

BEWERTUNG DER INNENRAUMLUFT

FORMALDEHYD

AUTORENVERZEICHNIS

Dipl.-Ing. Dr. Hans-Peter HUTTER

Univ.-Prof. Dr. Michael KUNDI

Dr. Hanns MOSHAMMER

Dipl.-Ing. Peter TAPPLER

Dipl.-Ing. Felix TWRDIK

Dr. Peter WALLNER

INHALTSVERZEICHNIS

1	Allgemeine Eigenschaften	5
1.1	Chemisch-physikalische Eigenschaften, Allgemeines	5
1.2	Vorkommen und Verbreitung	6
1.2.1	Verbreitung in der Umwelt.....	6
1.2.2	Vorkommen und Quellen in Innenräumen.....	7
1.2.3	Felduntersuchungen zu Formaldehyd in Innenräumen	11
1.2.4	Vergleich der Untersuchungen.....	13
1.3	Einflussfaktoren auf die Formaldehydkonzentration in Innenräumen	16
2	Allgemeine Messstrategie, Analytik und Untersuchungsbericht.....	17
2.1	Messstrategie, Probenahme	17
2.2	Analytik	19
2.3	Untersuchungsbericht	20
3	Toxikologie	20
3.1	Toxikokinetik	20
3.1.1	Aufnahme und Verteilung.....	20
3.1.2	Metabolismus und Elimination.....	20
3.2	Wirkungen	21
3.2.1	Schleimhautreizungen.....	22
3.2.2	Systemische Wirkungen.....	23
3.2.3	Allergene Wirkungen	23
3.2.4	Kanzerogenität	25
3.2.5	Geruchsschwelle	27
3.3	Bestehende Regelungen	27
4	Beurteilung von Formaldehyd-Konzentrationen	30
	Literatur.....	31

1 ALLGEMEINE EIGENSCHAFTEN

1.1 CHEMISCH-PHYSIKALISCHE EIGENSCHAFTEN, ALLGEMEINES

Systematischer Name: Methanal

Synonyme: Formaldehyd, Methylaldehyd, Methaldehyd, Methylenoxid, Formol, Formalin (wässrige Lösung)

CAS-Nummer: 50-00-0

Index-Nummer: 605-001-00-5

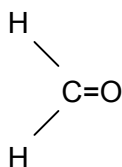
EINECS-Nummer: 200-001-8

Einstufung und Kennzeichnungen:

	Einstufung/Kennzeichnung
Stoff	T; Carc.Cat. 3, R40
Zubereitungen Konzentration [C]	
$C \geq 25\%$	T; R23/24/25-34-40-43
$25\% > C \geq 5\%$	Xn; R20/21/22-36/37/38-40-43
$5\% > C \geq 1\%$	Xn; R40-43
$1\% > C \geq 0,2\%$	Xi; R43

Summenformel: H_2CO

Strukturformel:



Molare Masse: 30,03 g/mol

Schmelztemperatur: 181,2 K

Siedetemperatur: 252,2 K (bei 1013 hPa)

Massendichte: $0,815 \text{ g/cm}^3$ (bei 293,15 K)

Rel. Dampfdichte (Luft = 1): 3,6

Dampfdruck der wässrigen Lösung (30 Gew.%): 2,3 hPa (bei 293,15 K)

Wasserlöslichkeit: sehr gut löslich

Verteilungskoeffizient: $\log P_{\text{Oktanol/Wasser}}$: 0,35

Umrechnungsfaktoren (bei 293,15 K, 1013 hPa): $1 \text{ ppm} = 1,25 \text{ mg/m}^3$

$1 \text{ mg/m}^3 = 0,80 \text{ ppm}$

Wenn im Text nicht anders angegeben, werden alle zitierten Werte in den Einheiten ppm und mg/m^3 angegeben (berechnet mit Umrechnungsfaktoren für 293,15 K und 1013 hPa).

Formaldehyd ist ein entzündliches, farbloses, sehr reaktives, stechend riechendes Gas mit der chemischen Formel HCHO . Die wässrige Lösung wird auch "Formalin" genannt.

Aus der großen Gruppe der Carbonylverbindungen ist Formaldehyd herauszugreifen und gesondert zu behandeln. Das rechtfertigt sich aus chemischer Sicht durch sein von den sonstigen Carbonylverbindungen abweichendes Reaktionsverhalten. Vor allem aber ist auf Formaldehyd als Luftschadstoff in Innenräumen gesondert einzugehen, da er in vielen Produkten des täglichen Bedarfs, in Baustoffen und in Ausstattungsgegenständen sehr weit verbreitet ist und entsprechend in der Vergangenheit häufig zu Kontaminationen der Innenraumluft führte bzw. bei Vorliegen ungünstiger Randparameter auch heute noch führt.

1.2 VORKOMMEN UND VERBREITUNG

1.2.1 Verbreitung in der Umwelt

Formaldehyd in der Außenluft bildet sich bei der Oxidation von Kohlenwasserstoffen, deren Ursprung anthropogen, aber auch biogen sein kann (Österr. Akademie der Wissenschaften, Kommission für Reinhaltung der Luft 1997). Zweite wichtige Quelle ist die direkte Emission von Formaldehyd bei Verbrennungsprozessen. So ist Formaldehyd zum Beispiel in den Abgasen von Kraftfahrzeugen enthalten (Seizinger und Dimitriades 1972), wobei der Gehalt an Formaldehyd bei unterschiedlichen Treibstoffen variiert. Die überwiegende Menge des Formaldehyds in der Umwelt und speziell in Innenräumen kann auf anthropogene Quellen zurückgeführt werden.

Formaldehyd ist in Konzentration von ca. 0,001 bis 0,01 mg/m^3 in der Umgebungsluft nachweisbar (Grosjean et al. 1993). Insbesondere in sommerlichen Photosmog-situationen können jedoch auch noch höhere Gehalte erreicht werden. In seltenen Fällen wurde auch über relevante Punktquellen der Außenluftbelastung mit Formaldehyd berichtet (Friza et al. 1986).

1.2.2 Vorkommen und Quellen in Innenräumen

Formaldehyd ist aufgrund seiner vielfältigen Anwendung im Bereich der Bauprodukte und Materialien der Innenausstattung in nahezu allen Innenräumen in höheren Konzentrationen als in der Außenluft nachweisbar. Vor allem die Freisetzung von Formaldehyd aus Spanplatten und aus anderen verleimten Holzwerkstoffen prägte über einen längeren Zeitraum den öffentlichen Diskurs über Luftschadstoffe in Innenräumen. Ausgelöst wurden diese Debatten Mitte der 1970er Jahre durch einzelne bemerkenswerte Fälle. Besondere Beachtung erlangte die Formaldehydbelastung in Schulen und Kindertagesheimstätten, vor allem in Deutschland (Pluschke 1996).

Formaldehyd ist eine außerordentlich vielfältig eingesetzte Chemikalie, die in einer Fülle von Produkten des alltäglichen Gebrauchs enthalten ist und insofern auf vielerlei Wegen zur Belastung der Innenraumluft beitragen kann. Die wichtigsten Formaldehydquellen in Innenräumen sind:

- Mit bestimmten Leimen verleimte Holzwerkstoffe (Deppe 1982, Marutzky und Flentge 1985)
- Mit bestimmten Leimen verleimte Produkte aus anderen Materialien (auch Korkplatten und vergleichbare Produkte können mit formaldehydhaltigen Klebern verarbeitet sein)
- Dämmstoffe und Ausschäummaterial aus Formaldehyd-Harnstoff-Schäumen (Godish 1989)
- Anstrichstoffe, Farben und Lacke, die Formaldehyd als Topfkonservierer oder als Komponente in Lackbindemitteln enthalten (Lacke mit Aminoplast- oder Phenoplast-Komponenten können einen Gehalt an freiem Formaldehyd bis zu einigen Prozent haben, dieser freie Formaldehyd wird beim Lackieren emittiert)
- Kleber, Aminoplast-Parkettversiegelungen (sogenannte säurehärtende Lacke) und ähnliche Hilfsmittel in der Gebäudeausstattung
- Glas- und Steinwolle sowie Fasermatten, die mit formaldehydhaltigen Bindemitteln behandelt sind
- Textilien (Bille 1981) und textile Bodenbeläge, die mit Harnstoff-Formaldehyd-Harzen veredelt werden (Schneider 1989)
- frische Druckerzeugnisse, die unter Umständen Formaldehyd in Innenräume einschleusen, da zum einen in Druckfarben mitunter Formaldehyd enthalten ist, zum anderen aber auch bei Produkten für die Papierbehandlung (z.B. für Spezialpapiere) Formaldehyd eingesetzt wird

- Reinigungs-, Pflege- (Echard 1966) und Desinfektionsmittel (Peters und Spicher 1981). Eine Desinfektion von Wohnräumen mit Formaldehyd ist allerdings heute nicht mehr gebräuchlich, sehr wohl aber in Krankenhäusern oder pharmazeutischen Produktionsbetrieben
- Tabakrauch (Jermini et al. 1976, Guerin et al. 1987); auch beim Abbrand von Kerzen wird Formaldehyd gebildet, allerdings in Mengen, die – bezogen auf die Menge an verbranntem Material – wesentlich geringer sind als beim Abbrand von Zigaretten und anderen Rauchwaren (Schwind et al. 1994)
- Emissionen von Gasherden und anderen Einrichtungen, in denen eine offene Verbrennung stattfindet (z.B. Zimmeröfen ohne Abzug), Holzverbrennung
- Erwärmtes Rohholz (z.B. in Saunakammern) und andere erwärmte organische Materialien

In den meisten hier angeführten technischen Produkten ist Formaldehyd als Komponente in polymeren Verbindungen enthalten. Bei der Vernetzung der linearen Polymere bilden sich Hydroxymethylengruppen, die sich in einer Retroreaktion unter Freisetzung von Formaldehyd zurückbilden können. Mit steigender Temperatur wird der Rückbildungsprozess begünstigt, insbesondere aber unterstützt auch Feuchte diesen Prozess.

Die Hauptquelle von Formaldehydbelastungen in Innenräumen sind Holzwerkstoffe, die mit Harnstoff-Formaldehydharzen verleimt wurden (Dunky und Niemz 2002) sowie Textilien (BfR 2005). Holzwerkstoffe werden neben dem Möbelbau auch in der Konstruktion der Wände, Böden oder Decken eingesetzt (Hodgson et al. 2002). Die Freisetzung von Formaldehyd aus Klebern und anderen polymeren Materialien steigt stark mit einer erhöhten Luftfeuchte und auch mit höheren Temperaturen an. Stöger (1965) hat die Zusammenhänge zwischen der Formaldehydraumluftkonzentration, der Raumbeladung mit Spanplatten und den Lüftungsbedingungen als erster modellhaft dargestellt. Seither sind diese Zusammenhänge in zahlreichen Untersuchungen detailliert beschrieben worden (Matsumoto 1974, Hawthorne und Matthews 1987). Von besonderer Bedeutung ist bei dieser Art der Formaldehydfreisetzung aus polymeren Materialien, dass es sich dabei um einen Prozess handelt, der während der gesamten Lebensdauer eines solchen Produkts zu beobachten ist. So klingt die Anfangsemission neu produzierter Spanplatten zwar rasch ab, von Spanplatten und anderen Holzwerkstoffen können selbst nach Jahrzehnten noch starke Formaldehydemissionen ausgehen, wie eine Untersuchung in österreichischen Fertigteilhäusern zeigte (Tappler et al. 1997). Dies erklärt sich durch Nachlieferungsreaktionen aus dem Korpus der Holzwerkstoffe. Hohe Konzentrationen wurden vor allem dann festgestellt, wenn schlechte Qualitäten und große Oberflächen an Holzwerkstoffen $[w_1]$ pro gegebenem Raumvolumen eingesetzt wurden.

Es sind also zum einen die bauphysikalischen und raumklimatischen Bedingungen in einem Gebäude, zum anderen die Menge der eingesetzten Materialien sowie die Materialeigenschaften der Produkte selbst, welche die Formaldehydemission von Werkstoffen beeinflussen. Die Materialeigenschaften sind bestimmt durch die Wahl der Einsatzstoffe, durch die Art der Produktion und durch die produktionstechnische Sorgfalt. Holzwerkstoffe unterlagen bis 1990 keiner gesetzlichen Beschränkung in Bezug auf die Abgabe von Formaldehyd. Im Lauf der Zeit ist es gelungen, das Emissionsverhalten der verschiedensten Produkte, insbesondere aber auch von Spanplatten im Hinblick auf eine Minimierung der Formaldehydemissionen zu beeinflussen.

Rohholz und mit hochwertigen Leimen verleimte Holzwerkstoffe geben in nicht erwärmtem Zustand nur vernachlässigbar geringe Mengen an Formaldehyd an die Raumluft ab (Meyer und Boehme 1994, Damberger et al. 2007). Untersuchungen ergaben, dass in Österreich vertriebene Fertigparkettbodenbeläge ebenfalls nur eine unbedeutende Quelle an Formaldehyd darstellten (Tappler et al. 2001).

Neuere Messergebnisse zeigen, dass in neuen, nicht mit Holzwerkstoffen errichteten Saunakammern aus Rohholz Formaldehyd-Konzentrationen von bis zu 1 ppm (etwa 1 mg/m³ bei Saunatemperatur) gemessen wurden. Laborergebnisse zeigen, dass bei Erhitzen von Rohholz eine deutliche und wahrscheinlich über einen längeren Zeitraum andauernde Emission von Formaldehyd gegeben ist (Tappler persönliche Mitteilung). Dieses Phänomen erklärt sich dadurch, dass bei Trocknung Lignin, Hemicellulose und Polysaccharide zu Formaldehyd zerlegt werden. Bei höheren Temperaturen traten bei Trocknung von Holzspänen deutlich höhere Emissionen als bei nicht erhitztem Holz auf (Schäfer und Roffael 1999a, 1999b, 2000a, 2000b). Formaldehyd kann zusätzlich auch von der Verleimung von in den letzten Jahren vermehrt in Saunakammern eingesetzten Holzwerkstoffen abgespalten werden. Es ist allerdings nicht bekannt, wie sich formaldehydabspaltende Leime bei stärkerer Erhitzung verhalten.

Über den Einfluss verschiedener Trockentemperaturen und Holzarten auf die Formaldehydabgabe existierten ebenfalls nur wenige Fachbeiträge (Dunky und Niemz 2002). Ein Vergleich von verschiedenen Holzproben der Monterey-Kiefer (*Pinus radiata*) mit anderen Holzarten zeigte, dass nach Erwärmen deutliche Unterschiede in der Emission an Formaldehyd auftraten. Bei höheren Temperaturen (140° C) getrocknetes Holz zeigte noch bis zu einem Zeitpunkt von etwa einem Monat nach Erhitzen höhere Formaldehyd-Emissionen als die bei niedrigeren Temperaturen erhitzten Proben. Bei 60° C getrocknetes Holz zeigte diesen Effekt nicht (Young 2008).

Relevanz haben erhöhte Formaldehydkonzentrationen in Saunakammern deshalb, da derartige Innenräume, im Unterschied zu privaten Innenräumen, den Vorgaben des Bäderhygienegesetzes (BGBl. Nr. 254/1976 i.d.g.F.) unterliegen, in dem

vorgeschrieben wird, dass es durch die Verwendung von in Saunen eingesetzten Materialien zu keiner Gesundheitsschädigung von Saunanutzern kommen darf. Es ist davon auszugehen, dass sich Saunen in einer Reihe von Randbedingungen wie Aufenthaltszeit, Temperatur und Nutzungsfrequenz signifikant von sonstigen Innenräumen unterscheiden. Die Konzentration an Formaldehyd, ab der Gesundheitsschäden auftreten können, ist im Bäderhygienegesetz nicht präzisiert.

Weitere bedeutende Quellen an Formaldehyd in Innenräumen können Lacke (sog. Säurehärter) sein, die bei der Vernetzung Formaldehyd an die Raumluft abgeben (Tappler et al. 2001). Bei säurehärtenden Lacken wird vor allem in der ersten Zeit in hohem Ausmaß Formaldehyd an die Raumluft abgegeben, es kommt hier in der Regel zu Überschreitungen der Konzentration von 0,1 ppm (0,13 mg/m³) über einen Zeitraum von einigen Wochen. Farben und Lacken wird mitunter Formaldehyd auch als Konservierungsstoff beigegeben.

Im Bereich der Dämmstoffe sind die sogenannten Urea-Formaldehyd (UF)-Schäume (die in Österreich wenig Anwendung fanden) zu nennen, die über längere Zeiträume stark erhöhte Konzentrationen an Formaldehyd in der Raumluft verursachen können. Glas- und Steinwolle sowie Fasermatten, die mit formaldehydhaltigen Bindemitteln behandelt sind, können ebenfalls eine, wenn auch meist geringfügige Quelle an Formaldehyd sein.

Auch Verbrennungsprozesse wie Tabakkonsum oder offene Verbrennungsvorgänge, wie sie bei Gasherden, Zimmeröfen oder Durchlauferhitzern ohne Abzug mitunter vorkommen, stellen eine nicht zu unterschätzende Quelle an Formaldehyd dar. Diskontinuierliche Quellen in Innenräumen sind darüber hinaus Formaldehyd enthaltende Desinfektionsmittel. Formaldehyd kann wie zahlreiche andere Außenluftschadstoffe von außen durch Lüftungsvorgänge in die Innenraumluft gelangen.

Bei der Reaktion des in Innenräumen in zahlreichen Produkten enthaltenen Terpenkohlenwasserstoffs Limonen mit Ozon, das in der Regel aus der Außenluft in Innenräume einströmt, entstehen „limonene oxidation products“ (LOP) wie z.B. Formaldehyd in relevanten Konzentrationen (Nielsen et al. 1999; Clausen et al. 2001; Wolkoff et al. 2008).

1.2.3 Felduntersuchungen zu Formaldehyd in Innenräumen

Die Betrachtung der inhalativen Gesamtexposition kann durch die Aggregation verschiedener Modellierungen oder die Analyse von Messwerten in der Innenraumluft erfolgen. Der Vorteil von Messungen der Konzentrationen in der Innenraumluft liegt in der realistischeren Abschätzung der Gesamtexposition. Es kann davon ausgegangen werden, dass Messwerte in der Innenraumluft alle über längere Zeiträume relevanten Quellen widerspiegeln (BfR 2005).

Zu Formaldehydkonzentrationen in Innenräumen existieren zahlreiche Felduntersuchungen. Eine größere Zahl älterer Arbeiten berichtet von Formaldehydkonzentrationen bis zu mehreren ppm in nicht gewerblich genutzten Innenräumen (ECA 1990). Die publizierten Untersuchungen sind jedoch nur bedingt miteinander vergleichbar, da einerseits unterschiedliche Messstrategien eingesetzt wurden und andererseits nicht immer repräsentative Grundgesamtheiten vorlagen.

Eine ältere Untersuchung in 100 österreichischen Wohnungen zeigte, dass in 97 % der untersuchten Fälle Formaldehydkonzentrationen über 0,05 ppm (0,06 mg/m³) und in 79 % der Fälle über 0,10 ppm (0,13 mg/m³) nachgewiesen wurden (Panzhauser et al. 1987).

Eine Zusammenfassung der Messwerte aus Anlassfällen eines österreichischen Umweltlabors aus den Jahren 1990 bis 92 (Tappler und Gann 1992) ergab, dass in rund 10 % der untersuchten Räume der Wert von 0,10 ppm (0,13 mg/m³) überschritten wurde. Der 50 Perzentil-Wert lag bei 0,053 ppm (0,066 mg/m³) der Bereich der Konzentrationen zwischen 0,012 und 0,29 ppm (0,015 - 0,36 mg/m³). Die höchsten Messwerte fanden sich in Wohnungen bzw. Häusern, in denen mehr als 8 Jahre vor der Untersuchung großflächig Spanplatten sowohl zum Möbelbau als auch als Wandmaterial verwendet wurden. Der in dieser Untersuchung gemessene Maximalwert wurde in einem Fertigteilhaus aus dem Jahre 1973 gemessen, dessen Wände und Decken zur Gänze aus Spanplatten bestanden.

Eine in 25 nicht repräsentativ ausgewählten österreichischen Fertigteilhäusern mit insgesamt 47 Räumen durchgeführte Studie (Tappler et al. 1997) zeigte, dass sich die höchsten Messwerte in Fertigteilhäusern fanden, in denen mehr als 10 Jahre vor der Untersuchung großflächig Spanplatten vor allem als Wandmaterial verwendet wurden. Rund 50 % der aus minderwertigen Spanplatten erbauten älteren Fertigteilhäuser (Gruppe A, Baujahr vor 1985) wiesen zum Zeitpunkt der Untersuchung erhöhte Konzentrationen an Formaldehyd (> 0,1 ppm) in der Raumluft auf (höchster Messwert 0,33 ppm).

Eine in Wien im Sommer 2001 durchgeführte repräsentative Untersuchung in 160 Wohnungen zeigte relativ niedrige Messwerte (Hutter et al. 2003). Lediglich 6 Messwerte überschritten den Wert von 0,050 ppm (0,063 mg/m³).

Messungen in Schulen und Kindergärten wurden bis auf wenige Ausnahmen nur im Anlassfall durchgeführt. Brandl et al. (2001) untersuchten 19 oberösterreichische Schulklassen. Bei den auf standardisierte Raumlufthbedingungen (23° C, 45% rel. Luftfeuchte) korrigierten Ergebnissen wurde ein 50 %-Wert von 0,049 ppm (0,061 mg/m³) ermittelt, der Bereich der korrigierten Messwerte lag zwischen 0,010 und 0,12 ppm (0,013 - 0,15 mg/m³). In weniger umfangreichen Studien, oberösterreichische Kindergärten, Kinderbetreuungseinrichtungen und Landesschulen betreffend, wurden nach einer einleitenden Erhebung mittels Fragebogen punktuell Objekte ausgewählt, in denen erhöhte Konzentrationen zu erwarten waren und diese untersucht (Amt der OÖ. Landesregierung 2001, 2003a, 2003b). Dies waren z.B. 14 Schulklassen kurz nach Renovierungsarbeiten bzw. Klassen mit älteren Einrichtungsgegenständen. Der 50 %-Wert der Messwerte lag in diesen Schulklassen bei 0,070 ppm (0,088 mg/m³), der Bereich der Werte zwischen 0,013 und 0,12 ppm (0,016 - 0,15 mg/m³). In den Jahren 2006-2007 wurden 18 Nebenräume in 9 Schulen in Österreich je zweimal untersucht (Hohenblum et al. 2008). Es ergab sich ein Medianwert von 0,030 mg/m³ (0,024 ppm).

In Deutschland wurden bezüglich Formaldehyd umfangreiche Untersuchungen durchgeführt, die Daten sind jedoch zum Teil veraltet. Der Umwelt-Survey ist eine repräsentative Erhebung von Daten zur Belastung deutscher Haushalte aus den Jahren 1985-86 (Krause et al. 1991). Die Daten beinhalten somit nur Haushalte in den alten Bundesländern. Es liegen deskriptive statistische Angaben zu 329 Messwerten von Formaldehyd in der Innenraumlufth vor. Die Probennahme erfolgte über einen Zeitraum von 48 Stunden, nach Möglichkeit im Wohnzimmer. Die Belüftung der bemessenen Räume ist nicht standardisiert und unbekannt. Zur Ermittlung der Konzentrationen wurde das Pararosanilin-Verfahren mit einer Nachweisgrenze von 30 µg/m³ angewendet. Diese Nachweisgrenze ist im Vergleich zu anderen Untersuchungen sehr hoch, Angaben zur Bestimmungsgrenze wurden nicht gemacht. Alle Werte unterhalb der Nachweisgrenze wurden numerisch auf die halbe Nachweisgrenze (= 15 µg/m³) gesetzt. Neuere Daten aus den Jahren 2003-2006 enthält der Kinder-Umwelt-Survey (Umweltbundesamt 2008).

Die im Umweltlabor ARGUK erhobenen Daten zur Formaldehyd-Konzentration in deutschen Haushalten sind ebenfalls Verdachtsstichproben aus den Jahren 1993-2004. Die Einzel-Messwerte wurden dem BfR von ARGUK für Verteilungsanpassungen zur Verfügung gestellt (BfR 2005). Nähere Angaben zu den Haushalten und Beprobungsbedingungen liegen nicht vor. Es lässt sich anhand dieser Daten kein abnehmender Trend über die Jahre feststellen. Damit werden die Messwerte aus allen Jahren berücksichtigt. Diese liegen im Bereich von Werten unter der Nachweisgrenze bis 1003 µg/m³ mit einem Mittelwert von 67 µg/m³.

Tab. 1: Formaldehyd-Konzentrationen (Median, 95. Perzentil) in der Raumluft in Österreich und Deutschland; ausgewählte, umfangreichere Untersuchungen

Probenzahl /-ort	Zeitraum der Untersuchungen (Art der Probenahme)	Median [mg/m ³]	95. Perzentil [mg/m ³]	Quelle
329 Whg., repräsentativ D	1985-86 (passiv)	0,055	0,11	Umwelt-Survey (Krause et al. 1991)
144 Innenräume A, Anlassfälle aus Umwelt- labor, Verdachts- stichproben	1990-92 (aktiv)	0,066		Tappler und Gann 1992
1035 Wohnungen / Kindertagesheimstätten D (Bayern), Anlassfälle aus Umweltlabor, Verdachts- stichproben	1993-98 (aktiv)	0,043	0,125	AGÖF (Scholz 1998)
72 Whg. D (Bayern, Sachsen), Fall-Kontroll- Studie	1997-98 (passiv)	0,039		Ullrich et al. 1999 (nach BfR 2005)
311 Whg. D (Sachsen- Anhalt) , Fall-Kontroll- Studie	1996-98 (passiv)	0,018	0,056	Universität Jena (Brasche et al. 2003) nach BfR 2005
160 Whg. A (Wien), repräsentativ	Sommer 2001 (aktiv)	0,024		Hutter et al. 2003
1139 Innenräume D, Anlassfälle aus Umwelt- labor, Verdachts- stichproben	1993-2004	0,054	0,146	ARGUK (BfR 2005)
586 Innenräume D, Kinder-Umwelt-Survey	2003-2006	0,024	0,048	Umweltbundes amt (2008)

A = Österreich, D = Deutschland

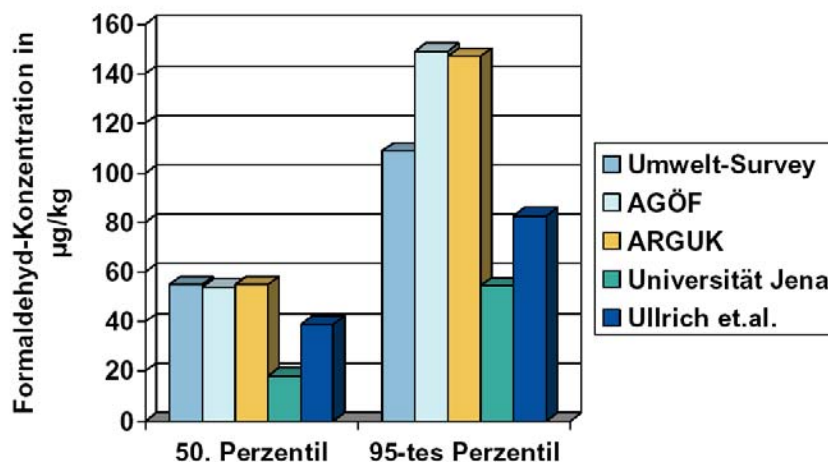
1.2.4 Vergleich der Untersuchungen (aus BfR 2005 bzw. BfR 2006a)

Der Umwelt-Survey kann als einzige der beschriebenen Untersuchungen als repräsentativ für die deutschen Haushalte angesehen werden. Aufgrund des Alters der Daten und der damit verbundenen Einschränkung auf die alten Bundesländer sind diese nicht ausreichend zur Ableitung eines oberen Perzentils für die gesamte deutsche Bevölkerung. Durch die Verwendung der Messreihen aus Verdachts-

stichproben erhält man eine Überschätzung der oberen Perzentile. Dies lässt sich in Abb. 1 erkennen, in der die 50. und 95. Perzentile von 5 Untersuchungen in Deutschland gegenübergestellt sind. Die 50. Perzentile des Umwelt-Survey unterscheidet sich nicht von denen der Verdachtsstichproben. Dagegen zeigen sich deutliche Unterschiede an der 95. Perzentile.

Neben dem Vergleich der berichteten Werte soll an diese Werte auch eine Verteilung angepasst werden. Damit erhält man die Möglichkeit, aus den berichteten statistischen Kennzahlen auf andere Bereiche der Verteilung zu extrapolieren. Für Schadstoff-Verteilungen wird zumeist eine Lognormal-Verteilung angenommen. Begründet ist dies in der typischen rechtsschiefen Form und der Annahme, dass viele Einflussfaktoren sich multiplikativ auf die Verteilungsform auswirken. Für die gegebenen Untersuchungen wurde deshalb aus den Perzentilen eine Lognormal-Verteilung geschätzt. Für die Verteilungsanpassung der Werte des Umweltlabors ARGUK wurden dem BfR die Einzelwerte zur Verfügung gestellt, die als Grundlage für die Anpassung verwendet wurden.

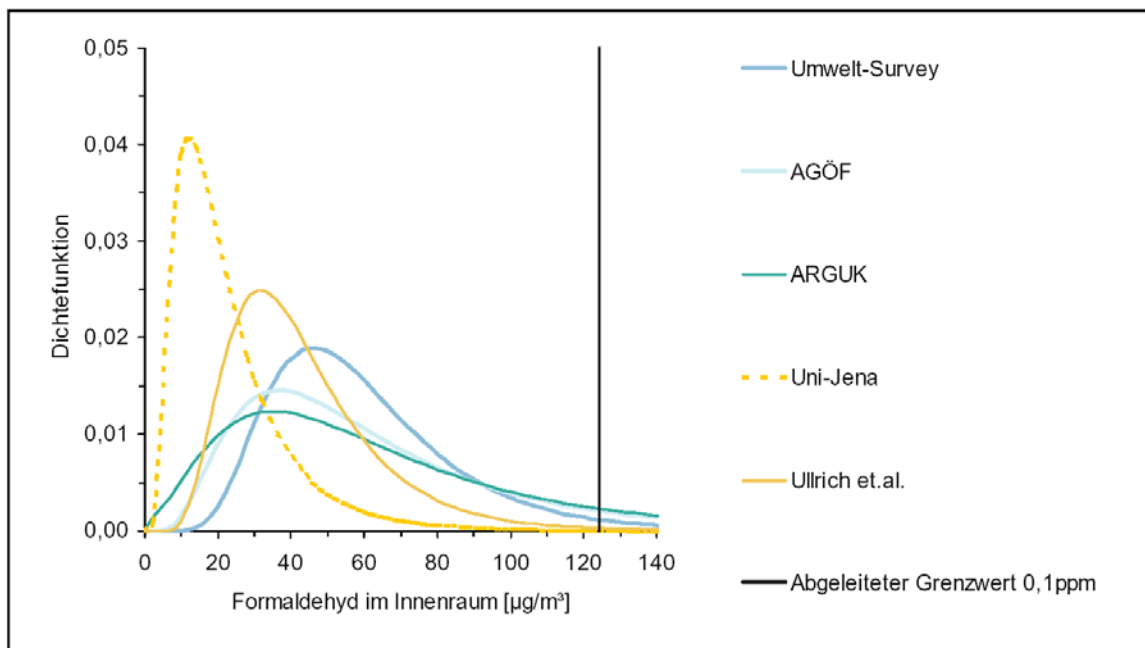
Abb. 1: Verteilung der Formaldehyd-Konzentrationen in Innenräumen, Daten aus mehreren Studien (Originaldaten zum Teil verändert), nach BfR (2006a)



- ARGUK: empirische Werte aus Einzeldaten
- Andere Studien: aus angepasster Lognormal-Verteilung abgeleitete Perzentile

Die unterschiedlichen Verteilungen sind in der folgenden Abb. 2 dargestellt. Die beiden Verteilungskurven mit Verdachtsstichproben weisen beide die höchste Masse in den rechten Rändern der Verteilung auf. Die Verteilung des Umwelt-Surveys, die am ehesten als repräsentative Abschätzung bezeichnet werden kann, liegt im Mittel weiter rechts, aber in den Rändern unterhalb der Verdachtsstichproben. Die Studien der Universität Jena und von Ullrich et al. scheinen eher eine Unterschätzung der tatsächlichen Formaldehyd-Konzentrationen darzustellen.

Abb. 2: Formaldehyd-Konzentrationen in Innenräumen, Daten aus mehreren Studien, nach BfR (2006a)



Formaldehyd-Konzentrationen [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] (Kurven generiert als Lognormal-Verteilungen aus Perzentilwerten, ARGUK: Generierung der Verteilung aus Einzelmesswerten)

Aufgrund der dargestellten Verteilungen wird als Schätzwert für eine hohe Konzentration $147 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aus den ARGUK-Daten abgeleitet. Mit einer Unsicherheit darüber, dass dies nicht repräsentativ für die deutsche Bevölkerung ist, kann dennoch davon ausgegangen werden, dass mit einer hohen Wahrscheinlichkeit mindestens 95% der Gesamtbevölkerung geringeren Konzentrationen in der Innenraumluft ausgesetzt sind. Die Werte des Umwelt-Surveys geben aufgrund der Stichprobenauswahl eine genauere Schätzung des 95. Perzentils der Gesamtbevölkerung wieder. Es kann jedoch nicht sicher ausgeschlossen werden, dass aufgrund der oben beschriebenen Aktualität und regionalen Einschränkungen eine Unterschätzung erfolgt. Für die Beschreibung der durchschnittlichen Exposition des Verbrauchers ergeben sich keine Unterschiede bei der 50. Perzentile des Umwelt-Surveys und der ARGUK-Daten, so dass der Median der ARGUK-Daten mit $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als Schätzer für die durchschnittliche Exposition genutzt werden kann.

Die ARGUK-Daten sind zur Ableitung eines Worst-Case-Schätzers geeignet. Damit ergibt sich, dass weniger als 5% der Bevölkerung einer Raumluftkonzentration von Formaldehyd von mehr als $147 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ausgesetzt sind. Neue Daten geben Anlass zur Annahme, dass eine Tendenz zur Abnahme der Konzentration von Formaldehyd mit der Zeit in deutschen Haushalten verzeichnet werden kann.

1.3 EINFLUSSFAKTOREN AUF DIE FORMALDEHYDKONZENTRATION IN INNENRÄUMEN

Speziell die Abhängigkeit der Formaldehydraumlufkonzentration von der relativen Luftfeuchte, der Temperatur und der Luftwechselrate ist von Mehlhorn (1986) für den Fall der Formaldehydfreisetzung aus Spanplatten untersucht und mathematisch beschrieben worden (siehe auch BGA 1984). Demzufolge lassen sich die Formaldehydkonzentrationen für verschiedene raumklimatische Bedingungen umrechnen. Das von ihm dafür ausgearbeitete Modell basiert auf einem Konzept von Andersen et al. (1974). Dass diese Zusammenhänge im gleichen Ausmaß für emissionsarme Spanplatten der neueren Generation bzw. andere Holzwerkstoffe wie OSB-Platten gelten, ist eher unwahrscheinlich. In erwärmtem Zustand steigt jedenfalls die Formaldehydmission von Rohholz und wahrscheinlich auch von Formaldehyd abspaltenden Leimen deutlich an (siehe Kapitel 1.2.2).

Ein Zusammenhang mit der Luftfeuchte, wie in vorstehendem Modell für die Formaldehydmissionen von Spanplatten dargestellt, ist nicht festzustellen, wenn Formaldehyd in freier Form in Produkten enthalten ist und freigesetzt wird, er ist auch für Formaldehyd abspaltende Lacke nicht anzunehmen.

Gasförmiger Formaldehyd wird an vielen Oberflächen adsorbiert und bildet damit Sekundärquellen, die einen wesentlichen Beitrag zur Formaldehydbelastung eines Raumes leisten können. Bei Versuchen in einem mit Spanplatten dicht belegten Innenraum, die auf Basis von Stundenmittelwerten ausgewertet wurden, waren trotz einer deutlichen Variation der Luftwechselzahl keine signifikanten Änderungen der Raumlufkonzentration an Formaldehyd erkennbar. Während Luftwechselzahlen zwischen $0,1 \text{ h}^{-1}$ und mehr als $0,3 \text{ h}^{-1}$ beobachtet wurden, schwankte die gemessene Formaldehyd-Konzentration lediglich geringfügig. Es wurde vermutet, dass die hohe Ad- und Desorptionfähigkeit der Wandoberflächen die Veränderung der Raumlufkonzentration durch den Luftwechsel überlagerte (Tappler et al. 2008).

In sanierten Räumen kann von Sekundärquellen noch über Wochen und Monate eine Emission an Formaldehyd ausgehen, so dass der Sanierungseffekt erst nach einer Abklingphase, in der Sekundäremissionen auftreten, in vollem Umfang zu beurteilen ist (Tappler persönliche Mitteilung).

Für Frühgeborene gefährliche Formaldehydkonzentrationen wurden in Inkubatoren erreicht, die mit formaldehydhaltigen Desinfektionsmitteln behandelt wurden, wobei sich an den Oberflächen Polymerisate (Paraformaldehyd, Urotropin) bildeten, die durch Luftspülung nicht entfernt werden und aus denen sich erst beim Einschalten der Befeuchterpumpe Formaldehyd hydrolytisch abspaltet (Lessky et al. 1988).

2 ALLGEMEINE MESSSTRATEGIE, ANALYTIK UND UNTERSUCHUNGSBERICHT

2.1 MESSSTRATEGIE, PROBENAHE

Messungen der Konzentration an Formaldehyd in der Innenraumluft erfolgen im Allgemeinen mittels Kurzzeitprobenahme (z.B. 30 Minuten), Probenahmen über längere Zeiträume sind ebenfalls möglich. Die Messplanung und Probenahmestrategie gestaltet sich laut ÖNORM ISO 16000-2. Erfolgen die Messungen mit dem Ziel der Überprüfung der Einhaltung der in Kapitel 4 abgeleiteten Empfehlungen, so hat die Probenahmedauer dem Beurteilungszeitraum (30 Minuten bzw. 24 h) zu entsprechen. Bei längerer Gesamt-Probenahmedauer kann es notwendig sein, mehrere zeitlich unmittelbar hintereinander ausgeführte Probenahmen durchzuführen. Abweichungen davon sind nur in begründeten Ausnahmefällen zulässig. Referenzverfahren für die Probenahme ist die Sammlung der Substanz durch Absorption des Aldehyds in Wasser oder in einer wässrigen Lösung, welche Ammoniumacetat enthält, wobei ein definiertes Luftvolumen durch Waschflaschen gesaugt wird. Diese Möglichkeit der Probenahme ist in ÖNORM EN 717-1 beschrieben.

Die aktive Sammlung auf DNPH (Dinitrophenylhydrazin)-Kartuschen ist der Sammlung in der wässrigen Lösung gleichwertig. Diese Möglichkeit der Probenahme ist in DIN ISO 16000-3 beschrieben.

Zusätzliche Informationen über die durchschnittliche Konzentration über einen längeren Zeitraum können über eine Sammlung der Substanz mittels eines nach dem Diffusionsprinzip arbeitenden Passivsammlers, der im zu untersuchenden Raum exponiert wird, erfolgen. Die Probenahme mittels Passivsammlern ist in DIN ISO 16000-4 beschrieben.

Von Messungen mit anderen Methoden, z.B. einem Gasanalysator auf photoakustischer Infrarotbasis und Systemen auf enzymatischer Basis wird aufgrund der starken Querempfindlichkeiten zu anderen Innenraumluft-Verunreinigungen abgeraten.

Eine Beeinflussung des Messergebnisses bei der Probenahme ist durch die aktuell herrschenden Außenklimaparameter gegeben, die je nach Außentemperatur und Windgeschwindigkeit stark die Luftwechselrate beeinflussen. Es sind daher extreme, unrealistische Bedingungen zu vermeiden (z.B. starke Windgeschwindigkeit).

Das Formblatt für das Probenahmeprotokoll ist im Anhang II der Richtlinie zu finden und kann auch unter <http://publikationen.lebensministerium.at> (> Umwelt > Luft) als Datenfile bezogen werden.

Neben den im „Allgemeiner Teil“ der Richtlinie behandelten Fragen in Bezug auf die Messstrategie sind noch folgende Punkte zu beachten:

- Der zu untersuchende Raum soll vor der Probenahme über einen Zeitraum von mindestens 5 Stunden nicht gelüftet werden. Außentüren und Fenster müssen verschlossen bleiben, Fenster- und Tüpfugen sollten jedoch nicht abgeklebt werden. Innentüren sind in der Regel ebenfalls geschlossen zu halten, begründete Ausnahmen davon sind jedoch möglich. Türen können kurz geöffnet werden, um z.B. den Raum zu betreten, sie sind jedoch unmittelbar darauf wieder zu schließen.
- Für die Probenahme über 24 h in natürlich belüfteten Räumen ist der Raum wie üblich, jedoch mindestens alle 2 Stunden über einen Zeitraum von etwa 5-10 Minuten zu lüften. Die Lüftungszeiten sind zu dokumentieren.
- Die Windgeschwindigkeit im Außenbereich sollte die Stärke 3 nach Beaufort (Bereich 3,6 - 5,4 m/s, entspricht „Schwache Brise“ – Blätter und dünne Zweige bewegen sich) nicht überschreiten.
- Unterschiedliche Raumklimabedingungen können sich auf die Formaldehyd-Konzentration auswirken. Die Emissionsrate von Holzwerkstoffen, die in der Regel die Hauptquelle für Formaldehyd darstellen, wird wesentlich von der Temperatur und der relativen Luftfeuchte beeinflusst. Die Raumtemperatur und die relative Luftfeuchtigkeit sollte sich daher im üblichen Bereich (in der Regel 20 - 24 °C, 30 - 60% rel. LF) bewegen (mit Ausnahme von speziellen Fragestellungen wie beispielsweise Formaldehyd in Saunakammern). Die Raumlufttemperatur und die relative Luftfeuchte sind zu dokumentieren.
- In Räumen mit kontrollierten Lüftungsanlagen oder Klimaanlage ist die Anlage unter dem für den Nutzer ungünstigsten, jedoch realistischen Betriebszustand zu betreiben (niedrigster noch realistischer Luftwechsel). Ist dies nicht bekannt, ist die niedrigste für den Normalbetrieb vorgesehene Lüftungsstufe zu wählen.
- Die Benutzer der Räume müssen darauf hingewiesen werden, dass in einem Zeitraum von etwa einem Monat vor der Messung bis zur Messung keine formaldehydhaltigen Produkte (z.B. Formaldehyd abspaltende Lacke, Desinfektionsmittel) verwendet werden dürfen (außer es soll der Einfluss dieser Produkte erfasst werden).
- Je nach den lokalen Bedingungen können zusätzlich Messungen der Außenluft, Messungen in anliegenden Arbeitsräumen (z.B. den Betriebsräumen eines Betriebes, in dem Formaldehyd als Arbeitsstoff verwendet wird) oder an anderen relevanten Messorten durchgeführt werden.
- Die Auswahl der Räume richtet sich nach den örtlichen Verhältnissen und der Raumnutzung. Es sollen Räume untersucht werden, die dem langdauernden

Aufenthalt von Personen dienen (z.B. Wohnräume, Schlafräume, Büros, Schulräume, Gruppenräume von Kindergärten).

- Zur Beurteilung möglicher Immissionsbelastungen durch Betriebe, in denen Formaldehyd als Arbeitsstoff eingesetzt werden, ist wenn möglich auch in den Betriebsräumlichkeiten zu messen. Es ist zu gewährleisten, dass sich die Anlage in üblichem Betriebszustand befindet.

2.2 ANALYTIK

Es wird auf die Ausführungen im Kapitel Analytik im „Allgemeiner Teil“ der Richtlinie verwiesen.

Die analytische Bestimmung erfolgt nach dem Acetylaceton-Verfahren. Zur analytischen Bestimmung wird die Sammellösung mit Pentan-2,4-dion (Acetylaceton) versetzt (bei Probenahme in Wasser auch mit Ammonacetat), wobei Formaldehyd mit Pentan-2,4-dion in Anwesenheit von Ammoniumacetat unter Bildung von 3,5-Diacetyl-1,4-dihydrolutinidin reagiert. Die Absorption des gebildeten Farbstoffs, dessen Farbintensität proportional zur Konzentration des Formaldehyds in der Probe ist, wird mit Hilfe eines Spektralphotometers gemessen. Die Analytik und Auswertung in Bezug auf die photometrische Bestimmung erfolgt nach ÖNORM EN 120. Die Analytik ist auch in ÖNORM EN 717-1 beschrieben.

Die Bestimmungsgrenze des gesamten Verfahrens darf den Wert von 0,010 mg/m³ nicht überschreiten.

Das Verfahren der Auswertung mittels HPLC-Analytik nach Sammlung auf DNPH-Kartuschen ist der photometrischen Auswertung gleichwertig (Äquivalenzverfahren). Die Analytik und Auswertung ist in DIN ISO 16000-3 beschrieben.

Die Anforderungen an ein Äquivalenzverfahren in Bezug auf Formaldehyd sind folgende:

- Die Bestimmungsgrenze des gesamten Verfahrens darf den Wert von 0,010 mg/m³ nicht überschreiten.
- Die erweiterte Unsicherheit nach dem BAM-Leifaden zur Ermittlung von Messunsicherheiten bei quantitativen Prüfergebnissen (BAM 2004) darf 20 % nicht überschreiten.
- Es bestehen keine bzw. nur vernachlässigbar geringe Querempfindlichkeiten zu anderen Raumluftinhaltsstoffen.

2.3 UNTERSUCHUNGSBERICHT

Der Prüfbericht hat die im „Allgemeiner Teil“ der Richtlinie behandelten Punkte zu enthalten.

Wenn der Raum unmittelbar an eine Formaldehyd emittierende gewerbliche Anlage angrenzt, ist der Aufbau der raumumschließenden Flächen (Boden-, Decken- und Wandaufbau) in Erfahrung zu bringen und im Probenahmeprotokoll zu beschreiben.

3 TOXIKOLOGIE

3.1 TOXIKOKINETIK

3.1.1 Aufnahme und Verteilung

Physiologisch entsteht Formaldehyd im menschlichen Organismus als Intermediärprodukt des Fremdstoffmetabolismus (Phase I-Zytochromoxidasen). Die entsprechenden Stoffwechselschritte finden allerdings in speziellen Zellkompartimenten statt, welche durch antioxidative Faktoren in der Regel ausreichend vor der Einwirkung aggressiver Intermediärprodukte geschützt sind. Diese endogene Entstehung von Formaldehyd führt zu einer geringen Konzentration im Blut von etwa 2-4 µg/ml. Der Verweis auf diesen körpereigenen Formaldehyd entbindet aber nicht von der Aufgabe, exogenes Formaldehyd hinsichtlich möglicher systemischer Wirkungen gesondert zu bewerten. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Formaldehyd wahrscheinlich zu den phylogenetisch ältesten Zwischenprodukten des Stoffwechsels zählt (Kalapos 1999) und im gesunden Organismus daher ausreichende Schutzmechanismen gegen systemische Formaldehydbelastungen in physiologischer Höhe bestehen.

Inhalativ aufgenommener Formaldehyd wird aufgrund seiner guten Wasserlöslichkeit überwiegend im oberen Respirationstrakt deponiert und absorbiert. Beim Menschen als Mund-Nase-Atmer erfolgt dies sowohl in der Mund-, Rachen- und Nasenschleimhaut als auch in Trachea und proximalen Bronchien, während bei obligaten Nasenatmern (wie Mäusen und Ratten) hauptsächlich die Nasenpassage betroffen ist. Das ist bei der Bewertung von Tierversuchen zu berücksichtigen.

3.1.2 Metabolismus und Elimination

Ein Teil (weniger als 10%) des eingeatmeten Formaldehyds wird wieder ausgeatmet. Gelangt es an die Schleimhäute, wird es bereits am Ort der Einwirkung entweder reaktiv verbraucht oder aktiv durch verschiedene Enzyme abgebaut. Dabei spielt die Formaldehyd-Dehydrogenase die bedeutendste Rolle, die nach Konjugation von

Formaldehyd mit Glutathion dieses zu Methansäure (Ameisensäure) abbaut, die überwiegend als Formiat über die Niere ausgeschieden wird. Die Halbwertszeit für Formaldehyd beträgt weniger als eine Minute.

Beim Menschen ist ein Anstieg von Formiat im Harn ab einer inhalativen Formaldehydbelastung von 0,5 ppm (0,6 mg/m³) feststellbar (Einbrodt et al. 1976). Bei niedrigeren Belastungen erfolgt eine nahezu vollständige Einschleusung in den Stoffwechsel der „Ein-Kohlenstoff-Moleküle“ (C₁-Pool). Teilweise erfolgt aus diesem Pool die Neusynthese körpereigener Stoffe, teilweise ein vollständiger Abbau zu CO₂ und H₂O.

Bei inhalativer Aufnahme höherer Konzentrationen (bis ca. 7 mg/m³ [5,6 ppm]) ändert sich die Blutkonzentration von Formaldehyd nicht (WHO 2002). Dies beruht auf seiner raschen Metabolisierung. Diese Verstoffwechselung ist allerdings eine aktive Leistung des Organismus, welche unter anderem mit einem Verbrauch an antioxidativen Substanzen einhergeht. Pushkina et al. zeigten bereits 1968, dass der Ascorbinsäuregehalt im embryonalen Gewebe vermindert wird, wenn die schwangeren weiblichen Ratten gegenüber Formaldehyd im Bereich von 1 ppm (1,25 mg/m³) und darunter exponiert waren.

3.2 WIRKUNGEN

Formaldehyd ist ein Reizgas, das wegen seiner guten Wasserlöslichkeit seine die Schleimhäute irritierenden Wirkungen zuerst bzw. bereits bei niedriger Konzentration an den oberen Atemwegen respektive an den Augenbindehäuten entfaltet. Wegen seiner raschen Verstoffwechselung stehen bei Exposition über den Luftweg Effekte am Ort der Einwirkung im Vordergrund.

In seltenen Fällen kann bei hoher Exposition (am Arbeitsplatz) eine Überempfindlichkeitsreaktion des Bronchialsystems im Sinne eines Berufsasthmas entstehen. Hohe Luftkonzentrationen können asthmatische Reaktionen auslösen, wobei auch dabei die Reizwirkung im Vordergrund zu stehen scheint. Insgesamt gesehen ist aber die Faktenlage zur Frage der Empfindlichkeit asthmatischer Personen gegenüber Formaldehyd-Expositionen widersprüchlich.

In wässriger Lösung ist Formaldehyd (z.B. als Formalin) eine häufige Ursache von Kontaktdermatiden. Im Folgenden wird aber nur die inhalative Aufnahme behandelt. Auch nicht behandelt werden Gesundheitsrisiken, die durch Unterdosierung von Formaldehyd als Desinfektionsmittel entstehen können. An Arbeitsplätzen wie im Krankenhaus sind dafür besondere Risikoabwägungen erforderlich (Lessky et al. 1988).

Die IARC (International Agency for Research on Cancer) hat die Kanzerogenität von Formaldehyd neu bewertet und es zu den Stoffen eingeordnet, die für den Menschen kanzerogen sind (Gruppe 1-Kanzerogen)(IARC 2006).

3.2.1 Schleimhautreizungen

Bei Konzentrationen unter 1 ppm (1,25 mg/m³) wird über irritative Reizungen an Augenbindehäuten und Nasenschleimhaut berichtet (DFG 2000). Durchaus in diesem Konzentrationsbereich, aber an dessen oberer Grenze, sind im Tierexperiment an Nagetieren reflektorische Effekte (Verlängerung der Apnoezeit in der Ausatmung, Pulsverlangsamung und Blutdruckanstieg) nachweisbar (Barrow und Steinhagen 1981; Nielsen et al. 1999). McRitchie und White zeigten 1974 an Kaninchen, dass diese Effekte über den Trigeminus vermittelt werden.

Bei Konzentrationen über 1 ppm (1,25 mg/m³) werden bei kurzzeitiger Exposition zunehmend objektiv feststellbare Anzeichen einer irritativen Schleimhautreizung wie verstärkte Schleimsekretion, Tränenfluss und erhöhte Lidschlussfrequenz beobachtet. Bei längerer Exposition (4-5 Stunden) sind schon unter 1 ppm (1,25 mg/m³) Formaldehyd messbare Effekte aufgetreten. Andersen und Mølhave (1983) konnten bereits bei 0,25 ppm (0,3 mg/m³) eine Abnahme der mukoziliären Clearance im vorderen Teil der Nasenhöhle feststellen. Subtile Effekte auf die offene Weite der Nasenhöhle sowie den Gehalt des Nasensekrets an Lysozym und eosinophilem kationischem Protein konnten bereits bei noch niedrigeren Konzentrationen nachgewiesen werden (Norbäck et al. 2000). Die klinische Relevanz dieser frühen Anzeichen irritativer Effekte ist allerdings schwer einzuschätzen.

In kontrollierten Untersuchungen am Menschen wurden überwiegend Expositionen über 0,5 ppm (0,6 mg/m³) Formaldehyd geprüft. Unter 1 ppm (1,25 mg/m³) treten subjektive Reizwirkungen auf das Auge auf, wobei dies aber erst nach zwei Stunden Expositionszeit der Fall ist. Bei höheren Konzentrationen steigt der Anteil der Personen mit Beschwerden und diese treten bereits bei kurzfristiger Exposition auf (Andersen und Mølhave 1983). Bei Konzentrationen über 1 ppm (1,25 mg/m³) wird auch über Reizwirkungen auf Nase und Rachen berichtet. Diese Reizwirkungen waren im Wesentlichen bei Personen mit früherer chronischer Formaldehydexposition und vorher nicht gegenüber Formaldehyd exponierten Personen gleich, sodass ein langfristiger Gewöhnungseffekt nicht angenommen werden kann (Green et al. 1987). Es fanden sich auch keine Unterschiede hinsichtlich der Reizwirkung zwischen Asthmatikern und gesunden Probanden (Schachter et al. 1987).

Untersuchungen von langfristig an Arbeitsplätzen gegenüber Formaldehyd exponierter Personen bestätigen die experimentellen Befunde. Horvath et al. (1988) untersuchten 109 gegenüber Formaldehyd (0,5-1,3 mg/m³ [0,4-1 ppm]) exponierte Arbeiter im Vergleich zu 254 Kontrollpersonen (mit Expositionen unter 0,06 mg/m³ [0,05 ppm]). Die exponierte Gruppe berichtete signifikant häufiger über Halsentzündungen, brennende Nase und andere irritative Effekte.

In einer Untersuchung der häuslichen Exposition an etwa 2000 Kindern und Erwachsenen fanden sich unter Berücksichtigung von Störvariablen (z.B. Rauchen)

klare Dosisabhängigkeiten der irritativen Symptome, wobei sich die 10%-Dosis (jene Dosis, ab der 10% der Personen Symptome aufweisen) aus den Angaben mit ca. 0,19-0,22 mg/m³ (0,15-0,18 ppm) errechnet (Ritchie und Lehnen 1987).

Histopathologische Veränderungen (Hyperplasie der Nasenschleimhaut, dysplastische Läsionen, Umwandlung der Schleimhaut in Plattenepithel, Zilienverlust) ließen sich in mehreren Untersuchungen nach chronischer Exposition nachweisen (Edling et al 1988; Holmström et al. 1989; Boysen 1990; Reiche et al. 1992). Die niedrigste Konzentration an Formaldehyd, ab der signifikante histologische Veränderungen auftraten, betrug bei Holmström et al. (1989) im Mittel 0,3 mg/m³ (0,24 ppm).

3.2.2 Systemische Wirkungen

Die hohe Reaktivität von Formaldehyd in wässriger Lösung in Kontakt mit jeglichem organischen Material bedingt einerseits dessen hohes irritatives Potenzial, lässt andererseits eine systemische Wirkung niedriger inhalativer Belastungen nicht sehr wahrscheinlich erscheinen. Studien mit radioaktiv markiertem Formaldehyd haben zwar eine rasche Verteilung des Markers im Organismus und etwa auch über die Plazentaschranke hinweg gezeigt (Katakura et al. 1993); es ist jedoch zu bedenken, dass dieses Untersuchungsverfahren nicht zwischen dem Transport des ursprünglichen Moleküls und dessen Abbauprodukten unterscheiden kann.

Die Anreicherung des radioaktiven Markers (¹⁴C) gerade in stoffwechselaktiven Geweben (Leber) spricht eher für rasche Metabolisierung als für den Ferntransport des ursprünglichen Moleküls. Die Inhalation von Formaldehyd im ppm-Bereich erhöht dessen Konzentration im Blut von freiwilligen Versuchspersonen jedenfalls nicht (Heck et al. 1985). Die gleiche Arbeitsgruppe hat dies auch an Ratten und Rhesus-Affen gezeigt (Casanova et al. 1988).

3.2.3 Allergene Wirkungen

Formaldehyd ist bekanntermaßen ein Kontaktallergen, was seinen Einsatz als Desinfektionsmittel in der Haut- und Flächendesinfektion, aber auch als Konservierungsstoff z.B. in Kosmetika, enge Grenzen setzt. Bei Sensibilisierten können schon geringe Spuren von Formaldehyd in der Kleidung allergisch-irritative Dermatiden hervorrufen. Auch anaphylaktische Reaktionen nach Hautkontakt einer sensibilisierten Person mit Formaldehyd wurden beschrieben. Trotz langjähriger kritischer Stellungnahmen zu Formaldehyd in Konsumentenprodukten bleibt die Rate der Sensibilisierten auf hohem Niveau (2 bis 2,5%) stabil (Wilkinson et al. 2002).

Umstritten allerdings ist die Frage, ob durch Formaldehyd auch inhalative Allergien vom Typ I hervorgerufen werden können. Einzelne Fallberichte von Atemnot unter Formaldehyd-Exposition lassen jedenfalls an eine Form atopischen Asthmas denken.

Kontrollierte Provokationsexperimente konnten dies jedoch nur teilweise bestätigen (Korn et al. 2003). Dies schließt allerdings nicht aus, dass allergische Reaktionen (etwa im beruflichen Umfeld) auf atmosphärische Reaktionsprodukte des Formaldehyds auftreten, welche unter der kontrollierten Begasung im Experiment nicht reproduziert werden können. Immunologische Reaktionen, vor allem im Sinne der Bildung spezifischer IgG-, aber auch IgE-Antikörper (gegen Protein-Formaldehyd-Komplexe), wurden zumindest nach höherer Exposition (Medizinstudenten im Sezierraum) beobachtet, wobei allerdings diese Bildung von Immunglobulin nicht unbedingt mit den berichteten klinischen Symptomen korrelierte (Wantke et al. 1996b, 2000). Anlass für die im Sezierraum durchgeführten Studien war eine Untersuchung in einer Schule, bei der Zusammenhänge zwischen der Bildung von Antikörpern und der erhöhten Raumluft-Konzentrationen an Formaldehyd vermutet wurden (Wantke et al. 1996a). Andererseits konnten Doi et al. (2003) in Japan keine so hohen Sensibilisierungsraten bei Kindern gegenüber Formaldehyd-Albumin bestätigen. Dennoch fanden die japanischen Autoren unter 122 asthmatischen Kindern 2 Fälle mit IgE gegen Formaldehyd-Albumin, unter 33 Kontrollkindern jedoch keinen. Sie geben nicht an, wie viele der 122 Asthmatiker unter allergischem Asthma litten. Mindestens bei einem der Kinder mit Formaldehydallergie wiesen die Symptome auf eine klinische Bedeutung der Allergie hin (schweres Asthma mit Verstärkung an Orten mit vermutet höherer Formaldehyd-Belastung).

Unspezifische Stimulierung allergischer Reaktionen auf typische Inhalationsallergene wäre eine andere These, um Formaldehyd mit Asthma zu assoziieren. Eventuell sind epidemiologisch feststellbare Zusammenhänge zwischen Formaldehydbelastung im Wohnbereich (Garrett et al. 1999; Rumchev et al. 2002; Wieslander et al. 1997) oder in der Schule (Smedje und Norbäck 2001) darauf zurückzuführen. Die Prävalenz ärztlicher Diagnosen von chronischer Bronchitis und Asthma nahm im Expositionsbereich zwischen 60 und 140 ppb ($72\text{--}168\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$) bei 298 Kindern zu (besonders deutlich bei solchen, die auch gegenüber Zigarettenrauch exponiert waren). Der Spitzenfluss bei der Expiration nahm dosisabhängig ab (Krzyzanowski et al. 1990). In einer australischen Studie an 148 Kindern im Alter von 7-14 Jahren in 80 Wohnungen erfolgten innerhalb eines Jahres 4 Formaldehyd-Messungen (Passivsammler über 4 Tage). Ein signifikanter Zusammenhang zwischen Atopie und Formaldehydkonzentration fand sich bei Kindern ohne elterliches Asthma. Eine allergische Sensibilisierung nahm dosisabhängig mit steigender Formaldehyd-Exposition zu, wobei die Zunahme des Risikos 40% pro $10\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ betrug (allerdings war diese Zunahme statistisch nur tendenziell zu sichern; $p=0,06$). Die mittlere Zahl der positiven Haut-Prickteste war in der Expositionsgruppe ($20\text{--}50\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$; 17-43 ppb) im Vergleich zur Gruppe $< 20\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ signifikant erhöht (Garrett et al. 1999). In einer australischen Fall-Kontroll-Studie an 88 Kleinkindern im Alter von 0,5-3 Jahren mit einem ärztlich diagnostizierten Bronchialasthma und 104 Kontrollkindern zeigte sich

ein erhöhtes Risiko für Asthma ab einer Formaldehyd-Konzentration von 50 ppb ($60 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (Rumchev et al. 2002).

Neben der Beteiligung an der Entwicklung oder Auslösung des allergischen Asthmas wäre noch an chemisch-toxisches Asthma zu denken. Nordman et al. (1985) unterschieden nicht, ob die von ihnen festgestellten Asthmafälle, die durch Formaldehyd am Arbeitsplatz bzw. unter Provokationstest eine Symptomverschlechterung zeigten, dem Asthma des atopischen oder nicht-atopischen Formenkreises zuzuordnen sind.

3.2.4 Kanzerogenität

Als chemisch äußerst reaktiv ist Formaldehyd in der Lage, in der Zell- oder Bakterienkultur chromosomale Schäden zu setzen. Im Tierversuch werden Tumoren an den Schleimhäuten der oberen Atemwege, bei der Ratte als obligatem Nasenatmer vor allem an der Nasenschleimhaut, allerdings bei hohen Expositionen und im Zusammenhang mit Nekrosen und reaktiver Hyperproliferation beobachtet. Chromosomenschäden finden sich an Schleimhautzellen exponierter Tiere (Casanova et al. 1991, 1994; Heck und Casanova 1999) ebenso wie bei Beschäftigten in der Schuhindustrie und in Seziersälen von Anatomie und Pathologie (Burgaz et al. 2001, 2002). Die Genotoxizität von Formaldehyd dürfte auf der Quervernetzung von Protein und DNA beruhen. Formaldehyd ist aber auch zytotoxisch. Die dadurch bedingte Zellproliferation ist ein wichtiger Schritt bei der Krebsentstehung. Conolly et al. (2003) haben auf Basis tierexperimenteller Studien und humaner Vergleichsdaten als Wirkungsschwelle für zytotoxische Effekte beim Menschen eine Formaldehyd-Konzentration von $0,8\text{--}1,3 \text{ mg}/\text{m}^3$ ($0,64\text{--}1 \text{ ppm}$) abgeschätzt.

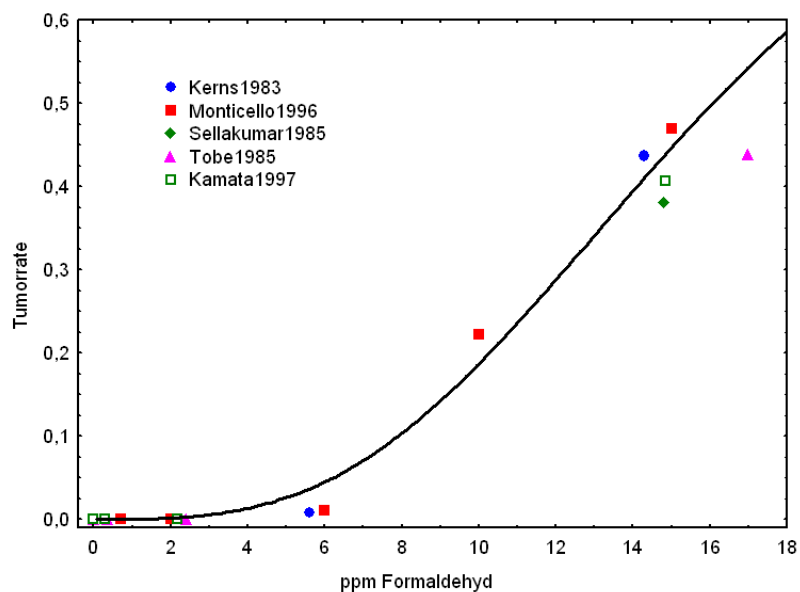
In tierexperimentellen Untersuchungen (siehe Abb.1) zeigt sich ein steiler Anstieg der Tumorrates ab einer Formaldehydkonzentration von etwa 6 ppm ($7,5 \text{ mg}/\text{m}^3$). Dieser Anstieg könnte mit der Sättigung der auf Glutathion-Konjugation beruhenden Entgiftung durch die Formaldehyd-Dehydrogenase im Nasenepithel ab etwa $5 \text{ mg}/\text{m}^3$ (4 ppm) zusammenhängen (Casanova und Heck 1987).

Im Jahr 2004 hat die IARC die Kanzerogenität von Formaldehyd neu bewertet (IARC 2005). Aufgrund von Follow-up-Ergebnissen dreier großer Kohortenstudien und dreier neuer Fall-Kontroll-Studien wurde die Evidenz für den Zusammenhang mit Krebs des Nasopharynx beim Menschen als ausreichend angesehen. Ebenso wurde die Evidenz für solche Karzinome im Tierversuch als ausreichend betrachtet. Deshalb wurde die Klassifikation für Formaldehyd auf Gruppe 1 (karzinogen für den Menschen) geändert.

Insgesamt liegen nun über 30 Studien zur Kanzerogenität beim Menschen vor. Am umfangreichsten ist das Datenmaterial zu Nasen-Rachenkrebs, ungünstiger für die Beurteilung ist die Datenlage bei anderen Karzinomen des Respirationstraktes

(sinonasale Tumore, Lungenkrebs) und Leukämien. Man muss hervorheben, dass die exponierten Gruppen bei einem Vielfachen des derzeit gültigen MAK-Wertes exponiert waren. Trotz der aus den Ergebnissen der Tierversuche nahe gelegten Existenz einer Effektschwelle ist aber die Annahme einer solchen Schwelle aus den Daten nicht eindeutig zu begründen. Selbst wenn die DNA-Protein-Quervernetzung eine Schwelle besitzen sollte, ist der Beitrag der Zellschädigung und chronischen Entzündung bei der Kanzerogenese zu berücksichtigen ebenso wie der Verbrauch an Antioxidantien, der einen kokanzerogenen Effekt nach sich ziehen kann.

Abb. 3: Zusammenhang zwischen Formaldehydexposition und Tumorraten in verschiedenen tierexperimentellen Studien



Die Kohortenstudien in verschiedenen Gruppen beruflich exponierter Personen (Anatomen, Bestatter, Textilindustrie, chemische Industrie, Kunststoffherstellung etc.) zeigen zwar (schon wegen der Seltenheit der untersuchten Tumoren) kein einheitliches Bild, aber die Zusammenschau der Studien mit der größten Fallzahl und längsten Beobachtungsdauer ergibt für Karzinome des Nasen-Rachenraums ein mäßig erhöhtes Risiko (Blair et al. 1986, 1987, 1990; Stayner et al. 1988; Hayes et al. 1986, 1990; Gardner et al. 1993; Hansen und Olsen 1995; Coggon et al. 2003; Hauptmann et al. 2003). Die Inzidenz sinonasaler Tumore, von Lungenkrebs und myeloischer Leukämie war in einigen Studien erhöht, die Evidenz ist aber für diese Tumore bzgl. der Stützung durch Tierexperimente und Daten zum Mechanismus der Tumorgenese nicht ausreichend (siehe ausführliche Übersicht in IARC 2005).

Auf Basis der vorliegenden epidemiologischen Ergebnisse und der Tierversuche zu nasopharyngealen Tumoren errechnet sich die untere 95%-Konfidenzgrenze für die TC05 (jene Konzentration, bei der in 5% der Exponierten ein Tumor auftritt) zu 4,8 ppm (6 mg/m³) Formaldehyd. Daraus ergibt sich ein Unit-Risk für 1 ppm von $3,2 \times 10^{-7}$. Für ein 'akzeptables Risiko' von $1:10^6$ würde daher ein Richtwert von ca.

3 ppm (3,8 mg/m³) folgen. Da sich aus den Akutwirkungen ein um Größenordnungen niedrigerer Richtwert ergibt, kann im Sinne des Ableitungsschemas (Allgemeiner Teil der Richtlinie, Kap. 4) vorgegangen werden.

3.2.5 Geruchsschwelle

Formaldehyd hat einen stechenden Geruch, wobei die Literaturangaben zu Wahrnehmungs- und Erkennungsschwelle in einem sehr weiten Bereich streuen. Dies hängt einerseits mit der geringen Stabilität von Formaldehyd (vor allem in „normaler“, das heißt nicht „trockener“) Mischluft zusammen, welche die Bestimmung bzw. genaue Einstellung niedriger Konzentrationen in olfaktometrischen Untersuchungen erschwert. Andererseits gibt es Hinweise auf starke Gewöhnungseffekte bei längerer Exposition gegenüber niedrigen Konzentrationen mit entsprechenden Schwellenwertverschiebungen. Zuletzt erfolgt die sensorische Wahrnehmung von Formaldehyd niedriger Konzentration wenigstens zum Teil nicht über den Riechnerv, sondern über freie Nervenendigungen des Trigeminus. Die Wahrnehmung einer subklinischen irritativen Wirkung oder eventuell einer neurogenen Inflammation (Sorg und Hochstatter 1999; Bell et al. 1999) unterliegt jedoch ebenfalls einer großen individuellen Schwankungsbreite. Unspezifische irritative Effekte etwa durch die trockene Luft im Expositionsversuch sind unter Umständen nicht auszuschließen. Diese Umstände sind bei den Literaturangaben zur Geruchsschwelle zu beachten, die von 0,05 bis 1 ppm (0,06-1,3 mg/m³) reichen (Zusammenstellung bei Deutsche Forschungsgemeinschaft, 1988; siehe auch WHO 2001). Im Durchschnitt liegt die Geruchsschwelle bei 0,18 mg/m³ (0,14 ppm). Das 10. Perzentil der Geruchswahrnehmung von Formaldehyd liegt bei 0,03 mg/m³ (0,02 ppm) (WHO 2002).

3.3 BESTEHENDE REGELUNGEN

In Österreich liegt der derzeit gültige MAK-Wert für Formaldehyd bei 0,6 mg/m³ bzw. 0,5 ppm, mit den Hinweisen „besondere Gefahr der Hautresorption“ und „Gefahr der Sensibilisierung der Haut“, eingestuft in Abschnitt III B – krebsverdächtige Stoffe (Grenzwerteverordnung 2007).

Die Österreichische Akademie der Wissenschaften gibt in ihren Luftqualitätskriterien VOC (Österr. Akademie der Wissenschaften, Kommission für Reinhaltung der Luft 1997) als Wirkungsbezogene Immissionskonzentration für den Menschen (WIK) einen Halbstunden-Mittelwert von 0,05 mg/m³ (0,04 ppm) an.

In der deutschen TRGS 900 liegt für Formaldehyd kein Arbeitsplatzgrenzwert vor. Im Anhang zur TRGS 900 findet sich eine „Bearbeitungsliste des AGS zur TRGS 900“, in der der bisherige Grenzwert von 0,5 ppm bzw. 0,6 mg/m³ beim gewerblichen Umgang mit Formaldehyd aufgeführt ist. In der Spalte „weitere Grenzwertvorschläge“

wird die MAK-Begründung der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG 2000) mit einem Wert von 0,3 ppm genannt (BMA 2005).

Die ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) hat 1991 den Schwellenwert auf 0,30 ppm (0,38 mg/m³) festgelegt und Formaldehyd als „krebsverdächtig“ bezeichnet. Das National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) beschreibt Formaldehyd als Karzinogen und empfiehlt einen „8 hour time-weighted average exposure level“ (TWAEEL) von 0,016 ppm (0,02 mg/m³) und eine „ceiling concentration“ (15 Minuten) von 0,10 ppm (0,13 mg/m³). Die Occupational Safety and Health Administration (OSHA) nennt ein „permissible exposure limit“ (PEL) von 0,75 ppm (0,94 mg/m³) (gemittelt über eine 8-Stunden-Arbeitsschicht) und ein „short-term exposure limit“ (STEL) über 15 Minuten von 2,0 ppm (2,5 mg/m³) (ATSDR 1999).

Für nicht-gewerbliche Innenräume hatte das ehemalige deutsche Bundesgesundheitsamt (BGA) bereits 1977 empfohlen, die Formaldehyd-Konzentration solle 0,1 ppm nicht überschreiten (BGA 1977). Dieser Wert beruhte auf der Vorstellung, ein Minderungsfaktor von 10 zur damaligen Maximalen Arbeitsplatzkonzentration (MAK-Wert) von 1 ppm Formaldehyd biete einen ausreichenden Schutz für Risikogruppen in der Allgemeinbevölkerung und berücksichtige auch die längere Expositionsdauer in nicht-gewerblichen Innenräumen (BGA 1984). Angesichts der Absenkung des MAK-Wertes für Formaldehyd 1987 auf 0,6 mg/m³ (0,5 ppm) verschärfte das BGA (1988) diese Empfehlung dahingehend, die Formaldehyd-Konzentration in der Raumluft solle zur Vermeidung von Gesundheitsschäden und Geruchsbelästigungen auch kurzzeitig 0,1 ppm nicht überschreiten.

Die Behörde für Wissenschaft und Gesundheit (BWG), Hamburg hat 2004 vorläufige Richtwerte für Formaldehyd publiziert. vRW I liegt bei 0,03 mg/m³, vRW II bei 0,1 mg/m³ (BWG 2004).

Das deutsche Bundesamt für Risikobewertung (BfR) ist in seiner Beurteilung zum Risk Assessment in Bezug auf eine mögliche krebserzeugende Wirkung der Auffassung, dass 0,1 ppm die Expositionshöhe darstellt, bei welcher ein Formaldehyd-assoziiertes relevanter Effekt nicht zu erwarten ist und somit praktisch kein Risiko existiert, dass Formaldehyd Tumoren im oberen Respirationstrakt des Menschen hervorruft (BfR 2006b).

Der Österreichische Produktsicherheitsbeirat hat aus einer ähnlichen Überlegung wie das deutsche Bundesgesundheitsamt (10% des damaligen MAK-Wertes) in seiner Sitzung vom 04.03.1985 die maximal zulässige Belastung für Innenräume, die nicht als Arbeitsplätze dienen, mit 0,1 ppm (auch angegeben mit 0,12 mg/m³) festgelegt.

Unter Berücksichtigung eines möglicherweise vorhandenen Einflusses von Formaldehyd auf die Krebsentstehung beim Menschen, erschien es der Kommission für Reinhaltung der Luft der Österr. Akademie der Wissenschaften plausibel, den zu

dieser Zeit aus Tierversuchen belegten NOEL (no observed effect level) von 2 ppm auch auf den Menschen zu übertragen (Österr. Akademie der Wissenschaften, Kommission für Reinhaltung der Luft 1997). Bei Einhaltung der in der Publikation genannten Immissionsgrenzkonzentration von 0,04 ppm war anzunehmen, dass auch Krebserkrankungen bei Langzeiteinwirkung vermieden werden. Der Richtwert wurde allerdings vor allem in Hinblick auf die Belastung der Außenluft konzipiert.

Im Jahr 1990 wurde die Formaldehydverordnung erlassen, die das Inverkehrsetzen bestimmter formaldehydhaltiger Holzwerkstoffe verbietet. Dabei wurde der Grenzwert für die durch den Holzwerkstoff verursachte Ausgleichskonzentration des Formaldehyds in der Luft eines Prüfraums unter bestimmten Rahmenbedingungen mit 0,1 ppm festgelegt (Formaldehydverordnung 1990).

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO 1983) schlug ursprünglich für Formaldehyd einen Luftgüteleitwert (30 Minuten-Mittelwert) von 0,1 mg/m³ vor. Gleichzeitig verwies sie auf einen Geruchsschwellenwert von 0,06 mg/m³. Im Rahmen der Überarbeitung dieses Leitwertes wurde zwischenzeitlich diskutiert, neben dem Leitwert von 0,1 mg/m³ auch einen Wert von 0,01 mg/m³ für besonders empfindliche Personen festzulegen. In der abschließenden Fassung wurde auf diesen Vorschlag verzichtet und allein der bisherige Leitwert beibehalten (WHO 2000).

Tab. 2: aktuelle internationale Grenz- und Richtwerte für Formaldehyd

Bezug	Land	Spezifikation	mg/m ³ (ppm)
Arbeitsplatz	Österreich	Kurzzeit	0,6 (0,5)
	Australien, Belgien, Kanada, Holland	TWA	1,5 (1,2)
		Kurzzeit	3,0 (2,4)
	Finnland	Kurzzeit	1,3 (1,04)
	Italien, Schweiz	TWA	1,2 (1,0)
	Ungarn	TWA	1,0 (0,8)
		Kurzzeit	2,0 (1,6)
	USA (OSHA)	TWA	0,94 (0,75)
	Deutschland, Schweden	TWA	0,6 (0,5)
		Kurzzeit (5')	1,2 (1,0)
	USA (ACGIH)	TWA	0,45 (0,36)
Innenraum	Deutschland (BGA 1977)	TWA	0,12 (0,1)
	(BGA 1988)	Kurzzeit	0,12 (0,1)
	Australien (1996)	TWA	0,12 (0,1)
	Norwegen (1998)	TWA	0,1 (0,08)
	Kanada (1987), Kalifornien (1991)	TWA	0,06 (0,05)
	WHO (1983)	TWA	0,06 (0,05)
	(2000)	Kurzzeit	0,1 (0,08)

4 BEURTEILUNG VON FORMALDEHYD-KONZENTRATIONEN

Aufgrund der Unsicherheiten hinsichtlich der Reizwirkung im oberen Respirationstrakt bei sehr niedrigen Formaldehydkonzentrationen bei empfindlichen Erwachsenen und bei Kindern ist eine formelle Ableitung eines Wirkungsbezogenen Innenraumrichtwertes (WIR) derzeit nicht sinnvoll. Daher wird bezüglich der Beurteilung von Innenräumen empfohlen, den Richtwert der WHO (1983) als Wert mit keinem oder nur geringem Anlass zur Sorge für die menschliche Gesundheit bzw. für die Kurzzeiteexposition den Wert der WHO-Air Quality Guidelines for Europe (2000) heranzuziehen.

Stoffname	Beurteilungszeitraum	Empfehlung	Wesentliche Endpunkte
Formaldehyd	24-Stunden-Mittelwert	0,06 mg/m ³	Reizwirkung im oberen Respirationstrakt
	½-Stunden-Mittelwert	0,10 mg/m ³	

Zur Beurteilung der Situation in einem Innenraum sind Messungen unter den ungünstigsten noch realistischen Bedingungen heranzuziehen, diese beinhalten bei der Ermittlung des 24-Stunden-Mittelwertes in natürlich belüfteten Gebäuden auch entsprechende Lüftungsphasen. Das Probenahmevolumen zur Ermittlung des Beurteilungswertes ist nicht auf durchschnittliche Innenraumluftbedingungen in Bezug auf Temperatur und Luftdruck umzurechnen. Besonderes Augenmerk bei der Wahl der Randbedingungen ist auf Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit zu legen.

Wenn der empfohlene Wert überschritten wird, sind Maßnahmen zu empfehlen, die nach dem heutigen Stand der Technik geeignet sind, eine Reduktion der Raumlufkonzentration von Formaldehyd herbeizuführen. Es können Maßnahmen in den betroffenen Innenräumen selbst oder in der Umgebung des betroffenen Raumes notwendig werden. Unabhängig davon sind den Nutzern Empfehlungen hinsichtlich Maßnahmen zur Reduktion der Raumlufkonzentration (z.B. Erhöhung des Luftwechsels) mitzuteilen.

Liegt eine Überschreitung des empfohlenen Wertes vor, so wird empfohlen, mehrere hintereinander folgende Messungen in ausreichendem zeitlichen Abstand durchzuführen, um den Verlauf der Konzentration zu bestimmen. Daraus ist abzuschätzen, ob und in welchem Zeitraum die Konzentration unter den empfohlenen Wert absinken wird. Sollte sich keine Tendenz zeigen, die eine Unterschreitung dieses Wertes innerhalb absehbarer Zeit erwarten lässt, dann werden (weitere) Sanierungsmaßnahmen empfohlen.

Literatur

Eine Auflistung innenraumrelevanter Regelwerke befindet sich im Anhang III der Richtlinie. Nicht oder nicht mehr verfügbare Literatur kann bei den Autoren angefordert werden.

Amt der oberösterreichischen Landesregierung (2001): Gesunde Luft in Oberösterreichs Kindergärten: Erhebung der Innenraumlufthqualität und Belastungsfaktoren. Eigenverlag

Amt der oberösterreichischen Landesregierung (2003a): Innenraumsituation in Oö. Kinderbetreuungseinrichtungen. Erhebungs- und Messprogramm. Eigenverlag

Amt der oberösterreichischen Landesregierung (2003b): Innenraumsituation in Oö. Pflichtschulen, Berufsschulen und Landwirtschaftlichen Fachschulen. Erhebungs- und Messprogramm. Eigenverlag

Andersen I, Lundquist GR, Mølhav L (1974): Formaldehyd – Formaldehydafgivelse fra spanplader – en matematik model. Ugeskrift for Laeger 136: 2145-2150

Andersen I, Mølhav L (1983): Controlled human studies with formaldehyde. In: Gibson JE (ed.): Formaldehyde Toxicity. Hemisphere Publishing Corp., New York

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) (1991): Documentation of Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices, Sixth ed. Formaldehyde, Inc., Cincinnati, OH: 664-688

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) (2001): Committee on Threshold Limit Values: Documentation of Threshold Limit Values, Cincinnati, OH

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR, 1999): ToxFAQs for Formaldehyde. June 1999. Internet (Zugriff am 03.12.2008): <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts111.html>

Bäderhygienegesetz (1976): Bundesgesetz über Hygiene in Bädern, Sauna-Anlagen, Warmluft- und Dampfbädern, Kleinbadeteichen und über die Wasserqualität von Badestellen. BGBl. Nr. 254/1976 i.d.g.F.

BAM (2004): BAM-Leifaden zur Ermittlung von Messunsicherheiten bei quantitativen Prüfergebnissen. Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Deutschland. Internet (Zugriff vom 19.11.2008): http://www.bam.de/de/service/publikationen/publikationen_medien/fb266_vt.pdf

Barrow CS, Steinhagen WH (1981): Sensory irritation by inhaled formaldehyde in B6C3F1 mice and F-344 rats following single or repeated exposure. Toxicologist 1: 5-6

Bell IR, Baldwin CM, Fernandez M, Schwartz G (1999): Neural sensitization model for multiple chemical sensitivity: overview of theory and empirical evidence. Toxicol Ind Health 15: 295-304

BfR (2005): Inhalative Exposition des Verbrauchers gegenüber Formaldehyd. Aktualisiertes Diskussionspapier* des BfR vom 30. April 2005. Bundesinstitut für Risikobewertung, Deutschland. Internet. (Zugriff vom 10.11.2008). http://www.bfr.bund.de/cm/252/inhalative_exposition_des_verbrauchers_gegenueber_formaldehyd.pdf

BfR (2006a): Formaldehyd – Exposition und offene Fragen. Expertengespräch vom 29.05.2006. Internet. (Zugriff vom 10.11.2008). http://www.bfr.bund.de/cm/232/formaldehyd_exposition_und_offene_fragen.pdf

BfR (2006b): Assessment of the Carcinogenicity of Formaldehyde, Herausg.: Schulte A, Bernauer U, Madle S, Mielke H, Herbst U, Richter-Reichhelm HB, Appel KE, Gundert-Remy U, BfR Wissenschaft 02/2006

BGA (1977): Bewertungsmaßstab für Formaldehyd in der Raumluft. BGA-Pressedienst 19/77 vom 12.10.1977. Deutsches Bundesgesundheitsamt

BGA (1984): Formaldehyd. Gemeinsamer Bericht des BGA, der BAU und des UBA, 1.10.1984. Deutsches Bundesgesundheitsamt

BGA (1988): Bekanntmachungen des Bundesgesundheitsamtes. Anforderungen an Holzwerkstoffe nach der Gefahrstoffverordnung. Bundesgesundheitsblatt 31: 63-64

Bille H (1981): Formaldehyd in der Textilausrüstung – muß das sein? Melliand Textilberichte 62: 811

Blair A, Stewart P, O'Berg M, Gaffey W, Walrath J, Ward J, Bales R, Kaplan S, Cubit D (1986): Mortality among industrial workers exposed to formaldehyde. J Natl Cancer Inst 76: 1071-1084

Blair A, Stewart PA, Hoover RN, Fraumeni JF Jr, Walrath J, O'Berg M, Gaffey W (1987). Cancers of the nasopharynx and oropharynx and formaldehyde exposure. J Natl Cancer Inst 78: 191-193

Blair A, Saracci R, Stewart PA, Hayes RB, Shy C (1990): Epidemiologic evidence on the relationship between formaldehyde exposure and cancer. Scand J Work Environ Health 16: 381-393

BMA (2005) TRGS 905. Bundesarbeitsblatt 8-9/2005

Boysen M, Zadig E, Digernes V, Abeler V, Reith A (1990): Nasal mucosa in workers exposed to formaldehyde: a pilot study. Br J Ind Med 47: 116-121

Brandl A, Tappler P, Twrdik F, Damberger B (2001): Untersuchungen raumluft-hygienischer Parameter in oberösterreichischen Schulen. In: AGÖF Tagungsband des 6. Fachkongresses 2001 – Umwelt, Gebäude & Gesundheit, Nürnberg: 355-366

Brasche, S., Witthauer, J., Bischof, W., and INGA-Studiengruppe (2003): Der Einfluss von Formaldehyd in der Raumluft auf Asthma und atopische Symptome. Unveröffentlicht

Broder I, Corey P, Cole P, Lipa M,; Mintz S, Nethercott JR (1988): Comparison of health of occupants and characteristics of houses among control homes and homes insulated with urea formaldehyde foam. II. Initial health and house variables and exposure-response relationships. Environ Res 45: 156-178

Burgaz S, Cakmak G, Erdem O, Yilmaz M, Karakaya AE (2001): Micronuclei frequencies in exfoliated nasal mucosa cells from pathology and anatomy laboratory workers exposed to formaldehyde. Neoplasma 48: 144-147

Burgaz S, Erdem O, Cakmak G, Erdem N, Karakaya A, Karakaya AE (2002): Cytogenetic analysis of buccal cells from shoe-workers and pathology and anatomy laboratory workers exposed to n-hexane, toluene, methyl ethyl ketone and formaldehyde. Biomarkers 7: 151-61

- BWG (2004): Vorläufige Richtwerte für die Innenraumluft (Hamburger Liste). Behörde für Wissenschaft und Gesundheit, Hamburg. Internet (Zugriff vom 11.11.2008): http://www.lagus.mv-regierung.de/land-mv/LAGuS_prod/LAGuS/Gesundheit/Umwelthygiene__Umweltmedizin/Services__Formulare/Lufthygiene/509RW_MV.pdf
- Casanova M, Heck HD (1987): Further studies of the metabolic incorporation and covalent binding of inhaled [3H]- and [14C]formaldehyde in Fischer-344 rats: effects of glutathione depletion. *Toxicol Appl Pharmacol* 89: 105-121
- Casanova M, Heck HD, Everitt JI, Harrington WW Jr, Popp JA (1988): Formaldehyde concentrations in the blood of rhesus monkeys after inhalation exposure. *Food Chem Toxicol* 26: 715-716
- Casanova M, Morgan KT, Steinhagen WH, Everitt JI, Popp JA, Heck HD (1991): Covalent binding of inhaled formaldehyde to DNA in the respiratory tract of rhesus monkeys: pharmacokinetics, rat-to-monkey interspecies scaling, and extrapolation to man. *Fundam Appl Toxicol* 17: 409-428
- Casanova M, Morgan KT, Gross EA, Moss OR, Heck HA (1994): DNA-protein cross-links and cell replication at specific sites in the nose of F344 rats exposed subchronically to formaldehyde. *Fundam Appl Toxicol* 23: 525-536
- Clausen, P.A., Wilkins, C.K., Wolkoff, P., Nielsen, G.D. (2001): Chemical and biological evaluation of a reaction mixture of r-(+)-limonene/ozone: formation of strong airway irritants. *Environ. Int.* 26: 511-522
- Coggon D, Harris EC, Poole J, Palmer KT (2003): Extended follow-up of a cohort of British chemical workers exposed to formaldehyde. *J Natl Cancer Inst.* 95: 1608-1615
- Conolly RB, Kimbell JS, Janszen DB, Miller FJ (2003): Dose response for formaldehyde-induced cytotoxicity in the human respiratory tract. *Regul Toxicol Pharmacol* 35: 32-43
- Damberger B, Tappler P, Twrdik F (2007): Holzlagenwerkstoffe und Raumluftqualität. Wiener Leimholz Symposium. 107-109
- Deppe HJ (1982): Emission von organischen Substanzen aus Spanplatten. In: Luftqualität in Innenräumen (WaBoLu). Hrsg.: K. Aurand, B. Seifert, J. Wegner. Gustav Fischer Verlag Stuttgart – New York
- DFG (2000): Formaldehyd. Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründungen von MAK-Werten. VCH-Verlag, Weinheim
- Doi S, Suzuki S, Morishita M, Yamada M, Kanda Y, Torii S, Sakamoto T (2003): The prevalence of IgE sensitization to formaldehyde in asthmatic children. *Allergy* 58: 668-671
- Dunky M, Niemz P (2002): Holzwerkstoffe und Leime. Springer Verlag
- Dykewicz MS, Patterson R, Cugeli DW, Harris KE, Wu AF (1991): Serum IgE and IgG to formaldehyde-human serum albumin: Lack of relation to gaseous formaldehyde exposure and symptoms. *Allergy Clin Immunol* 87: 48-57
- ECA (1990): Indoor Air Pollution by Formaldehyde in European Countries, ECA-Report No 7. Commission of the European Communities – Directorate-General. Luxembourg.
- Echard W (1966): Formaldehyd als Konservierungsstoff für Kosmetika. *Parfum und Kosmet.* 47: 295

- Edling C, Hellquist H, Odkvist L (1988): Occupational exposure to formaldehyde and histopathological changes in the nasal mucosa. *Br J Ind Med* 45: 761-765
- Einbrodt HJ, Pragsnar D, Erpenbeck J (1976): Der Formaldehyd- und Ameisensäurespiegel im Blut und Urin beim Menschen nach Formaldehydexposition. *Zbl Arbeitsmed* 26: 154-158
- EPA (1993): IRIS – Integrated Risk Information System. Environmental Protection Agency. Last revised 1998: <http://www.epa.gov/iris/subst/0419.htm>
- Formaldehydverordnung (1990): Verordnung des Bundesministers für Umwelt, Jugend und Familie vom 12. Februar 1990 über Beschränkungen des Inverkehrsetzens und über die Kennzeichnung formaldehydhaltiger Stoffe, Zubereitungen und Fertigwaren. BGBl.Nr. 194/1990
- Friza H, Schmid E, Rutkowski A, Lindner R, Winter D, Neuburger M (1986): Schulärztliche Befunde in der Umgebung eines Formaldehydemittenten. *Mittlg.Öst.San.verw.* 87: 368-370.
- Gardner MJ, Pannett B, Winter PD, Cruddas AM (1993): A cohort study of workers exposed to formaldehyde in the British chemical industry: an update. *Br J Ind Med* 50: 827-834
- Garrett MH, Hooper MA, Hooper BM, Rayment PR, Abramson MJ (1999): Increased risk of allergy in children due to formaldehyde exposure in homes. *Allergy* 54: 330-337
- Haider M, Cervinka R, Groll-Knapp E, Pfeiffer PK (1993). Geruch. In: Umweltwissenschaftliche Grundlagen und Zielsetzungen im Rahmen des Nationalen Umweltplans (NUP) für die Bereiche Klima, Luft, Geruch und Lärm. Kap. 5, Kommission für Reinhaltung der Luft, Österr. Akademie der Wissenschaften, Wien 1993.
- Godish T (1989): Effect of ambient environmental factors on indoor formaldehyde levels. *Atmos Environ* 23: 1695-1698
- Green DJ, Sauder LR, Kulle TJ, Bascom, R (1987): Acute response to 3.0 ppm formaldehyde in exercising healthy nonsmokers and asthmatics. *Am Rev Resp Dis* 135: 1261-1266
- Grenzwerteverordnung (2007): BGBl. II Nr. 253/2001 zuletzt geändert durch BGBl. II Nr. 243/2007: Verordnung des BM für Wirtschaft und Arbeit über Grenzwerte für Arbeitsstoffe und krebserzeugende Arbeitsstoffe
- Grosjean E, Williams I, Grosjean D (1993): Ambient levels of formaldehyde and acetaldehyde in Atlanta, Georgia. *Air waste* 43: 469-474
- Guerin MR, Higgins CE, Jenkins RA (1987): Measuring environmental emissions from tobacco combustion sidestream cigarette smoke. Literature review. *Atmos. Environ* 21: 291-297
- Hauptmann M, Lubin JH, Stewart PA, Hayes RB, Blair A (2003): Mortality from lymphohematopoietic malignancies among workers in formaldehyde industries. *J Natl Cancer Inst* 95: 1615-1623
- Hauptmann M, Lubin JH, Stewart PA, Hayes RB, Blair A (2004): Mortality from solid cancers among workers in formaldehyde industries. *Am J Epidemiol* 159: 1117-1130

- Hansen J, Olsen JH (1995): Formaldehyde and cancer morbidity among male employees in Denmark. *Cancer Causes Control* 6: 354-360
- Hawthorne AR, Matthews TG (1987): Models for estimating organic emissions from building materials: formaldehyde example. *Atmos Environ* 21: 419-424
- Hayes RB, Raatgever JW, deBruyn A, Gerin M (1986): Cancer of the nasal cavity and paranasal sinuses, and formaldehyde exposure. *Int J Cancer* 37: 487-492
- Hayes RB, Blair A, Stewart PA, Herrick RF, Mahar H (1990): Mortality of U.S. embalmers and funeral directors. *Am J Ind Med* 18: 641-652
- Heck HD, Casanova-Schmitz M, Dodd PB, Schachter EN, Witek TJ, Tosun T (1985): Formaldehyde (CH₂O) concentrations in the blood of humans and Fischer-344 rats exposed to CH₂O under controlled conditions. *Am Ind Hyg Assoc J* 46: 1-3
- Heck HD, Casanova M (1999): Pharmacodynamics of formaldehyde: applications of a model for the arrest of DNA replication by DNA-protein cross-links. *Toxicol Appl Pharmacol* 160: 86-100
- Herbert FA, Hessel PA, Melenka LS, Yoshida K, Nakaza M (1994): Respiratory consequences of exposure to wood dust and formaldehyde of workers manufacturing oriented strand board. *Arch Environ Health* 49: 465-470
- Hodgson, AT, Beal D, McIlvaine JER (2002): Sources of formaldehyde, other aldehydes and terpenes in a new manufactured house. *Indoor Air* 12: 235-242
- Holness DL, Nethercott JR (1989): Health status of funeral service workers exposed to formaldehyde. *Arch Environ Health* 44: 222-228
- Holmström M, Wilhelmsson B, Hellquist H, Rosen G (1989): Histological changes in the nasal mucosa in persons occupationally exposed to formaldehyde alone and in combination with wood dust. *Acta Otolaryngol* 107: 120-129
- Horvath EP Jr, Anderson H Jr, Pierce WE, Hanrahan L, Wendlick JD (1988): Effects of formaldehyde on the mucous membranes and lungs. A study of an industrial population. *JAMA* 259: 701-707
- Hutter HP, Moshhammer H, Wallner P, Damberger B, Tappler T, Kundi M (2003): Belastung der Raumluft in 160 Wiener Wohnungen mit flüchtigen organischen Verbindungen. *Mittlg.Öst.San.verw.*104(1): 3-7
- IARC (2006): Overall Evaluations of Carcinogenicity to Humans. IARC Monographs Volume 88. Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-*tert*-Butoxypropan-2-ol (Zugriff vom 6.12.2008): <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol88/index.php>
- Jermini C, Weber A, Grandjean E (1976): Quantitative Bestimmung verschiedener Gasphasenkomponenten des Nebenstromrauches von Zigaretten in der Raumluft als Beitrag zum Problem des Passivrauchens. *Int Arch Occup Environ Health* 36: 169-181
- Kalapos MP (1999): A possible evolutionary role of formaldehyde. *Experimental and Molecular Medicine* 31: 1-4
- Katakura Y, Kishi R, Okui T, Ikeda T, Miyake H (1993): Distribution of radioactivity from ¹⁴C-formaldehyde in pregnant mice and their fetuses. *Br J Ind Med.* 50: 176-182

- Korn M, Gutwinski E, Mensing T, Merget R, Fricke H, Brüning T (2003): Entwicklung eines standardisierten Expositionstests mit Formaldehyd. Beitrag zur Jahrestagung von GHU und ISEM, 28.9.-1.10.2003 Tübingen
- Krause C, Chutsch M, Henke M, Huber M, Kliem C, Leiske M, Mailan W, Schulz C, Schwarz E, Seifert B, Ullrich D (1991): Umwelt-Survey Band IIIc, Wohn-Innenraum: Raumluft. Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamts. Berlin: Eigenverlag
- Kryzanowski M, Quakenboss JJ, Lebowitz MD. (1990): Chronic respiratory effects of indoor formaldehyde exposure. *Environ Res* 52: 117-125
- Lessky M, Neuberger M, Haider M, Flamm H: (1988): Formaldehyd im Krankenhaus. *Sichere Arbeit* 1/88: 24-27
- Hohenblum P, Kundi M, Gundacker C, Hutter HP, Jansson M, Moosmann L, Scharf S, Tappler P, Uhl M (2008): LUKI – LUft und KIndeR. Einfluss der Innenraumluft auf die Gesundheit von Kindern in Ganztagschulen. report REP-0182. Umweltbundesamt Wien, Eigenvervielfältigung
- Marutzky R, Flentge A (1985): Neuere Erkenntnisse zur Formaldehydabgabe von Möbeln. WKI-Mitteilungen 394/1985. Fraunhofer-Institut für Holzforschung/ Wilhelm-Klauditz-Institut, Braunschweig
- Matsumoto T (1974): Concentration of formaldehyde released from plywood in an environmental testroom. *Ringyo Shikenjo Kenkyu Hokoku* 262: 41-58
- McRitchie RJ, White SW (1974): Role of trigeminal, olfactory, carotid sinus and aortic nerves in the respiratory and circulatory response to nasal inhalation of cigarette smoke and other irritants in the rabbit. *Aust J Exp Biol Med Sci* 52: 127-140
- Mehlhorn L (1986): Normierungsverfahren für die Formaldehydabgabe von Spanplatten. *Adhäsion* 30: 27-33
- Meyer B, Boehme C (1994): Formaldehydabgabe von natürlich gewachsenem Holz. *Holz-Zentralblatt* 122: 1971-1973
- Nielsen GD, Hougaard KS, Larsen ST, Hammer M, Wolkoff P, Clausen PA, Wilkins CK, Alarie Y (1999): Acute airway effects of formaldehyde and ozone in BALB/c mice. *Hum Exp Toxicol* 18: 400-409
- Norbäck D, Walinder R, Wieslander G, Smedje G, Erwall C, Venge P (2000): Indoor air pollutants in schools: nasal patency and biomarkers in nasal lavage. *Allergy* 55: 163-170
- Nordman H, Keskinen H, Tuppurainen M (1985): Formaldehyde asthma – rare or overlooked? *J Allergy Clin Immunol.* 75: 91-99
- Österr. Akademie der Wissenschaften, Kommission für Reinhaltung der Luft (1997): Flüchtige Kohlenwasserstoffe in der Atmosphäre – Luftqualitätskriterien VOC, Hrsg. Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie
- Panzhauser E. et al. (1987): Formaldehydbelastung in österreichischen Wohnungen. *Archivum Oecologiae Hominis*
- Peters J und Spicher G (1981): Raumdesinfektion durch Verdampfen von Formaldehyd. *Hyg Med* 6: 337-344

- Pluschke P (1996): Luftschadstoffe in Innenräumen. Springer Verlag Berlin Heidelberg New York
- Produktsicherheitsbeirat (1985): Empfehlung des Produktsicherheitsbeirats des Bundesministeriums für Familie, Jugend und Konsumentenschutz. Sitzungsbericht vom 04.03.1985
- Pushkina NN, Gofmekler VA, Klevtsova GN (1968): Changes in ascorbic and nucleic acid concentration under the influence of benzene and formaldehyde. *Biull Eksp Biol Med.* 66: 51-53
- Reiche K, Müller C, Borngen K (1992): Partial reversibility of morphological and functional changes of the nasal mucosa after termination of long-term exposure to formaldehyde. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz, Prophylaxe und Ergonomie* 42: 182-186
- Ritchie IM, Lehnen RG (1987): Formaldehyde-related health complaints of residents living in mobile and conventional homes. *Am J Public Health* 77: 323-328
- Römpp (1995): CD Römpp Chemie Lexikon – Version 1.0. Stuttgart/ New York: Georg Thieme Verlag
- Rumchev KB, Spickett JT, Bulsara MK, Phillips MR, Stick SM (2002): Domestic exposure to formaldehyde significantly increases the risk of asthma in young children. *Europ Respir J* 20: 403-408
- Schachter EN, Witek TJ Jr, Brody DJ, Tosun T, Beck GJ, Leaderer BP (1987): A study of respiratory effects from exposure to 2.0 ppm formaldehyde in occupationally exposed workers. *Environ Res* 44: 188-205
- Schäfer M, Roffael E (1999): Proc. 3rd Europ. Panel Products Symp. Llandudno, Wales 136. Schäfer M, Roffael E (1999): Holz Roh. Werkst. 57. 340. Schäfer M, Roffael E (2000): Holz Roh. Werkst. 58. 258. Schäfer M, Roffael E (2000): Holz Roh. Werkst. 58. 259-264. zitiert in Dunky M, Niemz P (2002): Holzwerkstoffe und Leime. Springer Verlag
- Schneider G (1989): Beitrag zur Bestimmung und Beurteilung von Formaldehyd in hochveredelten textilen Bedarfsgegenständen. *Dtsch Lebensm Rundschau* 85: 210-212
- Scholz H (1998): Vorkommen von Formaldehyd in Innenräumen und deren Bewertung, in Gebäudestandard 2000: Energie & Raumluftqualität, 4. AGÖF Fachkongress in Nürnberg: 215-219
- Schwind KH, Hosseinpour J, Fiedler H, Lau C, Hutzinger O (1994): Bestimmung und Bewertung der Emissionen von PCDD/PCDF, PAK und kurzkettigen Aldehyden in den Brandgasen von Kerzen. *UWSF Z Umweltchem Ökotox* 5: 243-246
- Seizinger DE, Dimitriades B (1972): Oxygenates in exhaust from simple hydrocarbon fuels. *J Air Pollut Control Assoc* 22: 47-51
- Smedje G, Norbäck D (2001): Incidence of asthma diagnosis and self-reported allergy in relation to the school environment – a four-year follow-up study in schoolchildren. *Int J Tuberc Lung Dis* 5: 1059-1066
- Sorg BA, Hochstatter T (1999): Behavioral sensitization after repeated formaldehyde exposure in rats. *Toxicol Ind Health* 15: 346-355

Stayner LT, Elliott L, Blade L, Keenlyside R, Halperin W (1988): A retrospective cohort mortality study of workers exposed to formaldehyde in the garment industry. *Am J Ind Med* 13: 667-681

Stöger G (1965): Beitrag zur Berechnung und Prüfung der Formaldehydabspaltung aus harnstoffgebundenen Spanplatten. *Holzforsch Holzverwert* 17: 93-98

Tappler P, Gann M (1992): Formaldehydbelastung in österreichischen Innenräumen in Zeitraum 1990-1992, in Tagungsband der 12. Jahrestagung des IBO – "Sick Building Syndrom": 153-160

Tappler P, Sulzner M, Scheidl K, Damberger B, Burtscher I (1997): Formaldehyd und Luftwechsel in österreichischen Fertigteilhäusern. IBO Eigenverlag

Tappler P, Damberger B, Hutter HP (2001): Holzfussböden-Parkett – Untersuchungen der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen und Formaldehyd in Bezug auf die Innenraumluft. Studie im Auftrag der Österreichischen Parkettindustrie. Unveröffentlicht

Tappler P, Twrdik F, Damberger B, Mitterer K, Hutter HP (2008): Pilotstudie zur Untersuchung des Luftwechsels in Innenräumen. *Gefahrstoffe, Reinhaltung der Luft* 68 Nr. 3 - März. 87-91

TRGS 900 (2008): Technische Regeln Gefahrstoffe. Arbeitsplatzgrenzwerte. Ausgabe Januar 2006, ergänzt Juni 2008. Internet (Zugriff 10.11.2008): http://www.baua.de/nn_16806/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/pdf/TRGS-900.pdf

Umweltbundesamt (2008): Vergleichswerte für flüchtige organische Verbindungen (VOC und Aldehyde) in der Innenraumluft von Haushalten in Deutschland. Ergebnisse des repräsentativen Kinder-Umwelt-Surveys (KUS) des Umweltbundesamtes. *Bundesgesundheitsbl – Gesundheitsforsch – Gesundheitsschutz* 51: 109-112

Ullrich D, Gleue C, Weiland S, Seifert B (1999): Indoor air concentrations of aldehydes. A field study using DNPH diffusive samplers *Indoor Air* '99, 4: 89-94

Wantke F, Demmer C-M, Tappler P, Gotz M, Jarisch R (1996a): Exposure to gaseous formaldehyde induces IgE-mediated sensitization to formaldehyde in school-children. *Clin Exp Allergy* 26: 276-280

Wantke F, Focke M, Hemmer W, Tschabitscher M, Gann M, Tappler P, Gotz M, Jarisch R (1996b): Formaldehyde and phenol exposure during an anatomy dissection course: a possible source of IgE-mediated sensitization? *Allergy* 51: 837-841

Wantke F, Focke M, Hemmer W, Bracun R, Wolf-Abdolvahab S, Gotz M, Jarisch R, Gotz M, Tschabitscher M, Gann M, Tappler P (2000): Exposure to formaldehyde and phenol during an anatomy dissecting course: sensitizing potency of formaldehyde in medical students. *Allergy* 55: 84-87

Wieslander G, Norbäck D, Björnsson E, Janson C, Boman G (1997): Asthma and the indoor environment: the significance of emissions of formaldehyde and volatile organic compounds from newly painted indoor surfaces. *Int Arch Occup Environ Health* 69: 115-124

Wilkinson JD, Shaw S, Andersen KE, Brandao FM, et al. (2002): Monitoring levels of preservative sensitivity in Europe. *Contact Dermatitis* 46: 207-210

WHO (1983): Indoor air pollutants: exposure and health effects. EURO Reports and Studies No. 78. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen

WHO (2000): Air Quality Guidelines for Europe. Second Edition. WHO Regional Publications, European Series, No. 91. World Health Organisation (WHO), Regional Office for Europe, Copenhagen

WHO (2002): Weltgesundheitsorganisation: Formaldehyde. Concise International Chemical Assessment Document, No 40. WHO Genf. ISBN: 92 4 153040 5

Wolkoff, P., Clausen, P.A., Larsen K, Hammer M, Larsen, S.T., Nielsen, G.D. (2008): Acute airway effects of ozone-initiated d-limonene chemistry: Importance of gaseous products. Toxicology Letters 181: 171–176

Young S (2008): Formaldehyde Emission from Solid Wood – will it become an issue? Timber Test Laboratories, New Zealand. Internet (Zugriff vom 10.11.2008): http://www.timbertest.co.nz/docs/EmissionFromRadiata_BC2.pdf