der Grundlage eines Auftrags der Gesundheitsministerkonferenz erarbeitet [19]. Kennzeichnend für Richtwerte des AIR ist, dass sie auf geeigneten wissenschaftlichen Erkenntnissen zu den gesundheitlichen Wirkungen und Dosis-Wirkungs-Beziehungen des jeweiligen Stoffes oder einer Stoffgruppe beruhen. Sie werden nach einheitlichen toxikologischen Kriterien abgeleitet und schützen auch empfindliche Bevölkerungsgruppen.

Richtwerte für die Innenraumluft werden unter der Bedingung einer kontinuierlichen und ganztägigen Nutzung eines Innenraumes abgeleitet. Es handelt sich somit in der Regel um Langzeitrichtwerte. Es werden aber auch Kurzzeitrichtwert abgeleitet, wenn toxikologisch eine akute Wirkung im Vordergrund steht. Der Zeitbezug wird sowohl in den Begründungspapieren als auch in den Richtwerttabellen mit angegeben. Richtwerte sind zwar nicht wie Grenzwerte unmittelbar rechtlich bindend, geben aber dem Anwendenden in der wissenschaftlichen und behördlichen Praxis numerische Werte für eine gestufte Vorgehensweise im Rahmen einer gesundheitlichen Bewertung an die Hand.

Nach den entsprechenden Regelungen in den Bauordnungen der Länder gemäß § 3 MBO sind bauliche Anlagen und sonstige Anlagen und Einrichtungen so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass insbesondere Leben, Gesundheit und die natürlichen Lebensgrundlagen nicht gefährdet werden. Nach den entsprechenden landesrechtlichen Regelungen gemäß § 13 MBO sollen darüber hinaus unzumutbare Belästigungen nicht entstehen [3].

Der AIR berücksichtigt bei der Ableitung von Richtwerten bevölkerungsbezogene und tierexperimentelle Studien sowie Untersuchungen an Testpersonen. Die konkrete Vorgehensweise des AIR ist ausführlich im Basisschema veröffentlicht [20, 21]. Die nach dem Basisschema des AIR für Einzelstoffe abgeleiteten Richtwerte beinhalten im Allgemeinen keine Aussage über mögliche Kombinationswirkungen verschiedener Stoffe in der Innenraumluft. Die bislang festgelegten Richtwerte und ihre Begründungspapiere sind auf der Website des AIR⁷ einsehbar.


Der AIR definiert den vorsorgeorientierten Richtwert I und den gefahrenbezogenen Richtwert II wie folgt (siehe auch **Abb. 2**):

- Richtwert I (RW I) – Vorsorgewert: Dieser beschreibt die Konzentration eines Stoffes in der Innenraumluft, bei deren Einhaltung oder Unterschreitung nach gegenwärtigem Kenntnis-

⁵ Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes.

⁶ Substanz, die im medizinischen Sinn Krebs erzeugen oder diese fördern (d. h. Krebshäufigkeit erhöhen) kann.

⁷ <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/kommissionen-arbeitsgruppen/ausschuss-fuer-innenraumrichtwerte>



Richtwert	Gesundheitliche Einschätzung	Handlungsbedarf
Richtwert II erreicht oder überschritten	Gesundheitliche Gefährdung möglich	Akuter Handlungsbedarf, unverzügliches Einleiten von Maßnahmen zur Expositionsminde- rung
Richtwert II unterschritten, aber Richtwert I überschritten	Unmittelbare Gefährdung nicht zu erwarten, dennoch unerwünschte Belastung	Aus Gründen der Vorsorge sind Maßnahmen zur Expositionsminde- rung angeraten, Richtwert I als Zielwert sollte nach Möglichkeit unterschritten werden
Richtwert I erreicht oder unterschritten	Gesundheitliche Beeinträchtigung nach gegenwärtigem Forschungsstand auch bei lebenslanger Exposition nicht zu erwarten	Kein Handlungsbedarf

Abb. 2 ▲ Beurteilung von Richtwertüberschreitungen

stand auch bei lebenslanger Exposition von empfindlichen Personen keine gesundheitliche Beeinträchtigung zu erwarten ist. Es ergibt sich kein weiterer Handlungsbedarf. Der RW I bzw. seine Unterschreitung kann auch als Sanierungszielwert genutzt werden. Er sollte nicht ausgeschöpft, sondern nach Möglichkeit unterschritten werden.

Im Konzentrationsbereich zwischen RW I und RW II ist eine unmittelbare Gefährdung der Gesundheit nicht zu erwarten. Dennoch ist von einer über das übliche Maß hinausgehenden unerwünschten Belastung auszugehen. Aus Gründen der Vorsorge sollten in diesem Fall Maßnahmen zur Expositionsminde- rung ergriffen werden. Bei flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) sollte zunächst die Lüftungs- routine überprüft und wenn möglich häufiger und länger gelüftet werden. Wird trotz nachweislich verstärkter Lüftung bei einer Kontrollmessung nach einer gewissen Zeit (in der Regel nach einem Monat) der RW I immer noch überschritten, sind in einem zweiten Schritt auch weitergehende, ggf. auch bauliche Maßnahmen zu empfehlen. Eine über einen längeren Zeitraum (> 12 Monate) erhöhte Belastung ist aus Gründen der Vorsorge nicht akzeptabel.

Bei Stoffen, die auch an Partikel und Staub gebunden sind (z. B. Naphthalin und naphthalinähnliche Verbindungen), sind direkt bauliche Maßnahmen erforderlich. Vor der Umsetzung baulicher Maßnahmen kann das regelmäßige staubbindende Reinigen (feuchtes Wischen) sinnvoll sein.

- Richtwert II (RW II) – Gefahrenwert: Der RW II stellt die Konzentration ei-

nes Stoffes in der Innenraumluft dar, bei deren Erreichen oder Überschreiten unverzüglich Handlungsbedarf besteht. Diese Konzentration ist geeignet, v.a. die Gesundheit empfindlicher Personen einschließlich Kinder, insbesondere bei Daueraufenthalt in den Räumen, zu gefährden. Der Handlungsbedarf ist als unverzüglicher Prüfbedarf zu verstehen, z. B. im Hinblick auf Sanierungsentscheidungen zur Verringerung der Exposition. Es sind daher umgehend Kontrollmessungen unter üblichen Nutzungsbedingungen vorzunehmen. Im Einzelfall kann – soweit möglich und sinnvoll – auch die innere Belastung der Raumnutzenden mittels Human-Biomonitoring (HBM) ermittelt werden. Außerdem sind Empfehlungen zur Raumnutzung auszusprechen und unverzüglich Maßnahmen zur Expositionsminde- rung einzuleiten. Ist die Quelle der Belastung identifiziert, ist sie in der Regel direkt zu beseitigen. Falls die Quelle nicht kurzfristig entfernt werden kann, sollte zumindest die Exposition kurzfristig deutlich reduziert werden. Dafür sind in Absprache mit den Gesundheitsbehörden bzw. mit den verantwortlichen Stellen und in Abhängigkeit von den örtlichen Gegebenheiten vorläufige oder alternative Maßnahmen wie Versiegelung, Abschottung, Anstriche und/oder Einschränkung oder Verbot der Raumnutzung angezeigt. Gegebenenfalls müssen weitere bauliche Maßnahmen ergriffen werden. Wenn die Exposition nicht kurzfristig deutlich reduziert werden kann, kann eine Empfehlung zur Schließung der Räume notwendig sein. Alle Ermittlungen

und Maßnahmen müssen nachvollziehbar dokumentiert werden.

Leitwerte für Kanzerogene. Um eine gesundheitliche Bewertung von krebserzeugenden Stoffen (sog. kanzerogenen/ karzinogenen Stoffen) in der Innenraumluft zu ermöglichen, legte der AIR 2015 ein Konzept zur Ableitung von Leitwerten vor [22].

Die Europäische Chemikalienagentur (ECHA) empfiehlt in ihrem Leitfaden zur Risikoabschätzung, bei Expositionsabschätzungen für die Allgemeinbevölkerung aufgrund fehlender gesetzlicher Regelungen ein sogenanntes indikatives Risiko von 10^{-6} anzusetzen [23]. Dies entspricht einer zusätzlichen Krebserkrankung pro 1.000.000 exponierten Personen.

Vor diesem Hintergrund stellt der AIR in den jeweiligen stoffbezogenen Begründungspapieren den aktuellen Kenntnisstand zur gesundheitlichen Wirkung des krebserzeugenden Stoffes dar und bezieht es mithilfe von Risikomodellen auf ein abgeschätztes theoretisches Krebsrisiko von 10^{-6} . Zur Ermittlung dieses theoretischen Krebsrisikos müssen toxikologische und/ oder epidemiologische Daten zur Exposition-Risiko-Beziehung sowie wissenschaftliche Erkenntnisse zum Wirkungsmechanismus vorliegen. Das Konzept sieht vor, dass bei Vorliegen belastbarer Exposition-Risiko-Beziehungen diejenige Konzentration in der Innenraumluft zu ermitteln ist, die nach lebenslanger Exposition mit einem theoretischen Krebsrisiko von 10^{-6} verbunden ist.

Die Konzentration, die mit einem theoretischen Krebsrisiko von 10^{-6} verbunden ist, wird mit dem Referenzwert (95. Perzentil) verglichen, der in einer möglichst für Deutschland repräsentativen und aktuellen Studie aus unbelasteten Räumen statistisch ermittelt wurde (siehe Kapitel *Referenzwerte*). Dabei ist zu bedenken, dass der Referenzwert immer nur die zum Zeitpunkt der Studierendurchführung üblicherweise vorliegende Konzentration dieses Stoffes in der Innenraumluft widerspiegelt.

Anhand dieses Vergleichs wird vom AIR zur Bewertung der Exposition gegenüber krebserzeugenden Stoffen in der Innenraumluft zwischen zwei Leitwerten unterschieden:

- Ein risikobezogener Leitwert zeigt die Konzentration an, die mit einem theoretischen Krebsrisiko von 10^{-6} verbunden ist. Ein risikobezogener Leitwert wird dann festgelegt, wenn der Referenzwert des Stoffes in der Innenraumluft ein lebenslanges theoretisches Krebsrisiko von 10^{-6} unterschreitet. In diesem Fall wird die Konzentration, die einem Risiko von 10^{-6} entspricht, als risikobezogener Leitwert festgelegt. Unterhalb dieses Leitwertes hält der AIR beim derzeitigen Kenntnisstand das Ergreifen von Maßnahmen zur Expositionsminimierung für unverhältnismäßig. Werden im Rahmen von Innenraumluftmessungen Überschreitungen eines risikobezogenen Leitwertes festgestellt, sollten grundsätzlich Maßnahmen zur Expositionsminimierung ergriffen werden.
- Ein vorläufiger Leitwert wird festgelegt, wenn der herangezogene statistische Referenzwert des Stoffes in der Innenraumluft das theoretisch ermittelte Krebsrisiko von 10^{-6} überschreitet. Er entspricht in diesem Fall dem Referenzwert selbst. Da sich die Höhe der Stoffkonzentrationen in der Innenraumluft und damit ggf. auch des Referenzwertes mit der Zeit ändern kann, ist eine regelmäßige Überprüfung des vorläufigen Leitwertes erforderlich. Vorläufige Leitwerte weisen aus Sicht des Gesundheitsschutzes auch immer auf einen allgemeinen Bedarf für Minimierungsstrategien hin.

Weitere Angaben zur Messdauer bzw. Messstrategie, Anforderungen an die Bestimmungsgrenze und Ansatzpunkte für Maßnahmen zur Expositionsminimierung werden in den jeweiligen Begründungspapieren gegeben.

Hygienische Leitwerte. Hygienische Leitwerte werden festgelegt, wenn praktische Erfahrungen wiederholt gezeigt haben, dass mit steigender Konzentration eines Stoffes in der Innenraumluft die Wahrscheinlichkeit für Beschwerden oder nachteilige gesundheitliche Auswirkungen zunimmt, der Kenntnisstand aber

nicht ausreicht, um toxikologisch begründete Richtwerte abzuleiten.

Hygienische Leitwerte können bei der Bewertung von Stoffen in der Innenraumluft zur Orientierung herangezogen werden. Sie stellen keine zwingend einzuhaltenden Werte dar, bei deren Überschreitung unverzüglich gehandelt werden muss. Da das Auftreten von Beschwerden oder gesundheitlichen Auswirkungen bei Überschreitung eines hygienischen Leitwertes jedoch nicht ausgeschlossen werden können, sollte aus Gründen der Vorsorge eine Handlungsempfehlung ausgesprochen werden. Die Maßnahmen sollten darauf abzielen, die Konzentration von zum Beispiel Kohlendioxid, Kohlenmonoxid und Feinstaub (Particulate Matter – PM_{2,5}) in der Innenraumluft unter den Leitwert abzusenken. Analog zu den Maßnahmen bei Überschreitung eines RW I (im Bereich zwischen RW I und RW II) gelten verstärktes Lüften und im Fall einer Feinstaubbelastung zusätzlich das Anpassen der Reinigungsroutine als geeignet.

Globale Luftgüteleitlinien der WHO (Weltgesundheitsorganisation). Auf der Grundlage einer umfassenden Bewertung wissenschaftlicher Erkenntnisse durch eine multidisziplinäre Expertengruppe hat die WHO 2010 gesundheitsbezogene Leitlinien für die wichtigsten gesundheitsschädigenden Stoffe in der Innenraumluft abgeleitet und in ihren Luftgüteleitlinien (air quality guidelines – AQG) für Innenraumluftqualität in Europa veröffentlicht [24]. Neben diesen speziell für den Innenraum geltenden Leitlinien hat die WHO 2021 weitere Leitlinien veröffentlicht, die sowohl für die Innenraumluft als auch für die Außenluft gelten [25]. Die Leitlinien stellen keine rechtlich verbindlichen Normen dar, sondern sollen den WHO-Mitgliedstaaten vielmehr ein evidenzgeleitetes Instrument für die Erarbeitung von Rechtsvorschriften und Handlungskonzepten an die Hand geben.

Bewertung von Geruchsstoffen

Geruchsleitwerte. Unerwartete oder unangenehme Gerüche in Innenräumen sind häufig Anlass für Beschwerden über die Innenraumluftqualität. Um Beschwerden über eine Geruchsbelästigung zu ob-

jektivieren, hat der AIR 2023 ein überarbeitetes Bewertungskonzept veröffentlicht [26]. Darin stellt der AIR zur Überprüfung der Plausibilität von Beschwerden über eine Geruchsbelästigung sogenannte Geruchsleitwerte (GLW) für geruchlich relevante Stoffe zur Verfügung. Das Geruchsleitwerte-Konzept kommt nur zur Anwendung, wenn Beschwerden über eine Geruchsbelästigung vorliegen, da die Überschreitung eines GLW ohne Beschwerden keine beeinträchtigende Situation darstellt.

GLW können eine Orientierung geben, um Einzelstoffe zu identifizieren, die alleine oder in Kombination mit anderen Stoffen zu Beschwerden über eine Geruchsbelästigung führen können. Wird durch den Vergleich von Messergebnissen einer Innenraumluftmessung unter sogenannten „üblichen Nutzungsbedingungen“ das Erreichen oder Überschreiten eines GLW bestätigt, so sind die Beschwerden über eine Geruchsbelästigung als plausibel einzustufen und es kann ein abgestuftes Maßnahmenverfahren eingeleitet werden [26]. Das Verfahren unterteilt sich in erste Maßnahmen, wie verstärktes Lüften, Anpassen der Reinigungsroutine und Quellsuche. Wenn nach einem Zeitraum von 3 Monaten nach Umsetzung der ersten Maßnahmen die Beschwerden über eine Geruchsbelästigung weiterhin bestehen, können weitere Maßnahmen ergriffen werden. Weitere Maßnahmen umfassen individuelle Maßnahmen wie Raumwechsel, eingeschränkte Nutzung bis hin zur Aussetzung der Nutzung sowie mögliche bauliche Maßnahmen. Wurden Maßnahmen zur Reduktion der Geruchsbelastung umgesetzt, wird als Erfolg oder Misserfolg der Maßnahmen allein die Tatsache bewertet, ob weiterhin Beschwerden über eine Geruchsbelästigung bestehen. Werden bei der Bewertung eines Einzelstoffes sowohl der GLW als auch Richtwerte oder risikobezogene bzw. vorläufige Leitwerte erreicht oder überschritten, so sind Maßnahmen nach diesen Konzepten prioritär anzuwenden. Wird kein GLW erreicht oder überschritten, kann nicht sicher davon ausgegangen werden, dass die Beschwerden über eine Geruchsbelästigung unplausibel sind. Zahlreiche individuelle Faktoren können die Geruchswahrnehmung und -bewertung so verändern, dass

Raumnutzende Beschwerden über eine Geruchsbelästigung äußern, ohne dass eine Überschreitung eines GLW feststellbar ist. Zudem liegen aktuell nur für eine begrenzte Anzahl an Stoffen GLW vor.

Statistische Bewertung

Referenzwerte. Laut Veröffentlichungen der internationalen Gesellschaften IFCC (Internationale Vereinigung für Klinische Chemie und Labormedizin) und IUPAC (Internationale Union für reine und angewandte Chemie) ist ein Referenzwert für einen chemischen Stoff in einem Umweltmedium ein Wert, der aus einer Reihe von entsprechenden Messwerten einer Stichprobe aus einer Grundgesamtheit nach einem vorgegebenen Verfahren abgeleitet wurde [27, 28]. Referenzwerte beschreiben somit das (statistisch) übliche Vorkommen eines Stoffes in der Innenraumluft bezogen auf Messwerte, die unter bestimmten Rahmenbedingungen erhoben wurden. Es handelt sich um rein statistisch ermittelte Werte, die die allgemein vorhandene Exposition gegenüber einem Stoff abbilden können, wenn sie auf der Grundlage einer großen – im Idealfall landesweit repräsentativen – Datenmenge berechnet wurden.

Der Referenzwert soll als ein Zahlenwert angegeben werden, der eindeutig durch das angewandte statistische Verfahren und die zu einem bestimmten Zeitpunkt untersuchte Grundgesamtheit definiert ist. In Anlehnung an die Definition der HBM-Kommission [29, 30], welche die Empfehlungen von Poulsen OM et al. und Solberg HE umsetzt, gilt als Referenzwert das 95. Perzentil der gemessenen Stoffkonzentration. Als zusätzliche wichtige Information sollte unbedingt auch die Größe der Stichprobe, aus der der Referenzwert abgeleitet wurde, genannt werden. Die Vertrauenswürdigkeit des statistisch ermittelten 95. Perzentils lässt sich beispielsweise anhand der Angabe des 0,95-Konfidenzintervalls des 95. Perzentils beschreiben.

Die Anwendung von Referenzwerten ist insbesondere beim Fehlen anderer Beurteilungswerte (z.B. beim Fehlen von Grenz- oder Richtwerten) sinnvoll. Im günstigsten Fall stehen zur Bewertung Referenzwerte zur Verfügung, die das ak-

tuelle, statistisch übliche Vorkommen eines Stoffes in der Innenraumluft beschreiben. Die Aktualität der Datengrundlage für einen Referenzwert ist aufgrund der sich ständig ändernden Bau- und Einrichtungssubstanz sowie der Lebensgewohnheiten der Menschen wichtig. Mit der Über- oder Unterschreitung eines Referenzwertes ist keine gesundheitliche Bewertung verbunden, sondern lediglich die Aussage, dass das vorliegende Messergebnis über oder unter einem statistisch ermittelten Hintergrundvorkommen unter den jeweils betrachteten Rahmenbedingungen liegt. Somit sollten beim Vergleich von Messergebnissen mit Referenzwerten die Rahmenbedingungen beider Werte bekannt und möglichst gut vergleichbar sein. Zu den Rahmenbedingungen gehören insbesondere die Art der Probenahmestrategie (passiv/aktiv; Nutzungs- oder Ausgleichsbedingungen), die raumklimatischen Bedingungen, der Gebäudetyp, die Nutzungsart sowie die Aktualität (Zeitraum der Datenerhebung) und Regionalität der Referenzwerte.

Bei Überschreitung von Referenzwerten ist zu prüfen, welche Ursachen zugrunde liegen. Dies kann z.B. durch Vergleich mit der Konzentration des jeweiligen Stoffes in der Außenluft erfolgen (Straßenverkehr, benachbarte Industrie, Wetterlagen). Ebenso sind kürzlich durchgeführte bauliche Maßnahmen oder Instandhaltungsarbeiten zu berücksichtigen. Auf Grundlage dieser Informationen ist zu prüfen, ob eine dauerhafte Überschreitung der Referenzwerte oder eine Verringerung der Konzentration zu erwarten ist. Ist eine länger anhaltende Überschreitung eines Referenzwertes zu erwarten, sollte eine weitergehende fachliche Beratung z.B. durch Sachverständige erfolgen. Aus Gründen der Vorsorge sollten Maßnahmen mit dem Ziel der Referenzwertunterschreitung durchgeführt werden.

Für die Innenraumluft liegen verschiedene Sammlungen von Referenzwerten vor. Mit der Deutschen Umweltstudie zur Gesundheit (GerES) wurde von 2014 bis 2017 (GerES V) eine Erhebung der Umweltbelastung der Bevölkerung in Deutschland unter Nutzungsbedingungen durch das Umweltbundesamt durchgeführt. Ein Bestandteil der Untersuchungen war die Erhebung von Daten zu

Innenraumluftbelastungen. Dafür wurde in 639 Haushalten die Raumluftkonzentration von VOC und niedermolekularen Aldehyden mittels Passivsammler über einen Zeitraum von sieben Tagen gemessen [31–33].

Für die Bewertung von Stoffen in der Innenraumluft in Abhängigkeit von der Gebäudenutzung können weitere Referenzwerte aus verschiedenen Veröffentlichungen herangezogen werden, z.B. aus Innenraumluftuntersuchungen in Schulen und Kindergärten [34], in Kindergärten [35] in Containerbauten für Schulen und Kindergärten [36], in Schulen [37–39] und an Innenraumarbeitsplätzen [40].

Ferner verwenden und/oder veröffentlichten Messinstitute und -vereinigungen statistische Werte aus eigenen Daten, mit teilweise abweichenden Bezeichnungen und statistischen Kennwerten (z.B. 90. Perzentil). 2013 hat die Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute e.V. (AGÖF) ihre AGÖF-Orientierungswerte veröffentlicht, in die Daten aus 4846 Datensätzen der Jahre 2006 bis 2012 einfließen [41]. Diese wurden anlassbezogen unter Ausgleichsbedingungen gewonnen.

TVOC-Wert (Total volatile organic compounds). Die Summe der Konzentrationen von flüchtigen organischen Verbindungen wird auch als TVOC (total volatile organic compounds) bezeichnet. Aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzung der in der Innenraumluft auftretenden Stoffe und Stoffgemische sowie ihrer unterschiedlichen Wirkungscharakteristika ist allein auf Basis der Bestimmung der TVOC-Konzentration in der Innenraumluft grundsätzlich keine gesundheitliche Bewertung möglich. Dennoch ist die TVOC-Konzentration ein relevanter Indikator zur Einordnung der Gesamtbelastung der Innenraumluft mit und der Exposition der Raumnutzenden gegenüber VOC und sollte bei Innenraumluftmessungen berücksichtigt werden. Die 2007 veröffentlichte Empfehlung zur Anwendung von TVOC-Werten [1] beruht auf dem Stufenkonzept von Seifert (1999) [42]. Dieses Stufenkonzept wird mit diesem Leitfaden vom AIR zurückgezogen und durch einen Referenzwert ersetzt.

Die praktischen Erfahrungen haben gezeigt, dass mit steigender TVOC-Konzentration die Wahrscheinlichkeit für Richtwertüberschreitungen zunimmt. Der AIR empfiehlt daher, die TVOC-Konzentration als ersten wichtigen Untersuchungsparameter einer VOC-Gesamtbelastung der Innenraumluft zu nutzen.

Die Mess- und Berechnungsmethodik für TVOC-Werte sowie die Definition des Substanzbereiches für VOC sind nicht einheitlich festgelegt. Bei der Betrachtung und Bewertung einer TVOC-Konzentration müssen alle wesentlichen Informationen, die zur Ermittlung beigetragen haben, betrachtet und kommuniziert werden. Hilfreich ist dabei, sofern möglich, der Bezug zu Normen. So beschreibt beispielsweise die DIN ISO 16000-6 (2022-03) [43] drei Verfahren ($TVOC_{TIC/FID}$, $TVOC_{ID}$ und $TVOC_{MEQ}$)⁸ zur Berechnung des TVOC-Wertes.

Der AIR legt als Referenzwert für die TVOC-Konzentration in der Innenraumluft 950 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ fest. Dieser Wert entspricht dem 95. Perzentil der in der Deutschen Umweltstudie zur Gesundheit von 2014 bis 2017 (GerES V) [32] ermittelten Datenbasis. In der Studie wurden Passivsammler über einen Zeitraum von sieben Tagen in Aufenthaltsräumen von Wohngebäuden ($N=579$) aufgehängt, in denen sich Kinder und Jugendliche überwiegend aufhalten. Es handelte sich damit

um eine passive Langzeitprobenahme unter Nutzungsbedingungen. Die Messungen waren nicht anlassbezogen und gelten als repräsentativ für Deutschland. Die TVOC-Konzentration wurde über das FID-Signal zwischen *n*-Hexan und *n*-Hexadecan als Toluol äquivalent berechnet (entspricht somit $TVOC_{TIC/FID}$). Dieser Referenzwert sollte vorrangig mit Messungen unter Nutzungsbedingungen (aktive oder passive Probenahme) verglichen werden. Bei jeder Bewertung sollten die entsprechenden Probenahme-, Mess- und Berechnungsmethoden mit angegeben werden.

Zur Orientierung kann neben dem Referenzwert zusätzlich das 50. Perzentil (Median) betrachtet werden. Dieses entspricht in der repräsentativen GerES V-Studie einem Wert von 270 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ist ein zu vergleichender Messwert in seiner Höhe kleiner oder gleich 270 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, so bedeutet dies, dass die gemessene TVOC-Konzentration nicht höher als in 50 % der deutschen Aufenthaltsräume ist.

Die Perzentile vereinfachen eine statistische Einschätzung der Höhe der TVOC-Konzentration im Vergleich zu anderen Innenräumen in Deutschland. Für eine gesundheitliche Bewertung (siehe Kapitel *Gesundheitliche Bewertung*) muss immer eine Einzelstoffbetrachtung erfolgen. Letztlich können auch im Bereich des 50. Perzentils Richtwertüberschreitungen von Einzelstoffen vorliegen.

Als Hauptursachen für eine erhöhte TVOC-Konzentration in der Innenraumluft gelten neben den Emissionen verwendeter Bauprodukte auch das Nutzerverhalten sowie Inventar- und Gebrauchsgegenstände. Für die Begrenzung der TVOC-Konzentration aus Bauprodukten als relevante Emissionsquelle werden vom Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB)⁹ Anforderungskriterien bereitgestellt.

Aus Gründen der Vorsorge sollten auffällig hohe TVOC-Konzentrationen oberhalb von 950 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in der Innenraumluft für Raumnutzende vermieden werden. Beim Überschreiten des Referenzwer-

tes werden daher erste Maßnahmen, wie verstärktes Lüften, gegebenenfalls Anpassung der Reinigungsroutine und eine Suche nach sichtbaren Quellen empfohlen. Eine erhöhte Frischluftzufuhr über Fenster oder durch raumlufttechnische Anlagen sollte immer betrachtet und optimiert werden, da diese Maßnahme zu den wirkungsvollsten gehört. Dabei ist auch das Zusammenspiel mit dem jeweiligen Nutzerverhalten zu überprüfen, damit die Frischluftzufuhr bestmöglich Expositionseignisse (z. B. Drucken, Kochen, Abbrennen von Kerzen etc.) ausgleichen kann. Die Raumbelastungsdichte sowie Art und Menge des Inventars können geprüft und reduziert werden. Auch die Kontrolle der Reinigungsvorgänge und -mittel gehört zu den gängigen Maßnahmen. Die angesprochenen Maßnahmen sind allgemein zur Sicherstellung einer hygienisch und gesundheitlich hinreichenden Innenraumluftqualität geeignet.

Zu weitergehenden Maßnahmen gehört vorrangig die gezielte Quellensuche. Hier sollte auf die Hilfe von Sachverständigen zurückgegriffen werden, die aus dem einzelfallbezogenen Vorkommen bestimmter Stoffe und Stoffklassen die Expositionsquelle identifizieren können.

Anmerkungen

Der Entwurf dieser Mitteilung wurde von Oliver Bähre, Felicia Gerull, Jörn Hammeier, Claudia Haring, Kerstin Schluf-ter, Nadja von Hahn, Astrid Gräff, Kirsten Sucker und Madlen David erstellt und im Ausschuss für Innenraumrichtwerte (AIR) im November 2024 abgestimmt.

⁸ $TVOC_{TIC/FID}$: Die aus der Summe der Massen aller Verbindungen, die in einem festgelegten Bereich des Chromatogramms eluieren, bestimmte Massenkonzentration, quantifiziert mit Hilfe des FID-Responsefaktors für Toluol oder des TIC-Responsefaktors für Toluol, nach Korrektur um die Blindwerte der entsprechenden Verbindungen. $TVOC_{ID}$: Die Summe aller identifizierten (mittels stoffspezifischer Standards quantifizierten) zu untersuchenden Verbindungen, zuzüglich aller identifizierten nicht zu untersuchenden Verbindungen und aller nicht identifizierten Verbindungen (quantifiziert mit Hilfe des TIC-Responsefaktors für Toluol), die in einem festgelegten Bereich des Chromatogramms eluieren, nach Korrektur um die Blindwerte der entsprechenden Verbindungen. $TVOC_{MEQ}$: Die aus der VOC-Masse aus der Gesamtfläche eines bestimmten Bereichs des Chromatogramms bestimmte Konzentration, erhalten mit Hilfe einer bestimmten Trennsäule, berechnet mittels TIC- oder FID-Responsefaktor für Toluol nach Subtraktion der Gesamtfläche desselben Bereichs des Äquivalenzchromatogramms.

⁹ <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheits/kommissionen-arbeitsgruppen/ausschuss-zur-gesundheitlichen-bewertung-von>

Literatur

- Ad-hoc AG (2007) Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten. Bundesgesundheitsbl 50:990–1005. <https://doi.org/10.1007/s00103-007-0290-y>
- Ad-hoc AG (2014) Gemeinsame Mitteilung der Arbeitsgruppe Luftanalysen der Ständigen Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft und der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Kommission Innenraumlufthygiene und der Obersten Landesgesundheitsbehörden: Ermittlung und Beurteilung chemischer Verunreinigungen der Luft von Innenraumarbeitsplätzen (ohne Tätigkeit mit Gefahrstoffen). Bundesgesundheitsbl 57:1002–1018
- Musterbauordnung (MBO), Fassung November 2002, „zuletzt geändert durch Beschluss der Bauministerkonferenz vom 23./24.09.2023“. <https://www.dibt.de/fileadmin/dibt-website/Dokumente/Rechtsgrundlagen/MBO.PDF>. Zugriffen: 29. Juni 2023
- VDI 4300 Blatt 1, 2024-02, „Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Allgemeine Aspekte der Messstrategie“. Beuth Verlag, Berlin. <https://www.beuth.de/de/technische-regel-entwurf/vdi-4300-blatt-1/342674362>. Zugriffen: 17. Mai 2023
- VDI 6022 Blatt 3 Entwurf, 2023-10, „Raumlufttechnik, Raumluftqualität – Beurteilung der Raumluftqualität“. Beuth Verlag, Berlin. <https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-6022-blatt-3-raumlufttechnik-raumluftqualitaet-beurteilung-der-raumluftqualitaet-1>. Zugriffen: 21. Mai 2024
- SRU (1987) Sachverständigenrat für Umweltfragen. Luftverunreinigungen in Innenräumen. Sondergutachten, Bundestags-Drucksache 11/613. Kohlhammer, Stuttgart
- DIN EN ISO 16000-1:2006-06, 2006, „Innenraumluftverunreinigungen – Teil 1: Allgemeine Aspekte der Probenahmestrategie (ISO 16000-1:2004); Deutsche Fassung EN ISO 16000-1:2006“. Beuth Verlag, Berlin
- DGUV (2024) „Innenraumarbeitsplätze – Vorgehensempfehlung für die Ermittlungen zum Arbeitsumfeld. (Report der gewerblichen Berufsgenossenschaften, der Unfallversicherungsträger der öffentlichen Hand und des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)).“ <https://www.dguv.de/ifa/praxishilfen/innenraumarbeitsplaetze/index.jsp>
- Arbeitsstättenverordnung, 2004 zuletzt geändert 2024, „Verordnung über Arbeitsstätten (ArbStättV)“. https://www.gesetze-im-internet.de/arbstaetv_2004/ArbSt%C3%A4ttV.pdf. Zugriffen: 21. Mai 2024
- Arbeitsstättenregeln, 2024, „Technische Regeln für Arbeitsstätten (ASR)“. <https://www.baua.de/DE/Angebote/Regelwerk/ASR/ASR.html>. Zugriffen: 24. Mai 2024
- Zhao J et al (2024) Long-term prediction of the effects of climate change on indoor climate and air quality. Environ Res 243:117804. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117804>
- DIN EN ISO/IEC 17025:2018-03, 2018, „Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien“. Beuth Verlag, Berlin
- DIN EN ISO 16000-5 (2007) Innenraumluftverunreinigungen – Teil 5: Probenahmestrategie für flüchtige organische Verbindungen (VOC); Deutsche Fassung EN ISO 16000-5:2007. <https://www.vdi.de/richtlinien/details/din-en-iso-16000-5-innenraumluftverunreinigungen-teil-5-probenahmestrategie-fuer-fluechtige-organische-verbindungen-voc-iso-16000-52007-deutsche-fassung-en-iso-16000-52007>. Zugriffen: 17. Okt. 2024
- MVStätt V (2014) „Musterverordnung über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten (Muster-Versammlungsstättenverordnung – MVStättVO)“. Fachkommission Bauaufsicht der Bauministerkonferenz
- VDI 3492, 2013, VDI 3492, 2013-06, Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Messen von Immissionen – Messen anorganischer faserförmiger Partikel – Rasterelektronenmikroskopisches Verfahren. Beuth Verlag, Berlin
- MVV TB, 2023/1, „Anhang 16: Richtlinie für die Bewertung und Sanierung schwach gebundener Asbestprodukt in Gebäuden“. https://www.dibt.de/fileadmin/dibt-website/Dokumente/Referat/P5/Technische_Bestimmungen/MVV_TB_2023-1.pdf. Zugriffen: 20. Dez. 2023
- MVV TB, 2023/1, „Anlage A 3.2/1: Zur PCB-Richtlinie“. https://www.dibt.de/fileadmin/dibt-website/Dokumente/Referat/P5/Technische_Bestimmungen/MVV_TB_2023-1.pdf. Zugriffen: 20. Dez. 2023
- PCP-Richtlinie, „Richtlinie für die Bewertung und Sanierung Pentachlorophenol (PCP)-belasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden“. <https://www.dibt.de/fileadmin/dibt-website/Dokumente/Referat/II4/PCP-Richtlinie.pdf>. Zugriffen: 5. Sept. 2023
- Kraft M (2020) Atmen Sie jetzt tief ein! Von der Arbeit des Ausschusses für Innenraumrichtwerte (AIR). Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz 63(10):1187–1188. <https://doi.org/10.1007/s00103-020-03219-3>
- Ad-hoc AG (1996) Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden: Richtwerte für die Innenraumluft: Basisschema. Bundesgesundheitsbl 39:422–426
- Ad-hoc AG (2012) Richtwerte für die Innenraumluft: erste Fortschreibung des Basisschemas. Mitteilung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Kommission Innenraumlufthygiene und der Obersten Landesgesundheitsbehörden. Bundesgesundheitsblatt 55(2):279–290. <https://doi.org/10.1007/s00103-011-1420-0>
- AIR (2015) Gesundheitliche Bewertung krebserzeugender Verunreinigungen der Innenraumluft – erste Ergänzung zum Basisschema. Mitteilung des Ausschusses für Innenraumrichtwerte. Bundesgesundheitsbl 58(7):769–773. <https://doi.org/10.1007/s00103-015-2175-9>
- ECHA (2016), „Guidance on Information Requirements and Chemical Safety Assessment. Part E: Risk Characterisation. Version 3.0“. European Chemicals Agency. https://echa.europa.eu/documents/10162/13632/information_requirements_part_e_en.pdf/1da6cadd-895a-46f0-884b-00307c0438fd. Zugriffen: 5. Okt. 2023
- WHO (2010), „WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants“. World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen. <https://www.who.int/publications/i/item/9789289002134>. Zugriffen: 16. Aug. 2023
- WHO (2021) WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide“. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>. Zugriffen: 14. März 2023
- AIR (2023) Bewertung von Geruchsstoffen in der Innenraumluft – Weiterentwicklung des Geruchsleitwerte-Konzeptes des AIR. Mitteilung des Ausschusses für Innenraumrichtwerte. Bundesgesundheitsbl 66(4):452–459. <https://doi.org/10.1007/s00103-023-03682-8>
- Solberg HE (1987) Approved recommendation (1986) on the theory of reference values. Part 1. The concept of reference values. International Federation of Clinical Chemistry (IFCC), Scientific Committee, Clinical Section, Expert Panel on Theory of Reference Values. Clin Chimica Acta. [https://doi.org/10.1016/0009-8981\(87\)90224-5](https://doi.org/10.1016/0009-8981(87)90224-5)
- Poulsen OM, Holst E, Christensen JM (1997) Calculation and Application of coverage intervals for biological reference values. A supplement to the approved IFCC recommendation on the theory of reference values. Iupac Pure Appl Chem 69(7):1601–1611. <https://doi.org/10.1351/pac199769071601>
- HBM-Kommission (2009) Addendum zum Konzept der Referenz- und Human Biomonitoring-Werte in der Umweltmedizin. Stellungnahme der Kommission Human Biomonitoring des Umweltbundesamtes. Bundesgesundheitsbl 52:874–877. <https://doi.org/10.1007/s00103-009-0902-9>
- Hoopmann M et al (2023) A revised concept for deriving reference values for internal exposures to chemical substances and its application to population-representative biomonitoring data in German children and adolescents 2014–2017 (GerES V). Int J Hyg Environ Health. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2023.114236>
- Birmili W et al (2022) „Formaldehyde, aliphatic aldehydes (C₂–C₁₁), furfural, and benzaldehyde in the residential indoor air of children and adolescents during the German Environmental Survey 2014–2017 (GerES V). Indoor Air 32(1):e12927. <https://doi.org/10.1111/ina.12927>
- Fernandez Lahore A et al (2024) Exposure of Children and Adolescents to Volatile Organic Compounds in Indoor Air: Results from the German Environmental Survey 2014–2017 (GerES V). Under review in Indoor Environments
- Daniels A (2019) Abstract: Die Deutsche Umweltstudie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen 2014–2017 (GerES V) – Ergebnisse der Hausstaub- und Innenraumluftuntersuchung, S 336 ISBN 978-3-930576-11-1 (Umwelt, Gebäude & Gesundheit; „Neu-“ und Altlasten, Innenraumhygiene und Gerüche Ergebnisse des 12. Fachkongresses der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) am 17. und 18. Oktober 2019 in Hallstadt bei Bamberg
- Ostendorp G et al (2009) Aktuelle Hintergrundwerte zur VOC-Belastung in Schulen und Kindergärten in Schleswig-Holstein. Umweltmedizin Forsch Prax 14(3):135–152
- Fromme H et al (2016) Luftqualität in Kindertagesstätten – Belastung mit Kohlendioxid (CO₂), flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) und Feinstäuben – LUPE 3. Gefahrstoffe Reinhaltung Luft 3:55–61

36. MSAG SH (2011) „Raumluftuntersuchungen in öffentlichen Gebäuden in Schleswig-Holstein. Teil 2: Luftqualität in Containerbauten für Schulen und Kindergärten in Schleswig-Holstein (2010/11)“. Ministerium für Soziales, Arbeit und Gesundheit, des Landes Schleswig-Holstein. https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/G/gesundheitsschutz_umweltbezogen/Luft/Downloads/studie_Raumluft_2_2011.pdf?__blob=publicationFile&v=6. Zugegriffen: 4. Aug. 2023
37. Fromme H et al (2008) Raumluftqualität in Schulen – Belastung von Klassenräumen mit Kohlendioxid (CO₂), flüchtigen organischen Verbindungen (VOC), Aldehyden, Endotoxinen und Katzenallergenen. Gesundheitswesen 70(02):88–97. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1046775>
38. Fromme H et al (2024) Very volatile and volatile organic compounds (VVOCs/VOCs) and endotoxins in the indoor air of German schools and apartments (LUPE10). Submitted
39. Neumann HD et al (2014) VOC- und Aldehydkonzentrationen in beschwerdefreien Klassenräumen unter unterschiedlichen Nutzungs- und Lüftungsbedingungen. Gefahrstoffe-Reinhaltung Luft 74:85–94
40. von Hahn N et al (2018) Ableitung aktueller Innenraumarbeitsplatz-Referenzwerte. Gefahrstoffe-Reinhaltung Luft 78:63–71
41. AGÖF (2013) AGÖF-Orientierungswerte für flüchtige organische Verbindungen in der Raumluft (Aktualisierte Fassung vom 28. November 2013). Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute e. V. <http://www.agof.de/orientierungswerte/agof-voc-orientierungswerte.html>. Zugegriffen: 7. Aug. 2023
42. Seifert B (1999) Richtwerte für die Innenraumluft: Die Beurteilung der Innenraumluftqualität mit Hilfe der Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC-Wert). Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz. <https://doi.org/10.1007/s001030050091>
43. DIN ISO 16000-6, 2022, „Innenraumluftverunreinigungen – Teil 6: Bestimmung organischer Verbindungen (VVOC, VOC, SVOC) in Innenraum- und Prüfkammerluft durch aktive Probenahme auf Adsorptionsröhrchen, thermischer Desorption und Gaschromatographie mit MS oder MS-FID (ISO 16000-6:2021)“. Beuth Verlag, Berlin