

## 12.2 Messung chemischer Einwirkungen

D. Breuer, Sankt Augustin  
 Y. Giesen, Sankt Augustin  
 H.-D. Neumann, Düsseldorf  
 S. Peters, Sankt Augustin

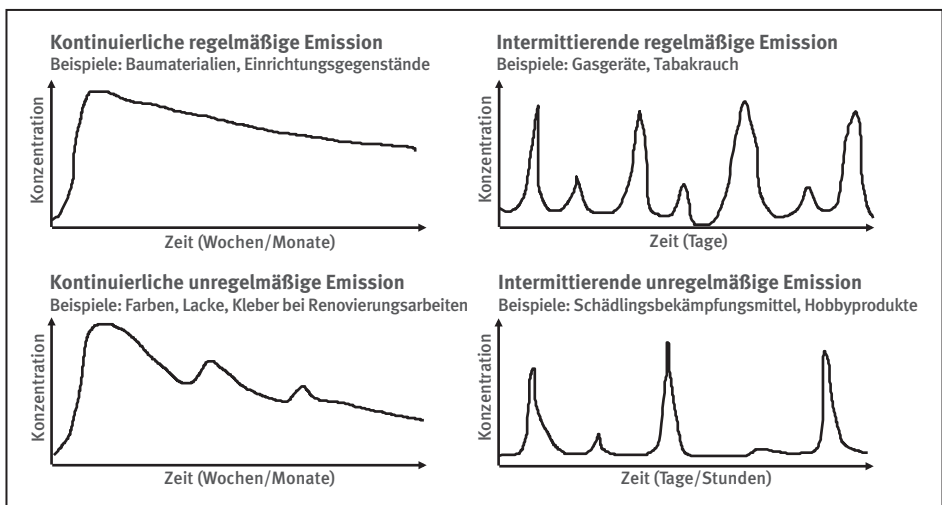
In Innenräumen ist eine kontinuierliche Schadstoffüberwachung wie bei industriellen Arbeitsplätzen in der Regel nicht möglich. Messungen vor Ort sollten mit handlichen und den betrieblichen Ablauf wenig störenden Geräten durchgeführt werden.

Für Schadstoffe in Innenräumen gibt es zahlreiche Quellen (vgl. Abschnitt 12.1), die sich in ihrem Emissionscharakter deutlich unterscheiden können. So gibt es

- kontinuierliche Quellen, die Schadstoffe über einen langen Zeitraum abgeben können (z. B. Baumaterialien oder Einrichtungsgegenstände), sowie
- intermittierende Quellen, die zu kurzzeitigen Spitzenbelastungen mit Schadstoffen führen können (z. B. Reinigungsmittel, früher auch Tabakrauch).

In Abbildung 26 sind beispielhaft die Emissionscharakteristika einiger Quellen dargestellt.

Abbildung 26:  
 Emissionscharakteristika einiger Quellen für Luftverunreinigungen in Innenräumen [1]



## 12 Chemische Einwirkungen

Für die Wahl der Messstrategie ist es wichtig, den Emissionscharakter der Schadstoffquelle zu kennen. So eignen sich für die Probenahme von Schadstoffen aus kontinuierlichen Quellen besonders Passivsammler, während für Schadstoffe, die durch diskontinuierliche Quellen freigesetzt werden, aktiv sammelnde Messsysteme die günstigere Lösung darstellen.

Ein zentrales Problem bei der Durchführung von Schadstoffmessungen in Innenräumen ist die Vielzahl der möglichen Schadstoffe und Quellencharakteristika. So sollten wenn möglich im Rahmen der Ermittlungen zu Gefahrstoffen neben Informationen über die Emissionscharakteristik bereits Hinweise auf die Art und den Ort der Quelle sowie einen möglichen Schadstoff gesammelt werden. Aus diesen Kenntnissen können dann Ort, Dauer, Häufigkeit und Anzahl der Messungen festgelegt werden.

Haben die Ermittlungen keine konkreten Hinweise zu den Gefahrstoffen ergeben, können orientierende Messungen basierend auf dem MGU-Messprogramm „Innenraummessungen“ (siehe Abschnitt 12.2.2) erfolgen. Das Messprogramm umfasst flüchtige organische Verbindungen und Aldehyde sowie Kohlendioxid.

In allen Stadien der Messungen kann das Resultat sein, dass

- die Quelle identifiziert und beseitigt werden konnte oder
- keine erhöhten Schadstoffbelastungen zu ermitteln waren.

In Fällen, in denen keine erhöhten chemischen Belastungen festzustellen sind, ist auf weitere Messungen zu verzichten. Werden Belastungen durch Schadstoffe nachgewiesen, so sind diese zu beurteilen und gegebenenfalls Maßnahmen zu ergreifen. Die Maßnahmen müssen dem Einzelfall angepasst sein und die weitere Vorgehensweise ist festzulegen. Bei Bedarf können weiterführende Messungen gemäß Richtlinienreihe VDI 4300 [2] sowie Teilen der Normenreihe DIN (EN) ISO 16000 „Innenraumluftverunreinigungen“ [3] durchgeführt werden.

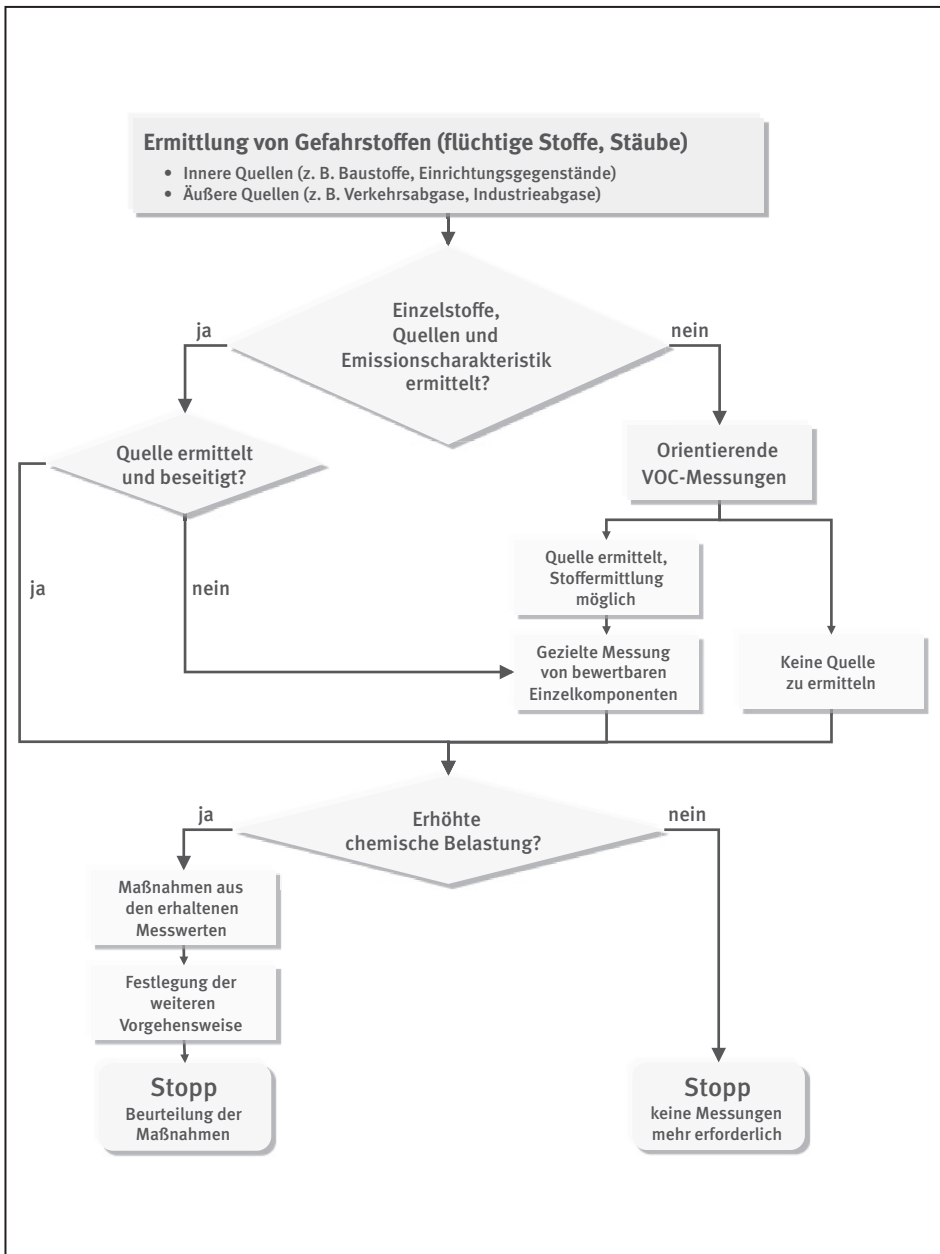
In Abbildung 27 wird die mögliche Vorgehensweise bei Schadstoffmessungen dargestellt. Innenraummessungen sind nach diesem Schema in vielen Fällen durchführbar.

### 12.2.1 Messstrategie

Die Dauer der Probenahme muss darauf abgestimmt sein, den gesuchten Stoff zu identifizieren und zu quantifizieren. Neben der zeitlichen Abhängigkeit der Messung sind auch die örtlichen Gegebenheiten zu berücksichtigen. Im Rahmen der Messung sind sämtliche Umgebungsbedingungen (Temperatur, Luftfeuchte, Luftbewegung, Ort der Messung etc.) zu erfassen.

Bei Gebäuden mit raumlufttechnischen Anlagen sind Kenntnisse über Zu- und Abluft in jedem Falle zu berücksichtigen. In derartigen Gebäuden ist es häufig möglich, dass sich eine Schadstoffquelle nicht unmittelbar in dem Raum befindet, in dem die Messung stattfindet, sondern außerhalb.

Abbildung 27:  
Ermittlung von Gefahrstoffen (Prinzipschema)



## 12 Chemische Einwirkungen

Die Art des Raums spielt ebenfalls eine wichtige Rolle. In großen Räumen (z. B. Großraumbüros) sind die geeigneten Messbedingungen anders als in kleineren Büroräumen.

Die Wahl des Probenahmeortes ist von besonderer Bedeutung. Im Allgemeinen wird die Mitte eines Raumes als günstiger Messort angesehen. Die Probenahme sollte in Höhe des Atembereichs erfolgen, bei sitzender Tätigkeit 1 bis 1,5 m oberhalb des Fußbodens. In Großraumbüros kann es sinnvoll sein, an mehreren Stellen zu messen. Gleiches gilt, wenn innerhalb eines Raums Konzentrationsgradienten auftreten können.

Bei Kurzzeitmessungen muss darauf geachtet werden, dass sich die Randbedingungen während der Probenahme (z. B. durch das Öffnen von Fenstern) nicht gravierend ändern. Langzeitmessungen sollten möglichst unter üblichen Arbeitsbedingungen durchgeführt werden. Verwendet man Passivsammler als Langzeit-Probenahmeeinrichtung, muss man immer auf die Luftbewegung und die Position im Raum achten, ansonsten kann es z. B. in Zimmerecken zu Minderbefunden kommen.

In jedem Fall sind die Randbedingungen der Messung auf den Messort abzustimmen. Eine Entscheidung über die Probenahme-strategie kann erst im Rahmen einer Begehung vor Ort gefällt werden. Zur Probenahme-strategie an Arbeitsplätzen erarbeitet derzeit eine Arbeitsgruppe der Deutschen Forschungsgemeinschaft ein Grundsatzpapier.

### 12.2.2 MGU-Messprogramm „Innenraummessungen“

Seit mehr als zehn Jahren werden im Messsystem Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger (MGU) Messdaten zu Gefahrstoffen bei Innenraumuntersuchungen erhoben. Die zugehörigen Messverfahren im MGU [4; 5] wurden in Anlehnung an DIN EN ISO 16017-1 [6] entwickelt und eingeführt. Es handelt sich dabei um Messverfahren zur Ermittlung der Konzentrationen von

- flüchtigen organischen Verbindungen (VOC, volatile organic compounds) gemäß [4],
- Aldehyden, insbesondere Formaldehyd, gemäß [5] und
- Kohlendioxid.

Für die flüchtigen organischen Verbindungen werden sowohl deren Summenkonzentration (TVOC, total volatile organic compounds) als auch – soweit möglich – die Konzentrationen bestimmter Einzelstoffe analytisch ermittelt. Im Laufe der Jahre wurde die Liste der untersuchten Einzelstoffe von ursprünglich 25 auf 40 erweitert. Notwendig wurden die Ergänzungen einerseits durch die Berücksichtigung von Einzelstoffen, die im Zuge des Messprogramms „Innenraummessungen“ wiederholt in Proben nachgewiesen wurden. Andererseits wurden Stoffe wie Naphthalin und aromatenarme Kohlenwasserstoffgemische (Kettenlänge  $C_9$  bis  $C_{14}$ ), für die in der Zwischenzeit Richtwerte der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden aufgestellt wurden, in das Untersuchungsprogramm aufgenommen.

### Probenahme

Zur Vorbereitung der Messung der Konzentrationen von flüchtigen organischen Verbindungen sowie Aldehyden werden nach vorangegangener intensiver Lüftung (15 Minuten) der natürlich belüfteten Innenräume Türen und Fenster für einen Zeitraum von mindestens acht Stunden (am einfachsten über Nacht) geschlossen.

Die Probenahme erfolgt im Anschluss bei weiterhin geschlossenen Türen und Fenstern. Es ist darauf zu achten, dass nach dem Lüften in den Räumen bis zum Abschluss der Messungen nicht geraucht wird. Während der Messung kann in den Räumen weiter gearbeitet werden.

Bei der Untersuchung von Räumen, die über eine Raumluftechnische Anlage (RLT-Anlage) belüftet werden, ist die Anlage vor der Probenahme drei Stunden lang bei den für den Raum üblichen Betriebsbedingungen zu betreiben.

In Analogie dazu soll nach DIN EN ISO 16000-1 auch in Räumen verfahren werden, für die Lüftungsanweisungen vorliegen (zum Beispiel in Schulen und Kindergärten). Demnach ist dort vor der Messung ein vollständiger und typischer Nutzungszyklus abzuwarten. Dieser würde im Schulbetrieb üblicherweise maximal eine Schulstunde betragen. Da sich durch diese Art der Lüftung die Konzentrationen im Raum deutlich verringern, würde eine Suche nach der Ursache für eine mangelnde Luftqualität infolge baulicher oder einrichtungstechnischer Quellen, wie sie ansonsten in natürlich belüfteten Räumen notwendig wäre, deutlich erschwert. In Schulen und Kindertageseinrichtungen

ließe sich so jedes Problem „weglüften und wegmessen“ [7]. Dieses sollte aber gerade in Bereichen, in denen sich Kinder und Jugendliche aufhalten, nicht der Standard sein. Daher wird empfohlen, zum Aufspüren der Quelle auch diese Räume mindestens acht Stunden vor der Probenahme geschlossen zu halten.

Erfolgt die Innenraummessung aufgrund von Klagen über die Raumluftqualität, ist es sinnvoll, eine Parallelmessung in einem unbelasteten Vergleichsraum (Raum ohne Beschwerden) durchzuführen, um raumspezifische Unterschiede zu erkennen und mögliche Quellen zu identifizieren. Der Vergleichsraum liegt möglichst in räumlicher Nähe und weist eine vergleichbare Größe und Nutzung wie der belastete Raum auf.

Als weitere Referenzmessung dient die Messung der Konzentration von flüchtigen organischen Verbindungen und Aldehyden in der Außenluft. Sind in mehreren belasteten Räumen Messungen vorgesehen und finden diese Messungen an unterschiedlichen Tagen statt, so ist eine Außenluftreferenzmessung für jeden Messtag ratsam. Die Außenluftmessung wird in der Nachbarschaft des untersuchten Gebäudes, möglichst in gleicher Höhe, durchgeführt. Ein ausreichender Abstand vom Gebäude ( $> 2$  m) ist anzustreben.

Zur Bestimmung der VOC-Konzentration werden Thermodesorptionsröhrchen TENAX TA über einen Zeitraum von 30 min mit einem Luftvolumenstrom von 4 l/h (66,6 ml/min) beaufschlagt. Im Anschluss daran erfolgt die Aldehydprobenahme über 1 h bei einem Volumenstrom von 80 l/h (1,333 l/min) mit dem Probenträger Waters Sep-Pak XpoSure.

## 12 Chemische Einwirkungen

Die Probenahme zur Bestimmung der Aldehyde soll nicht gleichzeitig mit der Probenahme der VOC erfolgen, da die verwendeten Waters-Sep-Pak-Probenträger Acetonitril enthalten, das bei der Messung in die Raumluft und damit auf den Probenträger TENAX TA gelangen kann.

Die Kohlendioxidkonzentrationen können sowohl mit Prüfröhrchen in Verbindung mit einer vom Prüfröhrchenhersteller empfohlenen Handpumpe als auch mit direkt anzeigenden Messgeräten bestimmt werden. Die Prüfröhrchen dienen hauptsächlich dazu, sich einen ersten Überblick über die normale Situation im Raum zu verschaffen. Um zu überprüfen, ob in einem Raum hinsichtlich der Kohlendioxidkonzentration hygienisch einwandfreie Bedingungen herrschen, ist eine kontinuierliche Messung über einen längeren Zeitraum mit einem direkt anzeigenden Messgerät unter normalen Nutzungsbedingungen und mit der üblichen Personenbelegung durchzuführen. Die Messung wird gestartet, nachdem der Raum einmal kräftig durchgelüftet wurde, sodass sich als Ausgangspunkt die Kohlendioxidkonzentration der Außenluft ergibt. Die Randbedingungen, z. B. Fensteröffnungen und Personenanzahl, sind in der Datenerfassung zu dokumentieren.

Die Messung erfolgt in Atemhöhe der Beschäftigten ca. 1 bis 1,5 m über dem Fußboden und in einem Abstand von mindestens 1 bis 2 m von den Wänden entfernt. Es ist darauf zu achten, dass das Messergebnis nicht durch die Atemluft einer in der Nähe befindlichen Person (gilt auch für den Probenehmer) beeinflusst wird. Für kleinere Räume bis 50 m<sup>2</sup> reicht in der Regel eine Probenahmestelle aus. Als Referenzmessung wird eine Außenluftmessung am gleichen Tag durchgeführt.

Finden die Messungen in einem Innenraum statt, ohne dass sich dort während der Messung Personen aufhalten, so entfällt die CO<sub>2</sub>-Messung, soweit nicht Hinweise auf CO<sub>2</sub>-Quellen im Raum vorliegen.

### *Analytik*

Zur Analyse der VOC werden die TENAX-TA-Röhrchen erhitzt, wodurch die gesammelten Stoffe desorbieren. Die anschließende Analyse erfolgt gaschromatografisch. Für die Quantifizierung wird ein Flammenionisationsdetektor (FID) eingesetzt. Generell werden quantitativ die in Tabelle 25 angegebenen Stoffe basierend auf einer Einzelstoffkalibrierung bestimmt.

Die quantitative Auswertung wird anhand von Kalibrierkurven vorgenommen. Zur Bestimmung weiterer Einzelstoffe wird eine Toluolkalibrierung verwendet. Die Identifizierung erfolgt in diesem Fall mithilfe eines Massenspektrometers. Die Liste der zu analysierenden Stoffe wird fortlaufend an die Liste der Substanzen mit Innenraumluftwertwerten des Umweltbundesamtes angepasst. Außerdem werden häufig über die Toluolkalibrierung nachgewiesene Stoffe in die Liste aufgenommen.

Die Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC) umfasst alle Stoffe, die im Gaschromatogramm nach einer Trennung auf einer unpolaren Kapillarsäule zwischen den Signalen von n-Hexan und n-Hexadecan erscheinen. Zusätzlich wird die Konzentration von Butanon und Ethylacetat einbezogen.

Zur Bestimmung der Aldehyde werden die Waters-Sep-Pak-Kartuschen zunächst mit Acetonitril eluiert. Die qualitative und quan-

Tabelle 25:  
Übersicht über die untersuchten VOC und Aldehyde

Stoffgruppe	Einzelstoffe
Alkane	n-Heptan, n-Octan, n-Nonan, n-Decan, n-Undecan, n-Dodecan, n-Tridecan, n-Tetradecan, n-Pentadecan, n-Hexadecan
Aromaten	Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol (alle Isomere), 1,2,3-Trimethylbenzol, 1,2,4-Trimethylbenzol, 1,3,5-Trimethylbenzol (Mesitylen), Styrol, Naphthalin, Phenol
Alkohole	Butan-1-ol, 2-Ethylhexan-1-ol
Ketone	Butanon, Acetophenon <sup>1)</sup>
Ester	Ethylacetat, n-Butylacetat, 2-Butoxyethylacetat, 2-(2-Butoxyethoxy)ethylacetat
Glykole/Glykolether	2-Butoxyethanol, 2-(2-Butoxyethoxy)ethanol, 2-Phenoxyethanol
Terpene/Sesquiterpene	$\alpha$ -Pinen, 3-Karen, Limonen, (+)-Longifolen
Aldehyde	Formaldehyd, Acetaldehyd, Propionaldehyd <sup>1)</sup> , Acrylaldehyd (Acrolein), Butyraldehyd, Furfural, Glyoxal, Glutaral (Glutardialdehyd), Hexanal <sup>2)</sup>
Siloxane	Hexamethylcyclotrisiloxan, Octamethylcyclotetrasiloxan, Decamethylcyclopentasiloxan, Dodecamethylcyclohexasiloxan <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Methode in Vorbereitung

<sup>2)</sup> Hexanal wird im Gegensatz zu den anderen Aldehyden mit dem VOC-Verfahren bestimmt

titative Bestimmung erfolgt mittels High performance liquid chromatography (HPLC). Die quantitative Auswertung wird anhand von Kalibrierkurven vorgenommen. Nach aktuellem Stand werden die in Tabelle 25 aufgelisteten Aldehyde als Einzelkomponenten angegeben. Zur Bewertung der Messergebnisse siehe Abschnitt 12.3.

### 12.2.3 Bestimmung der Luftwechselzahl

Für eine Beurteilung der Luftqualität in Innenräumen ist die Luftwechselzahl eine wichtige Größe. Die Luftwechselzahl ergibt sich aus dem Luftaustausch im Raum als Zuluftvolumenstrom bezogen auf das Raumvolumen. Ein ausreichender Luftaustausch sorgt für genügend Zufuhr von Frischluft in die Innen-

räume, einen Abtransport von Schad- und Geruchsstoffen und einen Schutz vor Schäden durch zu hohe Luftfeuchtigkeit. Der Luftaustausch in einem Raum, der nur über natürliche Lüftung verfügt, erfolgt über Fenster, Türen und Undichtigkeiten in der Gebäudehülle.

#### Bestimmung

Eine Möglichkeit zur Bestimmung des Luftwechsels liefert die Konzentrations-Abklümmethode nach VDI 4300 Blatt 7 [8] und DIN EN ISO 12569 [9]. Dabei wird die Luftwechselzahl aus dem Konzentrationsabfall eines Indikatorgases (z. B. Schwefelhexafluorid) über die Zeit berechnet. Dieses Verfahren ist nur für Räume anwendbar, in denen eine

## 12 Chemische Einwirkungen

vollständige Durchmischung der Luft angenommen werden kann. Zur Bestimmung der Luftwechselzahl wird der zu vermessende Raum mit einer bestimmten Menge an Schwefelhexafluorid versetzt. Das Gas muss gleichmäßig im Raum verteilt werden. Anschließend wird die Konzentration des Indikatorgases zu verschiedenen Zeitpunkten ermittelt. Aus dem zeitlichen Verlauf der Konzentrationsabnahme kann die Luftwechselzahl berechnet werden.

### Anwendung

Die Schadstoffkonzentration in Innenräumen ist neben anderen Faktoren von der Quellstärke, der Luftwechselzahl und dem Raumvolumen abhängig. Werden die Schadstoffkonzentration in einem Innenraum und die Luftwechselzahl unter gleichen Lüftungsbedingungen bestimmt, kann die Quellstärke nach folgender Formel berechnet werden:

$$q = (\beta - \beta_0) \cdot n \cdot V_R$$

mit

q: Quellstärke in mg/h

$\beta$ : Schadstoffkonzentration im Innenraum in mg/m<sup>3</sup>

$\beta_0$ : Schadstoffkonzentration in der Außenluft in mg/m<sup>3</sup>

n: Luftwechselzahl in 1/h

$V_R$ : Raumvolumen in m<sup>3</sup>

Die Kenntnis der Quellstärke und der Luftwechselzahl ermöglicht z. B. eine bessere Vergleichbarkeit der gemessenen Schadstoffkonzentrationen in belasteten Räumen und unbelasteten Vergleichsräumen.

Die Probenahme des Indikatorgases Schwefelhexafluorid zur Bestimmung der Luftwechselzahl kann gleichzeitig mit der in Abschnitt 12.2.2 beschriebenen Probenahme zur Bestimmung von VOC und Aldehyden erfolgen.

### 12.2.4 Messverfahren für weitere Stoffe

In der Regel entwickelt das IFA Messverfahren nicht als Innenraummessverfahren. Zielsetzung der meisten Messverfahren des IFA ist es, die Einhaltung von Arbeitsplatzgrenzwerten nach den Maßgaben der TRGS 402 [10] zu überwachen. Diese Messverfahren sind für eine Messdauer von bis zu acht Stunden ausgelegt. Die in Innenräumen empfohlenen Richtwerte können in der Regel mit diesen Messverfahren nicht überwacht werden. Insbesondere Langzeitmessungen sind nicht möglich, da z. B. mit Passivsammlern nur wenige Erfahrungen vorliegen. Zur Messung einzelner Stoffe oder Stoffgruppen sei auch auf Abschnitt 12.4 verwiesen.

### 12.2.5 Literatur

- [1] Seifert, B.; Ullrich, D.: Methodologies for evaluating sources of VOC in homes. Atmosph. Environm. (1987) Nr. 21, S. 395-404
- [2] VDI 4300: Messung von Innenraumluftverunreinigungen



Blatt 1: Allgemeine Aspekte der Messstrategie (12.95). Beuth, Berlin 1995

Blatt 2: Messstrategie für polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH), polychlorierte Dibenz-p-dioxine (PCDD), polychlorierte Dibenzofurane (PCDF) und polychlorierte Biphenyle (PCB) (12.97). Beuth, Berlin 1997

Blatt 4: Messstrategie für Pentachlorphenol (PCP) und  $\gamma$ -Hexachlorcyclohexan (Lindan) in der Innenraumluft (08.97). Beuth, Berlin 1997

Blatt 7: Bestimmung der Luftwechselzahl in Innenräumen (07.01). Beuth, Berlin 2001

Blatt 9: Messstrategie für Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) (08.05). Beuth, Berlin 2005

Blatt 11: Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Messstrategie für die Erfassung von luftgetragenen Partikeln im Innenraum – Partikel mit Äquivalentdurchmesser 2,5  $\mu$ m (Entwurf 12.11). Beuth, Berlin 2011

[3] DIN EN ISO 16000-1: Innenraumluftverunreinigungen

Teil 1: Allgemeine Aspekte der Probenahmestrategie (06.06). Beuth, Berlin 2006

Teil 2: Probenahmestrategie für Formaldehyd (06.06). Beuth, Berlin 2006

Teil 3: Messen von Formaldehyd und anderen Carbonylverbindungen – Probenahme mit einer Pumpe (01.13). Beuth, Berlin 2013

Teil 4: Bestimmung von Formaldehyd – Probenahme mit Passivsammlern (11.12). Beuth, Berlin 2012

Teil 5: Probenahmestrategie für flüchtige organische Verbindungen (VOC) (05.07). Beuth, Berlin 2007

Teil 6: Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammern, Probenahme auf Tenax TA, thermische Desorption und Gaschromatographie mit MS/FID (11.12). Beuth, Berlin 2012

Teil 12: Probenahmestrategie für polychlorierte Biphenyle (PCB), polychlorierte Dibenz-p-dioxine (PCDD), polychlorierte Dibenzofurane (PCDF) und polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH) (08.08). Beuth, Berlin 2008

Teil 13: Bestimmung der Summe gasförmiger und partikelgebundener dioxinähnlicher Biphenyle (PCB) und polychlorierter Dibenz-p-dioxine/Dibenzofurane (PCDD/PCDF) – Probenahme auf Filtern mit nachgeschalteten Sorbenzien (03.10). Beuth, Berlin 2010

Teil 14: Bestimmung der Summe gasförmiger und partikelgebundener polychlorierter dioxinähnlicher Biphenyle (PCB) und polychlorierter Dibenz-p-dioxine/Dibenzofurane (PCDD/PCDF) – Extraktion, Reinigung und Analyse mit hochauflösender Gaschromatographie/Massenspektrometrie (03.12). Beuth, Berlin 2012

Teil 15: Probenahmestrategie für Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) (04.09). Beuth, Berlin 2009

Teil 26: Probenahmestrategie für Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) (11.12). Beuth, Berlin 2012

- [4] *Breuer, D.; Friedrich, C.; Moritz, A.:* VOC (Volatile Organic Compounds, flüchtige organische Verbindungen) (Kennzahl 8936). In: IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. 45. Lfg. X/10. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin. Erich Schmidt, Berlin 1989 – Losebl.-Ausg.  
[www.ifa-arbeitsmappdigital.de/8936](http://www.ifa-arbeitsmappdigital.de/8936)

## 12 Chemische Einwirkungen

- [5] *Assenmacher-Maiworm, H.; Hahn, J.-U.*: Aldehyde (Kennzahl 6045). In: IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. 39. Lfg. XI/07. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin. Erich Schmidt, Berlin 1989 – Losebl.-Ausg.  
[www.ifa-arbeitsmappedigital.de/6045](http://www.ifa-arbeitsmappedigital.de/6045)
- [6] DIN EN ISO 16017-1: Innenraumluft, Außenluft und Luft am Arbeitsplatz – Probenahme und Analyse flüchtiger organischer Verbindungen durch Sorptionsröhrchen/thermische Desorption/Kapillar-Gaschromatographie – Teil 1: Probenahme mit einer Pumpe (10.01). Beuth, Berlin 2001
- [7] *Neumann, H.D.*: Luftqualität und Lüftung in Schulen. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 71 (2011) Nr. 11/12, S. 495-497
- [8] VDI 4300 Blatt 7: Bestimmung der Luftwechselzahl in Innenräumen (07.01). Beuth, Berlin 2001
- [9] DIN EN ISO 12569: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden und Werkstoffen – Bestimmung des spezifischen Luftvolumenstroms in Gebäuden – Indikatorgasverfahren (03.13). Beuth, Berlin 2013
- [10] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition (TRGS 402). GMBI. (2010) Nr. 12, S. 231; ber. GMBI. (2011) Nr. 9, S. 175