

Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten

Handreichung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden

1 Einleitung

Die Gesundheit und das Wohlbefinden des Menschen können beim Aufenthalt in Gebäuden durch Schadstoffe in der Innenraumluft beeinträchtigt werden. Im Zusammenhang mit Befindlichkeitsstörungen und gesundheitlichen Beschwerden und/oder der Wahrnehmung von Gerüchen in Innenräumen werden deshalb häufig im privaten und öffentlichen Bereich Innenraumluftmessungen veranlasst. Neben amtlichen Institutionen sind eine Anzahl privater Gutachter, Institute und Labore auf diesem Feld tätig. Die Praxis zeigt, dass bei der Durchführung und der Beurteilung solcher Messungen nicht immer vergleichbare Verfahren und Maßstäbe zur Anwendung kommen. Um möglichen Unsicherheiten und Divergenzen in der Bewertung und daraus resultierenden Irritationen der Betroffenen und Streitigkeiten vorzubeugen, wurde diese Handreichung zur Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten von der Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden (Ad-hoc-AG IRK/AOLG) erarbeitet. Ziel und Absicht ist es, ein einheitliches Vorgehen bei der Messung

und der Bewertung der Innenraumluftqualität zu ermöglichen. Die Handreichung behandelt schwerpunktmäßig die Beurteilung von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC), gilt aber auch für andere innenraumrelevante Stoffe, für die Richt- oder Referenzwerte vorliegen.

Die Beurteilung von Messergebnissen für die Innenraumluft beruht im Prinzip auf einer Bewertungshierarchie, die

- als gesundheitliche Bewertung toxikologisch abgeleitete Richtwerte für einzelne Substanzen oder Substanzgruppen heranzieht sowie
- als vergleichende Bewertung sich an statistischen Werten orientiert (z. B. Referenzwerte von Einzelstoffen und dem VOC-Summenwert (TVOC-Wert)).

Nach Auffassung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe wird damit ein praxisbezogenes Verfahren bereitgestellt, das dem aktuellen regulatorischen Stand der Diskussion in der Bundesrepublik Deutschland entspricht und als verbindliche und differenzierte Bewertungsvorschrift für den öffentlichen Bereich sowie auch als Empfehlung für den privaten Innenraum herangezogen werden sollte. Diese Bewertungen und Empfehlungen richten sich vor allem an Beschäftigte von Behörden

(z. B. Gesundheits- und Umweltämter), an Sachverständige und an Messinstitute, die mit gesundheitlichen Fragen der Innenraumluftqualität befasst sind.

2 Begriffsbestimmungen

Innenräume. In Anlehnung an die Festlegung des Sachverständigenrates für Umweltfragen [1], die Richtlinie VDI 4300 Blatt 1 [2] und die ISO 16000-1 [3] werden als Innenräume definiert:

- 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, die nicht im Hinblick auf Luftschadstoffe den Regelungen des Gefahrstoffrechtes (insbesondere zu Arbeitsplatzgrenzwerten) unterliegen,
- Fahrgasträume von Kraftfahrzeugen und öffentlichen Verkehrsmitteln.

Für Arbeitsräume (Räume, in denen Arbeitsplätze innerhalb von Gebäuden dauerhaft eingerichtet sind) sind die

Anforderungen an Arbeitsstätten gemäß Arbeitsstättenverordnung zu beachten. Grundsätzlich gelten Räume in Arbeitsstätten (wie z. B. Büroräume) als Innenräume im obigen Sinn, wenn die dort auftretenden Luftschadstoffe nicht als Arbeitsstoffe verwendet werden oder wenn ein Arbeitsstoff aus einem gefahrstoffrechtlich geregelten Bereich in diese Räume übertritt [4].

Messverfahren. Verfahren zur Probenahme und Analyse eines oder mehrerer Stoffe in der Luft einschließlich Lagerung und Transport der Probe.

Raumluftmessungen. Im Allgemeinen umfasst der Begriff „Messung“ die Probenahme und die Analyse der Probe, die bei Innenraummessungen in der Regel getrennt erfolgen. Beim Vergleichen von Messergebnissen sind sowohl das angewandte Probenahme- und Analyseverfahren als auch die bei der Messung vorliegenden Bedingungen zu berücksichtigen. Eine Interpretation der gemessenen Werte sollte nur unter Berücksichtigung der Randbedingungen erfolgen. Vor Durchführung einer Messung ist das Messziel zu definieren. Hier stehen häufig als Ziele im Vordergrund: die Überprüfung der Einhaltung eines Richtwertes oder die Aussage über mögliche Ausgleichskonzentrationen ohne Lüftung im Raum. Die Messbedingungen orientieren sich an diesen Zielen. Die Blätter der Richtlinienreihe VDI 4300 über Probenahmestrategien geben die für die verschiedenen Ziele geeignete Vorgehensweise an. Die Überprüfung der Einhaltung eines Richtwertes erfordert die Messung unter Nutzungsbedingungen (s. auch Kapitel 9). Die Bestimmung einer Ausgleichskonzentration wird unter reduzierten Lüftungsbedingungen durchgeführt und die letzte Lüftung erfolgt in einem ausreichenden zeitlichen Abstand zu dem Beginn der Probenahme (z. B. am Vortag der Messung). Von dem Begriff „Worst-case-Bedingungen“ sollte in diesem Zusammenhang abgesehen werden. Bei den Messungen sind außergewöhnlich hohe Temperaturen und/oder Außenluftgeschwindigkeiten zu vermeiden (s. a. Kapitel 9).

Als Kurzzeitmessungen werden im Allgemeinen solche Messungen verstan-

den, deren Probenahmedauer in Abhängigkeit von der Messaufgabe weniger als eine Stunde bis hin zu einigen wenigen Stunden beträgt. Langzeitmessungen erstrecken sich über mehrere Stunden bis hin zu Tagen und Wochen.

Nutzungszyklus. Als Nutzungszyklus wird die Zeitspanne zwischen 2 Lüftungen verstanden, z. B. die Schulstunde(n) oder der Aufenthaltszeitraum zwischen 2 Pausenlüftungen.

Messunsicherheit. Die Messunsicherheit ist die Größe, mit welcher insgesamt die Unsicherheit des Ergebnisses beschrieben wird, das von einem Messgerät und/oder einem Messverfahren geliefert wird. Sie umfasst sowohl die Probenahme als auch die Analyse.

Flüchtige organische Verbindungen (VOC). Als flüchtige organische Verbindungen (VOC) werden nach internationalen Empfehlungen organisch-chemische Verbindungen des Siedebereiches von ca. 50-260°C bezeichnet (WHO 1989 [5]); dieser Bereich stimmt mit der Definition nach ECA (1997 [6]) und AgBB (2005 [7]) weitgehend überein. Nach ECA und AgBB werden als VOC organische Verbindungen bezeichnet, die analytisch auf einer deaktivierten unpolaren Säule im Elutionsbereich zwischen n-Hexan und n-Hexadecan detektierbar sind [7, 8]. VOC können als Einzelstoffe (identifizierte und nicht identifizierte Verbindungen) und im Rahmen des TVOC-Konzeptes (TVOC = Total Volatile Organic Compounds) als Summenparameter betrachtet werden. Als TVOC wird die Summe flüchtiger organischer Verbindungen, die zwischen n-Hexan und n-Hexadecan eluiert werden, bezeichnet [9]. Die Quantifizierung der identifizierten Substanzen hat substanzspezifisch anhand von Einzelstandards zu erfolgen, die der nicht identifizierten („unbekannten“) Substanzen jeweils als Toluoläquivalent. Da im Bereich zwischen n-Hexan und n-Hexadecan in Abhängigkeit von den gaschromatographischen Bedingungen (Temperaturprogramm, Säule etc.) unterschiedliche Substanzen auftreten, wird für die TVOC-Berechnung empfohlen, hinsichtlich der Abgrenzung zu den VVOC

der Substanzauswahl des AgBB für VOC zu folgen.

Schwerflüchtige organische Verbindungen (SVOC) sind organische Verbindungen, die im Retentionsbereich oberhalb von n-Hexadecan bis C22 liegen, und sehr flüchtige Verbindungen (VVOC) solche, die unterhalb von n-Hexan auftreten.

3 Werte zur Beurteilung der Innenraumluftqualität

Es gibt in Deutschland (und Europa) keine umfassend rechtsverbindliche Regelung für Qualitätsanforderungen an die Innenraumluft. Es existiert jedoch eine Anzahl von Beurteilungswerten, die je nach Autor unterschiedlich bezeichnet werden (z. B. „Richtwerte“, „Orientierungswerte“, „Zielwerte“, „Vorsorgewerte“, „Auffälligkeitwerte“) und in ihrer fachlichen Herleitung und rechtlichen Bedeutung erheblich variieren [10]. Grundsätzlich sind toxikologisch begründete Werte von statistisch definierten Referenz- oder Hintergrundwerten zu unterscheiden.

Toxikologisch begründete Werte. Richtwerte sind dadurch gekennzeichnet, dass sie auf geeigneten Erkenntnissen zu toxischen Wirkungen und Dosis-Wirkungs-Beziehungen des jeweiligen Stoffes basieren; oft enthalten sie (Un-)Sicherheitsabstände, um auch empfindliche Bevölkerungsgruppen zu schützen. Gemäß einem Beschluss der Gesundheitsministerkonferenz obliegt die Festlegung toxikologisch begründeter Richtwerte (RW) in der Bundesrepublik der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Innenraumluftthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden (Ad-hoc-AG IRK/AOLG) [11]. Vorsorgewerte werden in der Regel in einem bestimmten Abstand unterhalb toxikologisch begründeter Werte festgelegt und sollen Belastungen und Risiken gering halten sowie den Gesundheitsschutz langfristig sicherstellen.

Statistisch definierte Werte. Referenzwerte bilden die allgemein vorhandene Exposition gegenüber einem Stoff („Hintergrundbelastung“) ab und geben keinen

Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten. Handreichung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden

Zusammenfassung

Die Beurteilung von Verunreinigungen der Innenraumluft beruht auf einer Bewertungsrangfolge, die toxikologisch abgeleitete Richtwerte für einzelne Substanzen oder Substanzgruppen heranzieht sowie als vergleichende Bewertung sich an statistischen Werten (Referenzwerte von Einzelstoffen und dem TVOC-Wert) orientiert. Diese Empfehlung gilt für den privaten Innenraum, für den öffentlichen Bereich sowie für Arbeitsplätze ohne Umgang mit Gefahrstoffen. Nach Auffassung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe ist der Richtwert I (RW I) die Konzentration eines Stoffes in der Innenraumluft, bis zu der im Rahmen einer Einzelstoffbetrachtung auch bei lebenslanger Exposition keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen zu erwarten sind. Bei Konzentrationen in der Raumlufte oberhalb des Richtwertes II (RW II) sind gesundheitliche Gefahren bei empfindlichen Raumnutzern nicht mehr mit hinreichender Wahrscheinlichkeit auszuschließen. Abgeleitet wurden RW-I- und RW-II-Werte entsprechend einem Basisschema für

- Toluol (0,3 und 3 mg/m³),
- Pentachlorphenol (0,1 und 1 µg/m³),
- Dichlormethan (0,2 und 2 mg/m³),
- Styrol (0,03 und 0,3 mg/m³),
- Tris-2-chlorethylphosphat (0,005 und 0,05 mg/m³),
- bicyclische Terpene (0,2 und 2 mg/m³),
- Naphthalin (0,002 und 0,02 mg/m³) und
- aliphatische Kohlenwasserstoffe (0,2 und 2 mg/m³).

Bei Konzentrationen oberhalb des RW II besteht unverzüglicher Handlungsbedarf, z. B. im Hinblick auf Sanierungsentscheidungen zur Verringerung der Exposition. Eine Schließung der Räume kann daher notwendig sein. Im Konzentrationsbereich zwischen RW I und RW II ist zunächst verstärkt zu lüften und zu reinigen. Wenn jedoch der Richtwert I nach wie vor überschritten wird, werden in einem zweiten Schritt weitergehende Maßnahmen empfohlen. Die nachfolgende Empfehlung zur Anwendung von TVOC-Werten präzisiert das TVOC-Konzept von Seifert (1999) und gliedert sich in 5 Stufen. Unter der Voraussetzung, dass die toxikologisch begründeten Richtwerte von Einzelstoffen nicht überschritten werden, gilt:

Stufe 1: TVOC-Wert < 0,3 mg/m³: hygienisch unbedenklich, Zielwert.

Stufe 2: TVOC-Wert > 0,3–1 mg/m³: hygienisch noch unbedenklich, erhöhter Lüftungsbedarf.

Stufe 3: TVOC-Wert > 1–3 mg/m³: hygienisch auffällig, befristet (< 12 Monate) als Obergrenze für Räume, die für einen längerfristigen Aufenthalt bestimmt sind.

Stufe 4: TVOC-Wert > 3–10 mg/m³: hygienisch bedenklich, Raum befristet (maximal 1 Monat) und bei verstärkter Lüftung nutzbar.

Stufe 5: TVOC-Wert > 10–25 mg/m³: hygienisch inakzeptabel. Die Raumnutzung ist allenfalls vorübergehend täglich

(stundenweise) und bei Durchführung verstärkter regelmäßiger Lüftungsmaßnahmen zumutbar.

Referenzwerte geben keinen Aufschluss über eine Gesundheitsgefährdung. Es wird lediglich ausgesagt, dass der überwiegende Teil der Bevölkerung in einer vergleichbaren Größenordnung exponiert ist. Auch im Bereich der Innenraummessungen sollten Referenzwerte möglichst zeitnah aktualisiert werden. Wird ein Referenzwert überschritten, sollte zunächst eine Plausibilitätsprüfung vorgenommen werden. Unter Berücksichtigung der Höhe der gefundenen Konzentration und der für die Substanz bekannten toxikologischen Eigenschaften ist zu ermitteln, ob diese Referenzwert-Überschreitung gesundheitliche Relevanz haben könnte, um ggf. eine Kontrollmessung zu veranlassen. Ergebnisse von Innenraumlufte-messungen hängen erheblich von der Messstrategie, Lüftungssituation und raumklimatischen Faktoren ab. Hierzu werden standardisierte Messbedingungen empfohlen.

Schlüsselwörter

Richtwert · Referenzwert · TVOC-Wert · standardisierte Messbedingungen

Evaluation of indoor air contaminants by means of reference and guideline values

Abstract

Assessment of indoor air contaminants is recommended to be based on toxicologically derived guideline values (GV, German: Richtwerte, RW) for single substances, TVOC levels, and statistically derived reference values. This recommendation refers to private and public indoor environments and workplaces without production-related handling of hazardous substances. According to the working group's current assessments, the GV I (RW I) is a concentration below which no adverse health effects are to be expected even at life-long exposure to the respective single substance. Concentrations exceeding GV II (RW II) are likely to represent a threat to health, especially for sensitive people. According to a general scheme, guideline values I and II have been derived for

- toluene (0.3 and 3 mg/m³),
- pentachlorophenol (0.1 and 1 µg/m³),
- dichloromethane (0.2 and 2 mg/m³),
- styrene (0.03 and 0.3 mg/m³),
- tris(2-chloroethyl)phosphate (0.005 and 0.05 mg/m³),
- bicyclic terpenes (0.2 and 2 mg/m³),
- naphthalene (0.002 and 0.02 mg/m³),
- aliphatic hydrocarbons (0.2 and 2 mg/m³).

In case of concentrations exceeding GV II, immediate measures are to be taken, among them restrictions of the time spent in the room and measures to remove or reduce emission sources. At levels between GV I and GV II, increased air exchange and cleaning are adequate first steps. However, if concentrations continue to exceed GV I, more intensive measures are recommended. Based on the TVOC concept (cf. Seifert 1990), 5 stages with specific recommendations are defined provided that the special GVs ("Richtwerte") are not exceeded:

Level 1: TVOC < 0.3 mg/m³: No hygienic objections, target value.

Level 2: TVOC > 0.3–1 mg/m³: No relevant objections, but increased ventilation recommended.

Level 3: TVOC > 1–3 mg/m³: Concerning hygienic aspects, some objections due to elevated concentration level. Upper range for a maximum of 12 months. Search for sources, increased ventilation recommended.

Level 4: TVOC > 3–10 mg/m³: Major objections. Should not be tolerated for > 1 month. Restricted use only. Search for sources, intensified ventilation necessary.

Level 5: TVOC > 10–25 mg/m³: Situation not acceptable. Use only if unavoidable and then for short periods (hours) only with intensified ventilation.

An assessment based on reference values does not imply any health risk assessment. It only provides information on exposure relative to the exposure of the reference group. For comparison, regularly updated and representative reference values are recommended. In case of exceeded reference values, plausibility should be checked. Considering concentration and known toxicological data, health relevance should be estimated in order to decide on the necessity of measures to be taken. Since results of indoor air measurements are strongly influenced by sampling strategy, ventilation and climatic factors, recommendations are given in order to standardise sampling procedures and conditions.

Keywords

Guideline value · Reference value · TVOC · Standardised sampling procedures

Aufschluss über eine Gesundheitsgefährdung. Laut Veröffentlichungen der internationalen Gesellschaften IFCC und IUPAC [12, 13] 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. Es handelt sich um einen rein statistisch definierten Wert, der die Verteilung dieses Stoffes im betreffenden Umweltmedium für eine definierte Grundgesamtheit zum Zeitpunkt der Durchführung der Untersuchung beschreibt.

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. Als (oberer) Referenzwert gilt das 95. Perzentil der Stoffkonzentration in dem für die Referenzpopulation untersuchten Umweltmedium. Die Festlegung auf das 95. Perzentil stellt eine international akzeptierte Konvention dar. 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.

4 Beurteilung der Innenraumluftqualität anhand von Richtwerten

Ziel toxikologisch abgeleiteter Richtwerte ist es, dem Anwender in der wissenschaftlichen und behördlichen Praxis einen numerischen Wert an die Hand zu geben, aus dem erkennbar ist, ab welcher Konzentration des betrachteten Schadstoffes/der Schadstoffgruppe in der Innenraumluft nach aktueller wissenschaftlicher Erkenntnis eine Gesundheitsgefahr für Raumnutzer nicht mehr mit hinreichender Sicherheit auszuschließen ist, oder unterhalb welcher Konzentration ein möglicherweise bestehendes Risiko vernachlässigbar ist.

4.1 Anforderungen an Richtwerte für die Innenraumluft

Gesundheitlicher Bezug. Richtwerte werden auf der Grundlage aktueller wissenschaftlicher Erkenntnisse über die gesundheitlichen Wirkungen des betrachteten Stoffes/der Stoffgruppe abgeleitet. Auf der Basis geeigneter Tierstudien sowie Beobachtungen am Menschen werden für nicht kanzerogene Stoffe und nicht initiierend wirkende kanzerogene Stoffe (Stoffe mit nicht-stochastischen Wirkungen) zunächst die toxikologischen Basisdaten ermittelt. Zum einen die Konzentration, bis zu der noch keine gesundheitlich nachteilige (adverse) Wirkung beobachtet wurde (No Observed Adverse Effect Level – NOAEL) und zum anderen die Konzentration, ab der erste gesundheitlich schädigende Wirkungen gefunden wurden (Lowest Observed Adverse Effect Level – LOAEL). Je nach Umfang und Güte der toxikologischen Daten wird nach dem Basisschema der LOAEL-Wert mit (Un-)Sicherheits- und Extrapolationsfaktoren verknüpft, um Unsicherheiten in der Datenlage einerseits und spezifische physiologische Gegebenheiten und Risikogruppen (z. B. Kinder) andererseits zu berücksichtigen [11]. Die Richtwerte für die Innenraumluft werden unter der Bedingung einer kontinuierlichen und ganztägigen Nutzung eines Innenraumes durch empfindliche Personengruppen abgeleitet. In Ausnahmefällen wurden auch Richtwerte für unterschiedliche Zeiträume angegeben (CO und NO₂), vgl. **■ Tabelle 1.**

Bei Konzentrationen in der Raumluft oberhalb des Richtwertes II sind gesundheitliche Wirkungen bei empfindlichen Raumnutzern nicht mehr mit hinreichender Wahrscheinlichkeit auszuschließen. Dieser Richtwert II definiert somit eine Gefahrenschwelle [11], vgl. Abschnitt 4, 4.2.

Rechtlicher Bezug. Das allgemeine Polizeirecht versteht unter dem Begriff der Gefahr eine Sachlage, die bei ungehindertem, objektiv zu erwartendem Geschehensablauf in absehbarer Zeit mit hinreichender Wahrscheinlichkeit zu einem Schaden für ein geschütztes Rechtsgut führt. Dabei sind die Anforderungen an die Wahr-

Tabelle 1

Richtwerte der Ad-hoc-AG IRK/AOLG (Stand 2006)			
Verbindung	RW II (mg/m ³)	RW I (mg/m ³)	Jahr der Festlegung
Toluol	3	0,3	1996
Dichlormethan	2 (24 h)	0,2	1997
Kohlenmonoxid	60 (1/2 h) 15 (8 h)	6 (1/2 h) 1,5 (8 h)	1997
Pentachlorphenol	1 µg/m ³	0,1 µg/m ³	1997
Stickstoffdioxid	0,35 (1/2 h) 0,06 (eine Woche)	– –	1998
Styrol	0,3	0,03	1998
Quecksilber (als metallischer Dampf)	0,35 µg/m ³	0,035 µg/m ³	1999
Tris(2-chlorethyl)phosphat	0,05	0,005	2002
Bicyclische Terpene (Leitsubstanz α-Pinen)	2	0,2	2003
Naphthalin	0,02	0,002	2004
Aromatenarme Kohlenwasserstoffgemische (C9-C14)	2	0,2	2005

Maßgeblich ist die jeweils aktuelle Liste einschließlich weiterer Hinweise. Diese ist im Internet verfügbar unter: <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/gesundheit/irk.htm>

scheinlichkeit des Nicht-Auftretens eines Schadens umso höher, je höherrangig das Rechtsgut (z. B. Menschenleben) und je größer der zu erwartende Schaden (z.B. gesundheitliche Wirkungen) ist. Die Abwehr einer solchen Situation wird als Gefahrenabwehr bezeichnet.

Rechtlich ist zwischen gesetzlich festgelegten Grenzwerten (z. B. BImSchV) und Richtwerten, die keine rechtliche Bindung besitzen, zu unterscheiden. Richtwerte können allerdings faktisch oder im Vollzug, wenn ein Bezug zu einer rechtlichen Regelung besteht (z. B. im Vollzug des Landesbaurechts), justiziable Verbindlichkeit erlangen. Die rechtliche Anwendbarkeit (z. B. in Verwaltungsverfahren) wird dadurch gewährleistet, dass im Zuge der wissenschaftlichen Ableitung von Richtwerten unter Bezug auf einen bestimmten Rechtsrahmen Gefahrenaspekte (z. B. durch Einbezug des LOAEL als Ausgangspunkt der Richtwertableitung des RW II) zur Geltung kommen (s. u. 4.2).

4.2 Basisschema zur Ableitung von Richtwerten für die Innenraumluft

Mit der Veröffentlichung des so genannten Basisschemas der Ad-hoc-Arbeitsgruppe

IRK/AOLG haben das Umweltbundesamt und die Obersten Landesgesundheitsbehörden in Deutschland eine Leitlinie für die Abschätzung von Risiken durch Verunreinigungen der Innenraumluft vorgegeben [11]. Auf dieser Grundlage wurden zwischenzeitlich Richtwerte für eine Reihe von Substanzen in der Raumluft abgeleitet (<http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/gesundheit/irk.htm>).

Der Richtwert II (RW II) ist ein wirkungsbezogener, begründeter Wert, der sich auf die gegenwärtigen toxikologischen und epidemiologischen Kenntnisse zur Wirkungsschwelle eines Stoffes unter Einführung von Unsicherheitsfaktoren stützt. Er stellt die Konzentration eines Stoffes 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. Je nach Wirkungsweise des betrachteten Stoffes kann der Richtwert II als Kurzzeitwert (RW II K) oder Langzeitwert (RW II L) definiert sein.

Der Handlungsbedarf ist als unverzüglicher Prüfbedarf zu verstehen, z. B. im Hinblick auf Sanierungsentschei-

dungen zur Verringerung der Exposition. Eine Schließung der Räume kann daher notwendig sein. Die Überschreitung des RW II sollte umgehend mit einer Kontrollmessung unter üblichen Nutzungsbedingungen und – soweit möglich und sinnvoll – einer Bestimmung der inneren Belastung der Raumnutzer verbunden werden.

Der Richtwert I (RW I) ist die Konzentration eines Stoffes in der Innenraumluft, bei der im Rahmen einer Einzelstoffbetrachtung nach gegenwärtigem Erkenntnisstand auch bei lebenslanger Exposition keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen zu erwarten sind. Eine Überschreitung ist mit einer über das übliche Maß hinausgehenden, hygienisch unerwünschten Belastung verbunden. Aus Vorsorgegründen besteht auch im Konzentrationsbereich zwischen RW I und RW II Handlungsbedarf. Der RW I wird vom RW II durch Einführen eines zusätzlichen Faktors (in der Regel 10) abgeleitet. Dieser Faktor ist eine Konvention. Bei geruchsintensiven Stoffen muss der RW I abweichend von dieser schematischen Ableitung auf der Grundlage der Geruchswahrnehmung (Detektionsschwelle) festgelegt werden, wenn sich dadurch ein kleinerer Zahlenwert ergibt. Der RW I kann als Sanierungszielwert dienen. Er soll nicht „ausgeschöpft“, sondern nach Möglichkeit unterschritten werden.

Die nach dem Basisschema der Ad-hoc-AG IRK/AOLG für Einzelstoffe abgeleiteten Richtwerte beinhalten keine Aussage über mögliche Kombinationswirkungen verschiedener Substanzen. Bis jetzt sind folgende Richtwerte für Einzelstoffe und für Stoffgruppen durch die Ad-hoc-Arbeitsgruppe festgelegt worden (■ **Tabelle 1**).

Der Vorteil dieser Richtwerte für die Innenraumluft ist ihr einheitlicher, am Gefahrenbezug orientierter Ableitungsweg. Den wesentlichen rechtlichen Rahmen für die Festsetzung von Richtwerten in der Raumluft bildet das Baurecht. Laut Landesbauordnungen ist ein Gebäude so zu errichten und zu unterhalten, dass der Nutzer keinen Gesundheitsgefahren oder erheblichen Belästigungen ausgesetzt ist. Richtwert II ist dadurch charakterisiert, dass bei seiner Überschreitung im Sinne von § 3 Absatz 1 Satz 1 und § 16 der jewei-

ligen Landesbauordnung¹ mit Gesundheitsgefahren besonders für empfindliche Personen wie z. B. Schwangere, Säuglinge und Kleinkinder zu rechnen ist. Eine Überschreitung des Richtwertes I weist auf eine erhöhte, aus hygienischer Sicht unerwünschte Exposition hin.

4.3 Anwendung der Richtwerte beim Risikomanagement

In Folge einer Überschreitung eines Richtwertes I oder II sind Nutzungsempfehlungen und/oder baulich-technische Maßnahmen mögliche Optionen. Ziel der Nutzungsempfehlungen und der Sofortmaßnahmen für einen Raum ist die Vermeidung einer erhöhten Exposition der Nutzer gegenüber Schadstoffkonzentrationen oberhalb des Richtwertes II. Ziel der langfristigen Maßnahmen ist die Unterschreitung des Richtwertes I in der Luft des betreffenden Raumes.

Unter der Voraussetzung, dass die vorliegenden Messergebnisse belastbar sind, sind bei festgestellter Überschreitung des Richtwertes II zur Abwendung möglicher Gesundheitsgefahren für empfindliche Personen Nutzungsempfehlungen auszusprechen und unverzüglich expositions-mindernde Maßnahmen einzuleiten. Wenn die Quelle der Belastung identifiziert ist, ist sie in der Regel zu entfernen, bei bauseitigen Quellen durch entsprechende bauliche Maßnahmen. Falls die Quelle nicht kurzzeitig entfernt werden kann, sind in Abhängigkeit von den örtlichen Gegebenheiten und in Absprache mit dem zuständigen Amt vorläufige

¹ §3: Bauliche Anlagen sowie andere Anlagen und Einrichtungen im Sinne von § 1 Abs. 1 Satz 2 sind so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass die öffentliche Sicherheit oder Ordnung, insbesondere Leben und Gesundheit nicht gefährdet sowie die natürlichen Lebensgrundlagen geschont und keine unzumutbaren Belästigungen verursacht werden. §16: Schutz gegen schädliche Einflüsse: Bauliche Anlagen sowie andere Anlagen und Einrichtungen im Sinne des § 1 Abs. 1 Satz 2 müssen so angeordnet, beschaffen und gebrauchstauglich sein, dass durch Wasser, Feuchtigkeit, pflanzliche oder tierische Schädlinge sowie andere chemische, physikalische oder biologische Einflüsse Gefahren oder unzumutbare Belästigungen nicht entstehen. Baugrundstücke müssen für bauliche Anlagen entsprechend geeignet sein.

oder alternative Maßnahmen (Versiegelung, Abschottung, Anstriche und/oder Einschränkung oder Aufgabe der Raumnutzung) angezeigt. Die Lage der Quelle(n) und die Maßnahmen müssen hierbei nachvollziehbar dokumentiert werden.

Bei Überschreitung des Richtwertes I (im Bereich zwischen RW II und RW I) ist eine unmittelbare Gefährdung der Gesundheit nicht zu erwarten. Insbesondere bei der Wahrnehmung von Gerüchen kann es jedoch zu Befindlichkeitsstörungen und gesundheitlichen Beeinträchtigungen kommen. Nach derzeitiger wissenschaftlicher Auffassung [14] führen diese Beeinträchtigungen nicht zu adversen Auswirkungen auf die Gesundheit, können aber unter Umständen bei wiederholter oder längerer Einwirkung eine unzumutbare Belästigung darstellen.

Unter dem Gesichtspunkt der Verhältnismäßigkeit sind in dem Konzentrationsbereich zwischen RW I und RW II zunächst keine baulichen oder sonstigen quellenbezogenen Veränderungen vorzunehmen, sondern es ist vor allem verstärkt zu lüften und einzelfallbezogen (z. B. bei SVOC) verstärkt zu reinigen. Bei staubgebundenen schwerflüchtigen Substanzen ist die Exposition gegenüber Bodestaub durch regelmäßige Staub bindende Reinigung (z. B. feuchtes Wischen) zu verringern. Wenn jedoch trotz nachweisbar intensiveren Lüftens eine Kontrollmessung nach einer gewissen Zeit (in der Regel nach einem Monat) keine erkennbare Verbesserung der Luftqualität anzeigt und der Richtwert I nach wie vor überschritten wird, sind in einem zweiten Schritt auch für Konzentrationen im Bereich zwischen RW I und RW II weitergehende, gegebenenfalls auch bauliche Maßnahmen zu empfehlen, da eine über einen längeren Zeitraum (> 12 Monate) erhöhte Belastung aus Gründen der Vorsorge nicht akzeptabel ist.

Laut Definition werden die gefahrenbezogenen Richtwerte II für die Innenraumluft unter der Bedingung einer kontinuierlichen und ganztägigen Nutzung eines Innenraums durch empfindliche Personengruppen abgeleitet. Im Rahmen des Risikomanagement (mit dem Ziel der Gefahrenabwehr) kann es angezeigt sein, die Aufenthaltsdauer in bestimm-

ten Innenräumen bei der Interpretation des Richtwertes II zu berücksichtigen. Für die überwiegende Anzahl von Innenräumen verbietet sich eine Umrechnung der Richtwertkonzentration unter Berücksichtigung einer gegenüber 24 Stunden verminderten Aufenthaltszeit. Eine Berücksichtigung kann allenfalls für Räume in Betracht kommen, die wegen ihrer besonderen Funktion täglich nur zeitlich befristet genutzt werden. Voraussetzung für eine Umrechnung ist, dass die Erkenntnisse über die gesundheitliche Wirkungsweise des betrachteten Stoffes dies erlauben. Für bestimmte Räume wie z. B. Turnhallen muss aber auch bedacht werden, dass eine dort ausgeübte erhöhte körperliche Aktivität ein erhöhtes Atemminutenvolumen bedingt. Die Vorgehensweise im Einzelfall muss im Rahmen der Risikokommunikation ausreichend transparent gemacht werden.

4.4 Empfehlung

Zur Überprüfung der Über- oder Unterschreitung eines Richtwertes hat gemäß dem Basisschema eine Kontrollmessung unter Nutzungsbedingungen (s. Kapitel 9) als Grundlage für die Veranlassung weiterer Maßnahmen zu erfolgen.

5 Hygienische Bewertung anhand des TVOC-Konzeptes

Die Innenraumluft enthält stets eine Vielzahl von unterschiedlichen Substanzen. Nach der in Kapitel 4 behandelten Bewertung anhand von Richtwerten für Einzelsubstanzen kann diese Situation mit Hilfe der Summenkonzentration der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC) beurteilt werden [8]. Die Zusammensetzung des Stoffgemisches, das sich hinter der Messgröße TVOC verbirgt, unterscheidet sich von Fall zu Fall erheblich [15]. Der TVOC-Wert hat aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzung des in der Innenraumluft auftretenden Substanzgemisches keine konkrete toxikologische Basis. Er kann zur Charakterisierung der Exposition und zur Quellensuche und in der Risikobewertung als Screening-Parameter für eine mögliche sensorische Irritation benutzt werden [16]. Das TVOC-Konzept [8, 17] basiert prinzipiell auf der

statistischen Auswertung der Daten des 1. Umweltsurveys von 1985/86, bei dem die Luft in Wohnräumen untersucht wurde [18]. TVOC-Werte können damit im Sinne von Referenzwerten interpretiert werden, da in Untersuchungen TVOC-Konzentrationen um $0,3 \text{ mg/m}^3$ im Bereich des 50. Perzentil liegen und um 1 mg/m^3 etwa ein 95. Perzentil abbilden. Eine unkritische Anwendung der TVOC-Werte kann zu Fehlschlüssen führen [19].

Schon Anfang der 1980er-Jahre wurde auch versucht, die gesundheitliche Bedeutung von VOC-Gemischen zu ermitteln [20]. Experimentelle Untersuchungen mit festgelegten Lösemittelgemischen sowie die praktische Erfahrung haben gezeigt, dass mit steigender TVOC-Konzentration die Wahrscheinlichkeit für Beschwerdereaktionen und nachteilige gesundheitliche Auswirkungen zunimmt [6]. Die Frage der Bewertung des gesundheitlichen Risikos wie auch der Bewertung einer Geruchsbelästigung konnte jedoch nicht beantwortet werden, da diese nicht von der Summe der VOC, sondern entscheidend von Art und Anteilen einzelner Verbindungen abhängt.

5.1 Empfehlung zur Anwendung von TVOC-Werten

Die nachfolgende Empfehlung zur Anwendung von TVOC-Werten präzisiert das TVOC-Konzept von Seifert von 1999 [8]. Das in **■ Tabelle 2** empfohlene Schema gliedert sich in 5 Stufen, die in ihren Übergangsbereichen Spielraum für Interpretationen lassen. Die Stufen werden nachfolgend kurz vorgestellt und in der Tabelle mit weiteren Informationen und Empfehlungen aufgeführt. Die Empfehlungen sind additiv anzuwenden, d. h. die in der vorhergehenden Stufe ausgesprochenen Empfehlungen gelten – soweit sinnvoll – auch in der nächst höheren Stufe.

Voraussetzung für die Anwendung des Schemas ist, dass toxikologisch begründete Richtwerte von Einzelstoffen dabei nicht überschritten werden! Eine gesonderte Bewertung ist grundsätzlich erforderlich, wenn Substanzen mit niedrigen Geruchswahrnehmungsschwellen beteiligt sind, die auch in geringeren Konzentrationen aufgrund ihrer Geruchsaktivität

belästigend wirken können, oder wenn auffällig hohe Einzelstoffkonzentrationen auftreten.

Stufe 1. TVOC-Werte unterhalb von $0,3 \text{ mg/m}^3$ sind hygienisch unbedenklich, sofern keine Richtwerte überschritten werden. Sie werden als „Zielwert“ (hygienischer Vorsorgebereich) bezeichnet und sind mit ausreichendem zeitlichen Abstand nach Neubau oder Renovierungsmaßnahmen in Räumen erreichbar bzw. nach Möglichkeit zu unterschreiten.

Stufe 2. TVOC-Werte zwischen $> 0,3$ und 1 mg/m^3 können als hygienisch noch unbedenklich eingestuft werden, sofern keine Richtwerte überschritten sind. Dieser Konzentrationsbereich weist z. B. auf noch nicht völlig ausgelüftete Lösemittelninträge hin und indiziert die Notwendigkeit einer verstärkten Lüftung.

Stufe 3. TVOC-Werte zwischen > 1 und 3 mg/m^3 sind als hygienisch auffällig zu beurteilen und gelten befristet (< 12 Monate) als Obergrenze für Räume, die für einen längerfristigen Aufenthalt bestimmt sind. In normal genutzten Wohn-, Schul- oder Büroräumen ohne kürzlich erfolgte Renovierung oder Neumöblierung sollte eine TVOC-Konzentration unter Nutzungsbedingungen von 1 mg/m^3 nicht dauerhaft überschritten werden. Derartige Werte wären als Hinweis auf einen zusätzlichen und ggf. unerwünschten VOC-Eintrag zu werten. Die gesundheitliche Relevanz auffälliger Referenzwertüberschreitungen sollte geprüft werden. Eine toxikologische Einzelbewertung zumindest der Stoffe mit den höchsten Konzentrationen wird empfohlen. Die Nachmessung zur Überprüfung der Innenraumluftqualität erfolgt unter Nutzungsbedingungen (Kapitel 9).

Stufe 4. Räume mit TVOC-Werten zwischen > 3 und 10 mg/m^3 werden als hygienisch bedenklich beurteilt und sollten, sofern keine Alternativen zur Verfügung stehen, nur befristet (maximal ein Monat) und bei Durchführung verstärkter regelmäßiger Lüftungsmaßnahmen genutzt werden. Es ist eine toxikologische Einzelstoff- bzw. Stoffgruppenbewertung vorzunehmen. Die Nachmessung zur Über-

Tabelle 2

Hygienische Bewertung von TVOC-Werten und daraus resultierende Empfehlungen für Maßnahmen

Stufe	Konzentrationsbereich [mg/m ³]	Hygienische Bewertung	zu klärende Fragen	Empfehlungen
1	≤ 0,3 mg/m ³	Hygienisch unbedenklich In der Regel keine Beschwerden	Liegen Richtwertüberschreitungen vor?	Keine weiteren Maßnahmen
2	> 0,3–1 mg/m ³	Hygienisch noch unbedenklich, soweit keine Richtwertüberschreitungen für Einzelstoffe bzw. Stoffgruppen vorliegen. In Einzelfällen Beschwerden oder Geruchswahrnehmungen, z. B. nach kleineren Renovierungsmaßnahmen oder Neumöblierungen in den letzten Wochen	Liegen Richtwertüberschreitungen vor? Liegen auffällige Referenzwertüberschreitungen vor? Sind die raumklimatischen Bedingungen (Luftwechsel, Temperatur, Luftfeuchte) einwandfrei?	Ausreichend Lüften besonders nach Renovierungsarbeiten. VOC-Quellen ermitteln (z.B. Begehung des Raumes). Verwendung von Putz- und Reinigungsmitteln überprüfen Nachmessungen zur Kontrolle von Richtwertüberschreitungen unter Nutzungsbedingungen (s. Kapitel 9).
3	> 1–3 mg/m ³	Hygienisch auffällig. Nutzung bei Räumen, die regelmäßig genutzt werden, nur befristet akzeptabel (<12 Monate). Innerhalb von ca. 6 Monaten sollte TVOC-Konzentration deutlich unter den anfangs gemessenen TVOC-Wert abgesenkt werden. Fälle mit Beschwerden oder Geruchswahrnehmungen, z. B. nach größeren Renovierungsarbeiten	Liegen Richtwertüberschreitungen vor? Liegen auffällige Referenzwertüberschreitungen vor? Sind die raumklimatischen Bedingungen (Luftwechsel, Temperatur, Luftfeuchte) einwandfrei?	Richtwertüberschreitungen umgehend durch Nachmessung unter Nutzungsbedingungen kontrollieren und bei der Bewertung die Hinweise in Kap. 4 berücksichtigen. Auffällige Referenzwertüberschreitungen auf gesundheitliche Relevanz prüfen. In jedem Fall: Quellensuche durchführen und Lüftungsverhalten überprüfen: intensiv lüften und ggf. Nutzungs- und Lüftungsbedingungen festlegen. Kontrollmessung bzw. Nachmessung nach zirka einem Monat empfohlen (unter Nutzungsbedingungen). Liegt nach 12 Monaten trotz der beschriebenen Bemühungen die TVOC-Konzentration weiterhin über 1 mg/m ³ , so sind adäquate Sanierungsmaßnahmen in die weitere Planung aufzunehmen.
4	> 3–10 mg/m ³	Hygienisch bedenklich. Nutzung bei Räumen, die regelmäßig genutzt werden, nur befristet akzeptabel (< 1 Monat). Die TVOC-Konzentration sollte innerhalb eines Monats unter 3 mg/m ³ abgesenkt werden. Fälle mit Häufung von Beschwerden oder Geruchswahrnehmungen, z. B. nach größeren Renovierungsarbeiten.	Liegen Richtwertüberschreitungen vor? Liegen auffällige Referenzwertüberschreitungen vor? Sind die raumklimatischen Bedingungen (Luftwechsel, Temperatur, Luftfeuchte) einwandfrei?	Richtwertüberschreitungen umgehend durch Nachmessung unter Nutzungsbedingungen kontrollieren und bei der Bewertung die Hinweise in Kap. 4 berücksichtigen. Auffällige Referenzwertüberschreitungen auf gesundheitliche Relevanz prüfen. Toxikologische Bewertung von Einzelstoffen oder Stoffgruppen erforderlich. In jedem Fall: Quellensuche durchführen und intensiv lüften und ggf. Nutzungs- und Lüftungsbedingungen festlegen und geeignete Minimierungsmaßnahmen veranlassen. Ein ggf. notwendiger Aufenthalt ist nur mit zeitlicher Beschränkung pro Tag über einen vom

Tabelle 2 Fortsetzung

Hygienische Bewertung von TVOC-Werten und daraus resultierende Empfehlungen für Maßnahmen

Stufe	Konzentrationsbereich [mg/m ³]	Hygienische Bewertung	zu klärende Fragen	Empfehlungen
5	> 10 mg/m ³	<p>Hygienisch inakzeptabel.</p> <p>Raumnutzung möglichst vermeiden. Ein Aufenthalt ist allenfalls pro Tag stundenweise/zeitlich befristet zulässig.</p> <p>Bei Werten oberhalb von 25 mg/m³ ist eine Raumnutzung zu unterlassen.</p> <p>Die TVOC-Konzentration sollte innerhalb eines Monats unter 3 mg/m³ abgesenkt werden.</p> <p>In der Regel Beschwerden und Geruchswahrnehmungen z.B. nach Fehlamwendungen, Unfällen.</p>	<p>Liegen auffällige Referenzwertüberschreitungen vor?</p> <p>Liegen Richtwertüberschreitungen vor?</p> <p>Sind die raumklimatischen Bedingungen (Luftwechsel, Temperatur, Luftfeuchte) einwandfrei?</p>	<p>Gesundheitsamt vorzugebenden maximalen Zeitraum (pro Tag stundenweise/zeitlich befristet) tolerabel. Kontrollmessung bzw. Nachmessung nach ca. 1 Monat empfohlen (unter Nutzungsbedingungen).</p> <p>Liegt nach 1 Monat trotz der beschriebenen Bemühungen die TVOC-Konzentration weiterhin über 3 mg/m³, so sind adäquate Sanierungsmaßnahmen in die weitere Planung aufzunehmen.</p> <p>Richtwertüberschreitungen umgehend durch Nachmessung unter Nutzungsbedingungen kontrollieren und bei der Bewertung die Hinweise in Kap. 4 berücksichtigen.</p> <p>Auffällige Referenzwertüberschreitungen auf gesundheitliche Relevanz prüfen. Toxikologische Bewertung von Einzelstoffen oder Stoffgruppen erforderlich.</p> <p>In jedem Fall: Quellensuche durchführen und intensiv lüften und Nutzungs- und Lüftungsbedingungen festlegen und geeignete Minimierungsmaßnahmen veranlassen. Ein ggf. notwendiger Aufenthalt ist nur mit zeitlicher Beschränkung pro Tag über einen vom Gesundheitsamt vorzugebenden maximalen Zeitraum (pro Tag stundenweise/zeitlich befristet) tolerabel.</p> <p>Kontrollmessung bzw. Nachmessung innerhalb von einem Monat (unter Nutzungsbedingungen).</p> <p>Wird durch Minimierungsmaßnahmen 10 mg/m³ im betrachteten Zeitraum zwar unterschritten, eine Konzentration von 3 mg/m³ allerdings weiterhin überschritten, gelten die Maßnahmenempfehlungen wie unter Stufe 4. Liegt nach einem Monat trotz der beschriebenen Bemühungen die TVOC-Konzentration weiterhin über 10 mg/m³, so sollte die Raumnutzung unterbleiben, und es sind adäquate Sanierungsmaßnahmen zu veranlassen.</p>

prüfung der Innenraumluftqualität erfolgt unter Nutzungsbedingungen (Kapitel 9).

Stufe 5. TVOC-Werte zwischen >10 und 25 mg/m^3 werden als hygienisch inakzeptabel eingestuft. Die Raumnutzung ist in der Regel zu vermeiden, ein Aufenthalt ist allenfalls vorübergehend täglich (stundenweise) und bei Durchführung verstärkter regelmäßiger Lüftungsmaßnahmen zumutbar. Bei Werten $>25 \text{ mg/m}^3$ ist von einer Nutzung abzusehen. Die Nachmessung zur Überprüfung der Innenraumluftqualität erfolgt unter Nutzungsbedingungen (Kapitel 9).

5.2 Zeitlicher Verlauf erhöhter TVOC-Konzentrationen

Die Beurteilung anhand von Referenzwerten bzw. des TVOC-Wertes ist vor allem für Räumlichkeiten, in denen sich eine Ausgleichskonzentration in der Luft eingestellt hat, geeignet und lässt bei erhöhten Werten möglicherweise dann Rückschlüsse auf besondere Quellen zu. Wenn Quellen neu in Räume eingebracht wurden, wie dies z. B. nach Renovierungsarbeiten, Neu- und Umbauten sowie Neumöblierungen der Fall ist, sind die Raumluftkonzentrationen in den meisten Fällen zunächst hoch und fallen mit der Zeit mehr oder minder schnell auf ein „Gleichgewichtsniveau“ ab. Für manche Stoffe können die Konzentrationen auch nach einer gewissen Zeit ansteigen. Der zeitliche Abstand des Messzeitpunktes vom Zeitpunkt der Maßnahme (z. B. Renovierung) hat deshalb einen bedeutenden Einfluss auf das Ergebnis. Eine „Gleichgewichtseinstellung“ der Konzentration kann erfahrungsgemäß Monate bis zu etwa einem Jahr dauern.

In Neubauten, frisch renovierten Räumen oder nach Neumöblierungen sind deshalb für eine begrenzte Zeit (maximal 12 Monate) höhere TVOC-Konzentrationen tolerabel. Allerdings sollten 3 mg/m^3 nicht überschritten werden (s. **■ Tabelle 2**). Hierzu sind gesonderte Lüftungsempfehlungen für die Nutzung auszusprechen. In einem Zeitraum von 6 Monaten nach Neubau/Renovierung sollten erhöhte TVOC-Werte, die unter standardisierten Bedingungen (s. Kapitel 9) gemessen wurden, deutlich abgefallen

sein. Durch Wiederholungsmessungen kann der zeitliche Verlauf der Konzentration dokumentiert und eine Zeitverlaufsprognose erstellt werden.

Es ist im Übrigen darauf hinzuweisen, dass Lüftung grundsätzlich zur üblichen Nutzung von Räumen gehört, die von Personen benutzt werden. Aus besonderem Anlass wie z. B. nach einer Renovierung ist eine erhöhte Lüftungsaktivität, die ggf. mit den Raumnutzern vereinbart werden sollte, zumutbar.

6 Beurteilung der Innenraumluftqualität anhand von Referenzwerten

Bei einer vergleichenden Bewertung wird der in einer Messung gefundene Messwert mit bereits vorliegenden Erfahrungen in Beziehung gesetzt. Im günstigsten Fall liegen aktuelle Häufigkeitsverteilungen und daraus nach bestimmten Standards statistisch abgeleitete Kenngrößen (Referenzwerte) vor, die das übliche („normale“) Vorkommen einer Substanz in einem Umweltmedium beschreiben. Aufgrund seiner ausschließlich statistischen Definition ist mit einem Referenzwert grundsätzlich keine gesundheitliche Bewertung verknüpft. Liegt z. B. die Konzentration unterhalb des Referenzwertes, so ist auch damit keine gesundheitliche Bewertung verbunden, sondern es wird lediglich ausgesagt, dass der überwiegende Teil der Bevölkerung in einer vergleichbaren Größenordnung exponiert ist.

Auf ein methodisches systemimmanentes Paradoxon wird in diesem Zusammenhang hingewiesen. Da Referenzwerte als (dynamische) statistische Größen die Gegenwart von Quellen und den alltäglichen Gebrauch von Substanzen und Produkten im Innenraum für den Referenzzeitraum widerspiegeln, sind Referenzwerte im Sinne der hygienischen Bewertung vor allem für Substanzen anwendbar, die seit vielen Jahren eine breite Verwendung finden. Für erst in jüngster Zeit verstärkt angewendete Substanzen und Ersatzprodukte kann dagegen aus systematischen Gründen keine vergleichbar breite Datenbasis vorliegen. Wenn aus den vorhandenen (historischen) Datensätzen für solche neu zur Anwendung kommenden Verbindungen Referenz-

werte abgeleitet werden, so liegen diese oft nur wenig oberhalb der Nachweisgrenzen und die Verwendung einer „neuen“ Substanz im Innenraum führt zwangsläufig zu einer Überschreitung des Referenzwertes. Die Aussagekraft eines auf diese Weise abgeleiteten Referenzwertes ist gering und die Anwendung solcher Werte birgt die Gefahr in sich, dass sinnvolle Ersatzstoffe nicht eingeführt werden und die Entwicklung innovativer Produkte behindert wird. Aus dem zuvor Angeführten ergibt sich, dass sich Referenzwerte im Lauf der Zeit ändern können. Auch im Spektrum der im Innenraum vorkommenden Substanzen sowie ihrer Konzentrationen in der Raumluft und im Hausstaub ließen sich in den letzten Jahrzehnten deutliche Veränderungen beobachten. Deshalb sollten auch im Bereich der Innenraummessungen Referenzwerte möglichst zeitnah aktualisiert werden.

6.1 Zum Stand von Referenzwerten für die Innenraumluft

Als Bezugsgröße für die Innenraumluft wird in Deutschland auch heute noch auf die Untersuchung des ehemaligen Bundesgesundheitsamtes in etwa 500 westdeutschen Wohnungen verwiesen, obwohl diese Untersuchungen bereits 1985/86 durchgeführt worden waren [18]. Die aus dieser Untersuchung ermittelten Referenzwerte für Einzelsubstanzen sind heute jedoch teilweise nicht mehr aktuell und gelten streng genommen nur für die Langzeit-Probenahme mittels Diffusions-sammler. In der Folgezeit wurden in Deutschland mehrere meist regionale Untersuchungen durchgeführt. Auch wenn diese Studien im strengen Sinne nicht als repräsentativ angesehen werden können, bilden die dabei ermittelten Verteilungen die aktuelle Situation besser ab, beispielsweise Untersuchungen zur Raumluft in Schulen [21], Kindertagesstätten [22] und in Büroräumen [23].

Abweichend davon verwenden manche Messinstitute aus eigenen Daten (u. a. aus Schadensfällen) abgeleitete Werte, teilweise mit abweichenden Bezeichnungen [24, 25, 26, 27].

6.2 Empfehlungen

Wird ein Referenzwert überschritten, sollte zunächst eine Plausibilitätsprüfung vorgenommen werden. Diese Prüfung bezieht sich auf die Mess- und Umgebungsbedingungen, die Probenahme, die Güte der Messung (Qualitätssicherung) und ob es plausibel ist, dass die Substanz in der Innenraumluft vorkommt, wenn z. B. die chromatographische Stoffidentifikation nur anhand eines Vorschlags aus einer Massenspektrenbibliothek erfolgte. Unter Berücksichtigung der Höhe der gefundenen Konzentration und der für die Substanz bekannten toxikologischen Eigenschaften ist zu ermitteln, ob diese Referenzwert-Überschreitung gesundheitlich relevant ist, um ggf. eine Kontrollmessung zu veranlassen. Bei dieser wären dann analog zu der Vorgehensweise im Zusammenhang mit der Überprüfung von Richtwerten die Vorgaben des Kapitels 9 („Messstrategie“) zu beachten.

Wenn die Überschreitung des Referenzwertes bestätigt und als gesundheitlich relevant eingestuft wird, wird eine weitergehende Detailprüfung empfohlen, die eine Ursachen-/Quellensuche, eine Konzentrations-/Zeitverlaufs-Prognose und soweit erforderlich eine toxikologische Einzelbetrachtung (siehe auch Kapitel 4) einschließen sollte, um zu prüfen und zu entscheiden, ob und welche weiteren Maßnahmen zu ergreifen sind.

7 Anwendung von Messwerten zur Bewertung der Innenraumluftqualität

Erfolgreiches Handeln des öffentlichen Gesundheitsdienstes hängt von der Akzeptanz der behördlichen Vorgehensweise ab. Diese kann durch eine möglichst vollständige Transparenz in der Darstellung der vorgenommenen Risikoabschätzung und des vorgesehenen Risikomanagements erreicht werden. Transparentes Vorgehen bei der gesundheitlichen Bewertung von Verunreinigungen der Innenraumluft gelingt vor allem durch eine systematische Vorgehensweise. Diese umfasst in der Regel 3 Hauptschritte. Nach einer Bewertung der Qualität und Dokumentation der durchgeführten Messung, insbesondere

hinsichtlich Messstrategie, Randbedingungen, Messmethodik und Qualitätssicherung, auf die im Kapitel 9 eingegangen wird, wird auf Richtwertüberschreitungen einzelner Substanzen und nach dem TVOC-Konzept geprüft, darauf folgt eine vergleichende Bewertung des Messergebnisses anhand von Referenzwerten. Zeigt sich eine Richtwertüberschreitung oder eine über das Übliche hinausgehende Belastung, schließt sich eine gesundheitliche Risikobewertung an.

Es sollten nur Laboratorien mit Messungen beauftragt werden, die über ein dokumentiertes Qualitätssicherungssystem verfügen, einen Nachweis über die Vorgehensweise bei der Identifizierung der VOC und die Art und Häufigkeit der Kalibrierung erbringen und erfolgreich an externen Ringversuchen und/oder Laborvergleichsuntersuchungen teilnehmen (vgl. auch den jeweiligen Abschnitt „Qualitätssicherung“ in den verschiedenen Blättern der Richtlinienreihe VDI 4300) [28]. Es wird auch auf den Inhalt der Norm DIN EN ISO/IEC 17025 vom August 2005 über allgemeine Anforderungen an Prüf- und Kalibrierlaboratorien [29] und den von der International Organization of Standardization (ISO) 1995 herausgegebenen Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM; siehe auch „Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen“, DIN Vornorm ENV 13005, 2. Ausgabe: 1999-06) [30] verwiesen. Ein Leitfaden zur Dokumentation der bei Innenraumluftuntersuchungen festzuhaltenden Informationen findet sich als Anhang D in der EN ISO 16000-1 (2006) [3].

8 Beurteilung von Stoffen ohne Richtwerte der Ad-hoc-Arbeitsgruppe IRK/AOLG

Es existiert eine Vielzahl von Beurteilungswerten anderer Institutionen und einzelner Autoren, die zudem in ihrer fachlichen Herleitung und rechtlichen Bedeutung erheblich variieren. Ein Überblick über einzelne Werte, die Ausgangsstudien und Unsicherheitsfaktoren sowie die Quellenverweise findet sich in der Internetpräsentation des Zentrums für Excellence in Toxicology (ITER: <http://www.tera.org/iter/>).

Für eine begrenzte Anzahl von Substanzen existieren neben den für den Arbeitsplatzbereich gültigen gefahrstoffbezogenen Grenzwerten der TRGS 900 [31] toxikologisch abgeleitete Richtwerte zur Beurteilung von Luftkonzentrationen, z. B. der WHO und anderer Organisationen, wobei nicht immer zwischen Außenluft (Ambient Air) und Innenraumluft (Indoor Air) unterschieden wird. Die Werte der anderen Organisationen einschließlich der im Buch von Calabrese und Kenyon 1991 [32] veröffentlichten Monographien basieren auf veröffentlichten toxikologischen Ableitungen. Sie beinhalten die nötigen Basisdaten und besitzen die erforderliche Transparenz, sodass sich nach den o. g. Kriterien des deutschen Baurechts gegebenenfalls eine provisorische Ableitung nach dem Basisschema (s. Kapitel 4.2) vornehmen lässt. Die Werte selbst sollten nicht ohne Berücksichtigung und Überprüfung der Eignung der einzelnen Begründungen und Ableitungen einschließlich der gewählten Sicherheitsfaktoren zur Beurteilung von Raumluftbelastungen herangezogen werden.

Es handelt sich dabei beispielhaft um:

1. Air Quality Guidelines der WHO [33] <http://www.who.int/air/en/>,
2. Empfehlungen des EU-Projektes IN-DEX [34] http://www.jrc.cec.eu.int/more_information/download/index-project.pdf,
3. Minimal Risk Level (Inhalation) der ATSDR [35] <http://www.atsdr.cdc.gov/glossary.html>,
4. Reference Concentration (RfC) der US-EPA [36] <http://www.epa.gov/iris/gloss8.htm>,
5. Risk Exposure Levels (REL) der kalifornischen OEHHA [37] http://www.oehha.ca.gov/air/chronic_rels/pdf/rel-sp32k.pdf,
6. Tolerable Concentration (TC) von Health Canada [38] http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semtpubs/contaminants/index_e.html,
7. Tolerable Concentration in Air (TCA) des RIVM [39],
8. Wirkungsbezogene Innenraumrichtwerte (WIR) des österreichischen Umweltministeriums und der österreichischen Akademie der Wissenschaften [40, 41] http://www.innenraumanalytik.at/fr_texte.html

Für Krebs erzeugende Stoffe liegen auf die Konzentrationseinheit $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bezogene Risikoangaben (so genannte Unit Risk, UR) vor. Wegen des allgemeinen Fehlens einer gesellschaftlichen Akzeptanz zur Höhe des Risikos lassen sich UR in der Praxis nur beschränkt anwenden. Für Substanzen ohne erkennbare Wirkungsschwelle gilt in der Regel das Minimierungsgebot.

9 Messstrategie für die Bestimmung von Innenraumluftverunreinigungen

Zur Information über die bei Innenraumluftuntersuchungen anzuwendende Messstrategie dienen die einzelnen Blätter der VDI-Richtlinienreihe 4300, deren Inhalt sich größtenteils sinngemäß in der Normenreihe DIN ISO 16000 wiederfindet. Im Folgenden werden zusammenfassend einige zusätzliche Erläuterungen gegeben.

9.1.1 Probenahmedauer

Nach VDI 4300 Blatt 3 [28] lassen sich Kurzzeitmessverfahren von Langzeitmessverfahren unterscheiden. Als Kurzzeitmessung werden Messungen verstanden, deren Dauer weniger als eine Stunde bis hin zu einigen wenigen Stunden beträgt. Langzeitmessungen weisen eine Messdauer von mehreren Stunden bis hin zu Tagen oder Wochen auf. Für die Bestimmung von meist akut und lokal wirkenden Reizstoffen wird in der Regel eine Kurzzeitprobenahme, für solche mit systemischer und chronischer Wirkung überwiegend eine Langzeitprobenahme in Frage kommen.

Kurzzeitmessungen werden zumeist mittels aktiver Probenahme durchgeführt. Für Langzeitmessungen eignen sich die aktive Probenahme bei geringem Luftdurchsatz und auch die Probenahme mit Passivsammlern. Passivsammler arbeiten überwiegend nach dem Diffusionsprinzip und liefern einen integralen Messwert als Mittel über den gewählten Expositionszeitraum (meist wenige Tage bis hin zu mehreren Tagen oder Wochen). Konzentrationsspitzen gehen dabei in den Mittelwert ein, wie dies in EN ISO 16017-2:2003 beschrieben ist (siehe auch prEN ISO 16000-5:2005) [42, 43].

9.1.2 Ziele der Messung und Messstrategie

Ein oft nicht ausreichend beachteter Punkt ist die Bedeutung des Messzieles und der Rahmenbedingungen der Probenahme sowie die Dokumentation der Umgebungs- und Nutzungsbedingungen und der Raumausstattung.

Die Messstrategie zur Bestimmung chemischer Luftfremdstoffe sollte gemäß der VDI-Richtlinienreihe 4300 festgelegt werden. Generell ist das Ziel der Messung bei der Planung der Messungen zu definieren. Die bei der Probenahme vorliegenden Randbedingungen sind zu registrieren, zu dokumentieren und bei der Bewertung zu diskutieren [43, 44, 45]. Die Auswahl der Räume richtet sich nach den örtlichen Verhältnissen und der Raumnutzung. Grundsätzlich sollten Messungen so durchgeführt werden, dass sie die üblichen Expositionsbedingungen abbilden, was gegebenenfalls vorgegebene Lüftungsanforderungen einschließt.

Für die Auswahl des Messzeitpunktes sind neben den mit der Nutzung verbundenen Aktivitäten vor allem die abgeschätzte Quellstärke und deren Schwankungen, die Raumtemperatur und der Luftwechsel zu berücksichtigen. Ist der Raum an eine raumlufttechnische Anlage (RLT) angeschlossen, sind der übliche Leistungsverlauf der Anlage und ihre technische Funktionsfähigkeit zu berücksichtigen. Angaben zu diesen Zeitspannen finden sich in VDI 4300 Blatt 1 und in der prEN ISO 16000-5:2005 [2, 43].

Die Gründe für die Durchführung von Innenraummessungen können sehr vielfältig sein. Wichtig ist es, vor Durchführung oder Beauftragung von Messungen diese Gründe in Form von Zielen festzulegen, da mit der Festlegung von Messzielen gleichzeitig eine Festlegung der Rahmenbedingungen für die Probenahme erfolgt. Die Festlegung der Rahmenbedingungen für Innenraummessungen ist wiederum die Grundlage für die Vergleichbarkeit von Messergebnissen (die naturgemäß immer größere Schwankungsbreiten aufweisen als Messungen unter Laborbedingungen). Das Ergebnis einer „ziellosten“ Messung wird in der Regel fachlich nicht bewertbar sein, kann aber vor Ort mit betroffenen Raumnutzern zu langwierigen Diskussionen führen. Entsprechend der

Vielzahl von denkbaren Gründen für Innenraummessungen werden in den verschiedenen VDI-Vorschriften der Normenreihe 4300 und der Normenreihe DIN ISO 16000 auch unterschiedliche Möglichkeiten von Messzielen definiert (beispielhaft „Aufklärung der Gründe für Beschwerden der Raumnutzer“, „Ermittlung der Exposition der Raumnutzer gegenüber bestimmten Stoffen“, „Aussage über das Verhältnis von Innen- zu Außenluft-Konzentrationen“, „Überprüfen der Lüftungssituation in einem Raum“, „Identifizierung von Quellen“, „Überprüfung der Effektivität einer Sanierung“, „Ermittlung der unter speziellen Bedingungen auftretenden Konzentrationen“ oder „Überprüfung der Einhaltung eines Richtwertes“).

In der Praxis stellt die Überprüfung der Einhaltung von Richtwerten ein bedeutendes Messziel dar. Hierbei handelt es sich um die Richtwerte für die Innenraumluft, die von der Ad-hoc-Arbeitsgruppe IRK/AOLG abgeleitet werden und auf dem 1996 publizierten Basisschema fußen [11]. Im Basisschema wird u. a. festgelegt, dass Messwerte, die oberhalb des Richtwertes II liegen, „... umgehend mit einer Kontrollmessung unter üblichen Nutzungsbedingungen ...“ überprüft werden sollen. Der Begriff „übliche Nutzungsbedingung“ ist allerdings im Text nicht erläutert. Diese Lücke soll mit den folgenden Empfehlungen geschlossen werden.

9.1.3 Durchführung von Messungen unter Berücksichtigung von Lüftungsvorgaben und Messdauer

Als wichtige Voraussetzung für die Reproduzierbarkeit von Messergebnissen sind weitgehend standardisierte Messbedingungen einzuhalten. Bei der messtechnischen Abbildung üblicher Nutzungsbedingungen geht es um die Erfassung der tatsächlichen Exposition der Raumnutzer in Bezug auf akut wirkende Stoffe (Kurzzeitmessung) oder chronisch wirkende Stoffe (Langzeitmessung, Durchschnittsbelastung).

Im Hinblick auf die Vorbereitung der Messung muss bedacht werden, dass es einerseits Räume gibt mit allgemeinen Lüftungshinweisen, aber ohne definierte

Durchführungsvorschriften (z. B. Wohnungen, Altenheime, Einrichtungen für Kinder und Jugendliche, Büroräume), und andererseits solche mit festgelegten Lüftungsvorgaben, entsprechenden Durchführungsempfehlungen (z.B. Schulen) oder nur Hinweisen (■ **Tabelle 3**). Da oftmals entgegen diesen Vorgaben bzw. Empfehlungen oder Hinweisen die Lüftung von Räumen häufig nach den individuellen Vorstellungen und Gewohnheiten der jeweiligen Raumnutzer erfolgt, löst die Berücksichtigung von Lüftungsvorgaben bei der Durchführung von Innenraummessungen zuweilen Befremden aus. Solange innenraumbezogene Probleme nicht benannt werden, erscheint die Durchsetzung von Lüftungsvorgaben in der Regel als nicht notwendig. Nicht zuletzt aufgrund der zunehmenden energetischen Abdichtung von Räumen kommt es aber immer wieder zu Innenraumproblemen (z.B. auch aufgrund hoher CO₂-Konzentrationen, Feuchte und Schimmelpilzbefall) im Zusammenhang mit nicht ausreichender Lüftung. Spätestens dann ist es notwendig, für Räume möglicherweise vorhandene oder z.B. aufgrund von Innenraumluftproblemen ausgesprochene Lüftungsregeln bei Nutzern zu vermitteln und diese Lüftungsvorgaben auch bei den Raumluftmessungen zu berücksichtigen. Definierte Lüftungsvorgaben und Durchführungsempfehlungen finden sich beispielsweise im Schulleitfaden des Umweltbundesamtes [46] und in einem Merkblatt des niedersächsischen Landesgesundheitsamtes (NLGA) [47].

Die Temperatur während der Durchführung der Messung sollte in einem für den Raum typischen Bereich liegen, in der Regel also in dem für Innenräume üblichen Temperaturbereich von 19–24°C. Wenn bei davon abweichenden Temperaturen gemessen wird, muss dies berücksichtigt und begründet und auch die für dieses Raumklima typische Lüftungssituation in die Messstrategie einbezogen werden.

Kurzzeitmessungen. Räume mit definierter Lüftungsvorgabe (z. B. Schulen): Für den Fall, dass verbindliche Vorgaben für die Lüftung existieren, ist die Probenahme nach einem Nutzungszyklus (Zeitspanne zwischen zwei Lüftungen, z.

Tabelle 3

Probenahme unter standardisierten Bedingungen (die Lüftungs- und Nutzungsbedingungen sind zu protokollieren)

	Kurzzeitmessung (Probenahmedauer üblicherweise unter einer Stunde)	Langzeitmessungen (Probenahmedauer deutlich mehr als eine Stunde)
Räume mit definierten Lüftungsvorgaben (z. B. Schulen)	Fensterbelüftete Räume (z. B. Unterrichtsräume) werden vor Nutzungsbeginn (Unterrichtsbeginn) mindestens 5 Minuten intensiv belüftet. Anschließend werden die Fenster verschlossen und nach Ablauf des Nutzungszyklus (z. B. eine Schulstunde) erfolgt die Messung im Raum ohne weitere Lüftung. Räume mit raumlufotechnischen Anlagen werden mit der üblicherweise laufenden Lüftungseinstellung kontinuierlich belüftet. Weitere Lüftungen entfallen.	Bei Langzeitmessungen wird die vorgeschriebene Lüftung beibehalten. Die Messung beginnt nach dem ersten Lüften mit dem Schließen der Fenster und erfolgt unter üblichen Nutzungsbedingungen. Für fensterbelüftete Klassenräume bedeutet dies, dass die Messung unter Einhaltung der vorgeschriebenen Pausenlüftung bei üblicher Nutzung der Klassenräume durchgeführt werden sollte. Die Messdauer sollte nach Möglichkeit mindestens einen vollen Schultag umfassen, um so den Temperatureinfluss im Tagesgang im Mittel zu erfassen. Räume mit raumlufotechnischen Anlagen werden mit der üblicherweise laufenden Lüftungseinstellung kontinuierlich belüftet. Weitere Lüftungen entfallen.
Räume ohne definierte Lüftungsvorgabe (z. B. wohnähnliche Nutzung)	Die letzte Lüftung (mindestens 5 Minuten) erfolgt am Vorabend vor der Messung. Danach werden Fenster und Türen mindestens 8 Stunden (z. B. über Nacht) geschlossen gehalten. Während und direkt vor der Messung erfolgt keine weitere Lüftung.	Vorbereitung und Probenahmen über einige Stunden erfolgen wie „Kurzzeitmessungen“. Bei Messungen über einen Tageszyklus und länger (mehr als 24 Stunden) wird wie üblich gelüftet.

B. 1 Schulstunde) bei weiterhin geschlossenem Raum vorzunehmen. Für z. B. eine Kurzzeitmessung in Schulen sollten als Annäherung an die realen Nutzungsbedingungen nach einer Lüftung über mindestens 5 Minuten die Fenster verschlossen und eine Gleichgewichtseinstellung für den Zeitraum von einer Schulstunde (45 Minuten) abgewartet werden. Anschließend erfolgt die Kurzzeitmessung bei weiterhin geschlossenem Raum.

Räume ohne definierte Lüftungsvorgabe (wohnähnliche Nutzung): Eine Standardisierung vor der Probenahme wird dadurch vorgenommen, dass durch intensive Lüftung über mindestens 5 min eine definierte Ausgangsbasis geschaffen wird, an die sich eine längere Phase der Gleichgewichtseinstellung von mindestens 8 Stunden (z. B. über Nacht) ohne Lüftung anschließt. Die Probenahme erfolgt anschließend bei weiterhin geschlossenem Raum. Für Büroräume gelten hinsichtlich der Lüftung die Anforderungen der Arbeitsstättenverordnung und der zugeordneten derzeit gültigen Arbeitsstättenrichtlinie (ASR 5) [48]). Messungen mit dem Zweck, eine Grundlage für die gesundheitliche Bewertung zu schaffen, sind unter weitgehend standardisierten Messbedingungen durchzuführen. In Anlehnung an reale, häufig anzutreffende Verhältnisse mit mehrstündigen Perioden ohne Lüftungsmaßnahmen erfolgt die Standardisierung wie bei wohnähnlicher Nutzung (5–15 Minuten Lüftung, Messung nach Gleichgewichtseinstellung von mindestens 8 Stunden).

Langzeitmessungen. Bei Langzeitmessungen sollen die Lüftungs- und sonstigen Gewohnheiten beibehalten werden. Die üblichen Tätigkeiten sollen vor Beginn der Untersuchung abgefragt und dokumentiert werden. Dabei ist von besonderer Bedeutung, Kenntnis über die Aktivität intermittierender Quellen zu erhalten. Die übliche Raumnutzung hat eine besondere Bedeutung für Messergebnisse, die wesentlich von der Staubaufwirbelung beeinflusst werden, wie die Bestimmung staubgebundener schwer flüchtiger Verbindungen (DDT, höher chlorierte PCB).

Räume mit definierter Lüftungsvorgabe (z. B. Schulen): Langzeitmessungen werden während mehrerer Nutzungs-

zyklen unter Einhaltung der vorgeschriebenen Lüftung bei üblicher Nutzung der Räume durchgeführt, z. B. in Schulen erfolgen die Pausenlüftungen wie vorgeschrieben. Die Messung beginnt nach dem ersten Schließen der Fenster und endet vor dem letzten Öffnen der Fenster (mehrere Nutzungszyklen eingeschlossen). Vorzugsweise sind die Messungen bei gleichzeitiger Raumnutzung durchzuführen. Die Messdauer sollte nach Möglichkeit mindestens einen vollen Schultag umfassen, um so den Temperatureinfluss im Tagesgang zu erfassen.

Sofern spezifische Lüftungsvorschriften für die Büroarbeitsplätze vorliegen, sind diese zu beachten.

Räume ohne definierte Lüftungsvorgabe (wohnähnliche Nutzung): Eine Standardisierung vor der Probenahme wird dadurch vorgenommen, dass durch intensive Lüftung über mindestens 5 Minuten eine definierte Ausgangsbasis geschaffen wird, an die sich eine längere Phase der Gleichgewichtseinstellung von mindestens 8 Stunden (z. B. über Nacht) ohne Lüftung anschließt. Die Probenahme erfolgt anschließend bei weiterhin geschlossenem Raum. Für Büroräume wird zur Beurteilung des „Ist-Zustandes“ – sofern keine besondere Lüftungsvorgabe für den Büroarbeitsplatz vorliegt – eine Langzeitmessung unter den betriebsüblichen Arbeits- und Lüftungsbedingungen empfohlen.

Werden entsprechend der prEN ISO 16000-5:2005 [43] zur Durchführung von Langzeitmessungen Passivsammler verwendet, bedarf es keiner Vorbereitung des Raumes, wenn die Dauer der Messung 24 h übersteigt. Üblicherweise wird eine Probenahmedauer von einem Monat nicht überschritten, wobei in jedem Fall die Leistungsfähigkeit des verwendeten Sammlers hinsichtlich der Stabilität des Probenahmemediums und der gesammelten Menge der bestimmende Faktor ist.

9.2 Messunsicherheit

Jedes Messergebnis weist eine Messunsicherheit (Messfehler) auf, die die Abweichung eines durch Messen gewonnenen Wertes von einem als richtig angenommenen Wert beschreibt. Im Prüfbericht sollten von der Untersuchungsstelle so-

wohl die Messunsicherheit als auch die Bestimmungsgrenze angegeben werden. Es wird empfohlen, den Messfehler, der sich aus Probenahme und Analysefehler zusammensetzt, explizit durch die Angabe des absoluten oder relativen Messfehlers anzugeben. Der Messfehler kann auch implizit aus der Zahl der signifikanten Stellen des Messergebnisses ersichtlich werden, wie in der prEN ISO 16000-5:2005 definiert: „Bei den Messergebnissen werden die Zahlenwerte üblicherweise so angegeben, dass die letzte Dezimalstelle (signifikante Stelle) zugleich die Größenordnung der Messunsicherheit zu der Zeit beschreibt“ [43].

Die Frage Einhaltung oder Überschreitung des Richtwertes RW II wird allein durch den Vergleich des Messwertes mit dem Richtwert beurteilt.

9.3 Einfluss klimatischer Bedingungen

Die natürlichen Veränderungen im Außenluftbereich wie Temperatur oder Windgeschwindigkeit haben Einfluss auf die raumklimatischen Bedingungen und führen somit zu Veränderungen in der Höhe des Messergebnisses. Die Höhe der VOC-Konzentration hängt – bei sonst konstanten Bedingungen – von der Raumlufttemperatur ab, möglicherweise auch von der relativen Luftfeuchte. Für eine sinnvolle Aussage über die VOC-Konzentration der Raumluft ist es deshalb unabdingbar, die Messung unter den raumklimatischen Bedingungen durchzuführen, bei denen der zu untersuchende Raum üblicherweise genutzt wird. Liegen diese Bedingungen außerhalb des Bereiches der thermischen Behaglichkeit, so muss darauf hingewiesen werden, dass das Einhalten dieser Bedingungen Vorrang vor sonstigen Maßnahmen zur Verringerung der VOC-Konzentration haben sollte (prEN ISO 16000-5:2005 [43]).

Wie Untersuchungen zeigen, können für ein gegebenes Gebäude Windrichtung und -geschwindigkeit einen starken Einfluss auf die Luftwechselrate haben und damit zu nicht vernachlässigbaren Unterschieden im Messergebnis führen. Es sollte dokumentiert werden, wenn die Windgeschwindigkeit im Außenbereich bei natürlich belüfteten Gebäuden

im Binnenland die Kategorie Bft 3 nach Beaufort (Bft₃₋₃, 6-5, 6 m/s, „Schwache Brise“ – Blätter und dünne Zweige bewegen sich) und in der norddeutschen Tiefebene die Kategorie Bft 4 (5, 7-8, 1 m/s, „mäßige Brise“ – Zweige bewegen sich, Papier wird vom Boden gehoben, überall Schaumköpfe) überschreitet.

Dieses Papier wurde unter Federführung von Dr. Birger Heinzow und Dr. Helmut Sagunski und Beteiligung von Christoph Baudisch, Herbert Grams, Dr. Martin Kraft, Thomas Lahrz, Dr. Ludwig Müller und Dr. Jutta Witten sowie Peter Tappler (als externer Experte) erstellt und im Dezember 2006 abgeschlossen.

Literatur

1. SRU (1987) Sachverständigenrat für Umweltfragen. Luftverunreinigungen in Innenräumen. Sondergutachten, Mai 1987. Bundestags-Drucksache 11/613. Kohlhammer, Stuttgart
2. VDI 4300 Blatt 1 (1995) Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Allgemeine Aspekte der Messstrategie. Ausgabe 1995-12. Beuth Verlag, Berlin
3. EN ISO 16000-1:2006 (DIN EN ISO 16000-1): Innenraumluftverunreinigungen – Teil 1: Allgemeine Aspekte der Probenahme-strategie (ISO 16000-1:2004). Beuth Verlag, Berlin
4. Welzbacher U (1999) Rechtliche Bewertung von Innenraumbelastungen. Die BG 1999:505-511
5. WHO (1989) Indoor air quality: organic pollutants, EURO Reports and studies 111. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen
6. ECA (1997) (European Collaborative Action „Indoor Air Quality and its Impact on Man“): Total Volatile Organic Compounds (TVOC) in Indoor Air Quality Investigations. Report No. 19, EUR 17675 EN, European Commission, Joint Research Centre, Environment Institute, Ispra (VA), Italy
7. AgBB (2005) Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten. Bewertungsschema für VOC aus Bauprodukten; Stand September 2005. <http://www.umweltbundesamt.de/bauprodukte/agbb.htm>
8. Seifert B (1999) Richtwerte für die Innenraumluft. Die Beurteilung der Innenraumluftqualität mit Hilfe der Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC-Werte). Bundesgesundheitsbl – Gesundheitsforsch – Gesundheitsschutz 3:270-278
9. DIN ISO 16000-6: Innenraumluftverunreinigungen – Teil 6: Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammern, Probenahme auf TENAX TA*, thermische Desorption und Gaschromatographie mit MS/FID (ISO 16000-6:2004). Beuth Verlag, Berlin
10. Fromme H (2003) Grenz-, Richt- und Orientierungswerte. In: Beyer A, Eis D (Hrsg.) Praktische Umweltmedizin. Loseblattsammlung. Springer Verlag, Berlin
11. Ad-hoc-AG (1996) Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumluftthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden: Richtwerte für die Innenraumluft: Basisschema. Bundesgesundheitsblatt 39:422-426
12. Solberg HE (1987) International Federation of Clinical Chemistry (IFCC), Scientific Committee, Clinical Section, Expert Panel on Theory of Reference Values. Approved recommendation (1986) on the theory of reference values. Part 1. The concept of reference values. J Clin Chem Clin Biochem 25:336-342
13. Poulsen OM, Holst E, Christensen JM (1997) A supplement to the approved IFCC recommendation on the theory of reference values. Pure Appl Chem 69:1601-1611
14. Winneke G (1994) Geruchstoffe. In: Wichmann, Schlipkötter, Fülgraff (Hrsg.) Handbuch der Umweltmedizin, Kapitel 7/4.3. Springer Verlag, Heidelberg
15. Mølhave L, Clausen G, Berglund B, et al. (1997) Total Volatile Organic Compounds (TVOC) in Indoor Air Quality Investigations. Indoor Air 7:225-240
16. Mølhave L (2003) Organic compounds as indicators of air pollution. Indoor Air 13(Suppl 6):12-19
17. Seifert B (1990): Regulating indoor air. Proc. Indoor Air 90: 5:35-49
18. Krause C, Chutsch M, Henke M (1991) Institut für Wasser-, Boden- und Luftthygiene des Bundesgesundheitsamtes: Umweltsurvey 1985/86 Band IIIc: Wohn-Innenraum: Raumluft, WaBoLu Hefte 4/91, Berlin
19. Oppl R, Höder B, Lange A (2000) Innenraumluft und TVOC: Messung, Referenz- und Zielwerte, Bewertung. Bundesgesundheitsbl – Gesundheitsforsch – Gesundheitsschutz 43:513-518
20. Mølhave L, Bach R, Pederson OF (1986) Human reactions to low concentrations of volatile organic compounds. Environ Int 12:167-175
21. 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
22. Schreiner H, Wetzel H, Kirchbach I (2001) Innenraumluftbelastung deutscher Kindergärten mit flüchtigen organischen Verbindungen (VOC). Umweltmed Forsch Prax 6:143-149
23. Schlechter N, Pohl K, Barig A, et al. (2004) Beurteilung der Innenraumluft an Büroarbeitsplätzen. Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft 64:95-99
24. Scholz H (1998) Gebäudestandard 2000: Energie und Raumluftqualität. AGÖF-Kongressband, Nürnberg, S. 205-214
25. Schleibinger H, Hott U, Marchl D, et al. (2002) Ziel- und Richtwerte zur Bewertung der VOC-Konzentrationen in der Innenraumluft – ein Diskussionsbeitrag. Umweltmed Forsch Prax 7:139-147
26. Hippelein M (2003) Erhebung und Diskussion von Referenzdaten der TVOC-Konzentration in Innenräumen. Umweltmed Forsch Prax 8:87-98
27. AGÖF (2004) Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute e. V.: AGÖF-Orientierungswerte für Inhaltsstoffe von Raumluft und Hausstaub. Umwelt Gesundheit 15:6-13
28. VDI 4300 Blatt 3 (1997) Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Meßstrategie für Formaldehyd, Ausgabe 1997 – 12. Beuth Verlag, Berlin
29. DIN EN ISO/IEC 17025 Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien. Beuth Verlag, Berlin
30. ISO Guide (1995) Expression of uncertainty in measurement, Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen (GUM), publiziert gemeinsam mit BIPM, IEC, IFCC, IUPAC, IUPAP, OIML, DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Deutsche Übersetzung), Beuth Verlag, Berlin
31. TRGS 900: Technische Regeln für Gefahrstoffe: Grenzwerte in der Luft am Arbeitsplatz, „Luftgrenzwerte“, Ausgabe: Januar 2006, mit Änderungen und Ergänzungen BArbBl. Heft 12/2006 <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/TRGS-900.html>
32. Calabrese EJ, Kenyon EM (1991) Air toxics and risk assessment. Lewis Publishers, Chelsea, Michigan
33. WHO (2000) Air quality guidelines for Europe, 2nd ed. WHO Regional Publications, European Series, No. 91, WHO Regional Office for Europe, Copenhagen. http://www.euro.who.int/air/Activities/20020620_1
34. Kotzias D, Koistinen K, Kephapopoulos S, et al. (2005) The index project, critical appraisal of the setting and implementation of indoor exposure limits in the EU. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Health and Consumer Protection, Ispra (VA), Italy
35. US-ATSDR (2006) Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Minimal Risk Levels (MRLs) for Hazardous Substances, Atlanta/Georgia, <http://www.atsdr.cdc.gov/mrls.html>
36. US EPA (2006) United States Environmental protection Agency. Integrated Risk Information System, Washington DC; <http://www.epa.gov/iris/subst/index.html>
37. Cal-OEHHA (2003) Office of Environmental Health Hazard Assessment of California. Air-Chronic Reference Exposure Levels (RELs). The Air Toxics Hot Spots Program Risk Assessment Guidelines, Part 1: The Determination of Acute Reference Exposure Levels for Airborne Toxicants, March 1999 and the Air Toxics Hot Spots Program Risk Assessment Guidelines, Part III: The Determination of Chronic Reference Exposure Levels for Airborne Toxicants. www.oehha.ca.gov
38. Health Canada (2006) Environmental and workplace health. Priority substances list assessment reports. Ottawa, Canada; http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/contaminants/index_e.html
39. Baars AJ, Theelen RMC, Janssen PJCM, et al. (2001) Re-evaluation of human-toxicological maximum permissible risk levels. Report no. 711701025, National Institute of Public Health and the Environment (RIVM). Bilthoven, Niederlande
40. BMLFUW (2006) Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft. Arbeitskreis Innenraumluft am Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft/ Österreichische Akademie der Wissenschaften, Blau-Weiße Reihe (Loseblattsammlung) <http://www.innenraumanalytik.at/Newsletter/1-05.htm>
41. BMLFUW (2006) Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft. Arbeitskreis Innenraumluft am Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft/ Österreichische Akademie der Wissenschaften, Blau-Weiße Reihe (Loseblattsammlung), Richtlinienteil VOC-Allgemein <http://www.innenraumanalytik.at/Newsletter/1-05.htm>
42. EN ISO 16017-2:2003 (DIN EN ISO 16017-2 : 2003-09) Probenahme und Analyse flüchtiger organischer Verbindungen durch Sorptionsröhrchen/thermische Desorption/Kapillar-Gaschromatographie – Teil 2: Probenahme mit Passivsammlern (ISO 16017-2:2003). Beuth Verlag, Berlin
43. prEN ISO 16000-5:2005 (DIN EN ISO 16000-5): Innenraumluftverunreinigungen – Teil 5: Probenahme-strategie für flüchtige organische Verbindungen (VOC) (ISO/DIS 16000-5:2005). Beuth Verlag, Berlin

44. LfU (2003) Bayerisches Landesamt für Umweltschutz. Organische Luftschadstoffe in Innenräumen – Probenahme, Messung und Bewertung. Eigenverlag, Augsburg
45. VUP (2004) Verband unabhängiger Prüflaboratorien. Qualitätssicherung bei Innenraumuntersuchungen. VUP-Merkblatt 1.0, <http://www.vup.de/LIS/Bibliothek/Dokumente/Merkblatt%20InnenraumQS.pdf>
46. UBA (2000) Leitfaden für die Innenraumlufthygiene in Schulgebäuden. Umweltbundesamt, Berlin <http://www.apug.de/kinder/projekte/innenraumlufthygiene.htm>
47. NLGA (2005) Niedersächsisches Landesgesundheitsamt. Merkblatt: Lüftungshinweise für Arbeitsräume (Büro- und Unterrichtsräume); http://cdl.niedersachsen.de/blob/images/C9846031_L20.pdf
48. ASR 5 (1984) Arbeitsstätten-Richtlinie-Lüftung vom 22.8.1979. BArbl (1984) Nr 1 S. 103, zul. geändert BArbl. (1984) Nr 12, S 85, Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV) vom 12.8.2004. BGBl I (2004) S. 2179