

Merkblatt zur Bewertung von VOC-Gemischen

Wissenschaftlich begründete Wirkschwellen und rechtliche Wertung der Richtwerte

Tino Merz, Karl-Rainer Fabig †, Wolfgang Huber und Peter Ohnsorge

Mitte der 80er Jahre wurden Sick-Building-Syndrom (SBS) und toxische Enzephalopathie (TE) durch die WHO (World Health Organisation) definiert (WHO 1982, 1985). Sie sind die wichtigsten Erkrankungen als Folge von Expositionen gegenüber VOC's (Volatile Organic Compounds). Epidemiologische Studien stellten statistische Häufungen dieser Erkrankungsmuster auf Grund von Umgang mit Lösemitteln dar. Probandenversuche zeigten, dass die bisherige Bewertung durch die MAK-Werte (Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen) einen Faktor 1000 zu hoch sind, wenn Dauerbelastung beurteilt werden soll.

Der Langzeitwert von 200 - 300 µg TVOC/m³, definiert durch die Innenraumkommission (IRK) des Umweltbundesamtes (UBA) ist für die Praxis wohl ausreichend. Es fehlt nur die rechtliche Verbindlichkeit als Grenzwert.

Derzeit werden Innerraumbelastungen noch vielfach durch die wissenschaftlich überholten MAK-Werte bewertet. Dies führt zu schweren Erkrankungen und zu Aberkennung des Versicherungsschutzes. Diese Situation wird dadurch aufrechterhalten, dass wissenschaftliche Ergebnisse keine sachliche Würdigung erfahren haben. So wird in der Öffentlichkeit das falsche Bild verfestigt, diese Erkrankungen seien rätselhaft und der VOC-Belastung nicht zuzuordnen.

— Vielfalt der Grenzwerte - Diskussionsstand

In Deutschland sind die gutachterlichen Bewertungen von VOC-Belastungen im Innenraum sehr uneinheitlich und unterscheiden sich oft um Zehnerpotenzen. Die Übersicht in Tabelle 1 dokumentiert eine unübersichtliche Situation: drei Richtwerte mit unterschiedlichem Zeitbezug, vier Richtwerte mit subchroni-

schem Zeitbezug aber unterschiedlichen Schweregraden. Darüber hinaus gibt es Überlappungen verschieden definierter Bereiche. Das gibt es bei keiner anderen Schadstoffgruppe.

Darüber hinaus existieren noch die MAK-Werte. Diese sind durchweg einen Faktor 1000 höher und mit den obigen Werten nicht kompatibel (vgl. u.).

Karl-Rainer Fabig †, Hamburg
Prof. Dr. med. Wolfgang Huber, Heidelberg
Dr. med. Peter Ohnsorge, Würzburg

Korrespondenzanschrift:

Dr. rer. nat. Tino Merz
Frankenstr. 12
97292 Wüstenzell
Tel.: 09369/1559
Fax: 09369/980798
E-Mail: Merz.sys_oeko@t-online.de

Wissenschaft

Humantoxikologie

Grundlage der Feststellung der Wirkschwelle von VOC-Gemischen (TVOC) sind die doppelblind ausgeführten Probandenversuche durch Mølhavé gemäß der WHO-Definition des SBS (MØLHAVE et al. 1986). Die von Mølhavé in Tabelle 1 genannten Wirkungen sind Experimentergebnisse und beziehen sich ausnahmslos auf die vierwöchige - subchronische - Belastungsdauer der Expositionsstudie. Auf Dauer sind die chronischen und akuten

Richtwerte µg TVOC/m ³	Reaktionen nach subakuter Belastung (Møhlhave) ²	Toxikologische Wirkschwelle	Gefahrenabwehr ⁵ / Handlungsbedarf
	Innraumkommission des Umweltbundesamtes		
< 200	keine Reizung oder Beeinträchtigung des Wohlbefindens	chronisch	Vorsorge
200 - 300 ¹	IRK: „im langzeitigen Mittel ... nach Möglichkeit sogar unterschreiten“	chronisch	abstrakt - konkret ³ / Prüfbedarf
200 - 3000	Reizung oder Beeinträchtigung des Wohlbefindens möglich bei Wechselwirkung mit anderen Expositionsparametern		konkret / Prüfbedarf
1.000 - 3.000 ¹	IRK: „nicht auf Dauer“	sub-chronisch	konkret / erhöhter Prüfbedarf
3.000 - 25.000	Exposition führt zu einer Wirkung, Kopfschmerzen möglich		konkret - unmittelbar ³ / Nutzungseinschränkung
10.000 - 25.000 ¹	IRK: „Allenfalls vorübergehend täglich zumutbar“	akut	unmittelbar / Nutzungseinschränkung
25.000	Kopfschmerzen, neurotoxische Wirkungen möglich	akut	Alarmschwelle ⁴

Tab. 1: Dosis-Wirkungsbeziehung für VOC - Richtwerte

1) Die Bereiche der IRK-Grenzwerte sollen der unterschiedlichen Toxizität unterschiedlicher Gemische Rechnung tragen - wie wird allerdings nicht definiert.

2) Abgeleitet aus vierwöchigem Probandenversuch

3) je nach Belastungsdauer

4) Vorschlag wurde nicht umgesetzt, Belastung nach Renovierung möglich

5) Rechtlich ist zu unterscheiden in a) abstrakte, d.h. theoretisch mögliche, Gesundheitsgefahr, b) konkrete Gesundheitsgefahr, in der die Erkrankung nur noch vom Zufall abhängt, und schließlich c) unmittelbare Gefahrenabwehr, die sofortiges Eingreifen notwendig macht.

Wirkungen aber identisch (HOPF et al 1981: 3.53 Kapitel „chronische Intoxikationen“). Denn die Wirkung wird durch die Dosis bestimmt und diese ist Produkt aus Konzentration * Zeit (Haberscher Regel). Es ergibt sich aber ein unterschiedlicher Verlauf der Erkrankung. Zur Fragen welche Wirkungen auf Grund welcher Mechanismen chronifizieren, gibt es eine große Anzahl von Hypothesen (WHO 2001, vgl. a. BMA 1996).

In der Møhlhave-Studie waren 5.000 µg/m³ die niedrigste Exposition bei der alle Probanden Wirkung verspürten. Dies ist demnach der LOAEL_{subakut}. Zur Umrechnung von LOAEL zu NOAEL und von subakut zu chronisch wird je eine Faktor 10 in Ansatz gebracht (UBA 1993: 17). Es ergibt sich somit rechnerisch ein NOAEL_{subakut} von 500 µg/m³ und eine chronische Wirkschwelle (NOAEL_{chronisch}) von 50 µg/m³. Der Wert von 200 µg/m³ ist folglich eher eine Unterschätzung des Gesundheitsrisikos, wohl ein Kompromiss. Für empfindliche Personen ist eigentlich ein weiterer Faktor 10 als Sicherheit üblich (a. a. O.). Wirklich sicher sind demzufolge erst 5 µg TVOC/m³. Dies sind die Gründe, jenen Wert von 200 µg/m³ toxikologisch sehr ernst zu nehmen. Denn er enthält keine Sicherheitsfaktoren und in der Abschätzung (Überbrückung von Datenmängeln) eher zu wenig als zu viele Konservativitäten**.

Epidemiologie

Initiiert wurden jene Probandenversuche nachdem umfangreiche epidemiologische Studien erbracht hatten, dass die bisherigen Richtwerte (MAK) nicht vor Krankheit schützen. Der Sachverständigenbeirat des Bundesarbeitsministeriums nennt in seinen

* L= Lowest, O=Observed, A=Adverse, E=Effect, L=Level, N=No; „adverse“ meint klinische Symptomatik oder Verschiebung physiologischer Parameter aus dem Referenzbereich hinaus

** Sicherheitsfaktoren sind willkürliche aber notwendige Größen, wie etwa der Unterschied zwischen Tier und Mensch und die unterschiedliche Suszeptibilität. Konservativitäten sind Schätzfaktoren für mangelhafte Datensituationen, wie oben genannt, die für sich allein auf der sicheren Seite liegen müssen, Kombiniert können sie zu einer Überschätzung des Sicherheitsbedarfs führen. So ergibt sich in dieser Darstellung für den NOAELsubakut eine Diskrepanz zwischen maximal 3000 und minimal 500 µg/m³. Ein Wert von 5 µg/m³ bedeutete etwa, dass MCS-Patienten die organischen Stoffe in der Innenstadt nicht vertragen können. Es gibt Kasuistiken, die dies nahe legen. Allerdings dürften die Juristen diese schweren Fälle von MCS als allgemeinen Maßstab ablehnen.

Empfehlungen zur Einrichtung der Berufskrankheit Toxische Enzephalopathie durch VOC, BK 1317, 30 Studien (BMA 1996, ausführlich: MERZ 2004))

Aus einer deutschen Studie (N=400, PITTEN et al 2000) ergab sich ein LOAEL_{chronisch} von 900 µg TVOC/m³ (90%-Perzentil). Rechnerisch ergibt sich eine chronische Wirkschwelle von 90 µg/m³ (NOAEL_{chronisch}). Obige Abschätzung ist somit untermauert. Studien aus den USA komplettieren das Bild (Übersicht: MERZ 2003).

Toxikologie

Seit Mitte der 90er Jahre kommen auch Einzelstoffbetrachtungen unter Einbeziehung aller relevanten Daten zu einem Stoff zu fast identischen Ergebnissen. Eine ad-hoc-Gruppe des Bundes (UBA) und der Länder (AGLMBL, Arbeitsgemeinschaft der leitenden Medizinalbeamten und -beamten der Länder) hat ein differenziertes Ableitungsschema entwickelt zur Festlegung eines Richtwertes für die subchronische (RW II) und die chronische Situation (RW I) (BGA 1996, ad-hoc-Gruppe 2002).

Der RW I für Toluol beträgt 300 µg/m³. Die Übereinstimmung mit der chronischen Wirkschwelle von 200 - 300 µg TVOC/m³ ist kein Zufall. Toluol gilt als VOC mittlerer Giftigkeit (Spannweite: 10 -

Chloroform	100	Benzol	13	Phenol	50
Dichlormethan	200	Toluol	300		
Dichlorpropan	4	Ethylbenzol	1000		
Tetrachlorethan	280	Mesitylen	600	Dichlorbenzol	200
Tertachlorethen	100	Xylol	30	Chlorbenzol	400
Vinylchlorid	18	Styrol	30		

Tab. 2: RW I und Vorschläge für Langzeitwerte für flüchtige organische Einzelstoffe [µg/m³], Quelle: EIKMANN et al 2005
Die Zahlen sind entweder aktuelle RW I Werte, Vorschläge des UBA oder Übernahme von WHO-, EPA- oder LAI-Festlegungen. Die Übersicht zeigt, dass die chronischen Wirkschwellen oder kritische Konzentrationen bei Cancerogenität im 100-µg-Bereich oder darunter liegen.

10.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ gemäß Liste für die LCI-Werte (Lowest Concentration of Interest) der Europäischen Kommission (EC 1997)). Außerdem ist zu beachten, dass bei multipler Belastung die Konzentrationen einzelner Stoffe addiert werden müssen, nicht aber die Grenzwerte. Bei vergleichbaren Grenzwerten muss die Stoffsumme gebildet und der niedrigste Grenzwert als Bewertungsgrundlage in Ansatz gebracht werden. Auf die Darstellung komplexer gewichteter Summen wird hier verzichtet, da die Anzahl der RW I - Werte ohnehin zu gering ist, als dass übliche Gemische aus bis zu 100 Substanzen in Innenräumen auf dem Weg über Grenzwerte für Einzelsubstanzen bewertet werden könnten.

Übereinstimmung aller wissenschaftlichen Zugangsmöglichkeiten

Die Darstellung ergibt eine erstaunlich gute Übereinstimmung der Ergebnisse auf drei voneinander unabhängigen, wissenschaftlichen Wegen - den humantoxikologischen, epidemiologischen und toxikologischen. Die chronische Wirkschwelle für die Dauerbelastung durch VOC-Gemische liegt in der Größenordnung von 100 $\mu\text{g TVOC}/\text{m}^3$. Der Langzeitwert der Innenraumkommission (IRK) des Umweltbundesamtes (UBA) von 200 - 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ist möglicherweise ausreichend, nicht aber überbordend konservativ.

MAK-Werte

Die Übersicht in Tabelle 3 zeigt, dass die MAK-Werte gegenüber den chronisch-toxikologisch begründeten Richtwerten (RW I)

$[\mu\text{g}/\text{m}^3]$	MAK	RW I
Toluol	190 000	300
Styrol	86 000	30
Tetrachlorethen	345 000	27

Tab. 3: Vergleich MAK- und RW I - Werte

größenordnungsmäßig einen Faktor 1000 zu hoch sind. Warum man in den 70er Jahren so hohe Expositionen für verträglich hielt, kann aus diagnostischen Mängeln, zu geringen Expositionszeiten und Nichtbeachtung von Kombinationswirkungen wissenschaftlich verstanden werden; wichtige Stichpunkte sind: Nichterkennung von Frühsymptomen, insbesondere psychische Dysfunktionen, Nichtanwendung der Diagnostik der neuropsychologische Toxikologie, unscharfe Unterscheidung von akut, subchronisch und chronisch (Übersichten: MERZ 2003, 2004, et al. 2004) multiplizieren sich rasch zu mehreren Zehnerpotenzen auf. Kurz gesagt beschreiben die MAK-Werte akute Reaktionen mit offensichtlichen (massiven) Symptomen. Folglich müssen MAK-Werte für VOC neu bewertet werden und können nicht mehr weiterhin als wissenschaftlicher Standard angesehen werden.

Die gutachterliche Praxis

Trotz eindeutigem Stand der Wissenschaft finden mehrheitlich die MAK-Werte Anwendung bei der Beurteilung. Es wird dabei der Eindruck erweckt, allein sie seinen wissenschaftlich begründet und damit allein maßgeblich. Dafür dienen Aussagen wie „für Gemische gibt es derzeit keine wissenschaftlich begründeten Richtwerte“ in neu aufgelegten Lehrbüchern (TRIEBIG et al 2002:

274). Wissenschaftlich ist diese Aussage eine Singularität. Dennoch ist sie vielfach Leitfaden bei Entscheidungen in der Praxis.

Dies bedeutet eine gezielte Falschdarstellung des Standes der Wissenschaft, wie auch eine Fälschung des Merkblattes zur Verdachtsanzeige für die toxische Enzephalopathie (novelliert seit März 2005). Beides führt dazu, dass die Erkrankungen öffentlich als rätselhaft dargestellt werden, obwohl sie seit 20 Jahren durch die WHO definiert sind: 1982 das Sick-Building-Syndrom (SBS) und 1985 die toxische Enzephalopathie (TE).

Unmittelbare medizinische Folge ist das völlige Fehlen von Prävention. Aus Unkenntnis reagieren Kranke und Ärzte meist erst, wenn der Schweregrad 2B erreicht und damit der Grad der Behinderung die 50%-Marke überschritten hat.

Rechtlich wird ihnen der Versicherungsschutz verwehrt. Durchgängige Begründung: die Grenzwerte seien deutlich unterschritten. Welche Grenzwerte, wird nicht gesagt. Oft findet man die Aussage, es hätte keine Exposition stattgefunden. Dies alles bei TVOC-Belastungen im Milligrammbereich. Die beschriebene Situation wird nur dadurch aufrechterhalten, dass jede aufkommende sachliche Erörterung bisher unterbunden wurde.

Recht

Rechtlich muss die Schwelle von 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ als chronische Wirkschwelle der Gefahrenabwehr zugeordnet werden. Denn Gesundheitsgefahr ist stets der Gefahrenabwehr zuzuordnen. Die Gefährdung der Gesundheit löst sowohl den Anspruch auf Abwehr der Gefährdung als auch auf Schutz durch den Staat nach Art. 2 Abs. 2 GG aus. Damit ist der Wert von 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ definitionsgemäß ein Gefahrenabwehr-Grenzwert.

Vorsorge gilt für den Bereich $<200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Denn die Unterschreitung eines Grenzwertes darf nicht gleich als unbedenklich angesehen werden, sofern Anhaltspunkte dagegensprechen, etwa auffälliger Krankenstand.

Es ist erforderlich die chronische Wirkschwelle von 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ als Grenzwert zu etablieren und entsprechend rechtlich zu würdigen. Die höheren Grenzwertabstufungen betreffen lediglich verschiedene Grade der Dringlichkeit des Handlungsbedarfs. Sie stellen aber in jedem Fall eine konkrete Gefahr dar.

Nachweise

- Ad-hoc-Arbeitsgruppe des UBA und des AGLMB (2002): Richtwerte für die Innenraumluft. In: Eikmann, Heinrich, Heinzow, Konietzka, Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen, Toxikologische Basisdaten und ihre Bewertung: Erich Schmidt Verlag, Berlin
- BGA - BUNDESGESUNDHEITSAMT (1996): Richtwerte für Innenraumluft: Basisschema Bundesgesundheitsblatt 11
- BMA - BUNDESARBEITSMINISTERIUM (1996): Polyneuropathie oder Enzephalopathie durch organische Lösungsmittel oder deren Gemische, Bek. D. BMA v. 24.6.1996, BArbBl. 9/1996, 4
- HOPF HC, POEK K, SCHLIACK (1981): Neurologie in Praxis und Klinik, 3 Bände, Georg Thieme Verlag, Stuttgart New York
- EC-EUROPEAN COMMISSION (1997): 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
- EIKMANN, HEINRICH, HEINZOW, KONIETZKA (2005): Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen, Toxikologische Basisdaten und ihre Bewertung, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- MERZ, T. (2003): VOC in Innenräumen, Bewertungsgrundlagen, umwelt-medizin-gesellschaft 16(2): 131 - 137
- MERZ, T. (2004): VOC - komplexe Krankheitsbilder durch zelluläre Multifunktionsstörungen umwelt-medizin-gesellschaft 17(1): 46-56
- MERZ, T., HUBER, W., MESSERSCHMIDT, T., REMMERS, V., BOHL, J. (2004): Objektivierung von Erkrankungen in Folge von chronischen Intoxikationen, umwelt-medizin-gesellschaft, 17(4): 307-315
- MOLHAVE L., BACH B., PEDERSEN O.F. (1986): Human reactions to low concentrations of volatile organic compounds., Environment International 12: 167-175.
- PITTEN F.-A., BREMER J., KRAMER A. (2000): Raumbelastungen durch flüchtige organische Verbindungen (VOCs) und gesundheitliche Beschwerden, Dtsch. med. Wschr. 125: 545-550
- UBA (1993): Basisdaten Toxikologie für umweltrelevante Stoffe zur Gefahrenbeurteilung bei Altlasten, Forschungsbericht 10203443/01/Berichte 4/93, ISBN 3-503-03467-6, Erich-Schmidt-Verlag, Berlin
- TRIEBIG, G., KENTNER, M., SCHIELE, R. (2002): Arbeitsmedizin - Handbuch für Theorie und Praxis, Gentner Verlag, Stuttgart
- WORLD HEALTH ORGANISATION - WHO (1982): Indoor Air Pollutants, Exposure and Health Effect Assessments, Euro Reports and Studies No. 78, Copenhagen
- WHO (1985): Chronic Effects of Organic Solvents on the Central Nervous System and Diagnostic Criteria, Document 5, Copenhagen
- WHO (World health organisation), (2001): Neurotoxicity Risk Assessment for Human Health: Principles and Approaches, Genf