

| | |
|---------------------|---|
| Zeitschrift: | Mitteilungen aus dem Gebiete der Lebensmitteluntersuchung und Hygiene = Travaux de chimie alimentaire et d'hygiène |
| Herausgeber: | Bundesamt für Gesundheit |
| Band: | 87 (1996) |
| Heft: | 5 |
| Artikel: | Wohngifte - Fremdstoffe in der Luft von Innenräumen und mögliche Wirkungen auf den Menschen = Volatile organic compounds in indoor air and their possible effects on humans |
| Autor: | Schmid, Peter / Mengon, Wolfgang / Schlatter, Christian |
| DOI: | https://doi.org/10.5169/seals-982090 |

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 27.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Wohngifte – Fremdstoffe in der Luft von Innenräumen und mögliche Wirkungen auf den Menschen

Volatile Organic Compounds in Indoor Air and their Possible Effects on Humans

Key words: Volatile organic compounds, Indoor air, Health, Formaldehyde

Peter Schmid, Wolfgang Mengon und Christian Schlatter
Institut für Toxikologie der Eidg. Technischen Hochschule und der
Universität Zürich, Schwerzenbach

Einleitung

Unter der Vielzahl von Faktoren, welche das Wohlbefinden und die Gesundheit in Wohn- und Aufenthaltsräumen beeinflussen können, wird den organischen Luftfremdstoffen unter dem Begriff «Wohngifte» vor allem in der öffentlichen Meinung eine grosse Bedeutung zugemessen. Über kausale Zusammenhänge zwischen Fremdstoffen und von ihnen ausgelösten Wirkungen ist allerdings noch wenig bekannt. Es war deshalb Ziel der vorliegenden Arbeit, ursächliche Zusammenhänge zwischen gesundheitlichen Beschwerden und dem Vorkommen von flüchtigen organischen Luftfremdstoffen in Innenräumen anhand von Fallstudien zu identifizieren.

Der Begriff «Luftfremdstoff» umfasst alle inhalierbaren Fremdbestandteile von Atemluft. Diese können gemäss Tabelle 1 nach ihren physikalischen und chemischen Eigenschaften eingeteilt werden. Luftfremdstoffe in Innenräumen des Wohn- und Bürobereichs sind meist Mischformen; so enthält z. B. Zigarettenrauch sowohl gasförmige als auch aerosolförmige und partikuläre Komponenten.

Hohe Konzentrationen an Luftfremdstoffen sind dort zu erwarten, wo einerseits die Luft durch Emissionsquellen kontaminiert und andererseits die Verdunstung dieser belasteten Luft durch eingeschränkten Luftwechsel verlangsamt ist. Neben spezifisch belasteten Arbeitsplätzen treten solche Situationen in Innenraumbereichen auf, wo Baumaterialien und Einrichtungsgegenstände kontinuierlich Stoffe in die Umgebungsluft freisetzen können, welche dann hauptsächlich über den inhalativen Pfad aufgenommen werden. Die im Rahmen dieser Arbeit

Tabelle 1. Einteilung der Luftfremdstoffe (flüchtige organische Stoffe (VOC) gemäss WHO (14))

| Physikalische Einteilung | Chemische Einteilung | Einteilung nach Flüchtigkeit | Beispiele (Innenräume) |
|--------------------------|----------------------|--|---|
| partikular | | | Hausstaub, Mineralfasern |
| aerosolförmig | | | Kosmetika, Reinigungsmittel und Pestizide in Haushalts sprays |
| gasförmig | anorganisch | | Kohlendioxid, Radon |
| | organisch | leichtflüchtig (Sdp. < 50 °C) VVOC, very volatile organic compounds | Formaldehyd |
| | | flüchtig (Sdp. 50–250 °C) VOC, volatile organic compounds | Lösungsmittel |
| | | schwerflüchtig (Sdp. > 250 °C) SVOC, semivolatile organic compounds | Pentachlorphenol |

untersuchten Luftfremdstoffe gehören zur Gruppe der flüchtigen organischen Verbindungen (VOC, volatile organic compounds); partikuläre und aerosolförmige Luftfremdstoffe sind in diesem Zusammenhang von geringerer Bedeutung.

Luftfremdstoffe können auf den exponierten Menschen über die sensorischen Sinnesorgane, durch direkte Reizung von Augen und Schleimhäuten oder durch systemische Effekte nach hauptsächlich inhalativer Aufnahme in den Organismus wirken. Die sensorische Wahrnehmung von Luftfremdstoffen, z. B. die Belästigung durch unangenehme Gerüche, kann emotionale Reaktionen auslösen, welche durch psychovegetative Kopplung somatische Effekte hervorrufen können. Da diese Interaktionen den individuell-psychologischen Bereich tangieren, sind sie nur schwer zu erforschen und zu belegen. Es gibt allerdings auch Stoffe, welche in biologisch wirksamen Konzentrationen geruchlich nicht wahrgenommen werden; wegen ihrer meist beträchtlichen akuten Toxizität kommen solche Chemikalien im Innenraumbereich kaum vor und haben daher in diesem Zusammenhang keine grosse Bedeutung.

Da in Wohngiftfällen meistens Stoffgemische nachgewiesen werden, gestaltet sich die Identifizierung der aktiven, symptomauslösenden Komponenten oft schwierig. In realen Situationen, z. B. nach Bauarbeiten, werden in der Innenraumluft oft Lösungsmittelgemische angetroffen, welche aus mehreren der verwendeten

Produkte stammen können. Noch viel komplexer sind «natürliche» Luftfremdstoffe, wie z. B. Tabakrauch; hier wurden über 3000 Einzelsubstanzen nachgewiesen (1). Bei Gemischen kann auf zwei Arten vorgegangen werden:

- Die Wirkung einzelner Komponenten kann untersucht werden.
- Bei Gemischen mit bekannter oder relativ konstanter Zusammensetzung, wie z. B. Tabakrauch, kann neben spezifischen Wirkungen einzelner Komponenten (z. B. Kohlenmonoxid, Nikotin, polzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe) auch die Gesamtwirkung untersucht werden.

Die Wohngiftproblematik umfasst die Gesamtheit unerwünschter Wirkungen auf den Menschen durch Luftfremdstoffe, welche in Innenräumen, vor allem im Wohnbereich, freigesetzt und inhalativ aufgenommen werden. Für einzeln vorkommende Stoffe kann der Zusammenhang zwischen auftretender Konzentration und verursachter Wirkung mit den Methoden der Inhalationstoxikologie vergleichsweise einfach ermittelt werden. Die Untersuchung der Wirkung von Gemischen, wie sie für die Wohngiftfälle charakteristisch sind, ist eine sehr komplexe Problemstellung. Da die Zusammensetzung von Fall zu Fall stark variieren kann, ist auch der Bezug auf eine Standardmischung, wie z. B. bei Zigarettenrauch, meistens nicht möglich.

Im konkreten Fall von aufgetretenen gesundheitlichen Beeinträchtigungen stellt sich die grundsätzliche Frage, ob und welche der aufgetretenen Symptome überhaupt durch die Raumluft verursacht werden. Besonders bei diffusen Beschwerden muss eine ganze Reihe von weiteren möglicherweise auslösenden Faktoren erwogen werden, welche in Innenräumen das Wohlbefinden beeinträchtigen können. Das Raumklima wird von Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Zug und Luftwechsel mitbestimmt. Sodann muss auch die Zuordnung von Symptomen unbekannter Genese zum Raumklima durch die Betroffenen entsprechend dem tief verwurzelten Kausalitätsbedürfnis in Betracht gezogen werden; Auto- oder Fremdsuggestion können ebenfalls eine Rolle spielen.

Bei genügend starken Indizien für hohe Fremdstoffkonzentrationen in der Innenraumluft, wie z. B. wahrgenommene Gerüche oder direkte irritative Wirkungen, muss abgeklärt werden, ob die Symptome bestimmten Luftinhaltstoffen zugeordnet werden können und aus welchen Quellen sie stammen. So sind z. B. von Formaldehyd sowohl das irritative Potential als auch mögliche Quellen (Spanplatten, Polyurethan-Schäume) bekannt. Aus den Ergebnissen solcher Untersuchungen können Massnahmen abgeleitet werden, oder es kann eine Prognose über den weiteren Verlauf der Luftkonzentrationen gestellt werden, d. h. es kann abgeschätzt werden, in welchem Zeitraum die Konzentrationen durch Ausgasen soweit abgesunken sind, dass auch mit einem Nachlassen der Symptome gerechnet werden kann.

In Beschwerdefällen kann zwar chemisch-analytisch die Zusammensetzung der Luftfremdstoffe bestimmt werden. Die eigentliche Schwierigkeit stellt sich bei der Identifikation der für die festgestellten Wirkungen verantwortlichen Stoffe, da erfahrungsgemäß die Vielzahl von nachgewiesenen flüchtigen organischen Stoffen in einem so tiefen Konzentrationsbereich liegt, dass sowohl Einzel- wie auch Kombinationswirkungen a priori äußerst unwahrscheinlich sind.

Die vorliegende Arbeit wurde mit dem Ziel durchgeführt, mögliche Zusammenhänge zwischen Luftfremdstoffen und ihren körperlichen Auswirkungen möglichst gründlich abzuklären. Es wurde von Fällen ausgegangen, bei denen betroffene Personen beeinträchtigtes Wohlbefinden und gesundheitliche Beschwerden mit Luftfremdstoffen im Innenraumbereich in Zusammenhang brachten. Es wurden die aufgetretenen Symptome registriert und in Wohn- und Aufenthaltsräumen die Luftinhaltsstoffe bestimmt. Anhand der Zusammensetzung und Konzentrationen der nachgewiesenen Luftfremdstoffe wurde nach möglichen toxischen Wirkungen gesucht. Die Fälle wurden auch im Hinblick auf zu treffende Massnahmen bearbeitet. Da es sich meist um Situationen mit vorübergehend stark erhöhten Luftkonzentrationen handelte und die Ursachen meist bekannt waren, konnten in den meisten Fällen auch Prognosen über den weiteren Verlauf gestellt und wirksame präventive Massnahmen vorgeschlagen werden.

Methodik

Im Zeitraum vom März 1991 bis Ende 1993 wurden am Institut für Toxikologie über 300 Beschwerdefälle über Befindensstörungen, welche mit erhöhten Konzentrationen an Luftfremdstoffen in Zusammenhang gebracht wurden, entgegengenommen. Die Symptome umfassten geruchliche Belästigung, Reizwirkungen, Kopfschmerzen sowie Schlaf- und Konzentrationsstörungen. Als Grundlage für klärende Gespräche mit den Betroffenen oder ein analytisches Untersuchungsprogramm wurde die Situation durch Befragen mittels eines detaillierten Fragebogens (Tabelle 2) ermittelt.

Aufgrund der erhaltenen Angaben wurde eine vorläufige Einschätzung der Situation vorgenommen und daraus das weitere Vorgehen festgelegt. Dabei wurden folgende Fragen abgeklärt:

- Besteht seitens der Betroffenen eine Vermutung über die Ursache der aufgetretenen Symptome?
- Welches sind mögliche Quellen für Luftfremdstoffe?
- Könnte Formaldehyd im Spiel sein (speziell bei Irritationen)?
- Gehören die Symptome in den allergischen Formenkreis, und wurden bereits allergologische Abklärungen vorgenommen?
- Gibt es möglicherweise noch andere Gründe für die genannten Beschwerden?

In Fällen, in denen aufgrund der erhaltenen Angaben eine Beteiligung von VOC nicht von vornherein ausgeschlossen werden konnte, wurde im Bauobjekt eine Besichtigung vorgenommen. In einem nächsten Schritt wurde eine Beobachtungsphase von 3–6 Wochen eingelegt, während welcher durch Massnahmen wie z. B. erhöhten Luftwechsel oder Entfernen der vermuteten Quelle versucht wurde, die Fremdstoffkonzentration zu reduzieren. Gleichzeitig sollten die Betroffenen Häufigkeit und Intensität der Symptome festhalten. Daraus konnten einerseits Grundlagen zur Beurteilung eines möglichen ursächlichen Zusammenhangs zwischen den festgestellten Befindensstörungen und Fremdstoffen in der Innenraumluft erhalten

Tabelle 2. Fragenkatalog zur Datenerhebung bei Wohngift-Beschwerdefällen

| 1. Körperliche Beschwerden und Symptome |
|---|
| Wieviele Personen leben im gleichen Haushalt bzw. arbeiten in denselben Räumen? Wieviele Personen klagen über gesundheitliche Beschwerden? Angaben zu den betroffenen Personen: Alter, Beruf? Lebensgewohnheiten? Raucher oder Nichtraucher? Allgemeine Empfindlichkeit, Allergien? Besteht eine Geruchsbelästigung? Symptome: Art, Häufigkeit und Stärkegrad? Wann traten Probleme erstmals auf? Verschwinden Symptome in den Ferien (bei Problemen im Wohnbereich)? Verschwinden Symptome am Wochenende (bei Problemen am Arbeitsplatz)? Wurde ein Arzt konsultiert, Diagnose? Haben die Betroffenen Vermutungen über die Ursache der Probleme? |
| 2. Angaben zum Bauobjekt |
| Lage des Gebäudes (städtisch oder ländlich, Verkehrslage)? Alt- oder Neubau, Baujahr? Wann wurden Renovationen durchgeführt und welche? Gebäudeart (Ein-, Mehrfamilienhaus, Reihenhaus, Geschäftshaus)? Gebäudenutzung (Wohnhaus, Bürohaus)? Emissionsintensive Gebäudenutzung (chemische Reinigung, Malergeschäft, chemisches Labor)? Raumklima: Art der Heizung? Abdichtung des Gebäudes? Mittlere Raumtemperatur und Luftfeuchtigkeit? Art und Häufigkeit der Lüftung? Wie schätzen die Betroffenen das Wohnklima ein? Verwendete Baumaterialien, vorhandene Möblierung: in Räumen, in welchen Personen über Beschwerden klagen? in Räumen, in welchen keine Beschwerden festgestellt werden? Erhöhte Staubentstehung bzw. -ablagerung: Quelle (z. B. Fasern aus Textilien)? Wo sind Staubablagerungen feststellbar? Sind Betroffene Erstbewohner nach Neubau bzw. Renovation? Beim Einzug seit der baulichen Aktivität verstrichene Zeit? Sind Betroffene Eigentümer oder Mieter? |
| 3. Verschiedenes |
| Haustiere, welche? Hobbies, bei welchen organische Lösungsmittel verwendet werden? Brennen offene Flammen (Kochherd, Durchlauferhitzer, Kerzen, Duftstäbe)? |

werden, andererseits konnten Rückschlüsse auf eine mögliche Dynamik gezogen werden, d. h. es konnte festgestellt werden, ob direkt nach baulichen Aktivitäten stark erhöhte Luftfremdstoffkonzentrationen durch Ausgasungsprozesse und gleichzeitig gesteigerten Luftwechsel wieder in normale Bereiche gesenkt werden konnten. Möglicherweise konnten durch dieses Vorgehen auch milde Fälle von Suggestionsverhalten durchbrochen werden.

In 64 Fällen, in denen im Verlauf der Beobachtungsphase kein definitiver Rückgang von Schleimhautreizungen stattfand, wurde die Raumluft chemisch-analytisch auf Formaldehyd untersucht. In 12 ausgewählten Fällen mit vielfältiger, meist komplizierterer Symptomatik wurde zusätzlich das gesamte Spektrum an VOC erhoben. Die dabei angewendeten Untersuchungsmethoden sind an anderer Stelle ausführlich beschrieben worden (2, 3). In einer abschliessenden Beurteilung wurden aufgrund der Untersuchungsergebnisse die vermuteten Ursachen für die Beschwerden bzw. für die erhöhten Luftfremdstoffkonzentrationen diskutiert. Gleichzeitig wurden auch geeignete Massnahmen zur Verbesserung der jeweiligen Situation vorgeschlagen.

Ergebnisse und Diskussion

Formaldehyd (FA)

In 64 Beschwerdefällen standen Schleimhautreizungen (Augenbrennen, Nasenfluss, Kratzen im Hals) oder die Anwesenheit möglicherweise FA-abgebender Gegenstände im Vordergrund. Es wurde hierauf FA in der Innenraumluft bestimmt; die Ergebnisse sind in Tabelle 3 zusammengestellt. Die Tabelle zeigt die Korrelation zwischen den gemessenen Luftkonzentrationen und dem Auftreten von Symptomen, welche für FA charakteristisch sind.

In 35 der insgesamt 64 untersuchten Fälle wurde FA in Konzentrationen über $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen; 12 davon lagen deutlich über $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Reizungen von Augen und Atemwegen stellen die ersten akuten Symptome bei einer Formaldehydexposition dar; gemäss Literatur können Symptome bei empfindlichen Personen bereits ab $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auftreten (geruchliche Erfassung bereits ab $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (4, 5), beim Grossteil der Bevölkerung ($> 50\%$) hingegen erst oberhalb von $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die Fälle mit Symptomen unter $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ könnten auf eine hohe Empfindlichkeit der Betroffenen hinweisen, sie könnten aber auch eine Fehlverknüpfung mit FA als Ursache darstellen. Der verhältnismässig hohe Anteil solcher Fälle kann so erklärt werden, dass die vorliegende Untersuchung gemäss ihrer Anlage auf Beschwerdefällen basierte und keine völlig symptomlosen Fälle oder unverdächtigen Einrichtungen erfasste. Die Resultate zeigen aber auch, dass bei Fehlen deutlicher Reizerscheinungen kaum je FA in Konzentrationen oberhalb des zulässigen Bereichs von ca. $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gefunden wurde. Bezüglich der Quellen konnte im Rahmen dieser Untersuchung keine bestimmte FA-haltige Produktekategorie identifiziert wer-

Tabelle 3. Formaldehydkonzentrationen in Innenräumen und Auftreten von typischen Symptomen in insgesamt 64 Fällen; erwartete Auswirkungen gemäss (5)

| Formaldehydkonzentration | erwartete Auswirkungen | Fälle mit spezifischen Reizsymptomen | Fälle ohne spezifische Reizsymptome |
|---|---|--------------------------------------|-------------------------------------|
| < 100 µg/m ³ (tiefster Wert: 40 µg/m ³) | keine | 19 | 10 |
| 100–150 µg/m ³ | sensorische Wahrnehmung und leichte Reizwirkung möglich | 12 | 11 |
| > 150 µg/m ³ (höchster Wert: 600 µg/m ³) | Belästigung und Reizerscheinungen | 11 | 1 |

den, sondern der FA stammte aus vielen verschiedenen Quellen, so z. B. aus säurehärrenden Parkettsiegellacken, Dispersionsfarben mit FA als Konservierungsmittel, Desinfektionsmitteln, Harnstoff-Formaldehyd-Schäumen und Spanplatten.

Flüchtige organische Stoffe (VOC)

Die 12 Fälle, in denen die Gesamtheit der VOC bestimmt wurde, sind in Tabelle 4 zusammengestellt. Sie gibt eine Übersicht über die aufgetretenen Beschwerden sowie die in der Raumluft nachgewiesenen VOC und ihre Konzentrationen; zu letzteren ist anzumerken, dass die Messungen zum Teil in grösseren zeitlichen Abständen nach dem ersten Auftreten von Symptomen vorgenommen wurden. Wegen der häufig beobachteten Konzentrationsabnahme über die Zeit, z. B. nach Renovationen, muss vermutet werden, dass die Luftkonzentrationen in mehreren Fällen unmittelbar nach Abschluss von Bauarbeiten deutlich höher gelegen waren. Ein erster Überblick zeigt, dass in praktisch allen Fällen kurz vor Auftreten der Probleme bauliche Aktivitäten stattgefunden hatten (9 von 12) und ebenfalls im Grossteil der Fälle (8 von 12) neben der Symptomatik auch der Geruch wahrnehmbar war. In praktisch allen Fällen war auch Formaldehyd nachweisbar, wenn auch nicht in Extremkonzentrationen (vgl. auch Tabelle 3). Mit der angewendeten Messmethode der Kopplung Thermodesorption/Gaschromatographie/Massenspektrometrie konnten in einigen Fällen aufgrund der Massenspektren über 100 Einzelsubstanzen identifiziert und quantifiziert werden; solche detaillierte Untersuchungen erforderten einen Zeitaufwand von mehreren Wochen pro Fall. In der Tabelle sind lediglich die Hauptkomponenten bzw. Zusammenfassungen in Stoffklassen aufgeführt. Im folgenden soll versucht werden, aus den vorliegenden Daten die Bedeutung einzelner Stoffe bzw. Stoffklassen im Zusammenhang mit ihrer Anwendung zu diskutieren.

Tabelle 4. Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse von den 12 Wohngiftfällen (Geruchsschwellenwerte nach (12) und (13))

| Objekt | durchgeführte Arbeiten | betroffene Personen | Beschwerden | Formaldehyd ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | TVOC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | VOC-Hauptkomponenten | max. Konz. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Geruchsschwelle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Quelle (falls identifiziert) |
|---------|------------------------|---------------------|---|--|-----------------------------------|---|---|--|---|
| Wohnung | Bodenbelag | 1 | Geruch Allergien Hautausschlag Kopfschmerzen | 100 | 4 200 | Trimethylbenzole 1-Butanol 2-Ethylhexanol 2-Ethylhexansäure | 1190 270 60 27 | 2 740 2 500 90 | Kleber, PVC-Boden Kleber Kleber, PVC-Boden PVC-Boden, Tapete |
| Büro | | 5 von 15 | Geruch Atemnot Halsirritation Kopfschmerzen Übelkeit | 163 | 13 000 | Aromaten übrige KW Ester Alkohole und Ether Aldehyde 2-Methyl-1-propanol Hexanal Siloxane Pentanal Nonanal | 7200 1800 1600 750 270 250 170 130 29 11 | 120 19 43 6 | |
| Wohnung | Malerarbeiten | 2 | Geruch Asthma Augentränen Heiserkeit Husten Kopfschmerzen Schwindel | 100 | 1 600 | Diisopropylether Hexanal Nonanal Pentanal | 210 21 19 12 | 70 19 6 43 | |
| Büro | | mehrere von 55 | Augenreizung Konzentrationschwäche Kopfschmerzen Müdigkeit Schwindel | 50 | 340 | Toluol Benzol 1,1,1-Trichlorethan Xylol 2-Propanol | 36 14 13 12 10 | 11 100 4 800 | Korrekturflüssigkeit |

Tabelle 4. Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse von den 12 Wohngiftfällen (Geruchsschwellenwerte nach (12) und (13))

| Objekt | durchgeführte Arbeiten | betroffene Personen | Beschwerden | Formaldehyd ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | TVOG ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | VOC-Hauptkomponenten | max. Konz. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Geruchsschwelle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Quelle (falls identifiziert) |
|---------|------------------------|----------------------------|--|--|-----------------------------------|--|---|--|------------------------------|
| Büro | Spannteppich | keine (Raum nicht benutzt) | Geruch | 288 | 2800 | Glykol 2-Methyl-1-propanol 1-Butanol Benzaldehyd Hexanal Heptanal | 190 170 160 140 89 29 | 360 2 500 70 19 | |
| Büro | Innenausbau Fenster | 10 | Augenreizung Bronchialhusten Erkältung Kopfschmerzen | 75 | 930 | Decasiloxan Alken | 150 83 | | |
| Büro | Renovation | 2 | Geruch Augenreizung Kopfschmerzen Schwindel | 213 | 5100 | Toluol Triethylphosphat Dimethylamin | 4550 80 1 | 11 100 | |
| Büro | Renovation | mehrere | Geruch Schleimhautreizung trockener Mund | 88 | 800 | Limonen 2-Ethylhexanol Amine | 200 35 4 | 10 | Kleber, PVC-Boden |
| Wohnung | | 4 | Geruch Augenreizung Erbrechen Erkältung Husten Kopfschmerzen Müdigkeit Schleimhautreizung | 125 | 1800 | Toluol Propylenglykol-1-methylether 2-Methyl-1-propanol Hexanal 1-Butanol Nonanal | 340 124 73 54 44 28 | 11 100 360 19 2 500 | Lösungsmittel |

Tabelle 4. Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse von den 12 Wohngiftfällen (Geruchsschwellenwerte nach (12) und (13))

| Objekt | durchgeführte Arbeiten | betroffene Personen | Beschwerden | Formaldehyd ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | TVOC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | VOC-Hauptkomponenten | max. Konz. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Geruchsschwelle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Quelle (falls identifiziert) |
|-------------|--------------------------------------|---------------------|--|--|-----------------------------------|--|---|--|--|
| Wohnung | Malerarbeiten Tapeten | 3 | Geruch Schleimhautreizung trockene Kehle | < 50 | 640 | Hexanal Nonanal | 31 31 | 19 | Kunstharz Kunstharz |
| Schulzimmer | Umbau Malerarbeiten Bodenbelag | 1 | Halsentzündung Halsreizung Heiserkeit | 88 | 1250 | Decan Trimethylbenzol 2-Ethylhexanol Decasiloxan Phenol Propylenglykol-n-butylether 2-Methoxyethanol 2-Butoxyethanol Hexanal | 53 37 3 91 61 170 114 39 19 | 1100 2740 500 19 | Boden, Kleber Boden, Kleber Boden, Kleber Boden Boden Selbstglanzemulsion |
| Büro | | 3 | Augenbrennen Augendruck Kopfschmerzen Übelkeit Müdigkeit Konzentrations- schwäche | 125 | 1750 | 2-Butoxyethanol Limonen Decasiloxan 1-Butanol Dodecasiloxan Hexanal 2-Methyl-1-propanol | 175 130 170 34 30 27 10 | 500 10 2500 19 360 | PU-Schaum, Silikonmasse |

Das häufige Auftreten von *aliphatischen* und *aromatischen Kohlenwasserstoffen* in hohen Luftkonzentrationen ist eine Folge ihres verbreiteten Einsatzes als Lösungsmittel. Toluol, der am häufigsten und in den höchsten Konzentrationen nachgewiesene Kohlenwasserstoff, weist als No-effect-level (NOEL) eine Luftkonzentration von 1900 mg/m³ auf (6). Der gemessene Höchstwert für die Gesamtkonzentration an aromatischen Kohlenwasserstoffen von 7,2 mg/m³ (Fall Nr. 2, Tabelle 4) liegt um einen Faktor 250 unter diesem Effektschwellenwert, kann also vom toxikologischen Standpunkt als unerheblich beurteilt werden. Benzol, der unter den aromatischen Kohlenwasserstoffen toxikologisch bedeutsamste Vertreter, wurde zwar auch nachgewiesen, die in diesem Fall gemessene Konzentration von 14 µg/m³ (Fall Nr. 4, Tabelle 4) liegt aber im Bereich der generell in Innenräumen und städtischen Agglomerationen gemessenen Hintergrundswerte von 3–160 µg/m³ (7).

Ester sind ebenfalls häufig anzutreffende Lösungsmittelkomponenten und wurden dementsprechend ebenfalls in hohen Konzentrationen nachgewiesen. Der Effektschwellenwert von Ethyl- und Butylacetat für irritative Effekte beim Menschen liegt bei 700 mg/m³, tierexperimentell wurde ein NOEL von 7200 mg/m³ ermittelt (8). Die höchste gemessene Gesamtkonzentration an aliphatischen Estern liegt bei 1,6 mg/m³, also 4500 mal tiefer als dieser Effektschwellenwert. Auch für diese Stoffklasse können also in den nachgewiesenen Konzentrationen toxische Wirkungen mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden.

Oft wurden auch *Alkohole* wie n-Butanol und 2-Methyl-1-propanol nachgewiesen. Diese Stoffe werden hauptsächlich wegen ihrer lösungsvermittelnden Eigenschaft in Produkten auf Wasserbasis verwendet. Ausser Formaldehyd werden *Aldehyde* vermutlich nicht als solche in Baumaterialien eingesetzt; vielmehr dürften die nachgewiesenen Aldehyde bei der Oxidation von ölsäurehaltigen Anstrichen gebildet worden sein (2). *Siloxane* wurden als Komponenten von Anstrichen auf Wasserbasis nachgewiesen (2). Bei all diesen Gruppen wie auch bei den übrigen gefundenen Einzelstoffen lagen die gemessenen Luftkonzentrationen um mindestens einen Faktor 100 unter den in der Literatur genannten Effektschwellenwerten. Die beobachteten gesundheitlichen Störungen können somit nicht durch die Stoffe in der Innenraumluft erklärt werden. In unseren Untersuchungen war einzig Formaldehyd gelegentlich im Bereich biologisch relevanter Konzentrationen vorhanden.

Die Luftfremdstoffe können auch bezüglich ihrer Emissionscharakteristik beurteilt werden. Eine erste Gruppe umfasst Stoffe, die temporär in hohen Konzentrationen vorhanden sind, wegen ihrer relativ hohen Flüchtigkeit bei Ausgasungsvorgängen aber eine schnelle Konzentrationsabnahme aufweisen. Dies trifft hauptsächlich auf Lösungsmittel zu. Eine zweite Gruppe bilden Stoffe, welche erst nach Anwendung gebildet werden (z. B. Aldehyde, s. oben). Hier kann die Emission über längere Zeit andauern bei einer sehr langsamen Abnahme der Luftkonzentration.

Ein Ziel von Raumluftuntersuchungen ist meistens die Beantwortung der Frage, ob und welche Symptome durch die Einwirkung von bestimmten Fremdstoffkomponenten ausgelöst werden. Ihre Beantwortung ist nicht zuletzt wegen des grossen

Spektrums möglicher Symptome sehr schwierig. Während der Zusammenhang bei direkter Reizwirkung ziemlich klar scheint, lassen sich z. B. Kopfschmerzen oder Übelkeit viel weniger eindeutig einem bestimmten Auslöser zuordnen. Klar ist der Zusammenhang auch, wenn Chemikalien mit bekannter Wirkung in entsprechenden Luftkonzentrationen nachgewiesen werden können, wie dies zum Beispiel in Arbeitsplatzsituationen oft der Fall ist; dies trifft aber im Wohn- und Bürobereich nur auf sehr wenige Stoffe, wie z. B. Formaldehyd, zu. Gelegentlich kann dann der primäre Reizeffekt auch komplexere Folgen wie erhöhte Infektfälligkeit nach sich ziehen (4).

Die in der vorliegenden Untersuchung in Innenraumluft nachgewiesenen Verbindungen vertreten ein breites Spektrum an Substanzklassen; so wurden gesättigte, ungesättigte und aromatische Kohlenwasserstoffe, Alkohole, Phenole, Ether, Aldehyde, Carbonsäuren, Ester, Amine, Phosphorsäureester und Siloxane nachgewiesen. Ausser Stoffen mit direkter Reizwirkung auf Schleimhäute (z. B. Aldehyde) konnten keine Stoffe identifiziert werden, welche bekanntermassen in den angetroffenen Luftkonzentrationen spezifische Symptome auslösen. Über mögliche Interaktionen von Luftschadstoffen untereinander oder mit komplexen Regelkreisen im menschlichen Körper, wie z. B. dem Immun- und Abwehrsystem, liegen zwar wenig Untersuchungen vor, sie sind jedoch sehr unwahrscheinlich bei Konzentrationen von 2 und mehr Größenordnungen unterhalb des Wertes für offensichtliche Effekte.

Da in allen untersuchten Fällen die Luftkonzentrationen der einzelnen VOC weit unter der Schwelle für toxische Wirkungen lagen, können die beobachteten Befindensstörungen und gesundheitlichen Beeinträchtigungen nicht mit toxikologischen Eigenschaften erklärt werden, welche beispielsweise aus der Exposition am Arbeitsplatz oder aus tierexperimentellen Daten bekannt sind. Die Tatsache, dass in den meisten Fällen die Luftfremdstoffe in sensorisch wahrnehmbaren Konzentrationen nachgewiesen wurden (s. Tabelle 4), legt die Schlussfolgerung nahe, dass die festgestellten Reaktionen indirekt über den Geruch und eine psychovegetative Kopplung ausgelöst werden könnten. Solche Zusammenhänge sind allerdings im Einzelfall kaum nachzuvollziehen. Eine solche indirekte Verknüpfung wird auch dadurch gestützt, dass die Symptome (z. B. Kopfschmerzen, Übelkeit, Antriebslosigkeit) sehr unspezifisch und vielfältig sind und meist gut in den Bereich vegetativer Dystonie passen.

Beim gegenwärtigen Kenntnisstand über die Wirkungen von Luftfremdstoffgemischen ist es nicht möglich, festgestellte Beschwerden nach den Wirkkonzentrationen einzelner Komponenten aufzuschlüsseln. Das sogenannte TVOC-Konzept (concept of total volatile organic compounds) basiert auf dem empirisch gefundenen Ansatz, dass die Gesamtkonzentration aller beteiligten Komponenten als Massstab für das symptomauslösende Potential eines Gemisches dient (9). Die daraus abgeleiteten Wirkungsschwellen und -bereiche (Tabelle 5) basieren auf Felduntersuchungen im Zusammenhang mit Klagen über beeinträchtigtes Wohlbefinden durch Innenraumluft sowie auf Versuchen, welche durch Exposition von gesunden Personen in Klimakammern durchgeführt wurden (10–12). In diesen Studien wurden sensorisch wahrnehmbare Effekte (Irritation, Unwohlsein, Kopf-

schmerzen), also keine objektivierbaren Organveränderungen oder Effekte auf das zentrale Nervensystem, beobachtet. Das Modell basiert auf einer additiven, nicht substanzspezifisch gewichteten Wirkung; massgebend ist also die Gesamtkonzentration an VOC. Einzige Einschränkung ist, dass reaktive Stoffe, wie z. B. Formaldehyd, in diesem Modell nicht berücksichtigt werden können. Ein Vergleich der im Rahmen der vorliegenden Arbeit gemessenen Gesamtkonzentrationen mit den Wirkungsschwellen aus Tabelle 5 zeigt, dass die Werte zum Teil im Wirkungsbereich liegen und somit ein Zusammenhang zwischen Luftfremdstoffen und den festgestellten Befindensstörungen plausibel ist. Eine weiterführende Interpretation ist aber wegen der für jeden einzelnen Fall charakteristischen und nicht übereinstimmenden Zusammensetzung der nachgewiesenen flüchtigen organischen Stoffe nicht möglich. Bei den erwähnten Expositionstudien wurde ein Gemisch von 22 in Innenraumluft häufig gefundenen Chemikalien verwendet, und es wurde nicht überprüft, ob sich Änderungen der Zusammensetzung des Gemisches auf Art und Grad der Wirkungen bei den exponierten Versuchspersonen auswirken. Auch aus diesen Arbeiten zum TVOC-Konzept lässt sich kein möglicher Wirkungsmechanismus ableiten.

Alle diese Beobachtungen erhärten die Vermutung, dass die geruchliche Wahrnehmung bei der Wohngiftproblematik eine zentrale Rolle spielt. Die Mechanismen, welche von der Geruchswahrnehmung zu somatischen Effekten führen, sind vielfältig und komplex und werden im Einzelfall weitgehend im Dunklen bleiben. Andererseits ist der Geruch, im Gegensatz zu anderen biologischen Wirkungen, beim Menschen eine leicht feststellbare Größe, und die geruchsaktiven Luftkomponenten sind relativ leicht bestimmbar. Da die Schwellenkonzentrationen für Wohngiftsymptomatik (Tabelle 5) und die Geruchswahrnehmung (Tabelle 4) in derselben Größenordnung liegen, muss davon ausgegangen werden, dass für die

Tabelle 5. Auf die VOC-Gesamtkonzentration bezogene Effektschwellenwerte bei Exposition gegenüber flüchtigen organischen Verbindungen in nichtindustriellen Innenräumen (zitiert nach (16))

| VOC-Gesamtkonzentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Effekte | Wirkungsbereich |
|--|--|---|
| < 200 | keine | Bereich für unbeeinträchtigtes Wohlbefinden |
| 200–3000 | Reizwirkungen und Unbehagen möglich | Schwellenbereich |
| 3000–25 000 | Reizwirkungen, Unbehagen und möglicherweise Kopfschmerzen | Bereich für beeinträchtigtes Wohlbefinden |
| > 25 000 | Kopfschmerzen, zusätzlich möglicherweise neurotoxische Effekte | Bereich toxischer Wirkungen |

meisten der oft in Innenräumen nachgewiesenen VOC die Schwelle der Geruchswahrnehmung auch die Schwelle für mögliche somatische Effekte darstellt. Zur Vermeidung von Wohngiftsymptomen im Zusammenhang mit Baustoffen und Inneneinrichtungen ist deshalb die Abwesenheit von Geruchsemissionen anzustreben. Die Beurteilung einer möglicherweise gesundheitlich unbefriedigenden Situation kann somit weitgehend mit dem hochempfindlichen «Analysengerät» der menschlichen Nase erfolgen.

Schlussfolgerung

Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass besonders unmittelbar nach Fertigstellung von Neubauten oder nach Renovationen die Raumluft durch aus den verwendeten Materialien freigesetzte flüchtige organische Verbindungen derart belastet sein kann, dass vorübergehend Geruchsbelästigungen und unerwünschte Gesundheitseffekte auftreten. VOC-Raumluftkonzentrationen können dann ohne weiteres um ein Hundertfaches höher liegen als in vergleichbaren nicht belasteten Räumen (2). Die Abnahme auf akzeptable Werte, d. h. Luftkonzentrationen, welche im Bereich von nicht belasteten Innenräumen liegen, dauert erfahrungsgemäß einige Monate. Eine Beschleunigung dieses Vorgangs durch erhöhten Luftwechsel ist nur beschränkt erfolgreich: es wurde beobachtet, dass nach Intervallen erhöhten Luftwechsels (Lüften) die ursprünglichen Raumluftkonzentrationen innerhalb kurzer Zeit wieder erreicht wurden (2).

Bei den beobachteten Effekten stehen direkte Wirkungen am Ort des ersten Kontaktes (Augen, Nase, Rachen) im Vordergrund; diese können zum grössten Teil auf die gemessenen Luftkonzentrationen von Formaldehyd zurückgeführt werden. Die übrigen nachgewiesenen Chemikalien stellen zwar nach toxikologischen Kriterien in den herrschenden Konzentrationen keine Probleme, hingegen liegen die von den einzelnen VOC gesamthaft aufgebauten Luftkonzentrationen oft in einem geruchlich feststellbaren Bereich, in welchem dann auch eine Beeinträchtigung des Wohlbefindens auftreten kann (11). Anhand der vorliegenden Messergebnisse kann jedoch keine exakte Wirkungsschwelle für Einzelkomponenten, Chemikaliengruppen oder vorkommende Gemische angegeben werden, da die beobachteten sehr verschiedenartigen Luftzusammensetzungen wohl auch unterschiedliche Wirkungsschwellen aufweisen. Die Beurteilung der vorgefundenen VOC soll nicht primär nach toxikologischen Kriterien erfolgen, sondern sollte sich auch an der geruchlichen Wahrnehmbarkeit orientieren.

Ein Ergebnis der vorliegenden Arbeit ist die Empfehlung, dass bei der Auswahl von Baumaterialien und Einrichtungsgegenständen neben technischen auch wohnhygienische Kriterien beachtet werden sollten. Massgebend soll das gesamte Potential an emittierbaren flüchtigen Stoffen sein; darin sind auch bei der Alterung neu gebildete flüchtige Abbauprodukte einzuschliessen. Wegen der dominierenden Rolle der geruchlichen Feststellung und der möglichen, daran anschliessenden psychovegetativen Kopplung stehen nicht toxikologische Kriterien im Vorder-

grund, sondern es müssen vor allem die sensorischen Eigenschaften der in die Umgebungsluft emittierbaren Stoffe beurteilt werden. Die Grundforderung aus medizinischer Sicht besteht somit in grösstmöglicher Verminderung von geruchlich aktiven Emissionen. Selbstverständlich gilt zusätzlich, dass Baumaterialien und weitere im Wohnbereich verwendete Produkte generell möglichst geringe und höchstens die bei hohem Stand der Technik nicht vermeidbaren Mengen an flüchtigen Stoffen emittieren.

Dank

Die Autoren danken dem Bundesamt für Gesundheit für die finanzielle Unterstützung dieser Arbeit (Vertrag FE 316-90-318).

Zusammenfassung

Im Zeitraum von 1991–1993 wurde anhand von Fallstudien systematisch nach kausalen Zusammenhängen zwischen Befindensstörungen und den Konzentrationen von flüchtigen organischen Luftfremdstoffen (VOC) in der Luft nichtindustrieller Innenräume gesucht. Dabei zeigte es sich, dass unmittelbar nach baulichen Aktivitäten in einzelnen Fällen Luftkonzentrationen erreicht werden, welche zu geruchlicher Belästigung sowie vorübergehenden Befindensstörungen führen können. Als Auslöser speziell von Augen- und Atemwegsreizungen konnte in manchen Fällen eine erhöhte Formaldehydkonzentration in der Raumluft nachgewiesen werden. Von den übrigen nachgewiesenen Luftfremdstoffen, welche sehr unterschiedlichen Stoffklassen angehören, konnten keine speziell kritischen Vertreter identifiziert werden. Ursachen für die VOC in der Luft waren vor allem Ausgasungs- und Verdampfungsvorgänge nach Anwendung von lösungsmittelhaltigen Produkten.

Résumé

Sur la base d'études de terrain dans la période 1991–1993 nous avons tenté d'établir un rapport de causalité entre des troubles subjectifs et la concentration de composés volatiles (VOC) dans l'air de locaux non industriels. Immédiatement après les travaux de construction, des concentrations capables de provoquer des indispositions passagères peuvent être atteintes. Dans certains cas des concentrations élevées de formaldéhyde ont pu être identifiées comme cause d'irritation des yeux ou des voies respiratoires. Parmi les autres polluants atmosphériques mesurés, appartenant à des familles très variées, on n'a pas pu repérer de substances critiques. Les produits contenant des solvants organiques constituent la source essentielle des VOC dans l'air.

Summary

Between 1991 and 1993 case studies were carried out to investigate the impairment of health and comfort by the presence of volatile organic compounds (VOC) in non industrial indoor environments. It was found that immediately after construction activities levels are

reached which can cause transitory inconvenience by odorous and irritative effects. In many cases formaldehyde in indoor air can be supposed to be responsible for irritations of the eyes and of the respiratory tract. Within the remaining VOCs which belong to a wide variety of chemical classes no specific critical compounds could be identified. The VOCs in indoor air are mainly caused by evaporation and degassing processes after the application of solvent-containing products.

Literatur

1. *Grob, K.*: The glass capillary column in gas chromatography. A tool and a technique. *Chromatographia* **8**, 423–433 (1975).
2. *Wäger, P.*: Flüchtige organische Verbindungen in der Luft neuer und renovierter Wohn- und Aufenthaltsräume. Dissertation ETH Nr. 10074, Zürich 1993.
3. *American Public Health Association, Katz, M. (ed.)*: Tentative method of analysis for formaldehyde content of the atmosphere (MBTH-Method). In: Methods of air sampling and analysis (APHA Intersociety Committee), 2. ed., p. 308. American Public Health Association, Washington D.C. 1977.
4. *Henschler, D.*: Formaldehyd. Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründungen von MAK-Werten. Verlag Chemie, Weinheim 1971.
5. *BAG*: Formaldehyd in Innenräumen; Empfehlungen für den Nachweis und für Sanierungsmassnahmen. Bundesamt für Gesundheitswesen, Abteilung Gifte, Bern 1985.
6. *Clayton, G.D. and Clayton, F.E. (eds.)*: Patty's industrial hygiene and toxicology, vol. IIB, 3. ed., p. 3282 ff. John Wiley & Sons, New York 1981.
7. *WHO*: World Health Organization air quality guidelines. WHO Regional Publications, p. 47, Kopenhagen 1987.
8. *Clayton, G.D. and Clayton, F.E. (eds.)*: Patty's industrial hygiene and toxicology, vol. IIA, 3. ed., p. 2271 ff. John Wiley & Sons, New York 1981.
9. *Mølhave, L.*: Human reactions to controlled exposures to VOCs and the 'total VOC concept'. In: Knöppel, H. and Wolkoff, P. (eds.), Chemical, microbiological, health and comfort aspects for indoor air quality – State of the Art in SBS. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 1992.
10. *Mølhave, L.*: Indoor air quality in relation to sensory irritation due to volatile organic compounds. *ASHRAE Trans.* **92** (Part IA), 306–316 (1986).
11. *Mølhave, L.*: Volatile organic compounds, Indoor air quality and health. *Indoor Air* **4**, 357–376 (1991).
12. *Hudnell, H.K., Otto, D.A., House, D.E. and Mølhave, L.*: Exposure of humans to volatile organic mixtures. II. Sensory. *Arch. Environ. Health* **47**, 31–38 (1992).
13. *WHO*: Indoor Air Quality: Organic pollutants. Report on a WHO Meeting, Berlin, 23–27 August 1987. World Health Organization, Euro Reports and Studies 111, Copenhagen 1989.
14. *Ruth, J.H.*: Odor thresholds and irritation levels of several chemical substances: a review. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* **47**, A142–A151 (1986).
15. *Amoore, J.H. und Hautala, E.*: Odor as an aid to chemical safety: odor thresholds compared with threshold limit values and volatilities for 214 industrial chemicals in air and water dilution. *J. Appl. Toxicol.* **3**, 272–289 (1983).

16. Mølhave, L.: Volatile organic compounds, indoor air quality and health. In: Indoor air '90 – The 5th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Toronto, Canada, Vol. 5, p. 15–33, Toronto 1990.

Dr. Peter Schmid
Wolfgang Mengon
Prof. Dr. Christian Schlatter
Institut für Toxikologie der ETH Zürich
und Universität Zürich
Schorenstrasse 16
CH-8603 Schwerzenbach