

12 Chemische Einwirkungen

u. a. durch Reaktionen mit anderen flüchtigen Stoffen.

Die Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Luftqualität und saubere Luft für Europa [6] legt zum Schutz der menschlichen Gesundheit als höchsten 8-Stunden-Mittelwert eines Tages für Ozon einen Wert von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ fest.

Dieser darf an höchstens 25 Tagen im Jahr überschritten werden. Darüber hinaus gelten für den Ein-Stunden-Wert eine Informationsschwelle von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ab der die Bevölkerung unterrichtet werden muss, und eine Alarmschwelle von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Besonders bei sonnigem Hochsommerwetter sind hohe Konzentrationen und damit eine Überschreitung der Beurteilungswerte nicht ausgeschlossen. 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. Dabei ist es grundsätzlich besser, für kurze Zeit stoßweise zu lüften und danach Fenster und Türen wieder zu schließen.

12.4.3 Formaldehyd

Formaldehyd ist eine Grundchemikalie, die in der chemischen Industrie 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 (siehe Abschnitt 6.4.3).

Weitere für den Innenraum relevante Formaldehydquellen sind Harnstoff-Formaldehydharz-Ortsschäume, Lacke (hier vor allem

säurehärtende Siegelacke bei Parkettböden und Möbeln), Furniere, Textilien, Teppichböden, bindemittelhaltige Fasermatten etc. Darüber hinaus ist Formaldehyd in wässrigen Zubereitungen als Desinfektions- und Konservierungsmittel enthalten und auch in Körperpflegemitteln, Putz- und Wischmitteln nachweisbar.

Im Jahre 2004 hat eine Arbeitsgruppe der Internationalen Krebsforschungsagentur (International Agency for Research on Cancer, IARC) Formaldehyd in die Stufe 1 „carcinogenic to humans“ eingestuft [7; 8]. Daraufhin schlug das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) im Frühjahr 2006 als „sichere Konzentration“ (Safe Level) im Hinblick auf die krebserzeugende Wirkung von Formaldehyd beim Menschen eine Luftkonzentration von $0,1 \text{ ppm}$ ($0,12 \text{ mg}/\text{m}^3$) vor [9]. Dem schloss sich im Herbst 2006 die Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte an [10].

Die WHO schlägt einen 30-Minuten-Durchschnittswert von $0,1 \text{ mg}/\text{m}^3$ ($0,08 \text{ ppm}$) vor, um die Mehrheit der Bevölkerung vor sensorischen Irritationen zu schützen [11]. Empfohlen wird bei langfristiger Exposition, eine Konzentration von $0,06 \text{ mg}/\text{m}^3$ ($0,05 \text{ ppm}$) nicht zu überschreiten [12].

12.4.4 Flüchtige organische Verbindungen

Die flüchtigen organischen Verbindungen (volatile organic compounds, VOC) lassen sich gemäß Tabelle 30 klassifizieren.

Tabelle 30:
Klassifikation von VOC in Anlehnung an die Weltgesundheitsorganisation [13]

Klassifikation	Abkürzung	Siedebereich in °C
Sehr flüchtige organische Verbindungen Very volatile organic compounds	VVOC	< 0 bis 50-100
Flüchtige organische Verbindungen Volatile organic compounds	VOC	50-100 bis 240-260
Schwer flüchtige organische Verbindungen Semivolatile organic compounds	SVOC	240-260 bis 380-400
Partikuläre Verbindungen Organic compounds associated with particulate (organic) matter	POM	> 380

Während die sehr flüchtigen und flüchtigen organischen Verbindungen nahezu ausschließlich in der Raumluft nachgewiesen werden, findet man die schwer flüchtigen organischen Verbindungen wie Biozide und Phthalate sowie die partikelgebundenen Stoffe (POM) zu überwiegenden Anteilen im sedimentierten Hausstaub und an Schwebstaub gebunden. Eine adäquate Beurteilungsgrundlage kann hierbei nur eine Untersuchung des abgelagerten Staubs ergeben.

Die luftgetragenen VOC sind durch eine außerordentliche Vielzahl von Stoffen charakterisiert, die sich in folgende Substanzklassen unterteilen lassen:

- aliphatische Kohlenwasserstoffe
- aromatische Kohlenwasserstoffe
- Alkohole
- Ketone
- Ester, vorwiegend Acetate und Acrylate

- Glykolverbindungen, sowohl Glykolester als auch Glykolether
- Terpene
- Siloxane (D3- bis D6-Siloxan)

Auch Aldehyde zählen zu den VOC. Aufgrund ihrer separaten Analytik werden sie jedoch häufig gesondert erwähnt.

In Innenräumen gibt es eine Vielzahl potenzieller Quellen für flüchtige organische Verbindungen. Diese lassen sich in drei Kategorien einteilen:

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

Als gebäudebezogene Quellen für VOC kommen nahezu alle Materialien infrage, die in modernen Bauten Verwendung finden. Das Stoffspektrum spiegelt dabei Veränderungen

12 Chemische Einwirkungen

in der Zusammensetzung der verwendeten Materialien wider. So werden in Zukunft vermehrt Dicarbonsäuredimethylester (DBE) nachgewiesen werden können – eine Substanzgruppe, die als Ersatz für herkömmliche Lösungsmittel fungiert. Auch bisher emissionsarme Materialien wie Bausteine, Mörtel und andere Konstruktionselemente enthalten heute kunststoff- und lösungsmittelhaltige Zuschlagstoffe. Weitere Quellen können Wandverkleidungen, Bodenbeläge, Isolationsmaterialien, Dichtmassen, Möbel, Farben, Lacke und Lösungsmittel für den Innenausbau sein (siehe Abschnitt 6.4).

Durch menschliche Aktivitäten werden VOC in Form von Reinigungs- und Pflegemitteln sowie durch Kosmetika, Desinfektionsmittel, Pflanzenschutzmittel und Tabakrauch eingebracht. Auch ein Eintrag von VOC über die Außenluft ist möglich (z. B. Straßenverkehr).

Ermittlung

Bei der Ermittlung möglicher VOC-Quellen ist zunächst zu prüfen, ob in jüngerer Zeit Renovierungsarbeiten durchgeführt oder neue Möbel, Geräte etc. aufgestellt wurden (siehe hierzu Ermittlungsbogen G2 in Anhang III). In solchen Fällen gelingt es häufig, durch ausgedehntes Lüften in Kombination mit einem Ausheizen der Räume die VOC-Konzentrationen zu senken. Auch die Verwendung spezieller Reinigungsmittel oder Raumdüfte muss als Quelle überprüft werden. Hinweise auf Einträge von außen enthält der Ermittlungsbogen G2 ebenfalls, in dem u. a. auf die Lage des Gebäudes eingegangen wird.

Ein wichtiger Parameter zur Beurteilung der Innenraumluftqualität ist die Summe der VOC im Siedebereich 50 bis 260 °C (siehe

Tabelle 30), die als TVOC (total volatile organic compounds) bezeichnet wird. Der Siedebereich umfasst weitestgehend die Stoffe, die analytisch auf einer unpolaren Säule im Elutionsbereich zwischen n-Hexan und n-Hexadecan detektierbar sind [14].

Obwohl gesicherte Dosis-Wirkungs-Beziehungen fehlen und TVOC-Konzentrationen sich nicht als alleiniges Kriterium für eine gesundheitliche Bewertung der Innenraumluftqualität eignen, lassen sich dennoch anhand der TVOC-Konzentrationen Beeinträchtigungen durch VOC in der Innenraumluft bewerten. So ist beispielsweise festzustellen, dass die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Reizwirkungen und Geruchswahrnehmungen mit steigender TVOC-Konzentration zunimmt. Die Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte empfiehlt, für die Beurteilung der TVOC-Konzentration das fünfstufige Konzept von *Seifert* aus dem Jahre 1999 heranzuziehen (siehe Tabelle 31) [14]. In der Regel muss im Rahmen der VOC-Bewertung Folgendes geklärt werden:

- Liegen Richtwertüberschreitungen vor (siehe hierzu Abschnitt 12.3.1)?
- Liegen auffällige Referenzwertüberschreitungen vor (siehe hierzu Abschnitt 12.3.3)?
- Sind die raumklimatischen Bedingungen (Luftwechsel, Temperatur, Luftfeuchte) einwandfrei (siehe hierzu Kapitel 9)?

In Anhang V findet sich eine Tabelle mit möglichen Quellen für Einzelstoffe.

Tabelle 31:
Hygienische Bewertung von TVOC-Werten und daraus resultierende Empfehlungen für Maßnahmen [14]

Stufe	Konzentration in mg/m ³	Hygienische Bewertung	Empfehlungen
1	≤ 0,3	Hygienisch unbedenklich in der Regel keine Beschwerden	Keine weiteren Maßnahmen
2	> 0,3 bis 1	Hygienisch noch unbedenklich, soweit keine Richtwertüberschreitungen für Einzelstoffe oder Stoffgruppen vorliegen. In Einzelfällen Beschwerden oder Geruchswahrnehmungen, z. B. nach kleineren Renovierungsmaßnahmen oder Neumöblierungen in den letzten Wochen	Ausreichend Lüften besonders nach Renovierungsarbeiten VOC-Quellen ermitteln (z. B. Begehung des Raums), Verwendung von Putz- und Reinigungsmitteln überprüfen, Nachmessungen zur Kontrolle von Richtwertüberschreitungen unter Nutzungsbedingungen
3	> 1 bis 3	Hygienisch auffällig Nutzung bei Räumen, die regelmäßig genutzt werden, nur befristet akzeptabel (< 12 Monate) Innerhalb von ca. sechs Monaten sollte die TVOC-Konzentration deutlich unter den anfangs gemessenen TVOC-Wert abgesenkt werden. Fälle mit Beschwerden oder Geruchswahrnehmungen, z. B. nach größeren Renovierungsarbeiten	Richtwertüberschreitungen umgehend durch Nachmessung unter Nutzungsbedingungen kontrollieren Auffällige Referenzwertüberschreitungen auf gesundheitliche Relevanz prüfen In jedem Fall: Quellensuche durchführen und Lüftungsverhalten überprüfen: intensiv lüften und ggf. Nutzungs- und Lüftungsbedingungen festlegen Kontrollmessung bzw. Nachmessung nach ca. einem Monat empfohlen (unter Nutzungsbedingungen)
4	> 3 bis 10	Hygienisch bedenklich Nutzung bei Räumen, die regelmäßig genutzt werden, nur befristet akzeptabel (< 1 Monat) Die TVOC-Konzentration sollte innerhalb eines Monats unter 3 mg/m ³ abgesenkt werden. Fälle mit Häufung von Beschwerden oder Geruchswahrnehmungen, z. B. nach größeren Renovierungsarbeiten	Richtwertüberschreitungen umgehend durch Nachmessung unter Nutzungsbedingungen kontrollieren Auffällige Referenzwertüberschreitungen auf gesundheitliche Relevanz prüfen. Toxikologische Bewertung von Einzelstoffen oder Stoffgruppen erforderlich In jedem Fall: Quellensuche durchführen und intensiv lüften und ggf. Nutzungs- und Lüftungsbedingungen festlegen und geeignete Minimierungsmaßnahmen veranlassen. Ein ggf. notwendiger Aufenthalt ist nur mit zeitlicher Beschränkung pro Tag über einen vom Gesundheitsamt vorzugebenden maximalen Zeitraum (pro Tag stundenweise/zeitlich befristet) tolerabel.

12 Chemische Einwirkungen

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