

3 Spezialmodule

3.5 Chemische Einwirkungen

Gesundheitliche Beschwerden an Innenraumarbeitsplätzen werden häufig unmittelbar mit dem Auftreten gesundheitsgefährlicher Stoffe in der Atemluft in Zusammenhang gebracht. Klassische Beispiele sind Formaldehyd oder Holzschutzmittel, die beim Einsatz entsprechend empfindlicher Analysenverfahren in vielen Innenräumen einschließlich Wohnungen nachweisbar sind.

Vermutungen oder auch Hinweise zum Auftreten gefährlicher Stoffe können sich z.B. auf den Geruchssinn (vgl. hierzu Abschnitt 2.3), akute Beschwerden oder auch medizinische Befunde sowie Pressemeldungen stützen. Ein Nachweis über das tatsächliche Auftreten entsprechender Stoffe ist damit aber nicht erbracht.

Bevor nun in solchen Fällen Gefahrstoffmessungen (siehe Abschnitt 3.5.2) vorgenommen werden, die in der Regel mit einem hohen technischen und persönlichen Aufwand verbunden sind, ist durch entsprechende Ermittlungen (vgl. Abschnitt 3.5.1) abzuklären, ob der Gefahrstoffverdacht begründet ist. Diese Ermittlungen sind nicht nur erforderlich, um den Aufwand und die Kosten für Messungen zu begrenzen, sondern sind zugleich Voraussetzung für die Messplanung.

3.5.1 Ermittlungen bei chemischen Einwirkungen

U. Bagschik, Düsseldorf
H. Fröhlich, Mannheim
K. Pohl, Mainz
M. Weigl, Potsdam

Luftverunreinigungen in Innenräumen können durch eine Vielzahl von Quellen hervorgerufen werden (siehe Tabelle 34). Der folgende Abschnitt soll dem Anwender allgemeine stoffbezogene Hinweise zur Gefahrstoffermittlung liefern. Als Ergänzung sei u.a. auf Abschnitt 3.2.3 „Materialien“ verwiesen, in dem materialbezogene Hinweise gegeben werden.

Abhängig vom Ergebnis der Ermittlungen ist über das weitere Vorgehen zu entscheiden. Wenn sich der Verdacht auf Gefahrstoffexposition nicht bestätigen lässt, sind andere Ursachen für die Beschwerden zu suchen. Bei einer Erhärtung des Anfangsverdachts, dass Gefahrstoffe in der Luft am Arbeitsplatz vorliegen, sind gezielte Gefahrstoffmessungen vorzusehen. Vielfach können auch ohne Gefahrstoffmessungen allein aufgrund der Ermittlungsergebnisse Entscheidungen über erforderliche Maßnahmen (z.B. Sanierung) getroffen werden.

Sollten Messungen erforderlich sein, gibt Abschnitt 3.5.2 entsprechende Hinweise

Tabelle 34:
 Quellen von Luftverunreinigungen in Innenräumen und die wichtigsten von ihnen emittierten Stoffe
 in Anlehnung an VDI 4300 Blatt 1 [1]

Quelle/Ursache	Vorgang/Aktivität	Verwendete Produkte, Quellen im engeren Sinne	Emitierte Stoffe
Lebewesen			
Mensch, Haustiere, Schädlinge	Atmung		Kohlendioxid, körpereigene Geruchsstoffe, Geruchsstoffe aus Lebensmitteln, Bakterien und Viren
	Transpiration		Geruchsstoffe
	Verdauung, Ausscheidungsvorgänge		Darmgase, Geruchsstoffe und Zersetzungsprodukte aus Exkrementen bzw. krankhaften Absonderungen, Bakterien und Viren, allergener Staub
	Haarausfall, Hautabschilferung		
Zimmerpflanzen	Ausdünstung, Schimmelpilzbefall	Substrat	Terpene und andere Geruchsstoffe, Pilzsporen, Toxine
Bausubstanz/Gebäudeausrüstung			
Baukörper und -material	Produktverarbeitung, Ausgasung, Alterung, Abrieb, Zersetzung, Schimmelpilzbefall	Baustoffe, Bauten- und Korrosionsschutzmittel, Isolierstoffe, Dichtungsmaterialien	Verschiedenartige gas- und partikelförmige Stoffe wie z.B. Lösungsmittel, Weichmacher, Holzschutz- und Flammenschutzmittel, Fasern (Asbest, Mineralwolle), Pilzsporen
Warmwasserversorgung			Legionellen

3 Spezialmodule

Tabelle 34:
(Fortsetzung)

Quelle/Ursache	Vorgang/Aktivität	Verwendete Produkte, Quellen im engeren Sinne	Emittierte Stoffe
Raumluftechnische Anlagen	Betrieb und Wartung	Wäscher, Filter, Isolier- und Dichtungsmaterialien, Ablagerungen	Mikroorganismen, Biozide, Fasern, Geruchsstoffe
Raumausstattung, Einrichtungsgegenstände	Produktverarbeitung, Renovierung, Ausgasung	Möbel, Fußbodenbeläge, Heimtextilien, Anstrichmittel, Tapeten	Monomere u. Oligomere aus Kunststoffen, Harzen, Oberflächenbeschichtungen und Klebern (z.B. Formaldehyd), Fasern, Lösungsmittel, Weichmacher, Stabilisatoren, Biozide (z.B. Pyrethroide)
Raumnutzung			
Hygiene	Körperpflege, kosmetische Behandlung	Kosmetische Mittel und Bedarfsgegenstände	Lösungsmittel, Treibgase, Duftstoffe
	Reinigungs- und Pflegemaßnahmen	Wasch- und Putzmittel, Polituren, Desinfektionsmittel	Ammoniak, Chlor, organische Lösungsmittel (z.B. Ethanol), Hausstaub, Bakterizide
	Schädlingsbekämpfung	Schädlingsbekämpfungsmittel	Insektizide, Chlorverbindungen, Pyrethroide
Ernährung	Nahrungsmittelzubereitung und -verzehr	Brennstoffe, Lebensmittel	Flammgase, gasförmige Pyrolyseprodukte, Geruchs- und Aromastoffe (natürlich und synthetisch)

Quelle/Ursache	Vorgang/Aktivität	Verwendete Produkte, Quellen im engeren Sinne	Emittierte Stoffe
Nutzung als Büro	Bürobetrieb	Büroartikel, EDV-Geräte, Kopierer, Toner	organische Lösungsmittel, schwer flüchtige organische Stoffe (Weichmacher, Flammschutzmittel), Ozon
	Rauchen	Tabakwaren	Kohlenmonoxid, Stickstoffoxide, Nikotin, Aldehyde, Nitrosamine und zahlreiche andere organische Stoffe (z.B. polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe), Aerosole
Belastete Außenluft/Umgebung			
Durch den Menschen ausgelöste Emissionen	Lüftung, Infiltration und Diffusion durch die Gebäudehülle	Gewerbe/Industriebetriebe, Verkehr, Hausbrand, Landwirtschaft	Anorganische und organische Gase und Aerosole (z.B. Lösungsmittel, Geruchsstoffe), Autoabgase
	Eindringen von Bodenluft, Staubaufwirbelung	Deponien, Altlasten	Methan u.a. flüchtige organische Verbindungen (Kohlenwasserstoffe, Organohalogenverbindungen), Geruchsstoffe, Stäube
Natürliche Emissionen	Lüftung	Pflanzen	Pollen, Sporen
	Eindringen von Bodenluft	Uranvorkommen im Boden	Radon

3 Spezialmodule

zur Planung und Durchführung. In Abschnitt 3.5.3 findet man Hilfen zur Bewertung der Messergebnisse.

3.5.1.1 Stäube und Rauche

Stäube einschließlich Faserstäube entstehen in Innenräumen vorwiegend durch Aufwirbelungen, in einzelnen Fällen auch durch mechanische Prozesse (z.B. Papierstäube beim Umgang mit Papieren). Sie können sowohl organischer als auch anorganischer Natur sein. Die bedeutendste Quelle für Rauch in Innenräumen ist das Rauchen. In Abhängigkeit von der Lage des Gebäudes und der Lüftung gelangen Stäube und Rauche in unterschiedlichem Maße auch über die Außenluft in die Innenräume. In der Regel sind die Innenraumkonzentrationen jedoch höher als in der Außenluft.

Stäube

Die Konzentration von Stäuben in der Innenraumluft ist häufig so gering, dass unspezifische Wirkungen auf die Atmungsorgane, wie sie alle unlöslichen Stäube zeigen können, nicht zu erwarten sind. Zu berücksichtigen ist allerdings eine mögliche Anlagerung von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC), Bioziden, Geruchsstoffen u.a. an die Stäube, und eine damit verbundene

reizende, gesundheitsschädigende oder belastigende Wirkung [2]. Bezüglich biologischer Agenzien in Stäuben, besonders der spezifisch wirkenden Allergene, wird auf Abschnitt 3.6 verwiesen.

Analog zur Außenluft werden für Innenräume üblicherweise die Partikelgrößenbereiche in eine PM_{10} - und in eine $PM_{2,5}$ -Fraktion eingeteilt (PM: particulate matter). Unter der Fraktion $PM_{2,5}$ versteht man dabei die Summe aller Schwebstaubpartikeln mit einem Durchmesser kleiner $2,5 \mu m$. So beträgt in städtischen Gebieten der $PM_{2,5}$ -Anteil am Gesamtschwebstaub der Außenluft etwa 50 Prozent [3].

Starke Staubablagerungen bei sonst üblichen Reinigungsgewohnheiten oder der Umgang mit großen Papiermengen, wie z.B. in Archiven und bei der Vervielfältigung, geben Hinweise auf eine erhöhte Staubkonzentration in der Raumluft. In diesen Fällen ist die Ermittlung der einatembaren Staubfraktion (früher Gesamtstaub) als Indikator für mögliche irritative Staubwirkungen sinnvoll (siehe auch Abschnitt 3.5.3.2 „Stäube“).

Faserstäube

Die gelegentlich diskutierte irritative Wirkung von künstlichen Mineralfasern dürfte nur dann relevant sein, wenn Mineralwolle-

dämmstoffe nicht ordnungsgemäß eingebaut wurden.

Faserstaubexpositionen durch Mineralwolle-dämmstoffe sind möglich, wenn diese unmittelbar mit der Raumluft in Verbindung stehen (so genannte offene Systeme wie z.B. Schallschluckplatten auf Lamellen) und insbesondere durch Erschütterungen oder höhere Luftgeschwindigkeiten beaufschlagt werden. Nur dann ist ggf. auch eine messtechnische Abklärung der Situation sinnvoll.

Eine deutlich höhere Gefährdung geht von Asbestfaserstäuben aus. Besteht in dem betroffenen Gebäude der Verdacht auf Freisetzung von Asbestfasern, so sind die weiteren Ermittlungen auf der Basis der bekannten Vorgehensweisen, wie sie z.B. in [4] ausführlich beschrieben sind, durchzuführen und ein ggf. notwendiges Sanierungskonzept ist unter Berücksichtigung der „Asbest-Richtlinie“ [5] zu erstellen.

Durch das gemeinsame Auftreten verschiedener kanzerogener Schadstoffe in der Raumluft – wie etwa Tabakrauch und Asbest am Arbeitsplatz – kann sich das Krebsrisiko nicht nur addieren, sondern sogar vervielfachen.

Rauchen an Innenraumarbeitsplätzen

Tabakrauch enthält eine kaum überschaubare Fülle chemischer Verbindungen und hat verschiedenartige Auswirkungen auf den

Organismus, die zum Teil von einem Genussmittel erwartet werden, zum Teil aber als unerwünschte Nebenwirkungen anzusehen sind.

Bis heute sind mehr als 4 000 Einzelkomponenten im Tabakrauch identifiziert worden, z.B.

- 4-Aminobiphenyl
- Acetaldehyd
- Ammoniak
- Anilin
- Benzol
- Benzo[α]pyren
- Blei
- Cadmium
- Cyanwasserstoff
- Dimethylnitrosamin
- Essigsäure
- Formaldehyd
- Kohlenmonoxid
- 2-Naphthylamin
- Nickel
- Nikotin
- Phenol
- Stickstoffdioxid
- Stickstoffmonoxid
- 2-Toluidin
- Toluol

Im Hinblick auf die schädlichen Wirkungen des Tabakrauchs kommt polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK), Nitros-

3 Spezialmodule

aminen, aromatischen Aminen, Teer und einer Reihe weiterer Verbindungen eine besondere Bedeutung zu. 40 bis 50 der im Tabakrauch enthaltenen Verbindungen gelten als krebserzeugend.

Weiterhin sind auch Stoffe mit reizenden oder allergenen Eigenschaften im Tabakrauch vorhanden. Da diese Stoffe nicht nur im Hauptstromrauch, sondern auch im Nebstromrauch und in der Ausatemluft enthalten sind, gelangen sie in die Innenraumluft. Der auch Passivraucher gefährdende Nebstromrauch enthält wesentlich höhere Mengen von PAK und Aminen als der Hauptstromrauch. Untersuchungen ergaben einen zehnfach höheren Anteil dieser Verbindungen. Wird am Arbeitsplatz geraucht, dominieren in der Innenraumluft Schadstoffe, die auf den Zigarettenrauch zurückzuführen sind.

Angesichts der weiten Verbreitung und der großen Einsatzmenge von Tabak als Genussmittel muss Tabakrauch als die bedeutendste und wohl auch gesundheitlich nachteiligste Schadstoffquelle in Innenräumen gelten.

Passivrauch, also vom Nichtraucher mit der Atemluft unfreiwillig eingeatmeter Tabakrauch, hat gesundheitliche Auswirkungen, die über die reine Belästigung hinausgehen. In den letzten Jahren wurde eine Reihe von Studien veröffentlicht, die sich mit den

möglichen Gesundheitsrisiken durch Passivrauchen befassen [6 bis 9].

Bei längerem Aufenthalt in verräuchten Räumen können Bindehautreizungen, Kopfschmerzen, Husten, Übelkeit, Halsschmerzen und Schwindelsymptome auftreten. Schwerwiegender können diese akuten Auswirkungen bei Allergikern oder Patienten mit Atemwegserkrankungen sein. Geht man davon aus, dass etwa 15 Prozent aller Allergiker auf Tabakrauch überempfindlich reagieren, so sind dies mehrere hunderttausend Betroffene in der Bundesrepublik Deutschland.

Seit 2002 haben Arbeitnehmer einen Rechtsanspruch auf einen rauchfreien Arbeitsplatz. In § 5 Absatz 1 der Arbeitsstättenverordnung [10] heißt es:

„Der Arbeitgeber hat die erforderlichen Maßnahmen zu treffen, damit die nichtrauchenden Beschäftigten in Arbeitsstätten wirksam vor den Gesundheitsgefahren durch Tabakrauch geschützt sind.“

Bei Tabakrauchexpositionen wird die Ermittlung der Anzahl der Raucher in den Arbeitsräumen – die im Rahmen der Grunderhebung G1 bzw. G2 erfolgt – und eine ggf. anschließende Abfrage zu den Rauchgewohnheiten (z.B. Anzahl der Zigaretten pro Tag) als ausreichend betrachtet.

3.5.1.2 Kohlendioxid

In Innenräumen ist der Mensch durch seine Atmung in der Regel die Hauptemissionsquelle für Kohlendioxid (CO₂). Selbst unter ungünstigen Bedingungen, wie z.B. bei geringer Luftwechselrate, werden dadurch jedoch keine toxisch relevanten CO₂-Konzentrationen erreicht. Da die CO₂-Abgabe des Menschen etwa proportional zur Emission von Geruchsstoffen ist, bildet die CO₂-Konzentration einen brauchbaren Indikator für die Raumluftqualität, soweit nicht weitere CO₂-Emissionsquellen oder andere Geruchsquellen vorhanden sind.

Die CO₂-Konzentration in Innenräumen kann aus der CO₂-Abgabe des Menschen in Abhängigkeit von der Anzahl anwesender Personen, ihrer Tätigkeit und dem Luftwechsel (Lüftungseffektivität) berechnet werden [11]. Bei leichter Tätigkeit beträgt die CO₂-Abgabe des Menschen ungefähr 40 000 mg/h. Mit diesem Wert kann man die maximal sich einstellende CO₂-Konzentration nach der Gleichung

$$X_{\text{CO}_2} = \frac{m_{\text{CO}_2}}{\lambda \cdot V_R} + X_{\text{CO}_2, \text{ aussen}}$$

$$= \frac{n \cdot 40\,000 \text{ mg/h}}{\lambda \cdot V_R} + X_{\text{CO}_2, \text{ aussen}}$$

berechnen.

Hierin bedeuten:

X_{CO_2}	= CO ₂ -Konzentration in mg/m ³
m_{CO_2}	= CO ₂ -Emission in mg/h
λ	= Luftwechselrate in h ⁻¹
V_R	= Arbeitsraumvolumen in m ³
$X_{\text{CO}_2, \text{ aussen}}$	= CO ₂ -Außenluftkonzentration in mg/m ³
n	= Anzahl der Personen im Raum

Beträgt z.B. das Raumvolumen eines von zwei Personen genutzten Büros 100 m³ und wird für dieses Büro eine natürliche Luftwechselrate λ von 0,5 h⁻¹ angenommen, dann beträgt die erreichbare CO₂-Konzentration – unter Berücksichtigung einer mittleren Außenluftkonzentration an CO₂ von 600 mg/m³ – maximal 2 200 mg/m³.

$$X_{\text{CO}_2} = \frac{2 \cdot 40\,000 \text{ mg/h}}{0,5 \text{ h}^{-1} \cdot 100 \text{ m}^3} + X_{\text{CO}_2, \text{ aussen}}$$

$$= 1600 \text{ mg/m}^3 + 600 \text{ mg/m}^3 = 2200 \text{ mg/m}^3$$

Damit kann die Einhaltung des CO₂-Indikatorwertes (vgl. Abschnitt 3.5.3.3) – unter der Voraussetzung des Fehlens weiterer CO₂-Quellen – überprüft werden. Als einfachste Methode empfiehlt sich die CO₂-Messung mit direkt anzeigenden Messgeräten.

3 Spezialmodule

3.5.1.3 Ozon

Ozon ist ein stechend riechendes und reizendes Gas, das sich vom molekularen Sauerstoff, den wir zur Atmung benötigen, chemisch dadurch unterscheidet, dass in einem Molekül nicht nur zwei (O_2) sondern drei (O_3) Sauerstoffatome enthalten sind. Durch Energiezufuhr kann Ozon aus molekularem Sauerstoff sowohl entstehen als auch wieder zerfallen. Beim Zerfall von Ozon bilden sich wiederum molekularer Sauerstoff und darüber hinaus reaktive Sauerstoffradikale, die gesundheitsschädlich sind und die Alterung von Materialien beschleunigen.

Der Luftgrenzwert für Ozon an Arbeitsplätzen ist nach TRGS 900 [12] festgelegt auf $0,2 \text{ mg/m}^3$. Dieser Wert entspricht in etwa der Wirkungsschwelle für Reizeffekte (Beurteilungswerte siehe Abschnitt 3.5.3.4). Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) hat Ozon als im Tierversuch krebserzeugend (K3) eingestuft. Deshalb wird der Luftgrenzwert voraussichtlich nicht als Arbeitsplatzgrenzwert in die Neufassung der TRGS 900 übernommen.

Für die Belastung von Innenräumen mit Ozon sind zwei Fälle nach der Art des Eintrags in den Innenraum zu unterscheiden:

- ❑ Eintrag von Ozon aus der Außenluft über die Lüftung, z.B. geöffnete Fenster

- ❑ Bildung von Ozon durch den Betrieb Ozon emittierender Geräte (siehe hierzu Abschnitt 3.2.4.1)

Ozon aus der Außenluft

Ozon wird in der Außenluft durch Sonneneinstrahlung und fotochemische Smogreaktionen gebildet. Besonders bei schönem Hochsommerwetter sind hohe Konzentrationen und damit eine Überschreitung der Beurteilungswerte nicht ausgeschlossen. Über die Lüftung kann Ozon aus der Außenluft in Innenräume gelangen. Besonders wirksam sind dabei geöffnete Fenster und Türen. Technische Lüftungsanlagen, bei denen die Frischluft über Filter und Rohrleitungen dem Arbeitsbereich zugeführt wird, sind wesentlich günstiger, da Ozon während des Transports bereits teilweise wieder abgebaut wird.

Es empfiehlt sich bei entsprechenden Wetterlagen, Fenster und Türen weitgehend geschlossen zu halten, damit keine zu hohe Belastung der Innenräume mit Ozon aus der Außenluft eintritt. Es ist dabei grundsätzlich besser, für kurze Zeit stoßweise zu lüften und danach Fenster und Türen wieder zu schließen. Als Orientierung kann angenommen werden, dass die Ozonkonzentration bei offenen Fenstern und Türen etwa 30 bis 60 %, in geschlossenen Innenräumen dagegen nur circa 10 %

der Außenluftkonzentration beträgt. Ozon baut sich in Innenräumen durch Zerfall mit einer Halbwertszeit von ungefähr 30 Minuten ab.

3.5.1.4 Formaldehyd

Formaldehyd ist eine Grundchemikalie, die in der chemischen Industrie aufgrund ihrer Universalität als kostengünstige Ausgangssubstanz vielfältig eingesetzt wird. Sie findet u.a. Verwendung bei der Herstellung von Pheno- und Aminoplasten, die z.B. als Leim in Spanplatten, Sperrholzplatten und Holzleimplatten eingesetzt werden (vgl. Abschnitt 3.2.3.2).

Am weitesten verbreitet ist das Harnstoff-Formaldehyd-Harz (UF-Harz). Hier liegt Formaldehyd relativ schwach gebunden vor und kann aus dem Harz über einen sehr langen Zeitraum ausgasen. Melamin- und Phenol-Formaldehydharz gebundene Pressspanplatten enthalten demgegenüber einen geringeren Anteil an freiem Formaldehyd und geben deshalb weniger Formaldehyd an die Umgebungsluft ab. Phenol-Formaldehydharz gebundene Roh-Pressspanplatten finden aufgrund ihrer besseren Feuchteresistenz als so genannte V100-Platten häufig Verwendung beim Innenausbau; sie sind jedoch für den Möbelbau nur bedingt geeignet.

Nach der Chemikalien-Verbotsverordnung [13] sind nur Möbel und Holzwerkstoffe der E1-Klassifizierung zulässig; diese dürfen nach standardisierten Prüfkammeruntersuchungen eine Ausgleichskonzentration von maximal 0,1 ppm Formaldehyd erreichen.

Weitere für den Innenraum relevante Formaldehydquellen sind Harnstoff-Formaldehydharz-Ortsschäume, Lacke (hier vor allem säurehärtende Siegellacke bei Parkettböden und Möbeln), Furniere, Textilien, Teppichböden, bindemittelhaltige Fasermatten etc.

Von Bedeutung sind auch die Freisetzung von Formaldehyd durch Tabakrauch (siehe hierzu auch Abschnitt 3.5.1.1) sowie andere unvollständige Verbrennungsvorgänge, z.B. offene Feuerstellen und Kamine, Gasheizungen etc. Formaldehyd wird beim Rauchen hauptsächlich im so genannten Nebenstrom freigesetzt, also beim Glimmen (Tabakglut). In Räumen, in denen stärker geraucht wird, kann der Richtwert des damaligen Bundesgesundheitsamtes [14] von 0,1 ppm über einen länger anhaltenden Zeitraum überschritten werden.

Formaldehyd ist in wässrigen Zubereitungen als Desinfektions- und Konservierungsmittel enthalten und in Körperpflegemitteln, Putz-, Wisch- und Desinfektionsmitteln nachweisbar.

3 Spezialmodule

3.5.1.5 Flüchtige organische Verbindungen

Die Vielzahl der potenziellen Quellen flüchtiger organischer Verbindungen in Innenräumen kann in drei Kategorien eingeteilt werden:

- ❑ gebäudebezogene Quellen
- ❑ auf die menschliche Aktivität bezogene Quellen und
- ❑ außenluftbezogene Quellen

Eine Klassifizierung der flüchtigen organischen Verbindungen zeigt Tabelle 35. Nach-

stehend wird nur von VOC (volatile organic compounds) im Sinne eines Oberbegriffes gesprochen.

Als Quellen für VOC kommen nahezu alle Materialien infrage, die in modernen Bauten Verwendung finden. Auch bisher emissionsarme Materialien wie Bausteine, Mörtel und andere Konstruktionselemente enthalten heute kunststoff- und lösungsmittelhaltige Zuschlagstoffe. Die Palette reicht weiter über Wandverkleidungen, Bodenbeläge, Isolationsmaterialien, Möbel, Farben, Lacke und Lösungsmittel für den Innenausbau (siehe Abschnitt 3.2.3).

Tabelle 35:
Klassifikation von VOC in Anlehnung an die Weltgesundheitsorganisation [15]

Klassifikation	Abkürzung	Siedebereich in °C
Very volatile organic compounds <i>Sehr flüchtige organische Verbindungen</i>	WOC	< 0 bis 50
Volatile organic compounds <i>Flüchtige organische Verbindungen</i>	VOC	50 bis 260
Semivolatile organic compounds <i>Schwerflüchtige organische Verbindungen</i>	SVOC	240 bis 400
Organic compounds associated with particulate (organic) matter <i>Partikuläre Verbindungen</i>	POM	> 400

Auch heute kommen immer noch Produkte in den Handel, die nicht oder nicht ausreichend gekennzeichnet sind und über deren chemische Zusammensetzung keine Angaben vorliegen. Dazu gehören u.a. Hobby- und Heimwerkermaterialien.

Weiterhin werden VOC durch Reinigungs- und Pflegemittel sowie Kosmetika, Desinfektionsmittel, Pflanzenschutzmittel und Tabakrauch (vgl. Abschnitt 3.5.1.1) eingebracht.

Auch Mikroorganismen produzieren VOC. Zu diesen so genannten MVOC wird auf Abschnitt 3.6 verwiesen.

Ermittlung

Bei der Ermittlung möglicher VOC-Quellen ist zunächst zu prüfen, ob in letzter Zeit Renovierungsarbeiten durchgeführt oder neue Möbel, Geräte etc. aufgestellt wurden (siehe hierzu Grunderhebungsbogen G3). In solchen Fällen gelingt es häufig, durch ausgedehntes Lüften in Kombination mit einer Ausheizung der Räume die Konzentrationen an flüchtigen organischen Verbindungen zu senken. Auch eine Verwendung von speziellen Reinigungsmitteln sowie Raumdüften muss als Quelle überprüft werden.

Generell kann eine Messung der VOC-Konzentration in der Luft von Innenräumen

durchgeführt werden (siehe hierzu Abschnitt 3.5.2.1). Aus den gefundenen Einzelstoffen können dann möglicherweise Rückschlüsse auf weitere Quellen gezogen werden (siehe hierzu Abschnitt 3.5.3.6).

3.5.1.6 Polychlorierte Biphenyle (PCB)

Zum Erreichen bestimmter Materialeigenschaften wurde in der Vergangenheit in einer Reihe von Materialien polychlorierte Biphenyle (PCB), die im Verdacht stehen, Krebs zu erzeugen (Einstufung K3), eingesetzt. Dabei besteht häufig direkter Kontakt mit der Raumluft. Zu diesen so genannten offenen Systemen gehören insbesondere PCB-haltige Weichmacher in dauerelastischen Fugendichtungsmassen (z.B. als Gebäudetrenn- und Bewegungsfugen in Betonplattenbauten), PCB-haltige Anstrichstoffe und Beschichtungen sowie Deckenplatten (PCB als Weichmacher bzw. Flammschutzmittel) in Innenräumen. In so genannten geschlossenen Systemen kam PCB in großem Umfang besonders in Transformatoren und Kondensatoren, u.a. in Kleinkondensatoren in Leuchtstofflampen, zum Einsatz.

Man unterscheidet zwischen Primär- und Sekundärquellen, wobei die PCB-Richtlinie [16] nachstehende Definitionen liefert:

3 Spezialmodule

„Primärquellen ...

... sind Produkte, denen die PCB gezielt zur Veränderung der Produkteigenschaften zugesetzt wurden. Solche Produkte, z.B. Fugendichtungsmassen oder Beschichtungen, enthalten in der Regel mehr als ein Gewichtsprozent PCB und können nach den bisher vorliegenden Erfahrungen deutlich erhöhte PCB-Raumluftbelastungen verursachen. PCB-Gehalte unter einem Gewichtsprozent müssen demgegenüber als verarbeitungsbedingte Verunreinigungen des Materials angesehen werden, die in der Regel keinen nennenswerten Einfluss auf die Produkteigenschaften und unterhalb von 0,1 Gewichtsprozent auch keinen Einfluss auf die Raumluftbelastung haben.

Sekundärquellen ...

... sind Bauteile (z.B. Wände, Decken) oder Gegenstände (z.B. Mobiliar oder Ausstattungsgegenstände wie Teppichböden oder Gardinen), die PCB meist über längere Zeit aus der belasteten Raumluft aufgenommen haben. Sie vermögen die an der Oberfläche angelagerten PCB nach und nach wieder in die Raumluft freizusetzen.“

Mögliche Primärquellen für PCB in der Innenraumluft sind nach VDI 4300 Blatt 2 [17]

- ❑ defekte Kondensatoren (z.B. in Leuchten),
- ❑ defekte Transformatoren,
- ❑ Farb- und Lackanstriche mit Flammschutzmitteln,
- ❑ in Kunststoff verwendete Weichmacher (z.B. Dichtungsmaterial für Dehnungsfugen im Betonfertigbau),
- ❑ im Betonbau verwendetes Schalöl sowie
- ❑ Staubeintrag von Emittenten und Alllasten.

Dabei bilden dauerelastische Dichtungsmaterialien in Betonplattenbauten von öffentlichen Gebäuden und Kleinkondensatoren die wichtigsten Quellen. Die dort freigesetzten PCB lagern sich speziell an alle adsorbierenden Materialien des Innenraumes an und können als Sekundärquellen PCB über Jahre hinweg wieder an die Raumluft abgeben. Von praktischer Bedeutung als Sekundärquellen sind insbesondere Wände, Decken, Tapeten, textile Einrichtungsgegenstände (z.B. Gardinen) und organische Materialien wie z.B. Lacke, Farben (z.B. auf Möbeln), PVC-Beläge oder PVC-Fensterrahmen.

Ermittlung

Als erster Schritt für die Ermittlung möglicher PCB-Quellen ist in Verbindung mit dem Alter

des Gebäudes zu prüfen (siehe hierzu Grunderhebungsbogen G3), ob PCB überhaupt angewendet wurde. Dabei kann in der Regel von nachstehenden Angaben ausgegangen werden:

- ❑ bis 1975 offene Anwendung
- ❑ seit 1978 keine offene Anwendung mehr (In-Kraft-Treten der PCB-Richtlinie)
- ❑ seit 1981 kein PCB in Leuchtcondensatoren und anderen Condensatoren mehr
- ❑ seit 1983 keine Herstellung mehr
- ❑ seit 1989 generelles Verbot (PCB-Verbotsverordnung [18])

Kann die PCB-Anwendung damit nicht von vornherein ausgeschlossen werden bzw. gibt es Hinweise auf eine PCB-Belastung aus Ergebnissen medizinischer Untersuchungen, so sollte die Quellenermittlung in Verbindung mit einer Begehung unter Beachtung der Hinweise in der Fachliteratur (siehe z.B. [19; 20]) fortgesetzt werden. Dabei sind u.a.

- ❑ Hinweise zur Kennzeichnung PCB-haltiger Leuchtstoffcondensatoren (z.B. in [19]),

- ❑ die Leitlinie zum Umgang mit gekapselten, mit PCB-kontaminiertem Öl gefüllten elektrischen Betriebsmitteln (DIN EN 50225 [21]) oder
- ❑ Hinweise auf PCB-freie Fugendichtungsmassen in ostdeutschen Plattenbauten [22].

zu berücksichtigen. Insbesondere wird auf die PCB-Richtlinie [16] hingewiesen, für deren Umsetzung in den einzelnen Bundesländern spezielle Fassungen vorliegen.

Bei der weiteren Vorgehensweise sollte die Entnahme von Materialproben im Vordergrund der Ermittlungen stehen.

Obwohl gesicherte eindeutige Zusammenhänge zwischen den PCB-Gehalten der Dichtungsmaterialien und der PCB-Raumluftkonzentration bisher nicht abgeleitet werden konnten, lässt sich aufgrund von Literaturangaben eine Grobabschätzung der PCB-Raumluftkonzentration vornehmen (siehe Tabelle 36 auf Seite 202) [23].

Das ehemalige Bundesgesundheitsamt hält einen Wert $< 0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für unbedenklich. Eine Sanierung wird für Werte ab $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ empfohlen [16].

3 Spezialmodule

Tabelle 36:
Orientierungswerte für PCB-Raumluftkonzentrationen in Abhängigkeit vom PCB-Gehalt im Dichtungsmaterial [23]

PCB-/Clophentyp ¹⁾	PCB-Konzentration im Dichtungsmaterial in %	PCB-Raumluftkonzentration in µg/m ³
PCB	bis 0,1	< 0,1
PCB	0,1 bis 1	< 0,3
A 40	max. 21	ca. 0,2 bis 6,0
A 50	max. 35	ca. 0,2 bis 2,5
A 60	max. 47	max. 0,55

¹⁾ technisches PCB-Gemisch der Firma Bayer

3.5.1.7 Pentachlorphenol (PCP), Lindan und Dichlordiphenyltrichlorethan (DDT) als Holzschutzmittel

Holzschutzmittel dienen mit ihren bioziden Wirkstoffen dem chemischen Holzschutz. Dabei unterscheidet man zwischen Fungiziden gegen Holz zerstörende und Holz verfärbende Pilze und Insektiziden gegen Holz zerstörende Insekten. Von besonderer Bedeutung für die Luftqualität in Innenräumen, insbesondere aufgrund des Umfangs ihrer Anwendung, ihrer toxischen Wirkung und des Emissionsverhaltens, sind die Holzschutzmittel Pentachlorphenol (PCP) und Lindan.

Pentachlorphenol

PCP besitzt Pilz tötende Eigenschaften. Es wurde aufgrund seines breiten Wirkungsspektrums zur Bekämpfung von Bakterien, Pilzen, Hausschwamm, Algen, Schnecken und Insekten eingesetzt. Bei den Holzschutzmitteln stand es als Fungizid im Vordergrund. Darüber hinaus wurde PCP in der Textil- und Lederindustrie verwendet (z.B. für Markisen und Zeltstoffe). Seit Ende der 60er-Jahre bis 1978 war es für den großflächigen Innenanstrich zugelassen. Dabei kam fast ausschließlich technisches, mit Dioxinen und Furanen erheblich verunreinigtes PCP zur

Anwendung. Die Verunreinigungen betragen bis zu 0,3 %.

In den alten Bundesländern Deutschlands wurde, nachdem die Anwendung in Innenräumen bereits 1978 untersagt worden war, die Produktion von PCP 1986 eingestellt und 1989 verboten.

In einer 1998 durchgeführten Studie des Umweltbundesamtes hat sich gezeigt, dass das geometrische Mittel der PCP-Belastung im Hausstaub von 648 gesammelten Proben bei 0,25 mg/kg lag. Das bedeutet eine leichte Abnahme gegenüber dem geometrischen Mittelwert von 0,33 mg/kg aus einer ähnlichen Untersuchung Anfang der 90er-Jahre [24].

Lindan und Dichlordiphenyltrichlorethan (DDT)

Die gleiche Bedeutung wie PCP unter den Fungiziden hat Lindan unter den Schädlingsbekämpfungsmitteln (Insektiziden). Es besteht zu mindestens 99 % aus γ -Hexachlorcyclohexan und ist das am meisten eingesetzte Insektizid im chemischen Holzschutz. Lindan wird allmählich durch Ersatzstoffe verdrängt.

In der DDR wurden bis 1988 die Biozide Dichlordiphenyltrichlorethan (DDT) und Lindan als Wirkstoff im Holzschutzmittel

Hylotox 59 auf Dachböden und z.T. auch in Innenräumen eingesetzt. Das Produkt enthielt 3,5 % DDT und 0,5 % Lindan als biozide Wirksubstanz. Noch 1988 wurden in der DDR mehr als 1 000 Tonnen Hylotox 59 produziert.

Untersuchungen des Landeshygieneinstituts Mecklenburg-Vorpommern haben gezeigt, dass Dachwohnungen stärker mit Lindan und DDT belastet sind als Etagenwohnungen. Analysen von 122 Luftproben in den Jahren 1992 bis 1997 ergaben in Dachwohnungen häufig Konzentrationswerte oberhalb von $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für Lindan bzw. $0,34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für DDT (Sanierungszielwerte der WHO/FHO). In Etagenwohnungen, die sich unterhalb behandelter Dachgeschosse befanden, wurden dagegen meist unbedenkliche Lindankonzentrationen gemessen. Nur in 16 % aller Fälle wurde der Wert von $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ überschritten. 60 % der DDT-Messwerte waren kleiner als $0,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [25].

Das Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Umweltbundesamtes untersuchte Dachböden ($n = 14$), ausgebaute Dachwohnungen ($n = 8$) und Wohnungen direkt unter den behandelten Dachböden ($n = 19$). Die Dachböden wiesen z.T. nach mehr als 20 Jahren nach der Behandlung Luftkonzentrationen bis zu $4,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ DDT und $0,93 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Lindan auf. In den ausgebauten

3 Spezialmodule

Dachwohnungen und Wohnungen waren die Konzentrationen von Lindan und DDT jedoch wesentlich niedriger. Die Medianwerte lagen für DDT bei 0,02 bzw. 0,04 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ und für Lindan bei 0,005 bzw. 0,02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Ermittlung

Zur Ermittlung der Belastung durch Holzschutzmittel hat sich folgendes Vorgehen in Anlehnung an die PCP-Richtlinie [26] bewährt:

- Ermittlung von Zeitpunkt, Art und Menge der Verwendung des Holzschutzmittels. Ist nach dieser Ermittlung die Verwendung eines PCP-haltigen Holzschutzmittels auszuschließen, sind keine weiteren Maßnahmen erforderlich.
- Bei begründetem Verdacht auf Verwendung von PCP-haltigen Holzschutzmitteln wird in Abweichung von der PCP-Richtlinie zunächst der Quotient aus der behandelten Holzoberfläche und dem Raumvolumen bestimmt. Weitere Schritte sind nur dann erforderlich, wenn dieser Quotient größer als 0,2 m^2/m^3 ist.
- Bei Überschreitung des Quotienten ist eine Staubanalyse von Frischstaub oder Altstaub erforderlich. Der zur Staub-

analyse gesammelte so genannte Frischstaub, der ca. eine Woche alt ist, wird mittels Staubsaugern aufgenommen. Altstaub, d.h. länger abgelagerter Staub, wie er sich z.B. hinter Verkleidungen u.Ä. befinden kann, wird lediglich passiv gesammelt, z.B. mittels Pinsel und Spatel.

- Ergeben sich Konzentrationen von mehr als 1 mg PCP/kg Frischstaub oder mehr als 5 mg PCP/kg Altstaub, werden im nächsten Schritt Materialproben aus 0 bis 2 mm Tiefe des in Betracht kommenden Holzes entnommen. Bei den früher üblichen Verfahren des Holzschutzes war PCP im Wesentlichen nur im Randbereich des Holzes zu finden.
- Ergibt sich hierbei ein Wert von mehr als 50 mg PCP/kg Holz, so ist das Jahresmittel der Raumluftbelastung zu ermitteln. Eine Sanierung wird nach der PCP-Richtlinie dann für erforderlich gehalten, wenn die Konzentration im Jahresmittel mehr als 1 $\mu\text{g PCP}/\text{m}^3$ Luft beträgt.

Die einzelnen Schritte sind im nachstehenden Ablaufschema nochmals dargestellt (Abbildung 34). Ein analoges Vorgehen kann auch für Lindan erfolgen.

Für den Sonderfall, dass sich Personen über einen längeren Zeitraum regelmäßig mehr

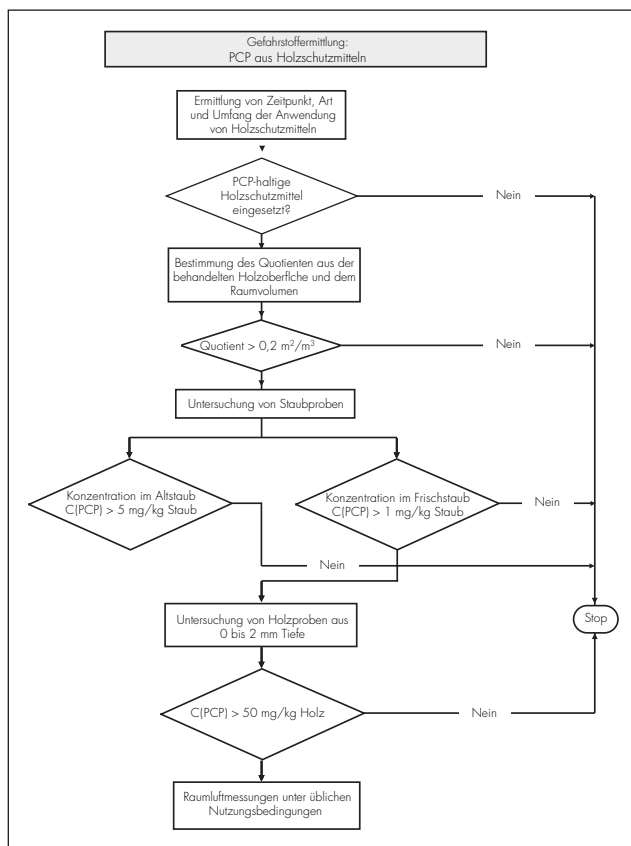


Abbildung 34:
Ablaufschema zur Ermittlung
von PCP-Belastungen
durch Holzschutzmittel
im Innenraum (in Anlehnung
an die PCP-Richtlinie [26])

als acht Stunden am Tag in Innenräumen aufhalten, in denen nutzungsbedingt auch Expositionen gegenüber Staub und Lebensmitteln etc. zu erwarten sind (z.B. Kindertagesstätten oder Heime), ist weiter zu prüfen, ob die im Jahresmittel zu erwartende

Raumluftbelastung über $0,1 \mu\text{g PCP}/\text{m}^3$ Luft liegt. Bei Unterschreitung dieses Wertes ist nicht von einer Gesundheitsgefährdung auszugehen. Bei Raumluftbelastungen zwischen $0,1$ und $1,0 \mu\text{g PCP}/\text{m}^3$ Luft sind Blut- und Urinuntersuchun-

3 Spezialmodule

gen zur Entscheidung heranzuziehen. Zur weiteren Vorgehensweise siehe PCP-Richtlinie [26].

3.5.1.8 Pyrethroide

Pyrethroide gehören neben organischen Phosphorsäureestern und Carbamaten zu den bedeutendsten Insektiziden. Es handelt sich dabei um synthetische lipophile Verbindungen, deren insektizide Wirkung und Struktur mit dem aus verschiedenen Chrysanthemen-Arten gewinnbaren Insektizid Pyrethrum vergleichbar ist. Chemisch gesehen sind Pyrethroide Ester spezifischer Säuren wie zum Beispiel der Chrysanthemumsäure oder der 2-(4-Chlorphenyl)-isovaleriansäure. Sie werden u.a. unter den Namen Cypermethrin, Deltamethrin, Allethrin, Fenvalerat, Etofenprox oder Pyrethrin (im Pyrethrum) geführt.

Außer zur Bekämpfung von Schadinsekten in der Landwirtschaft werden sie in großem Maße auch in Innenräumen für folgende Zwecke eingesetzt:

- ❑ als Holz- und Textilschutzmittel (Wollteppiche)
- ❑ zum Schutz vor Stechmücken (Elektroverdampfer, Sprays)
- ❑ gegen Schädlingsbefall an Pflanzen

- ❑ zur Therapie parasitärer Hauterkrankungen bei Mensch und Tier sowie
- ❑ zur Entseuchung bei Schädlingsbefall (z.B. Kakerlaken, Silberfischchen)

Ihre Wirkung auf den Menschen wird in letzter Zeit immer wieder diskutiert. Zielorgan für Pyrethroidwirkungen ist – bei Insekten wie bei Warmblütern – das Nervensystem. Im Vergleich zu anderen insektiziden Wirkstoffen besitzen Pyrethroide eine deutlich geringere Warmblüttoxizität. Beim Menschen können aber infolge unsachgemäßer Handhabung akute Vergiftungen auftreten, wobei auch eine Penetration der Stoffe durch die Haut diskutiert wird. Die Effekte sind reversibel. Das chronisch-neurotoxische Potenzial ist als gering einzuschätzen.

Im Boden und im Wasser werden Pyrethroide rasch durch Mikroorganismen abgebaut, auf unbelebter Materie können sie wegen ihres Absorptionsverhaltens, einem niedrigen Dampfdruck und hoher Fotostabilität sehr persistent sein.

Zur Analyse von Pyrethroiden in Innenräumen werden Luft-, Schwebstaub-, Hausstaub- und Wischproben genommen. Für Luftproben sind spezielle Filterköpfe aus Polyurethanschaum geeignet, wobei Schwebstaub auf einem vorgeschalteten Glasfaserfilter abgetrennt wird. Hausstaub wird mit konventionellen Staubsaugern gesammelt.

3.5.1.9 Literaturverzeichnis zum Abschnitt „Ermittlungen bei chemischen Einwirkungen“

- [1] VDI 4300 Blatt 1: Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Allgemeine Aspekte der Messstrategie (12.95). Beuth, Berlin 1995
- [2] Nilson, A.; Kihlström, E.; Lagesson, V.; Wessen, B.; Szponar, B.; Larsson, L.; Tagesson, C.: Microorganisms and Volatile Organic Compounds in Airborne Dust from Damp Residences. In: Indoor Air 2002 – Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Monterey, 30. Juni bis 5. Juli 2002, Vol. IV, S. 713-718
- [3] Moriske, H.-J.: Leitfaden für Innenraumluft-hygiene in Schulgebäuden. Hrsg.: Umweltbundesamt, Berlin 2000
- [4] Hempfling, R.; Stubenrauch, S.: Schadstoffe in Gebäuden. Blotner, Taunusstein 1999
- [5] Richtlinie für die Bewertung und Sanierung schwach gebundener Asbestprodukte in Gebäuden (Asbest-Richtlinie) (01.96). MBl. NRW (1997), S. 1067
- [6] Passivrauchende Kinder in Deutschland – Frühe Schädigungen für ein ganzes Leben. In: Rote Reihe Tabakprävention und Tabakkontrolle Bd. 2. Hrsg.: Deutsches Krebsforschungszentrum, Heidelberg 2003
- [7] Hecht, S.S.: Tobacco smoke, carcinogens and lung cancer. J. Natl. Cancer Inst. 91 (1999) Nr. 14, S. 1194-1210
- [8] Tobacco Smoking. In: IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Vol. 38. Hrsg.: International Agency for Research on Cancer, Lyon 1986
- [9] Jöckel, K.-H.; Ahrens, W.; Jahn, I.; Pohlabein, H.; Bolm-Audorff, U.: Untersuchungen zu Lungenkrebs und Risiken am Arbeitsplatz. Forschungsbericht FB 01 HK 546. Hrsg.: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA). Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven 1995
- [10] Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV) vom 12. August 2004. BGBl. I (2004), S. 2179
- [11] Eickmann, U.: Berechnungsverfahren und Modellbildung in der Arbeitsbereichsanalyse. BIA-Report 3/01. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 2001
- [12] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Grenzwerte in der Luft am Arbeitsplatz – Luftgrenzwerte (TRGS 900). BArbBl. (2000)

3 Spezialmodule

Nr. 10, S. 34-63; zul. geänd. BArbBl. (2004) Nr. 5, S. 55

[13] Verordnung über Verbote und Beschränkungen des Inverkehrbringens gefährlicher Stoffe, Zubereitungen und Erzeugnisse nach dem Chemikaliengesetz (Chemikalien-Verbotsverordnung – ChemVerbotsV) vom 13. Juni 2003. BGBl. I (2003), S. 867; zul. geänd. BGBl. I (2004), S. 328

[14] Bundesgesundheitsamt: Zur Gültigkeit des 0,1 ppm-Wertes für Formaldehyd. Bundesgesundhbl. 35 (1992), S. 482-483

[15] Indoor air quality – organic pollutants. Euro Reports and Studies 111. Hrsg.: Weltgesundheitsorganisation (WHO), Kopenhagen 1989

[16] Richtlinie für die Bewertung und Sanierung PCB-belasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden (PCB-Richtlinie NRW). MBl. NRW (1996) Nr. 52, S. 1260

[17] VDI 4300 Blatt 2: Messen von Innenraumlufiverunreinigungen – Meßstrategie für polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH), polychlorierte Dibenzop-dioxine (PCDD), polychlorierte Dibenzofurane (PCDF) und polychlorierte Biphenyle (PCB) (12.97). Beuth, Berlin 1997

[18] Verordnung zum Verbot von polychlorierten Biphenylen, polychlorierten Terphenylen und zur Beschränkung von Vinylchlorid (PCB-, PCT-, VC-Verbotsverordnung) vom 18. Juli 1989. BGBl. I (1989) S. 1482

[19] *Balfanz, E.*: Tagungsbeitrag Schadstoffbelastung in Innenräumen. Bd. 19. Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN, Düsseldorf 1992, S. 63-74

[20] *Radtke, R.*: Dioxin- und PCP-Belastung in Kindergärten. BIA-Report 2/95. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 1995, S. 139-146

[21] DIN EN 50225: Leitlinie für die Praxis zum sicheren Umgang mit vollständig gekapselten, möglicherweise mit PCB-kontaminiertem Öl befüllten elektrischen Betriebsmitteln (03.97). Beuth, Berlin 1997

[22] *Baudisch, Ch., et al.*: Polychlorierte Biphenyle (PCB) in Fugendichtungsmassen ostdeutscher Plattenbauten. In: VDI-Bericht 1122. VDI, Düsseldorf 1994

[23] *Balfanz, E., et al.*: Innenraumlufuntersuchungen auf polychlorierte Biphenyle (PCB) im Zusammenhang mit dauerelastischen Dichtungsmassen. In: VDI-Bericht 1122. VDI, Düsseldorf 1994

[24] *Becker, K.; Seiwert, M.; Kaus, S.; Krause, C.; Schulz, C.; Seifert, B.*: German Environmental Survey 1998 – Pesticides and other pollutants in house dust. In: *Indoor Air 2002. Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Vol. IV, Monterey, 30. Juni bis 5. Juli 2002*, S. 883-887

[25] *Baudisch, C.; Prösch, J.*: DDT- und Lindanexposition nach Anwendung

von Holzschutzmitteln (Hylotox 59). *Umweltmed. Forsch. Prax.* 5 (2000) Nr. 3, S. 161-166

[26] Richtlinie für die Bewertung und Sanierung Pentachlorphenol (PCP)-belasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden (PCP-Richtlinie). *MBL. NW* (1997), S. 1058

3 Spezialmodule

3.5.2 Messung chemischer Einwirkungen

D. Breuer, Sankt Augustin

Für Schadstoffe in Innenräumen gibt es zahlreiche Quellen (vgl. Abschnitt 3.5.1), die sich in ihrem Emissionscharakter allerdings deutlich unterscheiden können. Für die Wahl der Messstrategie ist es wichtig, den Emissionscharakter der Schadstoffquelle zu kennen:

- Kontinuierliche Quellen sind z.B. Baumaterialien oder Einrichtungsgegenstände, die Schadstoffe über einen langen Zeitraum abgeben können.
- Intermittierende Quellen sind z.B. Tabakrauch oder Schädlingsbekämpfungsmittel, die zu kurzzeitigen Spitzenbelastungen mit Schadstoffen führen können.

In Abbildung 35 sind beispielhaft die Emissionscharakteristika einiger Quellen dargestellt.

3.5.2.1 Messstrategie

Messplanung

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.

Im Rahmen der Ermittlungen zu Gefahrstoffen (siehe Abschnitt 3.5.1) können bereits zahlreiche Informationen zu Quellen oder Schadstoffen anfallen. Dies können z.B. sein:

- Art der Quelle
- Emissionscharakteristik
- Ort der Quelle oder
- Schadstoff

Im Rahmen der Messplanung müssen aus diesen Kenntnissen

- Ort,
- Dauer,
- Häufigkeit und
- Anzahl

der Messungen festgelegt werden.

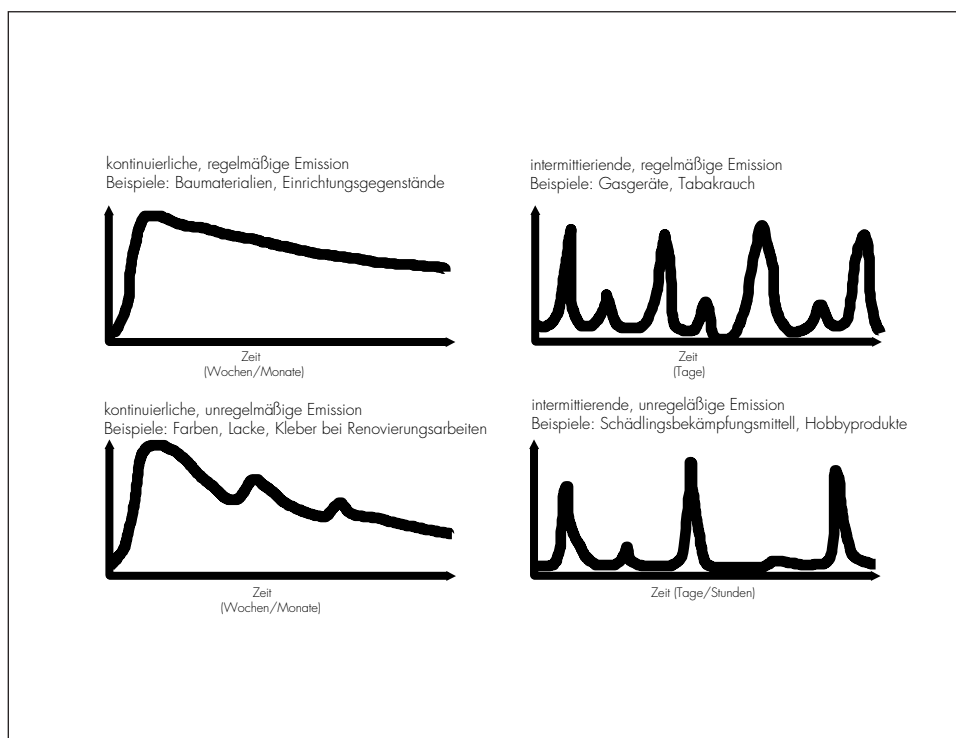
Haben die Ermittlungen keine konkreten Hinweise zu den Gefahrstoffen ergeben, können z.B. orientierende Messungen basierend auf dem BGIA-Messverfahren Innenraum (siehe Abschnitt 3.5.2.2) vorgenommen werden. Diese können bei Bedarf durch weiterführende Messungen ergänzt werden. Unter anderem können Messungen von

- Kohlendioxid,
 - flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) oder
 - schwer flüchtigen organischen Verbindungen (SVOC)
- durchgeführt werden.

In allen Stadien der Messungen kann man zu dem Resultat gelangen, dass

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

Abbildung 35:
Emissionscharakteristika einiger Quellen für Luftverunreinigungen in Innenräumen [1]



3 Spezialmodule

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 jeweils dem Einzelfall angepasst sein und die weitere Vorgehensweise ist festzulegen.

In Abbildung 36 wird die mögliche Vorgehensweise bei Schadstoffmessungen dargestellt. Innenraummessungen sind nach diesem Schema in vielen Fällen durchführbar.

Messbedingungen

Ein zentrales Problem bei der Durchführung von Schadstoffmessungen in Innenräumen ist die Vielzahl der Möglichkeiten, die sich durch die verschiedenen Schadstoffe oder Quellencharakteristika ergeben. Hinweise zur Durchführung von Innenraummessungen gibt u.a. die VDI-Richtlinienserie 4300 „Messung von Innenraumluftverunreinigungen“ [2 bis 10].

Für die Probenahme von Schadstoffen, die durch kontinuierliche Quellen emittiert werden, eignen sich besonders Passivsammler, während für Schadstoffe, die durch diskontinuierliche Quellen freigesetzt werden, aktiv

sammelnde Messsysteme die günstigere Lösung darstellen.

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. Die Wahl des Probenahmeortes ist von besonderer Bedeutung. Im Rahmen der Messung sind sämtliche Umgebungsbedingungen (Temperatur, Luftfeuchte, Luftbewegung, Ort der Messung etc.) zu erfassen.

Bei Gebäuden mit raumluftechnischen Anlagen sind Kenntnisse über Zu- und Abluft in jedem Falle mit zu berücksichtigen. In derartigen Gebäuden ist es häufig möglich, dass sich eine Schadstoffquelle nicht unmittelbar in dem Raum befindet, in dem die Messung durchgeführt wird, sondern außerhalb. Die Art des Raums spielt ebenfalls eine wichtige Rolle. In großen Räumen (z.B. Großraumbüros) sind die geeigneten Messbedingungen anders als in kleineren Büroräumen.

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

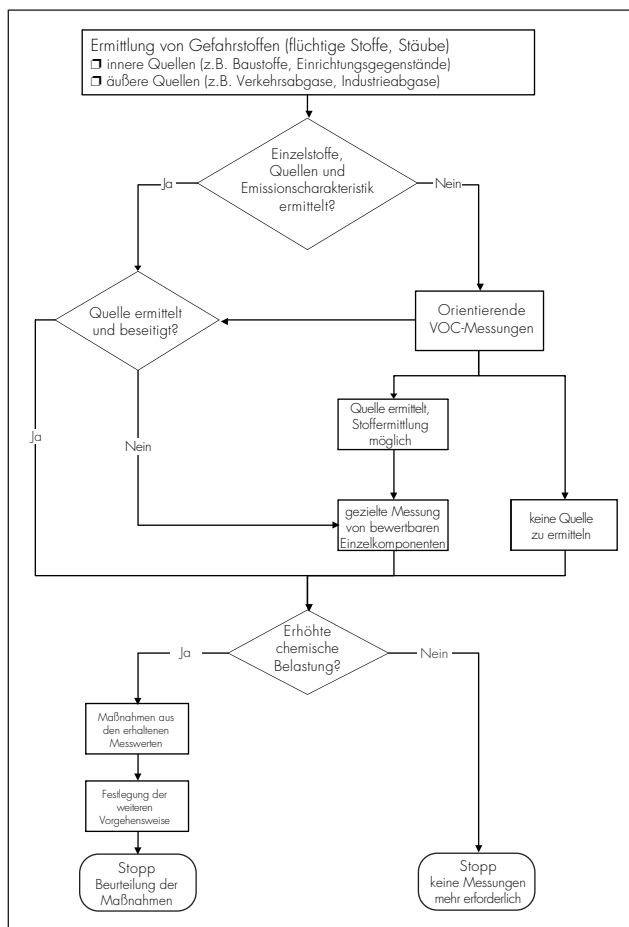


Abbildung 36: Ermittlung von Gefahrstoffen (Prinzipschema)

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

3 Spezialmodule

Öffnen von Fenstern, nicht gravierend ändern. Langzeitmessungen sollten möglichst unter üblichen Arbeitsbedingungen durchgeführt werden. Werden Passivsammler als Langzeit-Probenahmeeinrichtung verwendet, muss immer auf die Luftbewegung und die Position im Raum geachtet werden, sonst kann es z.B. in Zimmerecken zu Minderbefunden kommen.

In jedem Fall sind die Randbedingungen der Messung auf den Messort abzustimmen, eine Entscheidung kann erst im Rahmen einer Begehung vor Ort gefällt werden. Wertvolle Vorabinformationen können auch im Rahmen der Ermittlung zu Gefahrstoffen gesammelt werden.

3.5.2.2 Sondermessprogramm „Innenraumstudie Büro“

Das Sondermessprogramm hatte das Ziel, ein standardisiertes Messverfahren für ausgewählte Gefahrstoffe bei Innenraumuntersuchungen in Anlehnung an VDI 4300 Blatt 6 [7] und DIN EN ISO 16017-1 [11] zu entwickeln und einzuführen. Zusätzlich sollte ein Büro-Innenraum-Survey für Verwaltungsbüros erstellt werden. Während anderen Instituten aufgrund von Auftragsmessungen Datenmaterial aus „belasteten Räumen“ – in der überwiegenden Zahl keine Arbeitsräume – vorliegt, sollten in diesem Sonder-

messprogramm Daten aus „belasteten und unbelasteten“ Büroräumen mit dem Schwerpunkt auf unbelasteten Räumen gesammelt werden. Unter Büros werden Verwaltungsbüros, also Personalbüros, Planungsbüros und ähnliche verstanden, in denen keine Tätigkeiten mit Gefahrstoffen im Sinne des Gefahrstoffrechts bestehen.

Messverfahren

Zur Beschreibung der Innenraumluftqualität wurde eine Reihe von Parametern vorgeschlagen. Im Rahmen des Sondermessprogramms wurden die Konzentrationen von

- flüchtigen organischen Verbindungen (VOC, volatile organic compounds),
- Aldehyden, insbesondere Formaldehyd, und
- Kohlendioxid

untersucht. Für die flüchtigen organischen Verbindungen wurden sowohl deren Summenkonzentration (TVOC – total volatile organic compounds) als auch soweit möglich die Konzentration bestimmter Einzelstoffe analytisch ermittelt.

Nach Absatz 3.6 im Anhang der Arbeitsstättenverordnung [12] und der Arbeitsstättenrichtlinie Lüftung (ASR 5) [13] ist in

Arbeitsräumen eine ausreichend gesundheitlich zuträgliche Atemluft vorhanden, wenn die Luftqualität im Wesentlichen der Außenluftqualität entspricht. Zu jeder Innenraummessung sollte deshalb eine Außenluftmessung durchgeführt werden.

Erfolgt die Messung in einem Büro aufgrund von Klagen der Beschäftigten über die Raumluftqualität, so sollte immer in einem möglichst vergleichbaren Arbeitsraum, aus dem keine Klagen von Beschäftigten bekannt sind, eine Parallelmessung erfolgen.

Probenahme

Für die Bestimmung der Konzentration an VOC werden Thermodesorptionsröhrchen TENAX TA (BGIA-Code 5 17) über einen Zeitraum von 30 min mit einem Luftvolumenstrom von 4 l/h (66,6 ml/min) beaufschlagt. Die Formaldehyd-/Aldehydprobenahme erfolgt über 2 h bei einem Volumenstrom von 20 l/h (333 ml/min) mit dem Probenträger Waters Sep-Pak (BGIA-Code 8 17). Sollen im Einzelfall Kurzzeitmessungen durchgeführt werden, so ist eine Messzeit von 30 min bei einem Volumenstrom von 40 l/h (667 ml/min) zu wählen.

Die Fenster der zu untersuchenden Räume werden in der Regel nach intensiver Lüftung über Nacht verschlossen. Während der

Probenahme am folgenden Tag sollten Fenster und Türen weiterhin verschlossen bleiben. Darüber hinaus darf in den zu untersuchenden Räumen nach dem Lüften bis zum Abschluss der Probenahme nicht mehr geraucht werden. Als weiteres wird dokumentiert, ob der Büroraum während der Messung von Mitarbeitern genutzt wird (normale Nutzungsbedingungen) oder ob sich keine Mitarbeiter darin aufhalten (ohne Nutzung).

Die Kohlendioxidkonzentrationen können sowohl mit Prüfröhrchen und Handpumpe als auch mit direkt anzeigenden Messgeräten bestimmt werden. Die Prüfröhrchenmessungen sowie eine Bestimmung von Einzelwerten mit einem direkt anzeigenden Messgerät sollten in der Regel bei normalen Nutzungsbedingungen erfolgen. Bei direkt anzeigenden Messungen ist dann der Momentanwert anzugeben. Bei einem längeren Messzeitraum sind der Mittelwert und die Messzeit zu dokumentieren.

Die Außenluftmessungen erfolgen parallel zu den Probenahmen in den Büroräumen.

Analytik

Zur Analyse der VOC werden die TENAX-TA-Röhrchen erhitzt, wodurch die gesammelten Stoffe desorbieren. Die anschließende Analyse erfolgt gaschromatografisch. Für die

3 Spezialmodule

Quantifizierung wird ein Flammenionisationsdetektor (FID) eingesetzt. Generell werden quantitativ die folgenden Stoffe basierend auf einer Einzelstoffkalibrierung bestimmt:

- Benzol
- Butan-1-ol
- Butanon
- 2-Butoxyethanol
- 2-(2-Butoxyethoxy)ethanol
- 2-(2-Butoxyethoxy)ethylacetat
- 2-Butoxyethylacetat
- n-Butylacetat
- Δ^3 -Caren
- Decamethylcyclopentasiloxan
- Ethylacetat
- Ethylbenzol
- 2-Ethylhexan-1-ol
- n-Heptan
- Hexanol
- R(+)-Limonen
- 4-Methylpentan-2-on
- 2-Phenoxyethanol
- α -Pinen
- Styrol
- Toluol
- 1,2,3-Trimethylbenzol
- 1,2,4-Trimethylbenzol
- 1,3,5-Trimethylbenzol
- Xylol (alle Isomere)

Zur Bestimmung weiterer Einzelstoffe wird

eine Toluolkalibrierung verwendet. Die Identifizierung erfolgt in diesem Fall mithilfe eines Massenspektrometers.

Die Summe aller flüchtigen Kohlenwasserstoffe (TVOC) beinhaltet alle Stoffe, die im Gaschromatogramm zwischen den Signalen von n-Hexan und n-Hexadecan erscheinen. Zusätzlich werden die Konzentrationen von Butanon und Ethylacetat mit einbezogen.

Zur Bestimmung der Aldehyde werden die Waters-Sep-Pak-Kartuschen zunächst mit Acetonitril eluiert. Die qualitative und quantitative Bestimmung erfolgt mittels HPLC (High performance liquid chromatography). Die quantitative Auswertung wird anhand von Kalibrierkurven vorgenommen.

Zur Bewertung der Messergebnisse siehe Abschnitt 3.5.3.6.

3.5.2.3 Weitere BGIA-Messverfahren

In der Regel werden BGIA-Messverfahren nicht als Innenraummessverfahren entwickelt. Zielsetzung der meisten BGIA-Messverfahren ist die Überwachung der Einhaltung von Arbeitsplatzgrenzwerten nach den Maßgaben der TRGS 402 [14]. Diese BGIA-Messverfahren sind für Messzeiten bis zu acht Stunden ausgelegt. Die in Innenräumen empfohlenen Richtwerte können in der Regel

mit den BGI A-Messverfahren nicht überwacht werden. Insbesondere Langzeitmessungen sind nicht möglich, da z.B. mit Passivsammlern nur wenig Erfahrungen vorliegen.

Die übrigen BGI A-Messverfahren können Tabelle 37 (siehe Seite 218) entnommen werden. Sie sind nach Kennziffern der BGI A-Arbeitsmappe [15] aufgeführt.

3 Spezialmodule

Tabelle 37:
Übersicht der im Innenraum anzuwendenden BGIA-Messverfahren

Schadstoff	Kennziffer in der BGIA-Arbeitsmappe
Acetaldehyd	6024 – Messverfahren Nr. 1
Ammoniak	6150 – Messverfahren Nr. 2
Asbest	7485 ¹⁾
1,1-Dichlorethan	6975 ¹⁾
1,2-Dichlorethan	6976 ¹⁾
Formaldehyd	7520 – Messverfahren Nr. 2
Kohlenmonoxid	direkt anzeigend
Lindan	noch nicht veröffentlicht
Methylenchlorid	7000 (Dichlormethan)
Ozon	direkt anzeigend
PAK	6272 (Benzo[a]pyren) ¹⁾
Pentachlorphenol	noch nicht veröffentlicht
Permethrin	8325
polychlorierte Biphenyle	noch nicht veröffentlicht
Schwebstaub	7490 (Alveolengängige Fraktion – Feinstaub) ¹⁾
	7552 (Einatembare Fraktion – Gesamtstaub) ¹⁾
Schwefeldioxid	8570
Stickstoffdioxid	direkt anzeigend
Stickstoffmonoxid	direkt anzeigend
Tetrachlorethen	8690 ¹⁾
Trichlorethen	8830 ¹⁾

¹⁾ Das Messverfahren muss in einigen Punkten wie z.B. Probenahmebedingungen oder Analytik angepasst werden.

3.5.2.4 Literaturverzeichnis zum Abschnitt „Messung chemischer Einwirkungen“

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

[2] VDI 4300 Blatt 1: Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Allgemeine Aspekte der Meßstrategie (12.95). Beuth, Berlin 1995

[3] VDI 4300 Blatt 2: Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Meßstrategie für polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH), polychlorierte Dibenzop-dioxine (PCDD), polychlorierte Dibenzofurane (PCDF) und polychlorierte Biphenyle (PCB) (12.97). Beuth, Berlin 1997

[4] VDI 4300 Blatt 3: Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Meßstrategie für Formaldehyd (12.97). Beuth, Berlin 1997

[5] VDI 4300 Blatt 4: Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Meßstrategie für Pentachlorphenol (PCP) und Hexachlorcyclohexan (Lindan) in der Innenraumluft (08.97). Beuth, Berlin 1997

[6] VDI 4300 Blatt 5: Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Messstrategie für

Stickstoffdioxid (NO₂) (06.00). Beuth, Berlin 2000

[7] VDI 4300 Blatt 6: Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Messstrategie für flüchtige organische Verbindungen (VOC) (12.00). Beuth, Berlin 2000

[8] VDI 4300 Blatt 7: Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Bestimmung der Luftwechselzahl in Innenräumen (07.01). Beuth, Berlin 2001

[9] VDI 4300 Blatt 8: Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Probenahme von Hausstaub (06.01). Beuth, Berlin 2001

[10] VDI 4300 Blatt 9: Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Messstrategie für Kohlendioxid (CO₂) (05.03). Beuth, Berlin 2003

[11] 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 2000

[12] Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV) vom 12. August 2004. BGBl. I (2004), S. 2179

[13] Arbeitsstätten-Richtlinie Lüftung (ASR 5) vom 22. August 1979. BArbBl. (1979)

3 Spezialmodule

Nr. 10, S. 103; zul. geänd. BArBl. (1984)
Nr. 12, S. 85

[14] Technische Regeln für Gefahrstoffe:
Ermittlung und Beurteilung der Konzentration
gefährlicher Stoffe in der Luft in Arbeitsberei-
chen (TRGS 402). BArbBl. (1997) Nr. 11,
S. 27

[15] Sachgruppe 9 – Messverfahren für
Gefahrstoffe. In: BGI-Arbeitsmappe Mes-
sung von Gefahrstoffen. Hrsg.: Berufsgeno-
senschaftliches Institut für Arbeitsschutz –
BGI, Sankt Augustin. Erich Schmidt, Berlin
1989 – Losebl.-Ausg.

3.5.3 Beurteilung von chemischen Einwirkungen

*H. Kleine, Sankt Augustin
K. Pohl, Mainz
N. von Hahn, Sankt Augustin*

3.5.3.1 Allgemeine Anmerkungen zur Bewertung der Luftqualität an Innenraumarbeitsplätzen

Die Bewertung der Luftqualität an Innenraumarbeitsplätzen wie Büros gibt immer wieder Anlass zur Diskussion über die heranzuziehenden Grenz- und Richtwerte.

Grenz- und Richtwerte

Zur Beurteilung einer möglichen Gesundheitsgefährdung des Menschen beim Auftreten von Gefahrstoffen in seiner Atemluft dienen im Allgemeinen Grenzwerte, die entsprechend dem jeweiligen Anwendungsbereich definiert sind. So sind etwa für die in der Arbeitswelt vorkommenden Stoffe Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) in der TRGS 900 [1] festgelegt. Arbeitsplatzgrenzwerte nach TRGS 900 gelten jedoch nur an solchen Arbeitsplätzen, an denen im Sinne der Gefahrstoffverordnung Tätigkeiten mit den betreffenden Gefahrstoffen durchgeführt werden. Dies trifft für Innenraumarbeitsplätze

im Anwendungsbereich dieser Vorgehensempfehlung jedoch nicht zu, sodass Arbeitsplatzgrenzwerte nach TRGS 900 hier grundsätzlich nicht anzuwenden sind.

Für Arbeitsplätze, die nicht in den Geltungsbereich der Gefahrstoffverordnung fallen, sind keine speziellen Luftgrenzwerte festgesetzt. Ein gelegentlich geäußelter Vorschlag, bei dem mithilfe fester Umrechnungsfaktoren aus den Arbeitsplatzgrenzwerten nach der TRGS 900 Beurteilungswerte für Innenräume abgeleitet werden, liefert in vielen Fällen sicherlich eine brauchbare erste Annäherung; als Pauschalregelung ist dieser Vorschlag jedoch leicht angreifbar und muss deshalb bei der Anwendung im Einzelfall immer kritisch hinterfragt werden [2].

Die allgemein für Innenräume einschließlich Wohnräume abgeleiteten und toxikologisch begründeten Richtwerte des Umweltbundesamtes [3] (siehe auch Abschnitt 3.5.3.6) erfüllen am ehesten die Kriterien für eine valide Beurteilung der Luftqualität auch an Büroarbeitsplätzen. Ihre Anwendung wird jedoch erheblich dadurch eingeschränkt, dass es Richtwerte derzeit nur für eine sehr begrenzte Anzahl von Einzelstoffen gibt. Weiterhin bleibt zu berücksichtigen, dass die Richtwerte u.a. für Wohnräume abgeleitet wurden, in denen erheblich andere Nutzungsbedingungen als in Arbeitsräumen herrschen. Aus diesem Grund sollten sie

3 Spezialmodule

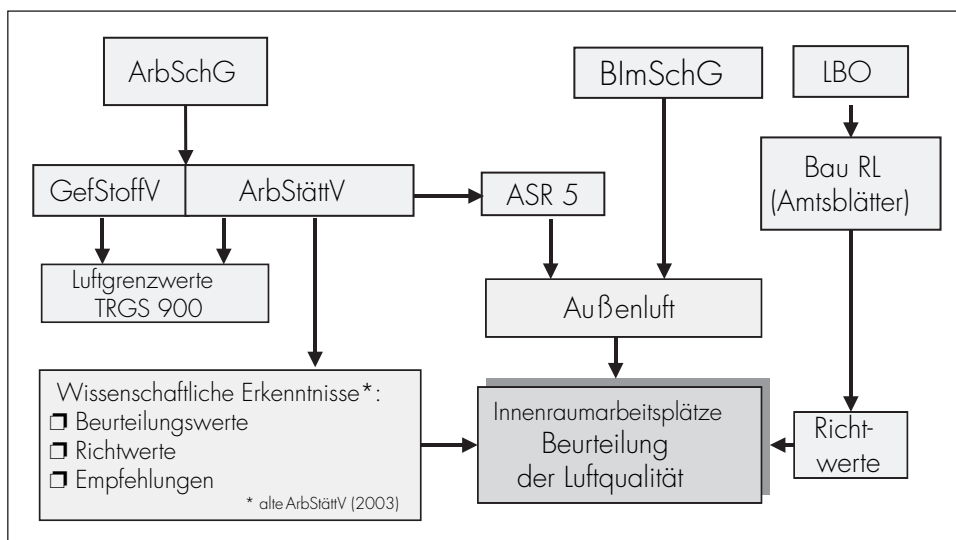
ebenfalls nicht ohne kritische Prüfung für Arbeitsräume übernommen werden.

Rechtsgrundlagen für die Beurteilung der Luftqualität an Innenraumarbeitsplätzen

Den gesetzlichen Hintergrund für den Arbeitsschutz liefert das Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) [4]. Wie die schematische Darstellung (siehe Abbildung 37) zeigt, werden die Vorschriften des Arbeitsschutzgesetzes

auf der hierarchisch darunter liegenden „Verordnungsebene“ durch die Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) [5] bzw. auch durch spezielle Verordnungen wie die Gefahrstoffverordnung [6] konkretisiert. Die Anforderungen der Arbeitsstättenverordnung sind allgemein gültig auf die Beschaffenheit von Arbeitsplätzen ausgerichtet, die Anforderungen der Gefahrstoffverordnung beziehen sich auf Arbeitsplätze, an denen Tätigkeiten mit Gefahrstoffen ausgeübt werden. Die Vorschriften der Arbeitsstättenverordnung sollen

Abbildung 37:
Basisschema zur Beurteilung der Luftqualität



3 Spezialmodule

Bestimmungen nach dem Bauordnungsrecht der Länder (Landesbauordnung LBO) enthalten in wenigen Einzelfällen neben allgemeinen Anforderungen an die Luftqualität auch Richtwerte zu bestimmten Gefahrstoffen, die bei der Beurteilung der Luftqualität an Innenraumarbeitsplätzen ebenfalls zu berücksichtigen sind.

Schlussfolgerung

Da es zur Beurteilung der Luftqualität an Innenraumarbeitsplätzen wie Büros keine Luftgrenzwerte gibt und auch das Kriterium der Außenluftqualität entsprechend ASR 5 [7] undefiniert ist, sollte eine Beurteilung der Luftqualität an Innenraumarbeitsplätzen ohne Tätigkeiten mit Gefahrstoffen gegenwärtig vorzugsweise aufgrund wissenschaftlicher Erkenntnisse erfolgen. Aus wissenschaftlichen Untersuchungen wie Feldstudien an entsprechenden Arbeitsplätzen abgeleitete Referenzwerte können hierzu im Sinne wissenschaftlicher Erkenntnisse herangezogen werden. Voraussetzung ist, dass nicht nur eine weitgehende Vergleichbarkeit zwischen den untersuchten Referenzräumen und dem zu beurteilenden Raum besteht, sondern dass auch vergleichbare Messverfahren und eine vergleichbare Messstrategie zur Anwendung kommen (siehe Abschnitt 3.5.3.6). Auch die vom Umweltbundesamt auf wissenschaftlicher Basis abgeleiteten Innenraumrichtwerte

können unter Berücksichtigung ihres Geltungsbereiches herangezogen werden.

3.5.3.2 Stäube

Nach der Arbeitsstätten-Richtlinie liegt ausreichend gesundheitlich zuträgliche Atemluft in Arbeitsräumen dann vor, wenn die Luftqualität im Wesentlichen der Außenluftqualität entspricht. Die Staubkonzentration sollte demnach nicht höher als der EG-Staubgrenzwert [11] für die Luft der Troposphäre von

$50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0,05 \text{ mg}/\text{m}^3$)

sein.

Dabei ist dieser Wert für die Außenluft in der Regel auf die PM_{10} -Fraktion (particulate matter; $< 10 \mu\text{m}$ Durchmesser) bezogen, die der thoraxgängigen Fraktion für die Beurteilung von Arbeitsplätzen am nächsten kommt. Für Arbeitsplätze in Innenräumen wird die Messung der einatembaren Staubfraktion vorgeschlagen, womit das Messergebnis auf der sicheren Seite liegen würde. Aufgrund der in der Umwelt vorzufindenden Korngrößenbereiche kann das Verhältnis von einatembarem Staub zu PM_{10} -Staub zwischen eins und zwei oder höher schwanken.

Sollte der ermittelte Wert über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ liegen, kann die VDI Richtlinie 2310 Blatt 19 „Maximale Immissions-Konzentrationen für

Schwebstaub“ [12] zur Beurteilung herangezogen werden. Sie wurde nach Festlegung des Richtwertes von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zwar zurückgezogen, unter dem Aspekt der Beurteilung von Gesamtstaubbelastungen an Innenraumarbeitsplätzen kann sie jedoch eine gute Entscheidungshilfe liefern.

Die dort definierten Maximalen Immissionskonzentrationen (MIK-Werte) gelten für einatembare Schwebstaubgemische. Unter Schwebstaub sind in der allgemeinen Umwelt vorkommende unspezifizierte, aerosolförmige Luftinhaltsstoffe zu verstehen, ohne dass dabei spezifische Bestandteile des Schwebstaubes getrennt betrachtet werden. Definitionsgemäß werden im Sinne der Richtlinie als Schwebstaub alle festen und flüssigen Partikeln bestimmt, die in der Luft quasi stabil und quasi homogen dispergiert sind und somit einige Zeit in der Schwebe bleiben. Für den hinsichtlich der Partikelgröße homogen verteilten Schwebstaub und damit auch für den als Inhalationskomponente in Betracht kommenden Anteil des gesamten Luftstaubes ist ein oberer Partikeldurchmesser von etwa 25 bis 30 μm anzunehmen, ohne dass damit eine starre Trennung festgelegt werden soll.

Die Richtwerte dienen zur Abschätzung des Belastungsrisikos durch atmosphärischen Schwebstaub ohne eine eingehende Analyse der zu erwartenden Gesamtdosition aller

inhalieren Partikeln im Atemtrakt. Die Gesamtdosition steht dabei in direkter Beziehung zur Massenkonzentration des Gesamtschwebstaubes. Ausdrücklich wird in der Richtlinie der Wunsch zum Ausdruck gebracht, dass Messungen der Schwebstaubbelastung und Maßnahmen zu deren Verringerung nicht nur für die Außenluft, sondern auch in Innenräumen durchgeführt werden sollten. Folgende MIK-Werte werden angegeben:

- ❑ 1-h-Mittelwert:
 $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$
bis zu drei aufeinander folgende Stunden
- ❑ 24-h-Mittelwert:
 $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$
einmalige Exposition
 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$
an aufeinander folgenden Tagen
- ❑ Jahresmittelwert:
 $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Als Vergleichswert für Belastungen durch einatembaren Staub in Innenräumen könnte somit der MIK-Wert in Höhe von $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ herangezogen werden. Dieser Beurteilungswert sollte im Sinne eines Indikators z.B. möglicher irritativer Wirkungen angesehen werden.

In zunehmendem Maße wird auch die Partikelanzahlkonzentration der Stäube in Innen-

3 Spezialmodule

räumen messtechnisch ermittelt. Zur Beurteilung dieser Messgröße fehlen jedoch zurzeit entsprechende Angaben. Ein Vergleich der Konzentrationsniveaus ist aufgrund der nicht harmonisierten Messmethoden momentan nicht möglich.

Ein Spezialfall der Stäube sind Faserstäube. Hierzu existieren zurzeit allerdings keine validierten Beurteilungswerte.

3.5.3.3 Kohlendioxid

Die Kohlendioxidkonzentration in Innenräumen gilt als ein wesentlicher Indikator für eine ausreichende Luftqualität, wenn der Mensch selbst die Hauptemissionsquelle darstellt und andere Quellen von untergeordneter Bedeutung sind. Die CO_2 -Konzentration ist in diesem Zusammenhang auch ein Maß für die Effektivität der Raumlüftung. Als Richtwert gilt allgemein, dass eine Konzentration von

0,1 Volumen-% CO_2 (1 000 ppm bzw. 1 800 mg/m^3)

(Pettenkofermaßstab, siehe z.B. [13; 14]) nicht überschritten werden sollte. Während im Bundesgesundheitsblatt Nr. 3 (1993) [15] die Einhaltung eines Wertes von 1 500 ppm empfohlen wird, nennen andere Quellen [16; 17] Werte zwischen 700 und 800 ppm, da ab dieser Konzentration schon Klagen über eine unzureichende Raumlüftungsqualität auftreten können.

Zur Sicherung einer ausreichenden Innenraumluftqualität sollte die CO_2 -Konzentration in der Regel 1 000 ppm nicht überschreiten. Die Werte von 700 bis 1 500 ppm können als „Interpretationsbereich“ angesehen werden.

3.5.3.4 Ozon

In der Richtlinie 2002/3/EG des Europäischen Parlaments und des Rates [18] wurde ein Zielwert für Ozon zum Schutz der menschlichen Gesundheit von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ festgelegt, der ab dem Jahr 2010 verbindlich wird. Seit dem 9. September 2003 gilt entsprechend der o.g. Richtlinie für den 1-Stunden-Wert eine Informationsschwelle von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ab der die Bevölkerung unterrichtet werden muss, und eine Alarmschwelle von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

3.5.3.5 Formaldehyd

1977 veröffentlichte das damalige Bundesgesundheitsamt einen Richtwert von 0,1 ppm ($0,12 \text{ mg}/\text{m}^3$) für Formaldehyd [19]. Dieser hat auch heute noch Bestand und bildet u.a. eine Grundlage für Einsatzbeschränkungen von Bauprodukten nach der Chemikalien-Verbotsverordnung [20]. Die Weltgesundheitsorganisation WHO schlägt einen 30-Minuten-Durchschnittswert von

0,1 mg/m³ vor, um die Mehrheit der Bevölkerung vor sensorischen Irritationen zu schützen [21]. Empfohlen wird bei langfristiger Exposition, eine Konzentration von 0,06 mg/m³ nicht zu überschreiten [22].

3.5.3.6 Flüchtige organische Verbindungen

Richtwerte des Umweltbundesamtes

Von der Kommission Innenraumlufthygiene des Umweltbundesamtes (IRK) werden „Richtwerte für die Innenraumluft“ aufgestellt, wobei unterschieden wird zwischen dem Richtwert I (RW I) und dem Richtwert II (RW II) [3]:

„Der Richtwert 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 als Langzeitwert (RW II L) definiert werden.

Der Handlungsbedarf ist als unverzüglicher Prüfbedarf zu verstehen, z.B. im Hinblick auf Sanierungsentscheidungen zur Verringerung der Exposition.“

„Der Richtwert I ist die Konzentration eines Stoffes in der Innenraumluft, bei der im Rahmen einer Einzelstoffbetrachtung nach gegenwärtigem Kenntnisstand auch bei lebenslanger Exposition keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen zu erwarten sind. Eine Überschreitung ist mit einer über das übliche Maß hinausgehenden, hygienisch unerwünschten Belastung verbunden. Der RW I kann als Sanierungszielwert dienen. Er soll nicht ausgeschöpft, sondern nach Möglichkeit unterschritten werden.“

„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.“

Inzwischen wurden Richtwerte für die in Tabelle 38 (siehe Seite 228) aufgeführten organischen Verbindungen abgeleitet [3].

Summe flüchtiger organischer Verbindungen

In der Innenraumluft lässt sich eine Vielzahl flüchtiger organischer Substanzen (VOC, volatile organic compounds) nachweisen;

3 Spezialmodule

Tabelle 38:
Richtwerte für flüchtige organische Verbindungen in der Innenraumlufthygiene [3]

Verbindung	RW II in mg/m ³	RW I in mg/m ³
Methylenchlorid (Dichlormethan)	2 (24 h) ¹⁾	0,2
Naphthalin	0,02	0,002 ²⁾
Pentachlorphenol	1 µg/m ³	0,1 µg/m ³
Styrol	0,3	0,03
bicyclische Terpene ³⁾	2	0,2
Toluol	3	0,3
Tris(2-chlorethyl)phosphat (TCEP)	0,05 ⁴⁾	0,005 ⁴⁾

¹⁾ In Klammern ist, soweit ausdrücklich festgelegt, ein Mittelungszeitraum angegeben, z.B. 24 Stunden (h).

²⁾ Der RW-I-Wert für Naphthalin dürfte auch Schutz vor geruchlichen Belästigungen bieten.

³⁾ Leitsubstanz α -Pinen

⁴⁾ Obwohl die Ergebnisse tierexperimenteller Studien auf ein krebserzeugendes Potenzial der Verbindung hinweisen und für krebserzeugende Stoffe das Basisschema zur Richtwertableitung keine Anwendung finden sollte, sieht die Kommission aufgrund des Fehlens von eindeutigen Hinweisen zur Genotoxizität und des Bedarfs an Orientierungshilfen die Ableitung von Richtwerten für TCEP für vertretbar an.

ihre Summe wird als TVOC (total volatile organic compounds) bezeichnet.

Für komplexe Substanzgemische unterschiedlicher chemischer und toxischer Eigenschaften wie die VOC/TVOC lässt sich das für die Ableitung von Innenraumluftrichtwerten (RW I, RW II) entwickelte Basisschema nicht anwenden, da es für Einzelverbindungen

konzipiert wurde. Obwohl gesicherte Dosis-Wirkungs-Beziehungen fehlen und TVOC-Konzentrationen sich nicht als alleiniges Kriterium für eine gesundheitliche Bewertung der Innenraumlufthygiene eignen, lassen sich dennoch anhand der TVOC-Konzentrationen Beeinträchtigungen durch VOC in der Innenraumlufthygiene bewerten. So ist beispielsweise festzustellen, dass die Wahrscheinlichkeit für das

Auftreten von Reizwirkungen und Geruchswahrnehmungen mit steigender TVOC-Konzentration zunimmt.

Mølhave [23] unterscheidet hauptsächlich aufgrund von Reizwirkungen und Geruchswahrnehmungen folgende Bereiche für die Summe aller VOC (TVOC):

- $< 0,2 \text{ mg/m}^3$
Keine Reizwirkung oder Beeinträchtigung des Wohlbefindens
- $0,2 \text{ bis } 3,0 \text{ mg/m}^3$
Reizung oder Beeinträchtigung des Wohlbefindens möglich, wenn Wechselwirkung mit anderen Expositionsparametern gegeben ist
- $3,0 \text{ bis } 25,0 \text{ mg/m}^3$
Exposition führt zu einer Wirkung, Kopfschmerzen möglich, wenn Wechselwirkung mit anderen Expositionsparametern gegeben ist
- $> 25,0 \text{ mg/m}^3$
Kopfschmerzen, weitere neurotoxische Wirkungen außer Kopfschmerzen möglich

Nach Seifert [24] ist ein täglicher Aufenthalt in Räumen mit TVOC-Konzentrationen zwischen $10 \text{ und } 25 \text{ mg/m}^3$ allenfalls vorübergehend zumutbar. Solche Werte können in

Verbindung mit Renovierungen auftreten und müssen in der Regel durch intensive Lüftung abgebaut werden.

Auf Dauer soll in längerfristig genutzten Räumen der TVOC-Wert $1 \text{ bis } 3 \text{ mg/m}^3$ nicht überschreiten; bei Überschreitung dieses Bereiches ist eine Einzelstoffbetrachtung angezeigt.

Als Ziel für Innenräume wird ein langzeitiges Mittel des TVOC-Werts von $0,2 \text{ bis } 0,3 \text{ mg/m}^3$ angegeben, das nach Möglichkeit sogar zu unterschreiten ist.

Mit der Angabe von Konzentrationsbereichen („hygienischer Vorsorgebereich“) wird sowohl dem begrenzten Wissen über die Wirkungen von VOC-Gemischen als auch der messtechnisch bedingten Unsicherheit Rechnung getragen.

Der in einer früheren Arbeit von Seifert [25] vorgeschlagene Zielwert für TVOC von $0,3 \text{ mg/m}^3$ und die Werte für einzelne VOC-Gruppen sollen nicht mehr verwendet werden [24].

Ableitung von Referenzwerten für Einzelstoffe

Eine verbreitete und bewährte Methode zur Bewertung der Luftqualität in Innenräumen

3 Spezialmodule

beruht auf der Ableitung von Referenzwerten für Einzelstoffe mithilfe von Feldstudien, wobei üblicherweise das 90-Perzentil (gelegentlich auch das 95-Perzentil) eines hinreichend großen Datenkollektivs als Richtwert und das 50-Perzentil als Zielwert bezeichnet werden. Dabei wird ohne toxikologische Bewertung angenommen, dass der in den untersuchten Räumen angetroffene und nicht zu Erkrankungen und Beschwerden Anlass gebende „Normalzustand“ allgemein akzeptiert werden kann. Eine wesentliche Voraussetzung für die Anwendung von Referenzwerten ist die Vergleichbarkeit der Referenzräume und des jeweils betrachteten Innenraumes. Als ausschlaggebende Parameter der Vergleichbarkeit sind die Ausstattung und die Nutzung des Innenraumes, das Messverfahren und die Messstrategie hervorzuheben.

Da diese Referenz- bzw. Zielwerte statistisch ermittelt und nicht gesundheitsbasiert abgeleitet werden, bedeutet ihre Unterschreitung nicht, dass keine gesundheitliche Gefährdung vorliegt. Andererseits kann aus einer Überschreitung dieser Werte nicht automatisch auf eine Gefährdung geschlossen werden. Eine wesentliche Überschreitung eines Wertes (z.B. um den Faktor 10) kann jedoch ein Hinweis darauf sein, dass in dem Raum Emissionsquellen vorhanden sind, die möglicherweise zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen können.

Ableitung von Referenzwerten aus der „Innenraumstudie Büro“ [26]

In den Jahren 2001 bis 2004 wurden unter den in Abschnitt 3.5.2.2 geschilderten Bedingungen Innenraumluftuntersuchungen in Büroräumen von 282 Betrieben durchgeführt. Dabei wurden 315 Messserien mit 2 963 Proben und 31 866 Analysen in der BGIA-Expositionsdatenbank MEGA dokumentiert.

An dem Projekt waren neben dem BGIA insgesamt 19 Berufsgenossenschaften und Unfallversicherungsträger der öffentlichen Hand beteiligt. Die sich daraus ableitende große territoriale Ausdehnung der Probenahmeorte und die breite Palette der Branchen sprechen für eine diesbezüglich repräsentative Untersuchung.

In Tabelle 39 sind die 50-, 90- und 95-Perzentilwerte für die hauptsächlichen, im Rahmen dieser Studie gefundenen Komponenten der Innenraumluft zusammengestellt. Für die statistische Auswertung wurden nur Messdaten betrachtet, die in Arbeitsräumen ohne maschinelle Lüftung bestimmt wurden.

Da in der Regel mehr als 300 Messwerte pro Verbindung ausgewertet wurden, ist eine statistische Absicherung gewährleistet. Aus diesem Grund wird vorgeschlagen, die

Tabelle 39:
Übersicht über die 50-, 90- und 95-Perzentilwerte der Konzentrationen von Verbindungen,
die in den Jahren 2001 bis 2004 in der Luft von Büroräumen ermittelt wurden

Verbindung	Anzahl Messdaten	50-Perzentil- wert in mg/m ³	90-Perzentil- wert in mg/m ³	95-Perzentil- wert in mg/m ³
TVOC (2002 bis 2004)*)	471	0,270	1,000	1,445
Acetaldehyd	404	0,020 ¹⁾	0,040 ¹⁾	0,060 ¹⁾
Acrylaldehyd	376	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,020 ¹⁾
Benzol	583	0,005 ¹⁾	0,008 ¹⁾	0,011 ¹⁾
Butan-1-ol	600	0,007 ¹⁾	0,031 ¹⁾	0,048 ¹⁾
Butanon	607	0,005 ¹⁾	0,016	0,029
2-Butoxyethanol	563	0,005 ¹⁾	0,015	0,031
2-(2-Butoxyethoxy)-ethanol	554	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,006 ¹⁾
2-(2-Butoxyethoxy)-ethylacetat	185	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾
2-Butoxyethylacetat	562	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾
n-Butylacetat	608	0,005 ¹⁾	0,013	0,032
Butyraldehyd	376	0,010 ¹⁾	0,020 ¹⁾	0,040 ¹⁾
Δ ³ -Caren	400	0,005 ¹⁾	0,012	0,027
Decamethylcyclopentasiloxan	399	0,007 ¹⁾	0,052	0,082
Ethylacetat	608	0,005 ¹⁾	0,020	0,036
Ethylbenzol	579	0,005 ¹⁾	0,011	0,016
2-Ethylhexan-1-ol	401	0,006 ¹⁾	0,018	0,024

3 Spezialmodule

Tabelle 39:
(Fortsetzung)

Verbindung	Anzahl Messdaten	50-Perzentilwert in mg/m ³	90-Perzentilwert in mg/m ³	95-Perzentilwert in mg/m ³
Formaldehyd	419	0,028 ¹⁾	0,060	0,076
Glutaraldehyd	376	0,010 ¹⁾	0,010 ¹⁾	0,040 ¹⁾
n-Heptan	603	0,005 ¹⁾	0,016	0,025
Hexanal	173	0,008	0,063	0,088
Limonen	608	0,006 ¹⁾	0,027	0,057
4-Methylpentan-2-on	219	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,035
2-Phenoxyethanol	564	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,012
α-Pinen	580	0,005 ¹⁾	0,018	0,042
Propionaldehyd	376	0,010 ¹⁾	0,015 ¹⁾	0,040 ¹⁾
Styrol	577	0,005 ¹⁾	0,008 ¹⁾	0,012 ¹⁾
Toluol	607	0,015	0,064	0,127
1,2,3-Trimethylbenzol	580	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,007 ¹⁾
1,2,4-Trimethylbenzol	581	0,005 ¹⁾	0,019	0,035
1,3,5-Trimethylbenzol	580	0,005 ¹⁾	0,006 ¹⁾	0,010 ¹⁾
Xylol (alle Isomere)	579	0,008 ¹⁾	0,047	0,080

*) Zu Beginn des Jahres 2002 wurde das TVOC-Auswerteverfahren modifiziert. Es liegen zusätzlich 130 Daten für das Jahr 2001 vor, die nur geringfügige Abweichungen aufweisen.

1) Dieser statistisch ermittelte Verteilungswert liegt unterhalb der höchsten quantitativen Bestimmungsgrenze der angewandten Probenahme- und Analysenverfahren.

90-Perzentilwerte als vorläufige Referenzwerte für die Beurteilung von Büroarbeitsplätzen einzuführen. Nach weiterer Differenzierung und Validierung der Untersuchungsergebnisse und durch Verbreiterung der Datenbasis, insbesondere durch die Fortsetzung der Untersuchungen über den Rahmen des Projektes hinaus, könnten sich diese in der Literatur als allgemein gültige Referenzwerte etablieren. Wesentliche Veränderungen der momentanen Ergebnisse sind in der Regel allerdings nicht zu erwarten, sodass diese Werte bereits jetzt zur Beurteilung der Raumluftqualität herangezogen werden können, soweit die im Folgenden erläuterten generellen Grenzen der Anwendung von Referenzwerten Beachtung finden.

Die Referenzwerte gelten nur bei Anwendung des beschriebenen Messverfahrens, da dieses zur Bestimmung der Stoffkonzentrationen in der Luft am Arbeitsplatz eine wichtige Basis für die Gewinnung der Daten darstellt.

Einzelstoffbewertung, basierend auf anderen Messverfahren

Pionierarbeit zur Ableitung von Referenzwerten für Einzelstoffe hat das damalige Bundesgesundheitsamt mit seinem „Umweltsurvey“ aus den Jahren 1985/86 geleistet [15]. Die Untersuchungen wurden in verschiedenartigsten Innenräumen einschließlich Wohnräumen vorgenommen und liegen inzwischen nahezu 20 Jahre zurück. Unabhängig von der Frage

der Übertragbarkeit dieser Daten auf Büroarbeitsplätze ist zu beachten, dass sich während dieser Zeit erhebliche Änderungen in der Ausstattung und der Nutzung von Innenräumen ergeben haben, die auch Auswirkungen auf die Luftbelastung haben; man denke nur an neue Materialien zur Innenausstattung oder an veränderte Reinigungsmethoden. Die Vergleichbarkeit als wesentliche Voraussetzung für die Anwendung von Referenzwerten ist damit für diese Werte nur eingeschränkt erfüllt. Sie können deshalb nur unter Vorbehalt für Büroarbeitsplätze herangezogen werden.

Auch bei neueren Untersuchungen wird nicht zwischen Arbeitsräumen und sonstigen Wohnräumen unterschieden, sodass entsprechende Referenzwerte ebenfalls nur unter Vorbehalt für Büroarbeitsplätze herangezogen werden können [27]. Erschwerend kommt hinzu, dass auch die bei diesen Studien eingesetzten Messverfahren und die Messstrategien nicht einheitlich sind.

Dennoch sollen im Folgenden die Ergebnisse aus 458 Untersuchungen der Gesellschaft für Umweltchemie (GfU), die in den Jahren 1995 bis 1998 durchgeführt wurden, als Vergleichswerte dargestellt werden (siehe Tabelle 40, siehe Seite 234 ff.). Die Probenahme erfolgte an Aktivkohle Typ NIOSH für un- bis mittelpolare VOC bzw. mithilfe von Probenahmeröhrchen vom Typ Anasorb 747 für polare VOC [28].

3 Spezialmodule

Tabelle 40:
Zusammenfassung der Verteilung der Konzentration von VOC/SVOC in der Innenraumluft
bei Messungen in 458 Verdachtsräumen [28]

Verbindung	50-Perzentilwert in mg/m ³	90-Perzentilwert in mg/m ³
Aromaten	0,061	0,326
Benzol	0,004	0,012
Toluol	0,021	0,156
Ethylbenzol	0,003	0,019
m-/p-Xylol	0,009	0,053
o-Xylol	0,003	0,017
Styrol	n.n.	0,013
2-Ethyltoluol	n.n.	0,007
3-Ethyltoluol	0,002	0,018
4-Ethyltoluol	0,001	0,009
1,3,5-Trimethylbenzol	0,001	0,010
1,2,4-Trimethylbenzol	0,004	0,030
1,2,3-Trimethylbenzol	n.n.	0,007
n-Propylbenzol	n.n.	0,007
iso-Propylbenzol	n.n.	0,004
p-Cymol	n.n.	0,007
n-Butylbenzol	n.n.	0,003
Durol	n.n.	0,003

Verbindung	50-Perzentilwert in mg/m ³	90-Perzentilwert in mg/m ³
Phenol	n.n.	0,005
Alkane, Alicyclen	0,033	0,260
Methylcyclopentan	n.n.	0,006
Cyclohexan	0,003	0,021
Methylcyclohexan	0,001	0,019
n-Hexan	n.n.	0,011
n-Heptan	0,003	0,020
n-Octan	0,001	0,009
n-Nonan	0,001	0,022
n-Decan	0,003	0,039
n-Undecan	0,003	0,038
n-Dodecan	0,002	0,022
n-Tridecan	0,002	0,013
n-Tetradecan	0,002	0,009
n-Pentadecan	0,001	0,006
n-Hexadecan	n.n.	0,004
2,2,4,4,6-PMH	n.n.	0,008
2,2,4,4,6,8,8-HMN	n.n.	0,022

3 Spezialmodule

Tabelle 40:
(Fortsetzung)

Verbindung	50-Perzentilwert in mg/m ³	90-Perzentilwert in mg/m ³
Alkene	0,001	0,018
trimeres Isobuten I + II	n.n.	0,017
Terpene	0,024	0,264
α-Pinen	0,006	0,118
β-Pinen	0,001	0,019
Camphen	n.n.	0,005
Δ ³ -Caren	0,002	0,050
Eucalyptol	n.n.	0,009
Limonen	0,008	0,095
Campher	n.n.	0,003
Sesquiterpene	n.n.	0,0099
Longifolen	n.n.	0,007
Chlorierte Kohlenwasserstoffe	n.n.	0,022
PER (Tetrachlorethen)	n.n.	0,005
Trichlorethen	n.n.	0,002
1,1,1-Trichlorethan	n.n.	0,010
Ester	0,004	0,155
Ethylacetat	n.n.	0,055

Verbindung	50-Perzentilwert in mg/m ³	90-Perzentilwert in mg/m ³
n-Butylacetat	n.n.	0,057
iso-Butylacetat	n.n.	0,004
Texanol-1	n.n.	0,003
Texanol-3	n.n.	0,003
TXIB	n.n.	0,004
EGMBA	n.n.	0,002
DEGMBA	n.n.	0,021
1,2-PGMMA	n.n.	0,013
Ketone	n.n.	0,033
Methylethylketon	n.n.	0,007
MIBK	n.n.	0,011
2-Hexanon	n.n.	0,001
2-Heptanon	n.n.	0,003
Cyclohexanon	n.n.	0,017
Aldehyde	0,020	0,163
n-Pentanal	n.n.	0,033
n-Hexanal	0,003	0,064
n-Heptanal	n.n.	0,007

3 Spezialmodule

Tabelle 40:
(Fortsetzung)

Verbindung	50-Perzentilwert in mg/m ³	90-Perzentilwert in mg/m ³
n-Octanal	n.n.	0,013
n-Nonanal	0,004	0,024
n-Decanal	n.n.	0,010
Alkohole	0,019	0,094
Isobutanol	0,003	0,034
1-Butanol	0,014	0,066
2-Ethylhexanol	0,003	0,012
Ethylenglykole/-ether	0,014	0,400
EGMB	n.n.	0,110
DEGMM	n.n.	0,048
DEGMB	n.n.	0,035
EGMP	n.n.	0,193
Propylenglykole/-ether	n.n.	0,049
1,2-PGMM	n.n.	0,021
1,2-PG	n.n.	0,026
1,2-PGMB	n.n.	0,006
1,2-PGMP	n.n.	0,001
sonstige	n.n.	0,033

Verbindung	50-Perzentilwert in mg/m ³	90-Perzentilwert in mg/m ³
D3	n.n.	0,008
D4	n.n.	0,022
D5	n.n.	0,014
Summe VOC	0,219	1,545
TVOC	0,210	1,490
Abkürzungen/Anmerkungen:		
n.n. = nicht nachweisbar PMH = Pentamethylheptan, HMN = Heptamethylnonan, TXIB = 2,2,4-Trimethyl-1,3-pentandiol-diisobutytrat, EGMBA = Ethylenglykolmonobutyletheracetat, DEGMB = Diethylenglykolmonobutyletheracetat, 1,2-PGMMMA = Propylenglykolmonomethyletheracetat, MIBK = Methylisobutylketon, EGMB = 2-Butoxyethanol, DEGMM = Diethylenglykolmonomethylether, DEGMB = Diethylenglykolmonobutylether, EGMP = 2-Phenoxyethanol, 1,2-PGMM = Propylenglykolmonomethylether, 1,2-PG = 1,2-Propylenglykol, 1,2-PGMB = Propylenglykolmonobutylether, 1,2-PGMP = Propylenglykolmonophenylether, D3 = Hexamethylcyclotrisiloxan, D4 = Octamethylcyclotetrasiloxan, D5 = Decamethylcyclopentasiloxan		

Außenluftwerte

Im Rahmen des BGIA-Messverfahrens Innenraum (siehe Abschnitt 3.5.2.2) wird empfohlen, jeweils auch eine Außenluftmessung parallel zur Messung in den Innenräumen durchzuführen. Bei der „Innenraumstudie Büro“ wurden daher für die einzelnen flüchtigen organischen Verbindungen auch jeweils die Außenluftkonzentrationen bestimmt. Einen Überblick über die statistisch aufbereiteten Ergebnisse liefert Tabelle 41 (siehe Seite 240 f.).

Hilfe für die Ermittlung der Quellen

Basierend auf dem in Abschnitt 3.5.2.2 beschriebenen BGIA-Messverfahren Innenraum können bereits Hinweise auf mögliche Quellen für die Luftbelastungen erhalten werden. Tabelle 42 (siehe Seite 242 ff.) gibt einen Überblick über die routinemäßig erfassten Substanzen und ihre möglichen Quellen im Innenraum. Die Tabelle erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und soll lediglich erste Anhaltspunkte liefern.

3 Spezialmodule

Tabelle 41:
Übersicht über die 50-, 90- und 95-Perzentilwerte der Konzentrationen von Verbindungen,
die im Rahmen der „Innenraumstudie Büro“ in den Jahren 2001 bis 2004 in der Außenluft ermittelt wurden

Verbindung	Anzahl Messdaten	50-Perzentil- wert in mg/m ³	90-Perzentil- wert in mg/m ³	95-Perzentil- wert in mg/m ³
TVOC (2002 bis 2004)*)	212	0,080	0,266	0,426
Acetaldehyd	32	0,010 ¹⁾	0,010 ¹⁾	0,017 ¹⁾
Acrylaldehyd	32	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,010 ¹⁾
Benzol	257	0,005 ¹⁾	0,006 ¹⁾	0,008 ¹⁾
Butan-1-ol	258	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾
Butanon	259	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾
2-Butoxyethanol	240	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾
2-(2-Butoxyethoxy)-ethanol	235	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾
2-(2-Butoxyethoxy)-ethylacetat	91	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾
2-Butoxyethylacetat	235	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾
n-Butylacetat	258	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,006
Butyraldehyd	32	0,010 ¹⁾	0,014 ¹⁾	0,020 ¹⁾
Δ ³ -Caren	186	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾
Decamethylcyclopentasiloxan	186	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,006
Ethylacetat	258	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,010
Ethylbenzol	250	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,006
2-Ethylhexan-1-ol	185	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,009

Verbindung	Anzahl Messdaten	50-Perzentilwert in mg/m ³	90-Perzentilwert in mg/m ³	95-Perzentilwert in mg/m ³
Formaldehyd	48	0,005 ¹⁾	0,010 ¹⁾	0,010 ¹⁾
Glutaraldehyd	32	0,010 ¹⁾	0,010 ¹⁾	0,017 ¹⁾
n-Heptan	258	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,009
Hexanal	87	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,011
Limonen	257	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾
4-Methylpentan-2-on	70	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾
2-Phenoxyethanol	243	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾
α -Pinen	251	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾
Propionaldehyd	32	0,010 ¹⁾	0,010 ¹⁾	0,017 ¹⁾
Styrol	251	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾
Toluol	259	0,006	0,029	0,062
1,2,3-Trimethylbenzol	251	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾
1,2,4-Trimethylbenzol	251	0,005 ¹⁾	0,006	0,008
1,3,5-Trimethylbenzol	251	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾	0,005 ¹⁾
Xylol (alle Isomere)	251	0,005 ¹⁾	0,012	0,021

*) Zu Beginn des Jahres 2002 wurde das TVOC-Auswerteverfahren modifiziert. Es liegen zusätzlich 48 Daten für das Jahr 2001 vor, die nur geringfügige Abweichungen aufweisen.

1) Dieser statistisch ermittelte Verteilungswert liegt unterhalb der höchsten quantitativen Bestimmungsgrenze der angewandten Probenahme- und Analysenverfahren.

3 Spezialmodule

Tabelle 42:
Mögliche Quellen für die mit dem BGIA-Messverfahren Innenraum routinemäßig untersuchten Substanzen in der Innenraumluft [29; 30]

Substanz	Mögliche Quellen
Acetaldehyd	Alkoholika, aus PET-Gebinden
Acrylaldehyd	Lackharze, Riechstoffe
Benzol	Kfz-Abgase und Kfz-Kraftstoffe (auch Dieselmotoren/Heizöl); Zigarettenrauch
Butanol	Hydrolyse von Weichmachern (Hinweis auf Feuchteschaden)
Butanon	Lösungsmittel in Lacken und Harzen
2-Butoxyethanol	Lösungsmittelarme Systeme wie Wasserlacke, Dispersionsfarben, Dispersionskleber
2-(2-Butoxyethoxy)-ethanol	Lösungsmittelarme Systeme wie Wasserlacke, Dispersionsfarben, Dispersionskleber
2-(2-Butoxyethoxy)-ethylacetat	Hilfsstoff in Dispersionen wie z.B. Wandfarben, Putze, Putzmörtel, Baukleber, Holz- und Papierleime, Druckfarben, Acrylharzlacke
2-Butoxyethylacetat	Lösungsmittelarme Systeme wie Wasserlacke, Dispersionsfarben, Dispersionskleber
n-Butylacetat	Lösungsmittel in Lacken
Butyraldehyd	Kunstharze, Weichmacher, Lösungsmittel, synthetische Gerb- und Riechstoffe, Aromen
Δ^3 -Caren	Nadelhölzer, Terpentinöle, Naturfarben (i.d.R. heute nicht mehr); Mittel zur Möbelpolitur und -pflege
Decamethylcyclopentasiloxan	Möbellacke, Fugendichtmassen, Kosmetikartikel (z.B. Deoroller)
Ethanol	Glasreiniger (Spiritus), Parfüm, Alkoholika
Ethylacetat	Lösungsmittel in Klebern, Farben, Lacken

Substanz	Mögliche Quellen
Ethylbenzol	Lösungsmittel in Lacken und Klebern
2-Ethylhexan-1-ol	Hydrolyse von Weichmachern (Hinweis auf Feuchteschaden); Dispersions-, Acrylfarben, Lacke, Kleber, Teppichböden
Formaldehyd	Leim- und Sperrhölzer, verleimte Parkettböden, OSB-Platten, Laminatböden, Spanplatten, Teppichböden, Klebstoffe, Farben, Lacke, Leime, Fußbodenversiegelung, Zigarettenrauch
Glutaraldehyd	Desinfektionsmittel, Hydrophobierungsmittel für Papier, Tapeten, Textilien
n-Heptan	Lösungsmittel in schnell trocknenden Lacken und Klebstoffen
Hexanal	Anstrichmittel, Linoleum
Limonen	Schale von Zitrusfrüchten, Lösungsmittel in Naturfarben, Zitrusduft in Reinigungsmitteln und Kosmetika
2-Phenoxyethanol	lösungsmittelarme Systeme wie Wasserlacke, Dispersionsfarben, Dispersionskleber
α -Pinen	frische Nadelhölzer, Terpentinöle
Propionaldehyd	Kunststoffe, Weichmacher, Kautschuk-Hilfsprodukte, Duftstoffe, Chemikalien, Arzneimittel
Styrol	Klebstoffe
Toluol	Bodenbeläge, Lösungsmittel in Lacken und Klebern
1,2,3-Trimethylbenzol	Lösungsmittel in Klebstoffen, Lacken und Farben
1,2,4-Trimethylbenzol	Lösungsmittel in Anstrichmitteln und Klebern
1,3,5-Trimethylbenzol	Lösungsmittel in Anstrichmitteln, Textilhilfsmittel
Xylole	Lösungsmittel in Lacken und Klebern sowie anderen Anstrichmitteln

3 Spezialmodule

3.5.3.7 Weitere Stoffe

Richtwerte des Umweltbundesamtes

Von der Kommission Innenraumlufthygiene (IRK) wurden neben den Richtwerten für

flüchtige organische Verbindungen (vgl. Abschnitt 3.5.3.6) auch für die anorganischen Gase Kohlenmonoxid und Stickstoffdioxid sowie für Quecksilberdämpfe Richtwerte für die Innenraumluft abgeleitet (siehe Tabelle 43) [3].

Tabelle 43:
Weitere Richtwerte für die Innenraumluft der IRK [3]

Verbindung	RW II in mg/m ³	RW I in mg/m ³
Kohlenmonoxid	60 (0,5 h) ¹⁾	6 (0,5 h) ¹⁾
	15 (8 h) ¹⁾	1,5 (8 h) ¹⁾
Stickstoffdioxid	0,35 (0,5 h) ¹⁾	–
	0,06 (1 Woche) ¹⁾	–
Quecksilber als metallischer Dampf	0,35 µg/m ³	0,035 µg/m ³

¹⁾ In Klammern ist, soweit er ausdrücklich festgelegt wurde, ein Mittelungszeitraum angegeben, z.B. 24 Stunden (h).

3.5.3.8 Literaturverzeichnis zum Abschnitt „Beurteilung von chemischen Einwirkungen“

- [1] Technische Regeln für Gefahrstoffe:
Grenzwerte in der Luft am Arbeits-
platz – Luftgrenzwerte (TRGS 900). BArbBl.
(2000) Nr. 10, S. 34-63. Zuletzt geändert
BArbBl. (2004) Nr. 5, S. 55
- [2] *Kleine, H.; Barig, A.; Nies, E.;
Blome, H.*: Gefahrstoffgrenzwerte in der
Arbeits- und in der sonstigen Lebensumwelt –
ein Vergleich. Staub – Reinhalt. Luft 54
(1994) Nr. 7/8, S. 261-264
- [3] Richtwerte für die Innenraumluft.
[http://www.umweltbundesamt.de/
uba-info-daten/daten/irk.htm](http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/irk.htm)
- [4] Gesetz über die Durchführung von
Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur
Verbesserung der Sicherheit und des
Gesundheitsschutzes der Beschäftigten
bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz –
ArbSchG) vom 7. August 1996. BGBl. I
1996 S. 1246; zul. geänd. am
19. Dezember 1998, BGBl. I S. 2843
- [5] Verordnung über Arbeitsstätten
(Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV)
vom 12. August 2004. BGBl. I (2004),
S. 2179
- [6] Verordnung zur Anpassung der
Gefahrstoffverordnung an die EG-Richtlinie
98/24/EG und andere EG-Richtlinien.
BGBl. I (2004), S. 3758, geänd. BGBl. I
(2004), S. 3855
- [7] Arbeitsstätten-Richtlinie Lüftung (ASR 5)
vom 22. August 1979. BArbBl. (1979)
Nr. 10, S. 103; zul. geänd. BArbBl. (1984)
Nr. 12, S. 85
- [8] Gesetz zum Schutz vor schädlichen
Umwelteinwirkungen durch Luftverunrei-
nungen, Geräusche, Erschütterungen und
ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissions-
schutzgesetz – BImSchG) vom 26. Septem-
ber 2002. BGBl. I (2002) Nr. 71, S. 3830
- [9] *Opfermann, R.; Streit, W.*: Arbeitsstätten.
Forkel, Heidelberg 2000, Losebl.-Ausg.
- [10] BGIA-Handbuch Sicherheit und
Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz. Hrsg.:
Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeits-
schutz – BGIA, Sankt Augustin. 2. Aufl. Erich
Schmidt, Berlin 2003 – Losebl.-Ausg.
- [11] Richtlinie 1999/30/EG des Rates
vom 22. April 1999 über Grenzwerte
für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und
Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft.
ABl. EG Nr. L 163 vom 29. Juni 1999,
S. 41; zul. geänd. ABl. EG Nr. L 278 vom
23. Oktober 2001, S. 35

3 Spezialmodule

- [12] VDI 2310 Blatt 19: Maximale Immissions-Konzentrationen für Schwebstaub. VDI, Düsseldorf 1992
- [13] *Witthauer, J., Horn, H.; Bischof, W.:* Raumluftqualität. C.F. Müller, Karlsruhe 1993
- [14] Ventilation for acceptable indoor air quality. Hrsg.: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) (1989) Vol. 62
- [15] Bekanntmachung des Bundesgesundheitsamtes: Bewertung der Luftqualität in Innenräumen. Bundesgesundheitsbl. 36 (1993) Nr. 3, S. 117-118
- [16] *Phoon, W.O., Seneviratne, M.; Rabone, S.; Gutierrez, L.:* Building-related health problems: A system of study method. Indoor Environm. 4 (1995), S. 204-226
- [17] OSHA: 29 CFR Part 1915, 1926, 1928: Indoor Air Quality Department of Labor; Occupational Safety and Health Administration. Federal Register, 1994 Vol. 99, No 65
- [18] Richtlinie 2002/3/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Februar 2002 über den Ozongehalt der Luft. ABl. EG Nr. L 67 vom 9. März 2002, S. 14
- [19] Zur Gültigkeit des 0,1 ppm-Wertes für Formaldehyd. Bundesgesundheitsbl. 35 (1992), S. 482-483
- [20] Verordnung über Verbote und Beschränkungen des Inverkehrbringens gefährlicher Stoffe, Zubereitungen und Erzeugnisse nach dem Chemikaliengesetz (ChemVerbotsV – Chemikalien-Verbotsverordnung) vom 13. Juni 2003. BGBl. I Nr. vom 25. Juni 2003, S. 867; zul. geänd. BGBl. I vom 25. November 2003, S. 2343
- [21] WHO Air Quality Guidelines – Second Edition, 2001 Chapter 5
- [22] *Agar, J.P.; Gording, D.A.; Hartley, M.R.; Hope, L.A.E.; Michell, R.M.; Powell, C.B.:* Air Quality Monitoring Report – Richmond Primary School Environment Protection Authority, Adelaide, July 2001, p. 10
- [23] *Møllhave, L.:* Volatile organic compounds, Indoor Air Quality and Health. Indoor Air 1 (1991), S. 357-376
- [24] *Seifert, B.:* Richtwerte für die Innenraumluft. Die Beurteilung der Innenraumluftqualität mit Hilfe der Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC-Wert). Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch. Gesundheitsschutz 42 (1999), S. 270-278

- [25] *Seifert, B.*: Regulating indoor air. In: Proc. Indoor Air '90, Toronto, Vol. 5, S. 35-49
- [26] *Schlechter, N., et al.*: Beurteilung der Raumluftqualität an Büroarbeitsplätzen. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 64 (2004) Nr. 3, S. 95-99
- [27] *Schleibinger, H.; Hott, U.; Marchl, D.; Pliening, P.; Braun, P.; Rüden, H.*: Ziel- und Richtwerte zur Bewertung der VOC-Konzentrationen in der Innenraumluft – ein Diskussionsbeitrag. Umweltmed. Forsch. Prax. 7 (2002) Nr. 3, S. 139-147
- [28] *Scholz, H.*: Vorkommen ausgewählter VOC in Innenräumen und deren Bewertung. In: Gebäudestandard 2000 – Energie und Raumluftqualität. Hrsg.: Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) e.V. Springe-Eldagsen 1998
- [29] *Kirschmann, H.*: Baubiologie – Gesundheitsrisiken im Haus und am Arbeitsplatz aufspüren und reduzieren. <http://www.kirschmann.de>
- [30] CD Römpp Chemie Lexikon. Thieme, Stuttgart