

VOC in Innenräumen

Bewertungsgrundlagen

Tino Merz

Seit 1986 ist durch Probandenversuchen bekannt, dass TVOC-Belastungen im Milligrammbereich zu Beschwerden führen (MØLHAVE 1986). Daraus wurde eine subakute Wirkschwelle von 3000 µg TVOC/m³ (Richtwert) extrapoliert. Dieser Richtwert enthält keine Sicherheitsabstände und bedeutet, dass bei Überschreitungen Reaktionen sicher auftreten und unterhalb wahrscheinlich sind. Die abgeleitete Wirkschwelle beträgt 200 µg TVOC/m³ (Zielwert) (MØLHAVE 1991, SEIFERT 1999). Der Mittelwert des Umweltsurvey für VOC in Innenräumen ist doppelt so hoch und in der Spitze wird der Richtwert erreicht (UBA 1992). Auch das ist seit fast 20 Jahren bekannt, wobei die Stoffauswahl sowohl bei dem humantoxikologischen Test und beim Umweltsurvey das Risiko eher unter- als überschätzen. Für bessere Beurteilungen wurden in jüngster Zeit ergänzende Ziel- und Richtwerte aus statistischen Daten hergeleitet (SCHOLZ 1998, SCHLEIBINGER et al. 2002).

Diese Innovation der Bewertungsgrundlagen bietet die Chance gezielter Verbesserung. Sie wird nicht genutzt. Denn man ist eher bestrebt, das Vorurteil „normal = gesund“ aufrecht zu erhalten. Danach gilt der Mittelwert der Grundbelastung als grundsätzlich verträglich. Liegt er über dem Richtwert, wird letzterer als zu konservativ interpretiert. Bei den VOC wird missachtet, dass die Richt- und Zielwerte keine Sicherheit und damit auch keine Interpretationsspielräume enthalten. Statt die Chancen - bei VOC kann man effektiver gegensteuern als etwa bei Dioxin oder PCB - systematisch zu nutzen, wird der wissenschaftlichen Erkenntnisstand akribisch revidiert (vgl. auch MERZ 2001b) und der Anstieg chronischer Erkrankungen in Kauf genommen. Mittlerweile wird noch seltsameres in Kauf genommen wie etwa Schulunterricht bei 15°C.

In Innenräumen sind über 800 Einzelstoffe nachgewiesen worden (WALLACE 1985ab, 1987ab, BERGLUND et al 1987) Toxikologische Daten existieren nur für eine Minderheit der Stoffe.

Der dänische Toxikologe Lars Mølhave hat deshalb eine Standardmischung aus 25 Komponenten, gemäß der damaligen Häufigkeitsverteilung in Haushalten, festgelegt (MØLHAVE 1986). Damit wurden doppelblinde Probandenversuche durchgeführt. Bei **allen** Probanden zeigten sich - wohl überraschenderweise - noch

bei 5.000 µg TVOC/m³ Beschwerden (TVOC = Total Volatil Organic Compounds, Summe der gemessenen Verbindungen). Die akute/subakute Wirkschwelle müsste extrapoliert werden. Extrapolationen sind aber nur bei großen Datenmengen erlaubt (MARQUART 1994: 888ff). Bisher wurden Werte zwischen 1.000 und 3.000 mg/m³ diskutiert (MOLHAVE 1991, SEIFERT 1999, ALSENHINRICHS 1998, SCHOLZ 1998, SCHLEIBINGER et al. 2002). Die chronische Wirkschwelle kann eine Zehnerpotenz darunter abgeleitet werden. Heute werden meist 200 µg TVOC/m³ als Zielwert genannt.

In der Praxis wird vielfach nicht in Rechnung gestellt, dass diese Werte keine Sicherheitsmarge enthalten und deshalb deren Erreichen oder Überschreiten unterbewertet. Dies gilt besonders für Richt- und Zielwerte aus neuerer Zeit, die statistische Daten zur Ableitung hinzugezogen haben (vgl. unten, SCHOLZ 1998, SCHLEIBINGER et al. 2002).

Kontakt:

Dr. rer. nat. Tino Merz
Frankenstr. 12
97292 Wüstenzell
Tel.: 09369/1559
Fax: 09369/980798

Das Bewertungsproblem

Der Umweltsurvey für Deutschland zeigt für die Summe von 47 Stoffe einen Mittelwert von 401 µg TVOC/m³. Der 50 % Perzentil beträgt 329 µg TVOC/m³, der 90 % Perzentil 704 µg TVOC/m³ und der Maximalwert 2.664 µg TVOC/m³ (UBA 1992). Der 50%-Perzentil liegt deutlich über der chronischen Wirkschwelle, d.h. weit mehr als 50 % der getesteten Räume sind bedenklich belastet. Die allgemeine Belastung hat folglich die Wirkschwelle überschritten. Selbst die akut-subakute Wirkschwelle wird erreicht. Von Mølhav (1991a) wurden die in der Tabelle 1 dargestellten Richtwerte abgeleitet (Spalte 1 und 2 der Tabelle). Das eigentliche Problem ergibt sich bei der Zuordnung der Werte zu Wirkschwellen und der daraus zu folgernden rechtlichen Einordnung von Richtwerten (Spalte 3).

Die Versuchsanordnung ist subakut (vgl. unten). Eine Ableitung der chronischen Wirkschwelle mit einem Faktor 10 ist üblich. Es ist auch üblich bei der Festlegung von Richtwerten Sicherheitsabstände zur Wirkschwelle (LOAEL) zu installieren. Ohne Sicherheit ist die Zuordnung der subakuten Wirkschwelle zur Gefahrenabwehr und der chronischen Wirkschwelle zur Vorsorge zwingend notwendig.

Ein anderer Weg, mit der Situation umzugehen, ist - wie bei den krebserzeugenden Stoffen, da die Wirkschwelle ja überschritten ist - eine Minimierungsgebot zu konstatieren (PLUSCHKE 1998). Mølhav hat das ALARA-Prinzip vorgeschlagen: **as low as reasonable achievable**. Dabei steht „reasonable“ für „mit konventionellen Mitteln“ erreichbar (MØLHAVE 1997). Ein Erfolg des Minimierungsprinzips setzt in diesem Fall voraus, dass es bei über 50 % der Fälle auch zur Anwendung kommt.

In der öffentlichen Debatte und in den Fachgutachten wird das Fehlen jeglicher Sicherheit notorisch übersehen. Das führt zu Schäden bei den Schwachen in medizinischer wie rechtlicher Hinsicht und in letzter Konsequenz zu Verstößen gegen das Grundgesetz.

Belastung der Innenraumluft [µg TVOC/m ³]	Reaktionen	Richtwerte
< 200	keine Reizung oder Beeinträchtigung des Wohlbefindens	Chronische Wirkschwelle Richtwert im Sinne der Vorsorge
200 - 3000	Reizung oder Beeinträchtigung des Wohlbefindens möglich bei Wechselwirkung mit anderen Expositionsparametern	
3000 - 25 000	Exposition führt zu einer Wirkung, Kopfschmerzen möglich	Subakute Wirkschwelle Richtwert im Sinne der Gefahrenabwehr
25 000	Kopfschmerzen, weitere neurotoxische Wirkungen möglich	Akute Wirkschwelle < 25 000

Tabelle 1: Dosis-Wirkungsbeziehung für VOC und abgeleitete Richtwerte (Quelle (Sp. 1 + 2): MØLHAVE 1991a, vgl. auch SEIFERT 1999)

Belastung der Innenraumluft [µg TVOC/m ³]	Reaktionen	Richtwerte
Benennung	Rechtliche Zuordnung	Toxikologische Zuordnung
Grenzwert Richtwert Richtwert II (RW (II)) Immissionsgrenzwert	Gefahrenabwehr dringender Handlungsbedarf Klageberechtigung der Betroffenen	Akute oder subakute Wirkschwelle
Zielwert Richtwert I (RW (I)) Emissionsgrenzwert	Vorsorge Handlungsbedarf	Chronische Wirkschwelle

Tabelle 2: Übersicht: Einordnung von Beurteilungswerten (Quellen: AD-HOC-GRUPPE 1996, SAGUNSKI 1998)

„Risiken richtig einschätzen“ (SRU)

Der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) formuliert erstmals Grundregeln der Bewertung im Umweltgutachten von 1987. Danach ist nicht der Durchschnitt, sondern die Risikogruppe (z.B. Kinder, chronisch Kranke, Allergiker) für die Bewertung maßgebend ist (SRU 1987: Ziffern 1251ff). 1999 wird dieser Grundsatz weiter konkretisiert. Die Risikobewertung ist auf die „vulnerablen Gruppen“ abzustellen, die unter dem „spezifischen Schutz“ des Artikel 2, Abs. des Grundgesetzes stehen (SRU 1999: Ziffer 46). Da Giftsymptome unspezifisch sind, werden im Einzelfall, „sehr gezielte und sehr umfangreiche Untersuchungen“ gefordert (SRU 1999: Ziffer 1253). Außerdem verbietet sich die Ausschöpfung der duldbaren täglichen Aufnahmemengen, da sie gesundheitliche Risiken „einzelner Gruppen nicht ausschließen“ (Hervorh. durch SRU). Diese Aussage meint DTA-Werte, die üblichen Sicherheitsmargen von zwei Zehnerpotenzen (gegenüber Tierversuch) aufweisen.

Demzufolge bedeutet Einhaltung der Grenzwerte keine Risikofreiheit, ganz besonders dann nicht, wenn Kinder oder Allergiker (Sensibilisierte) involviert sind.

Richtwerte

Das Recht kennt zwei Arten von Richtwerten: Richtwerte im Sinne der Vorsorge und Richtwerte im Sinne der Gefahrenabwehr. Nur letztere sind Grenzwerte im juristischen Sinn, deren Überschreitung unmittelbare Konsequenzen haben und deren Einhaltung von jedem Betroffenen auch eingeklagt werden kann. Benennungen wie II und I oder Richt- und Zielwert basieren auf dieser Unterscheidung, verwischen aber den entscheidenden Unterschied.

Einer besonderen Sorgfalt der Auswertung der vorhandenen Literatur unterliegen die Richtwerte I und II. Dabei ist die Zielvorstellung, dass die Einhaltung des RW I eine lebenslange Belastung auch empfindlicher Personen zulässt. Allerdings fehlen dazu oft die notwendigen humantoxikologischen Daten und Ableitungen müssen eine möglichst nahe Annäherung erbringen.

Humantoxikologische Wirkschwellen

Mitte der 80er Jahre testete der dänische Toxikologe Lars Mølhave 62 Probanden doppelblind, in vier Gruppen eingeteilt. Sie wurden 4 Wochen vor- und nachmittags je 2,75 h mit 25,5 oder 0 mg $\mu\text{g TVOC}/\text{m}^3$ exponiert. TVOC stellte eine Standardgemisch aus 22 Substanzen dar (MØLHAVE 1986). Es zeigten sich signifikante Reaktionen auf 5 wie 25 mg/ m^3 mit strenger Dosisabhängigkeit für die Schleimhautreaktionen. Für beide Expositionen ergab sich ein Nachlassen der Gedächtnisleistung.

Vorgabe war die Definition des 'Sick-Building-Syndroms' (WHO 1982): Irritation von Augen, Nase und Rachen, trockene Schleimhaut und Haut, Rötungen, Müdigkeit, Kopfschmerzen, Infektion der Luftwege, Husten, Heiserkeit, pfeifender Atem, Hyperaktivität, Übelkeit, Verwirrtheit. Aus knapp 300 Freiwilligen, die über Beschwerden in Gebäuden geklagt hatten, waren alle ausgeschieden worden, die (bereits) ernsthaft erkrankt waren. Folgestudien wurden mit gesunden, beschwerdefreien Testpersonen durchgeführt. Dabei wurden die Ergebnisse von Mølhave bestätigt, differenziert nach Leistungsminderung des zentralen Nervensystems (OTTO et al. 1990, 1992), Reizung der sensorischen Nerven (HUNDELL et al. 1992) und entzündlicher Prozesse (KOREN et al. 1992).

Epidemiologische Studien zeigen, dass im Bereich von 200 bis 3000 $\mu\text{g TVOC}/\text{m}^3$ Reaktionen beobachtbar sind:

- In skandinavischen Wohnungen wurden unterschiedliche Werte ermittelt in Abhängigkeit, ob die Bewohner über Beschwerden klagten oder nicht: ein Mittelwert von 1,3 mg/ m^3 (Verteilung von 0,1 - 13 mg/ m^3) mit Beschwerden und 0,36 mg/ m^3 (Verteilung von 0,02 - 1,7 mg/ m^3) ohne Klagen (MØLHAVE 1986-87).
- Das Landeshygieneinstitut von Mecklenburg-Vorpommern untersuchte über 400 Wohnung: oberhalb 900 $\mu\text{g TVOC}/\text{m}^3$ traten Heiserkeit, Kopfschmerzen und Müdigkeit 10-fach häufiger auf (odd ratio: 10,7/9,9/7,5) als bei der Kontrollgruppe (PITTEN et al. 2000). Ein Autor vermutet die subakute Wirkschwelle bei 450 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (BREMER 1999).

Die subakute Wirkschwelle ist mit 3000 $\mu\text{g TVOC}/\text{m}^3$ eher zu hoch als zu tief gegriffen, enthält keine Sicherheitsabstände, ist rein humantoxikologisch begründet und berücksichtigt „vulnerable Gruppen“ nicht. Wie nach SRU zu erwarten, lassen sich auch unterhalb diese Richtwertes gesundheitliche Beschwerden nachweisen.

Davon abgeleitet beträgt die chronische Wirkschwelle 200 $\mu\text{g TVOC}/\text{m}^3$. Die Ableitung enthält auch keine präventiven Sicherheitsfaktoren. Und der Wert ist für besondere Gebäudenutzungen wie Krankenhäuser oder Schulen zumindest problematisch.

Das Standardgemisch von Mølhave verzichtet außerdem „ auf stark toxische ... Verbindungen“ (SCHLEIBINGER et al. 2002). Reale Situationen werden deshalb eher unter- als überbewertet.

Schließlich muss noch in Rechnung gestellt werden, dass gesundheitliche Nachteile besonders dann zu erwarten sind, wenn andere toxikologisch wirksame Stoffe - etwa Teppichimprägnie-

runge - simultan wirken. Eine Studie der amerikanischen Umweltbehörde in den 80er Jahren zur Innenraumbewertung - TEAM-Studie (Total Environmental Assessment Method) (WALLACE 1987) - ergab, dass die Wirkung durchweg unterhalb der Einzelstoffrichtwerte zu beobachten war (ASHFORD & MILLER 1998:68, ASHFORD 1998).

Umweltsurvey: Perzentile und Kompromisse

Aus diesen Gründen sollte besser der Wert von 200 $\mu\text{g TVOC}/\text{m}^3$ als Grenzwert betrachtet werden. Dann müssten aber viele Büros und Werkstätten geschlossen werden. Eine Nation stünde auf der Strasse. Die Bezeichnung „Zielwert“ und die Zuordnung zur Vorsorge ist bereits ein gesellschaftlicher Kompromiss. Die Gegenüberstellung der Belastungsverteilung in Innenräumen mit den Wirkschwellen, zeigt, dass die Gleichung normal = gesund in normal \neq gesund übergegangen ist. Belastungen mit hoher Erkrankungswahrscheinlichkeit sind keine Einzelfälle. Die wachsende Zahl umweltbedingter Erkrankungen muss nicht verwundern.

In neuen Gebäuden wurden 10.000 - 20.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, acht Wochen nach Bezug noch 1.500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, eine Woche nach einer Renovierung 5.000 - 7.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen (SEIFERT 1999). So wird verständlich, wie es geschehen kann, dass 5 % der Mitarbeiter einer Behörde nach Umzug erkranken können, wie es sich bei der amerikanischen Umweltbehörde EPA in der 80er Jahren ereignet hat (ASHFORD & MILLER 1998:70).

Der Grenzwert von 3.000 $\mu\text{g TVOC}/\text{m}^3$ erfordert demnach, dass Gebäude nach Renovierung einige Wochen nicht genutzt werden sollten.

Bewertung und Umgang mit Mixturen

Für die 800 nachgewiesenen Einzelstoffe ist bisher keine allgemeingültige Standardisierung gelungen (EC 1997). Darüber hinaus ändern sich die Mischungen ständig: die chlorierten Kohlenwasserstoffen gehen seit der Novellierung der 2. BImSchV drastisch zurück, ebenso Benzol, gefolgt von anderen Aromaten, n-Hexan - wegen seiner starken Neurotoxizität etc.....

Deshalb bedarf jeder Einzelfall einer sorgfältigen Messplanung: Materialprüfung, Klärung auffälliger Peaks und Kontrolle durch parallele Bestimmung des TVOCCT-Wertes durch eine chemisch-analytische Summenbestimmung (WEIS 1998, SCHOLZ

Innenräume in Deutschland Belastung und Bewertung	
Ca 75 % der Wohn- und Arbeitsfläche	Oberhalb chronischer Wirkschwelle Erkrankung hängt ab, von Wirkstoffkombination, anderen Komponenten, Suszeptibilität, Ernährungsweise etc
< 10 %	Oberhalb Belastungen mit epidemiologisch nachgewiesenen Störungen

Tabelle 3: Innenräume in Deutschland: Belastung und Bewertung (Quelle: MERZ 2002, Daten aus UBA 1992)

1998). Scholz hat gezeigt, dass eine bestimmte Auswahl von 109 Komponenten in aller Regel eine Übereinstimmung der Summe der Einzelbestimmung (Σ VOC) und des TVOC_{CCT} erbringt. Beim Umweltsurvey des UBA wurden 47 VOC-Komponenten bestimmt. Die allgemeine Belastung wird damit eher unterschätzt.

Für differenzierte Bewertungen stehen die LCI-Werte EG-Kommission und statistisch errechnete Richt- und Zielwerte für Substanzgruppen und Einzelsubstanzen zur Verfügung. Die LCI geben einen guten Überblick über die **Spreizung** toxischer Einstufungen. Der Wertebereich erstreckt sich von 10.000 µg/m³ (höhere Aliphaten) bis 10 µg/m³ (Formaldehyd, Innenraumwert der WHO für empfindliche Personen). Sie sind aber nicht als Richtwerte zu verstehen, sondern als Kriterien der Materialprüfung und damit der Bauplanung (EC 1997).

LCI - Europäische Materialbewertung

Für die „Lowest Concentration of Interest“ übernimmt die Europäische Kommission (EC 1997) Richtwerte für den Innenraum (z. B. durch die WHO) oder die MAK-Werte der einzelnen Länder dividiert durch 100. Die „working group“ stellt ausdrücklich heraus, dass die LCI nicht als Werte der Innenraumbewertung verstanden werden sollen, sondern als Größen der Materialprüfung (i.d.R. in der Expositions-kammer), die 28 Tage nach Einbau unterschritten sein müssen. Für die Erteilung eines „Label“ (Zertifikat) sind sie mit einem speziellen Prüfschema (EC 1997, vgl. a. AUSSCHUSS 2000) verknüpft.

Geprüft wird, ob der TVOC nach 28 Tagen 200 µg/m³ unterschreitet. Danach wird geprüft, ob dennoch eine besonders toxische Komponente einer Zertifizierung entgegen steht. Handelt es sich um mehrere Komponenten - etwa Aromaten gleicher LCI-Werte - so ist die Summe in Ansatz zu bringen. Handelt es sich um mehrere Substanzen unterschiedlicher Toxizität, so muss eine gewichtete Summe gebildet werden:

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{LCI_i} \leq 1$$

Die zeitliche Abnahme von Kontaminationen (dc/dt) ist proportional zur Höhe der Kontamination, so dass gilt:

$$C(t) \sim dc/dt \text{ woraus folgt: } C(t) = k \cdot dc/dt$$

Diese Differentialgleichung kann nur durch eine Exponentialfunktion gelöst werden:

$$C(t) = C_0 \cdot e^{-\lambda t} \text{ mit } C_0 \text{ als Anfangskontamination}$$

Eine exponentielle Abnahme ist demnach mathematisch zwingend und ist auch messtechnisch nachgewiesen (TÜV 2001a: Toluol innerhalb von 100 Tagen von 50 000 µg/m³ auf etwa 200 mg/m³). Allerdings zeigt sich nach einer gewissen Zeit eine Plateaubildung. Eine Langzeituntersuchung des UBA mit einigen gängigen Pestiziden zeigt ebenfalls eine rasche Abnahme um den Faktor 100 innerhalb weniger Wochen, dann aber eine konstante Luftbelastung über Jahre (LEVSEN & SOLLINGER 1993).

Dies lässt sich verstehen, wenn man zwei Vorgänge unterscheidet: das rasche Verdampfen von der Oberfläche und die wesentlich langsamere Abgabe aus Speichermaterialien. Letzterer Vorgang folgt auch einer Exponentialfunktion, allerdings mit viel kleinerem λ . Bei verschiedenen Speichermaterialien - Wände, Fußboden etc - konkurrieren verschiedene Mechanismen. Die Expositions-kammerversuche geben deshalb weder ausreichende Auskunft über Dauerbelastung durch einzelne Komponenten noch über deren Additivität.

Ziel- und Richtwerte

Schon Ende der 80er Jahre wurden auf rein statistischer Basis Ziel- und Richtwerte vom UBA definiert (SEIFERT 1990). Weitere Autoren haben diese kürzlich ergänzt (SCHOLZ 1998, SCHLEIBINGER et al. 2002). Dabei orientieren sich die Richtwerte am 95 %-Perzentil und die Zielwerte am 50 %-Perzentil.

Zusätzlich sind die Ziel- und Richtwerte so gestaltet, dass die Richtwertesumme 1.000 µg/m³ und die Zielwertesumme 300 µg/m³ (SCHLEIBINGER et al 2002) bzw. die 200 µg/m³ (SCHOLZ 1998) nicht überschreiten. Den Einzelstoffen oder Substanzgruppen wird **innerhalb** dieser humantoxikologischen Randbedingungen nur ein Aliquot zugestanden. Dieses Aliquot ist statistisch aus vielen Messserien begründet. Die Ziel- und Richtwerte der Substanzgruppen strukturieren die Gesamtheit innerhalb des TVOC-Richt- bzw. TVOC-Zielwertes; die Ziel- und Richtwerte der Einzelsubstanzen strukturieren die Gruppe.

Die in der Tabelle aufgelisteten Ziel- und Richtwerte werden letztlich durch äußerst sorgfältige Ableitung aus toxikologischen Einzelstoffableitungen bestätigt. Auf den ersten Blick scheint der Vergleich von RW I/II für Styrol von 30/300 µg/m³ mit Ziel/Richtwert von 3/10 µg/m³ und die Wertepaare für Toluol von 300/3.000 mit 25/100 einen Sicherheitsabstand von einer Zehnerpotenz auszuweisen. Eine solche Interpretation übersieht, dass die RW I/II die Ausschöpfung der Belastbarkeit des Organismus durch eine einzige Substanz allein erlauben. Rein theoretisch erschöpft sich dieser scheinbare Sicherheitsabstand schon mit 10 Substanzen.

Die drei Zugänge - humantoxikologisch nach Møhlhave, einzelstofftoxikologisch und statistisch - ergänzen und bestätigen sich offensichtlich gegenseitig zu einem stimmigen Bild.

Die deutlichen Unterschiede von Einzelstoffbewertungen und obigen Richt- und Zielwerten, verleiten manche Autoren, dies für sicher zu halten und deren Überschreitung keine medizinische Bedeutung beizumessen. Dies missachtet nicht nur das Fehlen von Sicherheitsmargen, Kombinationswirkungen (WALLACE 1987, ASHFORD & MILLER 1998) und die Additionsvorschrift der europäischen Kommission (EC 1997), sondern auch, dass je nach Cocktail obige Werte eher eine Unter- als Überwertung der zu erwartenden Wirkung darstellen kann: „Aus toxikologischer Sicht ist die Aufteilung in bestimmte Substanzgruppen zu hinterfragen, da beispielsweise bei der Gruppe der „Ester und Ketone“ auch in der Wirkung so unterschiedliche Verbindungen, wie Ethylacetat, Methylglykolacetat und Ethylglykolacetat, TXIB und Cyclohexanon subsumiert sind. Bei alleiniger Erhebung oder Begutachtung von VOC-Belastungen über TVOC_{CCT}-Bestimmungen kann dies zu Fehlinterpretationen vor allem bei geruchint-

Richt- und Zielwerte					
Substanzgruppen / Substanzen	Zielwerte UBA 1990	Zielwerte Scholz 1998	Richtwerte Scholz 1998	Richtwerte Schleibinger et al 2002	Zielwerte Schleibinger et al 2002
Gruppen					
Aliphaten	100	50	200	200	50
Aromaten	50	50	200	200	50
Terpene	30	20	200	150	40
Chlorierte Kohlenwasserstoffe	30	10	50	20	5
Ester	20			50	20
Carbonyle (ohne Formaldehyd)	20				
Ester und Ketone		10	100		
Aldehyde C ₅ - C ₁₀		20	50	120	50
Alkohole		20	50	50	20
Glykolester + -ether				100	20
Ethylenglykole/-ether		20	50		
Propylen glykole/-ether		20	50		
Phtalate				10	5
Andere	50	20	50		
Einzelsubstanzen					
Benzol		5	10	10	3
Toluol		25	100	100	25
Styrol				10	3
Ethylbenzol				20	5
M+p-Xylol				40	10
o-Xylol				20	5
2-Ehlytoluol				10	5
3-Ehlytoluol				10	5
4-Ehlytoluol				10	5
135-Tri methylbenzol				10	5
124-Tri methylbenzol				20	5
123-Tri methylbenzol				10	5
Naphtalin				10	3
Hexan				20	5
Octan				20	5
Nonan				20	5
Dekan				40	5
Undekan				40	5
Dodekan				20	5
α-Pinen		5	100	50	10
β-Pinen				20	5
Δ ³ -Caren		5	50	20	5
Limonen				50	10
n-Hexanal		5	25	25	10
n-Nonanal		5	15	10	5
n-Butanal		10	25	10	5
2-Ethylhexanol		5	10	10	5
2-Butoxyethanol		5	25	25	10
2-Phenoxy ethanol		5	25		
4-Pheyl-1-cyclohexen		< 1	5	5	1
TVOC	300		1000	1000	300
Summe VOC		200	1000		
TVOCCT		200	1000		

Tabelle 4: Vergleich der Richt- und Zielwerte für verschiedene Substanzgruppen bzw. Einzelsubstanzen (Quellen: SEIFERT 1990, SCHOLZ 1998, SCHLEIBINGER et al. 2002)

siven VOC oder toxikologisch relevanten Verbindungen wie auch Glykolethern und weiteren polaren Verbindungen führen“ (SCHOLZ 1998).

An dieser Stelle soll noch an die Regel des LAI erinnert werden, wonach immer der niedrigste Wert zu nehmen ist, wenn in der internationalen Literatur mehrere Werte vorgeschlagen sind (LAI 1990).

Praktischer Umgang mit Richtwerten

Es stehen demnach ausreichend Bewertungsgrundlagen zur Verfügung, um auch das Risiko komplexer Gemische einzuordnen. Dies scheitert aber in der Praxis, weil viele Gutachten die Begründungszusammenhänge missachten. Die toxikologischen, human-toxikologischen und statistischen Hintergründe werden falsch zugeordnet und der Ernst der Lage verkannt.

Viele Bewertungen unterstellen generell eine ausreichende Sicherheitsmarge. Sie beachten kaum, dass selbst dann nach SRU eine Ausschöpfung nicht statthaft ist. Bis auf den heutigen Tag kommen noch Gutachten vor, die eine Überschreitung des Richtwertes von einem Faktor 100 (übliche Sicherheitsmarge Tier/Mensch und Spreizung der Suszeptilität) noch für harmlos halten (NETTER 1998, in diesem Fall wurde akute Lebensgefahr „übersehen“, vgl. MERZ 2001ab). So sind Todesfälle im Einzelfall durchaus möglich, ohne dass dies ernsthaft auffällt.

Die durchschnittliche Belastung durch VOC allein - hinzu kommen PCB, Pestizide in Haushalt und Textilien, Dioxin etc. - liegt über dem Zielwert. Der Richtwert wird vielfach nur knapp unterschritten. Diese Situation ist geeignet, chronische Erkrankungen systematisch zu erhöhen.

Ein aktuelles Beispiel: VOC in einer Schule

Das Beispiel einer Schule zeigt, welche tiefgreifende Folgen falsche gutachterliche Bewertungen nach sich ziehen - über die bekannten medizinischen und rechtlichen Nachteile hinaus. Denn falsche Bewertungen rücken Tatsachen in den Bereich von Hysterie und Einbildung und vergiften so derart die soziale Atmosphäre, dass die Frage gestellt werden kann, welcher Schaden größer ist.

Neubau und renovierte Räume einer Schule wurden sofort nach Fertigstellung bezogen (1. Folge). Trotz Geruchsbelästigung wurden die auffällig hohen Krankenstände erst nach vier Monaten mit Schadstoffen in Verbindung gebracht (2. Folge). Nach einem halben Jahr zeigten Messungen, dass der Richtwert von 3.000 µg/m³ immer noch erreicht wurde. Über ein halbes Jahr waren demnach die Richtwerte überschritten.

34 chronisch erkrankte Schüler sind bekannt geworden. Nur einige Eltern haben ihre Kinder von der Schule genommen, jeweils mit gutem gesundheitlichen Erfolg. Die Anzahl der chronisch erkrankten Lehrer ist unklar, da das Thema „Schadstoffe“ unmittelbar zu dienstlichen Konsequenzen führt (3. Folge). Mobbing im Kollegenkreis und der Öffentlichkeit vermindert den Mut zu Sachlichkeit weiter (4. Folge).

Die Rechtfertigung basierte einerseits auf der Bewertung des TÜV (TÜV 2001a). Dieser ist der Auffassung alle Richtwerte seien rein statistischer Natur ohne toxikologische Bedeutung. Zum zweiten wurde das Gutachten von Prof. Dott als besonders „hochrangig“ in der Öffentlichkeit gehandelt: Dessen zentrale Behauptung lautet, „im Bereich von 1.000 bis 3.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ “ seien „weder akute noch chronische“ Reaktionen zu erwarten (DOTT et al. 2001). Sofern man sorgfältig zwischen akut und subakut differenziert, lässt sich über die erste Behauptung diskutieren, nicht aber in Bezug auf Kinder. Außerdem wurde eine Befragung der Schüler durchgeführt. Nach Gesundheit und Symptomen wurde auf knapp 1 1/2 Seiten gefragt. Die Symptomliste war so kurz, dass man damit keinen Hinweis auf irgend eine bekannte Umwelttoxine erkennen kann (WIESMÜLLER 2002). Verglichen etwa mit dem Fragebogen des Environmental Health Center in Dallas, verhalten sich die fachlich-wissenschaftlichen Umfänge etwa wie 1 : 30. So kommen dann Diagnosen über psycho-soziale Ursachen zustande. Es sei noch angefügt, dass der Lehrstuhl von Prof. Dott, das Institut für Hygiene und Umweltmedizin der RWTH Aachen, Studien zu Umwelterkrankungen durchgeführt hat (SCHULZE-RÖBECKE et al. 1999) und für die Gesellschaft für Hygiene und Umweltmedizin Kongresse ausrichtet.

Auf der Basis dieser „hochrangigen“ (!) Expertisen kommt das zuständige Gesundheitsamt dazu, alle Belästigungen als eine Frage der Lüftung zu erklären (5. Folge). Tatsächlich weist anschließend der TÜV nach, dass bei geschlossenen (!) Fenstern, die Lüftung ungenügend ist (TÜV 2001d).

Das zweite Hauptargument des GA ist die exponentielle Abnahme der Belastung. Niemand der Fachleute kommt auf den Gedanken, dass dies auch für die vergangene Zeit gilt, also folglich die Belastung ein halbes Jahr über den Grenzwerten lag, noch ist ihnen klar, dass sich die Räumlichkeiten bereits in der zweiten Phase, der Annäherung an ein langfristig relativ stabiles Niveau befand. So wurde denn Monat für Monat gemessen und die Schadstoffe nahmen und nahmen nicht ab (TÜV 2001bc, 2002).

Die entscheidende Idee hatte Prof. Ewers von Wuppertaler Hygieneinstitut des Ruhrgebietes. Die Messungen seien worst-case-Beschreibungen: Messung am Vormittag nach einer Nacht mit geschlossenen Fenstern. Dies sei höchst unrealistisch (EWERS 2002). Also wurde vor einer zweiten Messung kräftig gelüftet; die Temperatur betrug dann höchst realistisch 4°C plus, was in jeder Pause wiederholt wurde, und siehe da, der TVOC konnte auf 174 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ abgesenkt werden. Nur diese Messung wurde dann vom Gutachter bewertet. Dies klingt nach Winston Churchill, der nur die Statistik zu akzeptieren bereit war, die er selbst vorher gefälscht hatte. Es sind obendrein so wenig Stoffe gemessen worden, dass mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit die tatsächliche Belastung auch unter diesen Umständen noch deutlich über 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ lag (MERZ 2002).

Solche Manipulation kommen immer mal wieder vor. Dass die Gutachter das heute offen hineinschreiben, zeigt dass es keine ernsthafte Opposition mehr gibt (6. Folge).

Im beschriebenen Beispiel wird das aber noch durch die anschließende Praxis übertroffen: in jenem Winter und im folgenden wurde die Fußbodenheizung wegen des Klebers des Fussbodenbelags heruntergedreht und Fenster blieben gekippt. Ergebnis: Unterricht bei 15°C (7. Folge).

Nachweise

- AD-HOC-ARBEITSGRUPPE DES UMA UND DES AGLMB (1996): Richtwerte für die Innenraumluft, Bundesgesundheitsblatt 39 (11): 422-426
- ALSEN HINRICHS, C. (1998): Neurotoxische Verletzungen in der Umweltmedizin, Umweltbelastungen und Gesundheit, Tagung der SPD-Bundestagsfraktion, 26. August 1998, Bonn
- ASHFORD, N. (1998): Exposition gegenüber chemischen Stoffen, Geringfügige Exposition und hohes Risiko, Bundessprachenamt - Referat SM II 2, Auftragsnummer E3053, 1998
- ASHFORD, N.A. & MILLER, C.S. (1998): Chemical Exposures: Low Levels and High Stakes, (Van Nostrand Reinhold) New York
- AUSSCHUSS ZUR GESUNDHEITLICHEN BEWERTUNG VON BAUPRODUKTEN (2000): Vorgehensweise bei der gesundheitlichen Bewertung der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) aus Bauprodukten, Oktober 2000
- BERGLUND, B., JOHANSSON, I. & T. LINDVALL (1987): Volatile organic compounds from building materials in a simulated chamber study, Indoor Air '87, 1: 16-21, Berlin
- BREMER (1999): tel. Mitteilung Okt. 1999
- DOTT, W. (2001): Gutachterliche Stellungnahme zur Belastung der Innenraumluft der Gemeinschaftsgrundschule Nideggen, Institut für Hygiene und Umweltmedizin, RWTH Aachen, 12.06.2001
- EUROPEAN COMMISSION - EC (1997/98): Evaluation of VOC Emissions from Building Products, Solid Flooring Materials, Report No. 18, European Collaborative Action, Indoor Air Quality & Its Impact On Man, (ECA-IAQ) Joint Research Centre, EUR 17334 EN
- EWERS, U. (2002): Schreiben vom 24. 01. 2002 an das Gesundheitsamt Düren, Hygieneinstitut des Ruhrgebietes, Gelsenkirchen
- HUDNELL, H.K., OTTO, D., HOUSE, D. & L. MOLHAVE (1992): Exposure of Humans to a Volatile Organic Mixture. II, Sensory, Archives of Environmental Health 47 (1): 31-38
- KOREN, H.S., GRAHAM, D.E. & R.B. DEVLIN (1992): Exposure of Humans to a Volatile Organic Mixture. III. Inflammatory Response, Archives of Environmental Health 47 (1): 39-44
- LÄNDERAUSSCHUSS FÜR IMMISSIONSSCHUTZ - LAI (1990): Bewertung von Schadstoffen, für die keine Immissionswerte festgelegt sind, Ministerium für Umwelt, Nordrhein-Westfalen, LAI-Schrift 392/90
- LEVSEN, K. & SOLLINGER, S. (1993): Organische Innenluftverunreinigungen aus textilen Bodenbelägen, Frauenhofer Institut für Toxikologie und Aerosolforschung, Hannover, Juli 1993
- MARQUARDT, H. & SCHÄFER, S. G. (1994): Lehrbuch der Toxikologie, (BI Wissenschaftsverlag) Mannheim
- MERZ, T. (2001a): Zum Stand der Wissenschaft in der Umweltmedizin, umweltmedizin-gesellschaft, 14 (1): 46-51
- MERZ, T. (2001b): Zur Innenraumbewertung von Pyrethroiden, Teil 3: Fehldiagnose aufgrund Selektion der wissenschaftlichen Grundlagen, umwelt-medizin-gesellschaft, 14 (3): 242-247
- MERZ, T. (2002): Gutachterliche Stellungnahme in toxikologischer und umweltmedizinischer Hinsicht zur Kausalität der Erkrankung von Lehrpersonal und Schülern durch Innenraumbelastungen in einer Schule, Wüstenzell, August 2002
- MOLHAVE, L., BACH, B. & PEDERSEN, O.F. (1986): Human reactions to low concentrations of volatile organic compounds., Environment International 12: 167-175
- MOLHAVE, L. et al. (1986/87): Dose Response Relation of Volatil Organic Compounds in the Sick Building Syndrome, Cilical Ecology 12: 155-169
- MOLHAVE, L. (1991a): Volatile Organic Compounds, Indoor Air Quality and Human Health, Indoor Air 1: 375-376
- MOLHAVE, L., GRANKJAER JENSEN, J. & S. LARSEN (1991b): Subjective reactions to volatile organic compounds as air pollutants, Atmos. Environ. 25A: 1283-1293
- MOLHAVE L., CLAUSEN G., BERGLUND B., DE CEARRIZ J., KETTRUP A., LINDVALL T,

- MARONI M, PICKERING AC, RISSE U, ROTHWEILER H, SEIFERT B, YOUNES M (1997): Total Volatile Compounds (TVOC) in Indoor Air Quality Investigations, *Indoor Air*: 225-240
- NETTER, K. (1998): Wissenschaftliche Stellungnahme vom 20.11.1998, Marburg
- OTTO, D. (1990): Neurobehavioral and Sensory Irritant Effects of Controlled Exposure to a Complex Mixture of Volatil Organic Components, *Neurotoxicology and Teratology* 12: 649-652
- OTTO, D., HUDNELL, H.K., HOUSE, D., MOLHAVE, L. & W. COUNTS (1992): Exposure of Humans to a Volatile Organic Mixture. I. Behavioral Assessment, *Archives of Environmental Health* 47 (1): 23-30
- PITTEN, F.-A., BREMER, J. & A. KRAMER, A. (2000): Raumbelastungen durch flüchtige organische Verbindungen (VOCs) und gesundheitliche Beschwerden, *Dtsch. med. Wschr.* 125: 545-550
- PLUSCHKE, P. (1998): Praktische Probleme bei der Bestimmung der Luftgüte in Innenräumen und der Festsetzung von Zielgrößen, in: *Gebäudestandard 2000: Energie und Raumluftqualität*, 4. Fachkongress der Arbeitsgruppe ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF), ISBN 3-930576, Nürnberg
- SCHULZE-RÖBBECKE, R. et al. (1998/99): Interdisciplinary clinical assessment of patients with illness attributed to environmental factors, *Interdisziplinäre Diagnostik bei Patienten mit umweltbezogenen Gesundheitsstörungen*, *Zentralblatt für Hygiene und Umweltmedizin* 202: S. 165-178
- SAGUNSKI, H. (1998): Richtwerte für die Innenraumluft: Rechtlicher Rahmen und Anforderungen an die regulatorische Toxikologie, in: *Gebäudestandard 2000: Energie und Raumluftqualität*, 4. Fachkongress der Arbeitsgruppe ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF), ISBN 3-930576, Nürnberg
- SCHLEIBINGER, H., HAOTT, U., MARCHL, D., PLIENINGER, P., BRAUN, P. & H. RÜDEN (2002): Ziel- und Richtwerte zur Bewertung der VOC-Konzentrationen in der Innenraumluft, *Umweltmed Forsch Prax* 7 (3): 139-147
- SCHOLZ, H. (1998): Vorkommen ausgewählter VOC in Innenräumen und deren bewertung, in: *Gebäudestandard 2000: Energie und Raumluftqualität*, 4. Fachkongress der Arbeitsgruppe ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF), ISBN 3-930576, Nürnberg
- SEIFERT, B. (1990): Regulating Indoor Air, In: *Indoor Air '90. Proceedings of the 5th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Toronto/Ottawa Vol. 5*: 35-49
- SEIFERT, B. (1999): Richtwerte für die Innenraumluft. Die Beurteilung der Innenraumluftqualität mit Hilfe der Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC-Wert), *Bundesgesundheitsb.* 42: 270-278
- RAT DER SACHVERSTÄNDIGEN IN UMWELTFRAGEN - SRU (1987): Umweltgutachten 1987, Unterrichtung durch die Bundesregierung, *Bundestagsdrucksache* 11/1568
- SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN - SRU (1999): Umwelt und Gesundheit, Risiken richtig abschätzen, Sondergutachten, Unterrichtung durch die Bundesregierung, *Deutscher Bundestag* 14/2300, 1999
- TÜV Produkt und Umwelt (2001a): Bericht über die Ermittlung und Bewertung von Gefahrstoffen in einem Schulgebäude, 425-153045, ohne Ort, 9.05.2001
- TÜV Produkt und Umwelt (2001b): Bericht über die Ermittlung und Bewertung von Gefahrstoffen in einem Schulgebäude, 425-153045-02, ohne Ort, 09.07.2001
- TÜV Produkt und Umwelt (2001c): Bericht über die Ermittlung und Bewertung von Gefahrstoffen in einem Schulgebäude, 425-153057, ohne Ort, 27.08.2001
- TÜV Produkt und Umwelt (2001d): Bericht über die Ermittlung und Bewertung von Gefahrstoffen, 425-153045-03, ohne Ort, 11.07.2001, Mechanische Erfassung der Luftwechselrate
- In Verbindung mit Bericht über die Prüfung von Raumluftkonditionen, Köln, 23.05.2001d
- TÜV Produkt und Umwelt (2002): Bericht über die Ermittlung und Bewertung von Gefahrstoffen in einem Schulgebäude im Rahmen einer Kontrolluntersuchung, 425-253015, ohne Ort, 16.01.2002
- UMWELTBUNDESAMT - UBA (1992): Daten zur Umwelt 1990/91, (E. Schmidt) Berlin
- WALLACE, L. (1985a): Overview, In: GAMMAGE, R. & KAY, S. (eds): *Indoor Air and Human Health*, (Lewis Publishers) Chelsea, MI
- WALLACE, L. et al. (1985b): Organic Chemicals in Indoor Air: A Review of Human Exposure Studies (an Indoor Air Quality Studies, In: GAMMAGE, R. & KAY, S. (eds): *Indoor Air and Human Health*, (Lewis Publishers) Chelsea, MI
- WALLACE, L. (1987a): The TEAM Studie: Personal Exposures to Toxic Substances in Air, Drinking Water, and Breath of 400 Residents of New Jersey, North Carolina and North Dakota, *Environmental Research* 43: 290-307
- WALLACE, L. (1987b): The total exposure assessment methodology (TEAM) study: summary and analysis. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Acid Deposition, *Environmental Monitoring and Quality Assurance*, EPA-600/6-87/002a, 1, Washington DC
- WEIS, N., KÖHLER, M., STOLZ, P. (1998): Gesamtbewertung von Innenraumbelastungen flüchtiger organischer Verbindungen mittels des TVOC-Konzepts, In: DIELE et al (Hrsg): *Ökologisches Bauen und Sanieren*, (C.F. Müller Verlag) Heidelberg
- WIESMÜLLER, A. (2002): Auswertung der 1. Fragebogen-Aktion in der Grund- und Realschule Nideggen, Schreiben vom 24.01.2002 an das Gesundheitsamt Düren, 2002
- WORLD HEALTH ORGANISATION - WHO (1982): *Indoor Air Pollutants, Exposure and Health Effect Assessments*, Euro Reports and Studies No. 78, Copenhagen