



Bundesministerium
für Wohnen, Stadtentwicklung
und Bauwesen

Bayerische
Architektenkammer



Fachartikel in WECOBIS - Formaldehyd - Gesamttext

erstellt im Auftrag der Bayerischen Architektenkammer, 2015

Formaldehyd - Eigenschaften, Verwendung, Regelungen, Sanierung

Dr. Gerd Zwiener, Sachverständigen-Büro Dr. Zwiener, 2015 / aktualisiert Dezember 2016

Inhaltsverzeichnis

1 - Eigenschaften

2 - Gesundheitliche Bedeutung - Innenraum-Richtwerte

3 - Gefahrstoffrecht - Arbeitsplatz-Grenzwerte, Einstufung

4 - Verwendung - Quellen für Formaldehyd im Innenraum

4.1 - Holzwerkstoffe

4.1.1 - Leimarten und Formaldehyd-Abgabe

4.1.2 - geschlitzte bzw. genutete Akustikplatten

4.1.3 - Möbel

4.1.4 - Formaldehydfänger

4.1.5 - Formaldehydfreie Leime

4.2 - Schaum-Dämmplatten, Ortschaum

4.3 - Anstrichmittel auf wässriger Basis und säurehärtende Lacke (SH-Lacke)

4.4 - Mineralwolle-Dämmstoffe

4.5 - Klebstoffe

4.6 - Glasfaser-Vliese

4.7 - Betonzusatzmittel

4.8 - Formaldehyd in naturbelassenem Holz?

5 - Regelungen zur Formaldehydabgabe von Holzwerkstoffen

5.1 - Gesetzliche Regelungen zur Formaldehydabgabe von Holzwerkstoffen (Deutschland, EU)

5.2 - Das französische VOC-Label

5.3 - Freiwillige Vereinbarungen zur Formaldehydabgabe von Holzwerkstoffen – Label

6 - Belastung der Innenraumluft

7 - Raumluftmessungen

8 - Sanierung formaldehydbelasteter Innenräume

8.1 - Entfernen der Emissionsquelle

8.2 - Abdichten der Emissionsquelle

8.3 - Chemische Bindung des Formaldehyds

8.4 - Sanierung mit Zimmerpflanzen?

Literatur

1 - Eigenschaften

Der Name Formaldehyd leitet sich von „formica“ ab, lateinisch für Ameise, daher der frühere Name „Ameisenaldehyd“. Formaldehyd (chemische Bezeichnung Methanal) ist ein bei Zimmertemperatur gasförmiger Stoff, der einen säuerlich-stechenden Geruch aufweist und bereits in geringen Konzentrationen wahrgenommen wird. Formaldehyd löst sich gut in Wasser, die 37 %-ige Lösung heißt Formalin. Als der „einfachste“ Vertreter der Stoffgruppe der Aldehyde wird Formaldehyd wegen seines niedrigen Siedepunktes ($-19\text{ }^{\circ}\text{C}$) definitionsgemäß nicht zur Gruppe der VOC (volatile organic compounds = flüchtige organische Verbindungen) gezählt, sondern zur Gruppe der VVOC (very volatile organic compounds = leichtflüchtige organische Verbindungen). Die Unterscheidung zwischen VOC und VVOC erfolgt nicht unter gesundheitlichen Gesichtspunkten, sondern ist rein messtechnisch begründet.

Seit fast 150 Jahren wird Formaldehyd für die Herstellung und Verarbeitung industrieller Produkte verwendet. Obwohl der Stoff eine nachweislich krebserzeugende Wirkung aufweist, ist der Einsatz der Chemikalie bis heute nicht verboten – im Unterschied zu anderen Gebäude-Schadstoffen wie Asbest oder PCB. Wegen seiner hohen Reaktivität ist Formaldehyd nach wie vor ein bedeutendes Basisprodukt der chemischen Industrie und Ausgangsstoff für viele andere chemische Substanzen.

Heute wird Formaldehyd in erster Linie zur Herstellung von Leim- und Tränkharzen für Holzwerkstoffe und Dekorfolien, für thermoplastische Kunststoffe sowie als Hilfsmittel in der Textil-, Leder-, Pelz-, Papier- und Holzindustrie eingesetzt. Kosmetika, die Formaldehyd oder Formaldehyd-Abspalter enthalten, müssen ab einer Formaldehyd-Konzentration von mehr als 0,05 % den Hinweis „enthält Formaldehyd“ tragen.

Zur Herstellung von Kunststoffen wird Formaldehyd seit mehr als 100 Jahren verwendet. Bakelit[®], ein duroplastischer Kunststoff auf Basis Phenol-Formaldehyd-Harz, wurde 1905 von dem belgischen Chemiker Baekeland entwickelt und war der erste industriell hergestellte Kunststoff überhaupt. Im Unterschied zu dem spröden Bakelit[®] handelt es sich bei Polyoxymethylen (POM) um einen thermoplastischen Kunststoff, der durch Polymerisation von Formaldehyd hergestellt wird. POM wird vielfältig eingesetzt, u. a. für Möbelbeschläge. Paraformaldehyd, ein weißes Pulver mit einem Formaldehydgehalt von etwa 92 % ist das kurzkettige Polymer des Formaldehyds und wird für die Fixierung von biologischen Geweben verwendet.

Wegen der breiten bioziden Wirkung wird Formaldehyd im Gesundheitswesen zur Desinfektion eingesetzt. In der Pathologie und Anatomie dient Formaldehyd traditionell zur Härtung und Konservierung von Gewebeproben. Wegen der nachweislich krebserzeugenden Wirkung soll Formaldehyd für routinemäßige Flächendesinfektionsmaßnahmen im Gesundheitswesen nicht mehr eingesetzt und durch andere Wirkstoffe ersetzt werden [VAH 2007].

2 - Gesundheitliche Bedeutung - Innenraum-Richtwerte

Bei der Aufnahme von Formaldehyd über die Atemluft stehen akute Wirkungen wie Geruchsbelästigungen und Reizerscheinungen im Vordergrund. Die Angaben zur Geruchsschwelle von Formaldehyd variieren stark. Die Weltgesundheitsorganisation nennt Werte von 0,03 ($30\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$), 0,18 ($180\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$) und $0,6\text{ mg}/\text{m}^3$ ($600\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$) als das 10., 50. und 90. Perzentil [1] der Geruchswahrnehmung von Formaldehyd [WHO 2000].

Angabe von Formaldehyd-Konzentrationen in der Raumluft

Formaldehyd-Emissionen aus Bauprodukten und die daraus resultierenden Immissionen im Innenraum werden üblicherweise in ppm, ppb, mg/m³ oder µg/m³ angegeben. Es gilt folgende Umrechnung (Annahme: ideales Gas):

$$- \quad 0,1 \text{ ppm} = 0,125 \text{ mg/m}^3 = 125 \text{ µg/m}^3$$

$$- \quad 0,1 \text{ mg/m}^3 = 0,0815 \text{ ppm} = 81,5 \text{ ppb}$$

ppm = parts per million = Teile (Formaldehyd) auf eine Million Teile (Luft)

ppb = parts per billion = Teile (Formaldehyd) auf eine Milliarde Teile (Luft)

mg = Milligramm = tausendstel Gramm

µg = Mikrogramm = millionstel Gramm

Formaldehyd ist infolge seiner hautsensibilisierenden Wirkung bekanntermaßen ein Kontaktallergen. Dies betrifft hauptsächlich Kosmetika und Kleidung. Inwieweit der aus der Innenraumluft eingeatmete Formaldehyd Allergien hervorrufen kann, ist umstritten.

Formaldehyd wird nicht nur aus der Luft und ggf. über die Haut aufgenommen (exogene Aufnahme), sondern kommt als körpereigenes (endogenes) Stoffwechselprodukt in allen Geweben vor. Der Stoff entsteht bei der Dehydrogenierung von Methanol, bei der oxidativen Demethylierung, bei der Aminooxidation und bei der Peroxidation von ungesättigten Fettsäuren.

Beim Einatmen wird Formaldehyd durch die Schleimhäute schnell resorbiert und im Stoffwechsel über Formiat zu Kohlendioxid und Wasser oxidiert. Formaldehyd gelangt somit nicht in die inneren Organe und seine Wirkung beschränkt sich auf die direkt der Luft ausgesetzten Gewebe. Bei anhaltender Reizung können noch unspezifische Beschwerden wie Kopfschmerzen, Müdigkeit und Unwohlsein hinzukommen.

Je höher die Konzentration von Formaldehyd in der Atemluft ist, umso stärker werden die Beschwerden und es kann schließlich zu einer Schädigung der Schleimhaut im Nasen-Rachenraum kommen. Eine lang anhaltende hohe Belastung mit Formaldehyd kann zu einer chronischen Entzündung der Nasenschleimhaut führen, aus der sich Krebs entwickeln kann.

Die Diskussion um gesundheitliche Auswirkungen von Formaldehyd in Innenräumen nahm ihren Anfang in Köln, als sich im Sommer 1976 nach dem Bezug von neuen Schulgebäuden die Klagen von Lehrern und Schülern über Augen- und Schleimhautreizungen häuften. Nach ausführlichen Untersuchungen wurden die Beschwerden auf eine Formaldehyd-Belastung zurückgeführt. Die neu in die Gebäude eingebrachten Möbel und Deckenplatten aus Spanplatten emittierten den Stoff in hohem Maße und führten zu Raumluftkonzentrationen bis über 1 ppm, also oberhalb des damaligen Grenzwertes für Gefahrstoff-Arbeitsplätze. Als Reaktion auf die Gesundheitsbeschwerden wurde 1977 durch das damalige Bundesgesundheitsamt (BGA) zur Gefahrenabwehr ein Innenraum-Richtwert für Formaldehyd in Höhe von 0,1 ppm (125 µg/m³) festgelegt [BGA 1977]. Der Richtwert für die Innenraumluft wurde als 1/10 des seinerzeit gültigen MAK-Wertes für gezielte Tätigkeiten mit Formaldehyd in Höhe von 1 ml/m³ abgeleitet [BGA 12.10.1977].

In der EU ist Formaldehyd seit dem 1.1.2016 als nachweislich krebserzeugend (Carc. 1B) und mit Verdacht auf erbgutschädigende Wirkung (Muta. 2) eingestuft. Parallel zur Entscheidung der EU rückte die Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte IRK/AOLG (jetzt Ausschuss für Innenraumrichtwerte AIR) vom bestehenden Richtwert in Höhe von 125 µg/m³ mit dem Hinweis ab, dass neuere Studien den 2010 von der Weltgesundheitsorganisation veröffentlichten Leitwert für Formaldehyd von 0,1 mg/m³ (100 µg/m³) unterstützen.

Im August 2016 wurde durch den AIR im Bundesgesundheitsblatt der neue Richtwert RW I (Vorsorgewert) für Formaldehyd in Höhe von 100 µg/m³ (0,1 mg/m³) veröffentlicht. Leider sah sich der AIR – im Unterschied zur Richtwert-Festlegung für eine Vielzahl anderer Stoffe – nicht in der Lage, zusätzlich zum RW I auch einen Richtwert RW II (Gefahrenwert) für Formaldehyd abzuleiten.

Für den Richtwert RW I wurde zudem folgender Hinweis gegeben: „Nach Auffassung des Ausschusses sollte eine Konzentration von 0,1 mg Formaldehyd/m³ Innenraumluft auch kurzzeitig, bezogen auf einen Messzeitraum von einer halben Stunde, nicht überschritten werden, da bei empfindlichen Personen oberhalb dieser Konzentration eine

sensorische Reizwirkung auftreten könnte.“ Diese für einen Richtwert RW I ungewöhnliche Aussage wirft Fragen auf. Denn gemäß dem „Basisschema“ (das sind die durch den AIR aufgestellten Leitlinien zur Richtwert-Ableitung) gilt: „... im Konzentrationsbereich zwischen RW I und RW II (Anm. des Autors: also bei einer Überschreitung des Richtwertes RW I) sind zunächst keine baulichen oder sonstigen quellenbezogenen Veränderungen vorzunehmen ... eine über einen längeren Zeitraum (> 12 Monate) erhöhte Belastung ist aus Gründen der Vorsorge nicht akzeptabel ...“ (Ad-hoc-AG IRK/AOLG, 2013). Diese Aussage steht nicht im Einklang mit dem Hinweis des AIR, dass bereits dann Handlungsbedarf besteht, wenn der Richtwert RW I für mehr als ½ Stunde überschritten wird. Daraus ergibt sich, dass der 2016 durch den AIR abgeleitete Richtwert RW I kein echter Vorsorgewert ist, sondern viel eher den Charakter eines Gefahrenwertes hat, so wie bereits der 1977 durch das BGA abgeleitete Richtwert.

Der AIR kam bei der Richtwert-Ableitung zu dem Ergebnis, dass auf den nach Basisschema vorgesehenen Sicherheitsfaktor (genauer gesagt: Divisor) in Höhe von 2 zur „Berücksichtigung der besonderen Physiologie von Kindern“ bei der Richtwert-Ableitung für Formaldehyd verzichtet werden kann. Dies wird damit begründet, dass sich aus Expositionsmodellen des oberen Atemtraktes von Kindern und Erwachsenen „keine wesentlichen Unterschiede in der inhalativen lokalen Resorptionsrate von Formaldehyd bei Kindern im Vergleich zu Erwachsenen ergaben und auch ein Zusammenhang der Entstehung bzw. Verschlimmerung von Asthma bei Kindern bei einer Exposition gegenüber Formaldehyd in der Innenraumluft nicht belegt ist.“ Diese Begründung steht nicht im Einklang mit der Begründung des Extrapolationsfaktors von 2 im Basisschema, wonach „die Notwendigkeit dieses Faktors darin gesehen wird, dass Kinder im Vergleich zu Erwachsenen eine etwa doppelt so hohe Atemrate pro kg Körpergewicht aufweisen, Neugeborene eine bis 3fach höhere“ (Ad-hoc-AG IRK/AOLG, 2012).

Die nach dem Basisschema der Ad-hoc-AG IRK/AOLG (jetzt AIR) für Einzelstoffe abgeleiteten Richtwerte beinhalten grundsätzlich keine Aussage über mögliche Kombinationswirkungen verschiedener Substanzen (Ad-hoc-AG IRK/AOLG, 2007). Es ist jedoch seit längerem bekannt, dass Formaldehyd in seiner lokalen zytotoxischen und kanzerogenen Wirkung im oberen Atemtrakt sowie hinsichtlich der Fähigkeit, DNA-Proteinaddukte ausbilden zu können, Parallelen zum homologen Acetaldehyd weist aufweist. Hierzu führt die Ad-hoc-AG aus: „Bei einer Exposition im Gemisch mit anderen Stoffen, die in ähnlicher Weise wie Acetaldehyd eine lokal gewebs-schädigende Wirkung hervorrufen können, erscheint es sinnvoll, von einer additiven Wirkung auszugehen“ (Ad-hoc-AG IRK/AOLG, 2013). In der Praxis kommt es häufig zu einer gleichzeitigen Exposition (Koexposition) von Gebäudenutzern mit Formaldehyd und Acetaldehyd. Wegen der additiven Wirkung der beiden eng verwandten Stoffe wäre es daher angebracht, zusätzlich einen Summen-Richtwert für Formaldehyd und Acetaldehyd festzulegen.

Nachfolgend sind wichtige Stationen des Erkenntnisprozesses zur Toxizität von Formaldehyd sowie die Entscheidungen deutscher und internationaler Behörden zur tolerablen Innenraumluft-Konzentration dargestellt:

1980	Die Diskussion um die krebserzeugende Wirkung von Formaldehyd nimmt ihren Anfang, nachdem bei Ratten und Mäusen nach Langzeitexposition Tumore festgestellt worden waren [Swenberg et al. 1980] [Kerns et al. 1983]. Es sollte noch 24 Jahre dauern bis zum Nachweis, dass Formaldehyd auch für den Menschen krebserzeugend ist.
1983	Die Weltgesundheitsorganisation WHO veröffentlicht einen vorläufigen Richtwert für Formaldehyd in Höhe von 60 µg/m ³ (0,05 ppm), der keinen oder nur geringen Anlass zur Sorge für die menschliche Gesundheit gibt („concentration of limited or no concern“) [WHO 1983].
1984	In einem gemeinsamen Bericht von Bundesgesundheitsamt, Bundesanstalt für Arbeitsschutz [2] und Umweltbundesamt wird der 1977 aufgestellte Innenraum-Richtwert von 0,1 ppm bestätigt [BMJFG 1984]. Am 22. August 1984 wiesen das Bundesgesundheitsministerium und das BGA Meldungen zurück, wonach Formaldehyd beim Menschen Krebs auslösen soll [in: Appel 2006].
1987	Der Sachverständigenrat für Umweltfragen, ein Beratungsgremium der Bundesregierung, weist auf den Charakter des Richtwertes als Gefahrenwert hin und

	gibt zu bedenken: „Es ist sicherzustellen, dass eine Konzentration von 0,1 ppm auch bei ungünstigen Bedingungen nicht überschritten wird“ [SRU 1987].
	Der MAK-Wert [3] für Formaldehyd wird auf 0,5 ppm (0,6 mg/m³) abgesenkt. Im Hinblick auf den Innenraum-Richtwert schreibt Sagunski (bis 2015 Mitglied der Innenraumlufthygiene-Kommission) dazu rückblickend: „Die von abnehmender Akzeptanz geprägte Situation verschärfte sich 1987 zusätzlich durch die Absenkung des MAK-Wertes für Formaldehyd auf 0,5 ppm (0,6 mg/m³). Entgegen der allgemeinen Erwartung (auch auf Seiten der Gesundheitsämter) führte dies nicht zu einer Absenkung des bisherigen Orientierungswertes durch das BGA oder zumindest zu einer Erläuterung, warum der nun auf einen Abstand von 5 verringerte Abstandsfaktor dennoch einen ausreichenden Schutz auch für empfindliche Personen biete. Vielmehr präzisierte das damalige BGA 1988 die Empfehlung lediglich dahingehend, die Formaldehyd-Konzentration in der Raumluft solle zur Vermeidung von Gesundheitsschäden und Geruchsbelästigungen auch kurzzeitig 0,1 ppm nicht überschreiten [BGA 1988]. Diese Haltung verringerte die Glaubwürdigkeit und das Vertrauen in den Empfehlungswert weiter“ [Sagunski 2006].
1993	Das Bundesgesundheitsamt fordert zu prüfen, „wie weit formaldehydemittierende Baustoffe – selbst wenn sie die gesetzlich verankerten Produkthanforderungen erfüllen (E1; Anm. d. Verf.) – wegen ihrer stark von Temperatur und Luftfeuchte abhängigen Emission überhaupt eingesetzt werden können.“ Dabei nahm das BGA insbesondere auf Unterrichtsräume/Hörsäle und Büroräume Bezug, wenn dort Temperaturen von 20 °C „häufiger und über längere Zeiträume überschritten werden.“ Dann ist sicherzustellen, dass der „1977 empfohlene Richtwert von 0,1 ppm auch unter solchen Bedingungen nicht überschritten werden darf. Es kann sich als nötig erweisen, auch Materialien aus den Räumen zu entfernen, die nach dem ... ‚Prüfverfahren für Holzwerkstoffe‘ (gem. GefStoffV § 9, Abs. 3) erfolgreich geprüft wurden, wenn sie unter solchen ungünstigen, aber nicht vermeidbaren Raumklimabedingungen zu hohe Formaldehydemissionen aufweisen“ [BGA 1993].
1992	Das OLG Nürnberg entscheidet in einem in Fachkreisen vielbeachteten Urteil zur Schadstoffbelastung in einem Fertighaus, dass erst Formaldehyd-Konzentrationen in der Innenraumluft unterhalb von ,025 ppm (also einem Viertel des BGA-Richtwertes) als unbedenklich anzusehen sind [OLG Nürnberg 1992]. Das Gericht setzt sich damit bewusst vom Richtwert des Bundesgesundheitsamtes ab. Der Grund lag insbesondere darin, dass der vom Gericht beauftragte Gutachter die krebserzeugende Wirkung von Formaldehyd bejaht hatte. Dies kritisierte das BGA: „Dieser Ansicht kann sich das Bundesgesundheitsamt nicht anschließen.“ ... Vielmehr „sind die vorliegenden Daten nicht geeignet, eine kanzerogene Wirkung am Menschen zu begründen“. In seiner Erwidern auf das Urteil bestätigte das BGA zugleich die Gültigkeit des Innenraum-Richtwertes in Höhe von 0,1 ppm [BGA 1992].
1995	Die Internationale Krebsforschungsagentur (International Agency for Research on Cancer, IARC) der Weltgesundheitsorganisation stuft Formaldehyd in die Gruppe 2A als wahrscheinlich krebserzeugend beim Menschen ("probably carcinogenic to humans") ein.
1996	Formaldehyd wird in der EU mit der 22. Anpassung der Richtlinie 67/548/EWG als krebserzeugender Arbeitsstoff der Kategorie 3 (Verdacht auf krebserzeugende Wirkung) eingestuft.

2000	Die Deutschen Forschungsgemeinschaft (Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe) stuft Formaldehyd in die Kategorie 4 der krebserzeugenden Stoffe ein (MAK- und BAT-Werte-Liste 2016). Dies sind "Stoffe mit krebserzeugender Wirkung, bei denen ein nicht-genotoxischer Wirkungsmechanismus im Vordergrund steht und genotoxische Effekte bei Einhaltung des MAK- und BAT-Wertes keine oder nur eine untergeordnete Rolle spielen. Unter diesen Bedingungen ist kein nennenswerter Beitrag zum Krebsrisiko für den Menschen zu erwarten" [DFG 2016]. Das Regionalbüro Europa der Weltgesundheitsorganisation WHO veröffentlicht Luftqualitätsleitwerte, die wegen ihrer wirkungsbezogenen Ableitung sowohl für die Außen- als auch für die Innenraumlufte herangezogen werden können. Für Formaldehyd wird ein Kurzzeitwert (30 Min.) in Höhe von 100 µg/m³ (0,082 ppm) festgelegt [WHO 2000].
2004	Die Internationale Krebsforschungsagentur IARC ändert ihre Einstufung von Formaldehyd von Gruppe 2A ("probably carcinogenic to humans") aus dem Jahr 1995 in Gruppe 1, nachweislich krebserzeugend beim Menschen ("carcinogenic to humans") ab. Dadurch wird die Diskussion um die krebserzeugende Wirkung von Formaldehyd auch in Deutschland neu entfacht. Die IARC kommt zudem kommt zu dem Schluss, dass die Ergebnisse der epidemiologischen Studien auf eine Assoziation zwischen der inhalativen Formaldehyd-Exposition am Arbeitsplatz und der Entstehung von Leukämien hindeuten ("there is strong but not sufficient evidence for a causal association between leukaemia and occupational exposure to formaldehyde") [IARC 2004, IARC 2006].
2005	Die EU-Kommission stuft Formaldehyd in ihrem Abschlussbericht „Kritische Bewertung der Aufstellung und Implementierung von Innenraum-Grenzwerten in der EU“ (INDEX-Projekt) in Gruppe 1 „Hohe Priorität“ ein. Damit zählt Formaldehyd zu den gefährlichsten („most hazardous“) Stoffen in der Innenraumlufte – gemeinsam mit Benzol, Acetaldehyd, Kohlenmonoxid und Stickstoffdioxid). Wegen des ubiquitären Vorkommen in der Innenraumlufte und den zunehmenden Hinweisen, dass Kinder hinsichtlich der Atemwegtoxizität von Formaldehyd empfindlicher sein könnten als Erwachsene, wird ein Innenraum-Richtwert von 1 µg/m³ (!) abgeleitet, eine Konzentration, die in etwa der Außenluft-Konzentration in ländlichen Gebieten entspricht [European Commission 2005].
2006	Sagunski (Mitglied der Innenraumluftthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes) stellt „Überlegungen zur Festsetzung von Richtwerten für Formaldehyd in der Innenraumlufte“ an. Er schlägt – „angesichts nicht völlig auszuräumender Unsicherheiten bei einer Untersuchung von Kindern, ferner der Frage, ob nicht auch bei Effekten in der vorderen Nasenhöhle eine im Vergleich zu Erwachsenen um den Faktor 2 erhöhte Atemrate von Kindern anzunehmen sei, sowie möglicher Kombinationswirkungen mit beispielsweise kurzkettigen Aldehyden wie Acetaldehyd oder Acrolein“ – einen Innenraum-Richtwert II (Gefahren-Richtwert) von 0,1 mg/m³ (0,08 ppm) vor. Unter Verwendung eines Sicherheitsabstands von 3 leitet Sagunski einen Richtwert I (Vorsorge-Richtwert) von 0,03 mg/m³ (0,024 ppm) ab. „Beim Vergleich des Vorsorgerichtwertes mit den Perzentilwerten der Geruchswahrnehmung von Formaldehyd zeigt sich, dass der vorgeschlagene Vorsorgerichtwert dem 10. Perzentil der Geruchswahrnehmung von Formaldehyd entspricht. Damit bietet der diskutierte Vorsorgerichtwert auch einen weitgehenden Schutz vor geruchlichen Belästigungen“ [Sagunski 2006].

Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR), eine Nachfolgebehörde des 1994 aufgelösten BGA, nimmt die 2004 erfolgte Einstufung der IARC zum Anlass, die krebbsauslösenden Risiken von Formaldehyd neu zu bewerten und schließt sich im Frühjahr 2006 der Auffassung der IARC an, dass eine inhalative Formaldehyd-Exposition beim Menschen zu Tumoren der oberen Atemwege führen kann [BfR 29.5.2006].

Im Hinblick auf die krebserzeugende Wirkung von Formaldehyd beim Menschen leitet das BfR als "sichere Konzentration" ("Safe Level") für die Innenraumluft einen Wert von 0,1 ppm ab und bestätigt damit den 29 Jahre zuvor vom Bundesgesundheitsamt abgeleiteten Richtwert. Das BfR stellt fest: „Die Analysen der verfügbaren Humandaten zeigen, dass eine Konzentration von 0,1 ppm Formaldehyd als sicher angesehen werden kann und das Krebsrisiko für den Menschen nicht nennenswert erhöht“ [BfR 30.3.2006].

Mit der Festlegung eines toxikologisch begründeten Schwellenwertes für einen krebserzeugenden Stoff wählt das BfR erstmals einen neuen konzeptionellen Ansatz. Denn eigentlich geht man bei kanzerogenen Stoffen davon aus, dass aufgrund der durch sie verursachten Veränderung der Erbsubstanz DNA jede noch so geringe Konzentration schädlich sein kann und daher die Ableitung eines Schwellenwertes – und damit auch eines toxikologisch begründeten Richtwertes für die Innenraumluft – nicht möglich ist.

Die Ableitung eines Schwellenwertes für den krebserzeugenden Formaldehyd wird durch das BfR damit begründet, dass der kanzerogenen Wirkung des Stoffes zwei verschiedene biologische Mechanismen zugrunde liegen – zum einen eine zellschädigende Wirkung, auf die der Körper mit einer Zellwucherung reagiert, und zum anderen die Veränderung der Erbinformation. Erst das Zusammentreffen von Zytotoxizität und Genotoxizität führt ab einer bestimmten Formaldehyd-Konzentration zur Tumorentwicklung.

Die Ad-hoc-Arbeitsgruppe IRK/AOLG [4] schließt sich den Überlegungen des BfR an und kommt ebenfalls zu der Überzeugung, dass die Neueinstufung durch die IARC keine Änderung des 0,1 ppm-Richtwertes für Formaldehyd in der Innenraumluft erforderlich macht. Bei einer Raumluftkonzentration bis zu diesem Wert wird praktisch kein erhöhtes Risiko der Tumorentwicklung erwartet [UBA 2006]. Allerdings können bei wiederholter, deutlicher Überschreitung des Wertes gesundheitliche Risiken bestehen. Damit macht das BfR indirekt noch einmal deutlich, dass der Innenraum-Richtwert von 0,1 ppm weniger den Charakter eines *Vorsorgewertes* hat, sondern eher die Grenze zur *Gesundheitsgefahr* beschreibt.

Leider wird bei der Neubewertung von Formaldehyd versäumt, entsprechend der Vorgehensweise der Ad-hoc-Arbeitsgruppe IRK/AOLG für die Aufstellung von Innenraum-Richtwerten und dem Vorschlag von Sagunski (s. o.) einen Richtwert RW I (Vorsorgewert) und einen Richtwert RW II (Gefahrenwert) abzuleiten – analog zu den anderen Innenraum-Richtwerten. So ist es für Formaldehyd bei einer mit dem Basisschema „Richtwerte für die Innenraumluft“ (Bundesgesundheitsbl. 11/96) nicht kompatiblen Bewertungsgrundlage geblieben.

2007

Formaldehyd wird in Frankreich in einer 4stufigen Prioritätenliste in die höchste Kategorie („substances hautement prioritaires“) eingestuft. Von der französischen Gesundheitsbehörde AFSSET [5], die das Arbeits- und das Gesundheitsministerium berät, werden erstmalig Innenraum-Richtwerte (Valeurs guides de qualité d'air intérieur, VGAI) für Formaldehyd aufgestellt, ein Kurzzeitwert (Expositionsdauer 2 Stunden) in Höhe von 50 µg/m³ (0,04 ppm) und ein Langzeitwert (Expositionsdauer mehr als 1 Jahr) von 10 µg/m³ (0,008 ppm) [AFSSET 2007]. Der Langzeitwert entspricht einem Zwölftel des deutschen Richtwertes.

2008	In den USA leitet die für die Bewertung umweltbedingter Gesundheitsrisiken zuständige kalifornische Behörde OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment) für Büro- und Schulräume einen Zielwert (CREL, Chronic Reference Exposure Level) für die Formaldehyd-Konzentration in der Innenraumluft in Höhe von $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ab (lebenslange Exposition; OEHHA Acute, 8-hour and Chronic Reference Exposure). Der CREL ist definiert als die Konzentration eines Stoffes, bei der keine nachteiligen gesundheitlichen Wirkungen anzunehmen sind. Da der Wert von $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in der Praxis nicht immer einzuhalten ist, wird ein Richtwert von $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (23 ppb) festgelegt. Unabhängig davon gilt jedoch das ALARA-Prinzip: „so niedrig wie (vernünftigerweise) erreichbar“ (as low as reasonably achievable) [DHHS 2008]. Gemäß dem ALARA-Prinzip ist es nicht ausreichend, nur den – auch unter Berücksichtigung pragmatischer Gesichtspunkte – festgelegten Richtwert von $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ einzuhalten. Vielmehr müssen alle vernünftigen und sinnvollen Maßnahmen ergriffen werden, um die Formaldehyd-Exposition auch unterhalb des Grenzwertes so niedrig wie möglich zu halten. Zum Vergleich: Der ALARA-Gedanke liegt z. B. dem in Deutschland verankerten Reinheitsanspruch für das Trinkwasser zugrunde.
2010	In der Schweiz sieht sich das Bundesamt für Gesundheit wegen der nach wie vor aktuellen Probleme mit Formaldehyd-Belastungen in Gebäuden veranlasst, noch einmal auf das Schutzniveau des auch in der Schweiz geltenden Richtwertes von 0,1 ppm (BAG-Richtwert) hinzuweisen. In der Verlautbarung heißt es: „Dieser Richtwert ist als Schwelle zu einer Gesundheitsgefährdung zu verstehen. Ist er überschritten, sollen umgehend Maßnahmen zur Senkung der Belastung getroffen werden. Die Einhaltung des Richtwerts ist nicht gleichzusetzen mit einer guten Raumluftqualität. Vorsorglich sollten die Belastungen der Wohnraumluft mit Formaldehyd so gering wie möglich gehalten werden“ [BAG 2010].
2012	Formaldehyd wird durch die IARC in der Liste der krebserzeugenden Stoffe in die höchste Kategorie als beim Menschen nachweislich krebserzeugend eingestuft (Group 1, Carcinogenic to humans).
2014	Die Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte IRK/AOLG rückt erstmals vom bestehenden Richtwert für Formaldehyd in Höhe von $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ab und weist darauf hin, dass neuere Studien den 2010 von der Weltgesundheitsorganisation veröffentlichten Leitwert für Formaldehyd von $0,1 \text{ mg}/\text{m}^3$ ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) unterstützen. Unsicherheiten bestehen noch in der Bewertung eines möglichen Asthma-auslösenden Potentials von Formaldehyd bei Kindern und in der Bewertung des krebserzeugenden Potentials. (Ergebnisprotokoll der 49. Sitzung der Ad-hoc-AG IRK/AOLG).
2014 / 2016	In der EU wird Formaldehyd als nachweislich krebserzeugend (Carc. 1B) und mit Verdacht auf erbgutschädigende Wirkung (Muta. 2) eingestuft. Nach einer Übergangsfrist tritt die Einstufung am 1.1.2016 in Kraft [EU-Kommission 2014]. Dem Vorschlag Frankreichs zur Einstufung von Formaldehyd in die höchste Kategorie Carc. 1A (nachweislich krebserzeugend beim Menschen) einzustufen, folgte die EU nicht.
August 2016	Der Ausschuss für Innenraumrichtwerte AIR (vormals Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte IRK/AOLG) legt einen neuen Richtwert RW I für die Innenraumluft fest: $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0,1 \text{ mg}/\text{m}^3$).

In der folgenden Tabelle sind ausgewählte toxikologisch abgeleitete Richtwerte für Formaldehyd in der Innenraumluft zusammengestellt.

Tabelle 1: Richtwerte für Formaldehyd in der Innenraumluft (Auswahl)

Land / Institution	Richtwert	
Deutschland	100 µg/m ³ (RW I) Hinweis des AIR: Der Richtwert soll nicht für einen längeren Zeitraum als ½ Std. überschritten werden.	0,082 ppm
Österreich ²⁾	Kurzzeit (30 Min.): 100 µg/m ³ Langzeit (24 Std.): 60 µg/m ³	0,082 ppm 0,05 ppm
Schweiz	125 µg/m ³	0,1 ppm
Frankreich	Kurzzeit (2 Std.): 50 µg/m ³ Langzeit: 10 µg/m ³	0,04 ppm 0,008 ppm
WHO	Kurzzeit (30 Min.): 100 µg/m ³	0,082 ppm

[1] Das Perzentil gibt rechnerisch den Punkt einer Messreihe an, der von einem bestimmten Prozentsatz der Messergebnisse nicht überschritten wird. Beispiel: Das 10. Perzentil ist der Wert, den 10 % der Messwerte unterschreiten (bzw. 90 % der Messwerte überschreiten).

[2] jetzt: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin BAuA

[3] Maximale Arbeitsplatz-Konzentration; MAK-Werte gelten für Personen, die gezielt Tätigkeiten mit Gefahrstoffen ausführen

[4] IRK = Innenraumluftthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes; AOLG = Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden; jetzt: Ausschuss für Innenraumrichtwerte AIR

[5] AFSSET = Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'environnement et du Travail

seit dem 1.7.2010: ANSES = Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

3 - Gefahrstoffrecht - Arbeitsplatz-Grenzwerte, Einstufung

Für Personen, die gezielt Tätigkeiten mit Gefahrstoffen ausführen, gelten die Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS). Die TRGS 900 enthielt bis zum 31.12.2004 einen Luftgrenzwert (Arbeitsplatzgrenzwert AGW) für Formaldehyd in Höhe von 0,5 ppm (0,62 µg/m³). Nach Bekanntwerden der Neueinstufung durch die Internationale Krebsforschungsagentur IARC in Gruppe 1 „krebserzeugend beim Menschen“ wurde dieser Wert zurückgezogen. Erst 2015 wurde ein neuer AGW in Höhe von 0,3 ppm (0,37 mg/m³) festgesetzt. Das entspricht einer Absenkung gegenüber dem Wert von 2004 um 40 %.

In der EU ist Formaldehyd als nachweislich krebserzeugend (Carc. 1B) und mit Verdacht auf erbgutschädigende Wirkung (Muta. 2) eingestuft.

Die MAK- und BAT-Werte-Liste 2016 der Deutschen Forschungsgesellschaft (DFG) führt Formaldehyd in Kategorie 4 der krebserzeugenden Stoffe („Stoffe mit krebserzeugender Wirkung, bei denen ein nicht-genotoxischer Wirkungsmechanismus im Vordergrund steht und genotoxische Effekte bei Einhaltung des MAK- und BAT-Wertes keine oder nur eine untergeordnete Rolle spielen. Unter diesen Bedingungen ist kein nennenswerter Beitrag zum Krebsrisiko für den Menschen zu erwarten“. Weiterhin erfolgt eine Einstufung und in Kategorie 5 der keimzellmutagenen Stoffe [DFG 2015].

Der MAK-Wert, also der Empfehlungswert der DFG für die maximal zulässige Konzentration von Formaldehyd an gewerblichen Arbeitsplätzen, betrug 1979 1 ppm. 1987 wurde der MAK-Wert auf 0,5 ppm und im Jahr 2000 schließlich auf 0,3 ppm (0,37 mg/m³) abgesenkt.

4 - Verwendung - Quellen für Formaldehyd im Innenraum

4.1 - Holzwerkstoffe

Die (EU) ist mit 3,6 Mio. t. jährlich der zweitgrößte Produzent von Formaldehyd hinter Asien. Das entspricht etwa 30% der weltweiten Produktion. Deutschland ist in der EU der größte Hersteller von Formaldehyd, gefolgt von Italien, Spanien, den Niederlanden und Großbritannien. Ein Großteil des synthetisierten Formaldehyds wird zur Produktion von Leimen und Tränkharzen für Holzwerkstoffe verbraucht. Leimharze werden zur Herstellung von Spanplatten, Sperrholz-, Tischlerplatten, MDF-, OSB- und Schalungsplatten, aber auch für statisch tragende Holzbauteile wie Brettschichtholz und Brettspertholz verwendet. Mit Tränkharzen werden Papiere imprägniert, die als Dekor auf Holzwerkstoffe aufgebracht werden.

In Europa ist Deutschland der bedeutendste Produzent von Holzwerkstoffen. Allein im Jahr 2011 wurden hierzulande 10,5 Mio. t Holzwerkstoffe hergestellt. Darunter ist vor allem die Spanplattenindustrie mit einer Produktionsmenge von rund 5,6 Mio. m³ als wichtigste Branche zu nennen (Statistisches Bundesamt 2012). Die für die Spanplattenproduktion genutzten Holzspäne werden zum größten Teil von den Sägewerken bezogen. Die deutsche Spanplattenindustrie setzt aber auch durchschnittlich 30 % Holzspäne aus recyceltem Altholz ein. Manche Spanplatten werden komplett aus recyceltem Altholz hergestellt. Verwertungsmöglichkeiten für Althölzer sowie die Anforderungen an eine schadlose Verwertung sind durch die Altholzverordnung (AltholzV) geregelt. Die Einsatzgebiete der Spanplatten sind vor allem der Baubereich und die Möbelindustrie.

4.1.1 Leimarten und Formaldehyd-Abgabe

Bei den formaldehydhaltigen Leimen und Tränkharzen lassen sich folgende Typen unterscheiden:

- Harnstoff-Formaldehyd (UF [6])
- Melamin-Formaldehyd (MF [7])
- Melamin-Harnstoff-Formaldehyd (MUF)
- Melamin-Harnstoff-Phenol-Formaldehyd (MUPF [8])
- Phenol-Formaldehyd (PF [9])

Die UF-, MF- und MUF-Harze werden unter dem Begriff Aminoplaste zusammengefasst.

Der mit Abstand größte Teil der Holzwerkstoffe wird mit Harnstoff-Formaldehyd-Harzen gebunden. Bei den Spanplatten sind es in Europa mehr als 90 % [VHI 2010]. UF-Harze sind kostengünstige, farblose Klebstoffe und weisen eine hohe Reaktivität auf. Die chemische Bindung beim Aushärten der UF-Harze erfolgt unter Abspaltung von Wasser. Diese Reaktion ist eine Gleichgewichtsreaktion. Das bedeutet, dass die Umkehrreaktion unter Freisetzung von Formaldehyd eintritt, wenn das ausgehärtete Harz die Möglichkeit hat wieder Feuchtigkeit aufzunehmen. Ein charakteristisches Merkmal der UF-Harze ist somit deren geringe Feuchtebeständigkeit. Diese Eigenschaft wurde auf tragische Weise deutlich beim Einsturz des schneebedeckten Daches der Eissporthalle in Bad Reichenhall am 2.1.2006. In den Jahren nach der Inbetriebnahme der Halle hatte die fortwährende Feuchtigkeitsbeanspruchung auf die unzulässigerweise mit UF-Harzen ausgeführten Leimverbindungen der Holzdachkonstruktion dazu geführt, dass die Festigkeit der Klebverbindungen ständig abnahm und sich damit die ohnehin zu geringe Tragfähigkeit der Dachkonstruktion mit den Jahren immer weiter verringerte.

Für feuchtebeständigere Verleimungen werden MUF-Harze eingesetzt. Reine MF-Harze sind vergleichsweise teuer und werden daher nur als Beschichtungsmaterialien, nicht aber als Klebstoffe verwendet.

Klebstoffe sowohl mit sehr hoher thermischer wie auch hydrolytischer Beständigkeit sind die PF-Harze. PF-gebundene Holzwerkstoffe werden hauptsächlich für feuchtegefährdete Bauteile eingesetzt.

Die Verwendung von Aminoplastharzen (UF, MF, MUF) kann zu kritischen Formaldehyd-Emissionen aus den entsprechenden Holzwerkstoffen führen. Ursache ist die Hydrolyseempfindlichkeit dieser Harze. Bereits unter dem Einfluss von normaler Luftfeuchtigkeit kommt es zu einer Rückspaltung der Harze und damit zur Freisetzung von Formaldehyd. Zwar nimmt die Formaldehydabgabe der Holzwerkstoffe infolge von Alterungseffekten mit der Zeit deutlich ab. Grundsätzlich können bei Holzwerkstoffen mit UF-, MF- und MUF-Leimen aber auch noch Jahrzehnte nach

dem Einbau nicht unerhebliche Formaldehyd-Emissionen auftreten. Dies macht sich in der Innenraumluft besonders dann bemerkbar, wenn derart verleimte Holzwerkstoffe großflächig verbaut wurden (z. B. in Pavillon-Bauten).

Das Umweltbundesamt ließ für eine 2007 veröffentlichte Studie 50 verschiedene Bauprodukte in Emissions-Prüfkammern untersuchen. Dabei war festzustellen, dass Formaldehyd 28 Tage nach Einbringen der Prüfstücke in die Kammer noch von fast der Hälfte der untersuchten Produkte emittiert wurde, mit einem Maximalwert von 165 µg/m³. Aus den Untersuchungen ging zudem hervor, dass OSB-Platten unter den Holzwerkstoffen die höchsten Formaldehyd-Emissionen aufweisen. Zwar wurden die Anforderungen für das Inverkehrbringen (0,1 ppm gem. Chemikalien-Verbotsverordnung) von den untersuchten Platten erfüllt. Nach 10 Tagen betrugen die Formaldehyd-Emissionen aber noch bis zu 100 µg/m³ [UBA 2007].

[6] UF = Urea-Formaldehyd = Harnstoff-Formaldehyd

[7] MF = Melamin-Formaldehyd

[8] MUPF = Melamin-Harnstoff-Phenol-Formaldehyd

[9] PF = Phenol-Formaldehyd

4.1.2 Geschlitzte bzw. genutete Akustikplatten

Wegen ihres hohen Schall-Absorptionsvermögens und ihrer Holzanmutung werden für akustische Zwecke vielfach gelochte oder geschlitzte Platten auf Basis von Holzwerkstoffen, insbesondere MDF, verwendet. Solche Platten sind meist mit Echtholzfurnier oder Melaminharzdekor versehen. Durch das Lochen bzw. Nuten kommt es zu einer erheblichen Oberflächenvergrößerung der Platten, wodurch sich zwangsläufig auch deren Emissionsverhalten erheblich verändert.

Dazu ein Praxisbeispiel: Wird eine 16 mm starke Platte pro m² mit 3.900 Löchern mit einem Durchmesser von 10 mm versehen, ergibt sich daraus eine Vergrößerung der emissionswirksamen Oberfläche um ca. 1,7 m². Für den Fall, dass der Hersteller der Akustikplatte eine Aminoplast-verleimte Holzwerkstoffplatte eingekauft hatte, welche die E1-Anforderung nur knapp einhält, ist bei der nachträglich gelochten Platte mit einer Formaldehyd-Emission erheblich über dem zulässigen Grenzwert von 0,1 ppm zu rechnen. Selbst wenn die Ausgangsplatte die E1-Anforderung um 50 % unterschreitet (z. B. entsprechend der Anforderung Blauer Engel) ist davon auszugehen, dass die gelochte Platte unter Anlegung des E1-Maßstabs nicht in den Verkehr gebracht werden dürfte. Daraus folgt, dass gerade für Akustikplatten auf Basis von Holzwerkstoffen möglichst nur formaldehydfreie Ausgangswerkstoffe verwendet werden sollten.

4.1.3 Möbel

Die große Nachfrage der Möbelindustrie nach aminoplastverleimten Holzwerkstoffen führt dazu, dass auch von Möbeln immer noch erhebliche Mengen Formaldehyd emittiert werden. Die Ergebnisse des vom Umweltbundesamt durchgeführten Kinder-Umwelt-Survey 2003 - 2006 zeigen, dass die mittlere Formaldehyd-Konzentration in der Innenraumluft von Kinderzimmern mit viel Möbeln aus Spanplatten um 40 % höher ist als diejenige in Kinderzimmern ohne Möbel aus Spanplatten [Kolossa-Gehring 2006].

4.1.4 Formaldehydfänger

Durch Zusatz sogenannter Formaldehydfänger bei der Produktion von Holzwerkstoffplatten kann eine Verringerung der Formaldehyd-Emissionen trotz Verwendung vergleichsweise formaldehydreicher Aminoplastharze erreicht werden. Geeignete Formaldehydfänger sind insbesondere Harnstoff, Harnstoff-Derivate und Polyamine. Die Formaldehydfänger können entweder bereits den Holzhackschnitzeln vor dem thermo-mechanischen Aufschluss oder später bei der Plattenherstellung dem Trockenspan oder der Leimflotte zugesetzt werden. Ethylenharnstoff wird als Formaldehydfänger in transparenten Beschichtungsfolien für Möbel und in weiteren Anwendungen der Bauchemie und der Textilindustrie eingesetzt.

4.1.5 Formaldehydfreie Leime

Würden für Holzwerkstoffe nur noch formaldehydfreie Leime eingesetzt, wäre die Formaldehyd-Problematik in Innenräumen weitestgehend erledigt. Tatsächlich sind Alternativen zu den formaldehydbasierten Leimen nicht nur verfügbar, sondern auch technisch ausgereift.

Neben den Formaldehyd-basierten Leimen werden für Holzwerkstoffe zunehmend Isocyanat-basierte Reaktivklebstoffe (PMDI) eingesetzt. Derart verleimte Platten gelten als formaldehydfrei. PMDI wird zunehmend für Lamine und – wegen der hohen Anforderungen an die Formaldehyd-Emission – für den japanischen Markt verwendet, wo es sehr strenge Grenzwerte gibt. Für OSB-Platten wird auch in Deutschland zunehmend PMDI-Leim verwendet. PMDI-Leim ist allerdings teurer als die formaldehydbasierten Aminoplast-Leime.

Auch mit Polyvinylacetat-Klebstoffen (PVAc) lassen sich formaldehydfreie Holzwerkstoffe herstellen. PVAc-Leime werden aber praktisch nur für die Herstellung von Stabsperrholz und bei Flächenverleimungen von Furnieren und Folien eingesetzt. Bei PVAc-verleimten Produkten ist allerdings auf Emissionen des Monomers Vinylacetat zu achten, das als krebbsverdächtig gilt (DFG: MAK- und BAT-Werte-Liste 2016).

4.2 - Schaum-Dämmplatten, Ortschaum

Für wärme- und schalldämmende Anwendungen im Innenraum werden offenzellige Schaumstoff-Platten auf Basis Melamin-Formaldehyd- oder Phenol-Formaldehyd-Harz eingesetzt. Solche Platten können erhebliche Formaldehyd-Emissionen aufweisen. Zusätzlich ist mit Emissionen des verwendeten Treibmittels zu rechnen.

Ortschaum auf Basis Harnstoff-Formaldehyd-Harz (UF) wurde in den 1950er Jahren entwickelt. Die Herstellung des Schaums erfolgt vor Ort auf der Baustelle durch Vermischen einer wässrigen Harzlösung und einer durch Druckluft aufgeschäumten wässrigen Tensidlösung mit anschließender katalytischer Härtung. Mittels transportabler Schäumeinrichtungen wird der Schaum über Schlauch- oder Rohrleitungen in die zu dämmenden Bauteile geleitet.

Seit den in den 1970er Jahren einsetzenden Bestrebungen zur Energieeinsparung wurde der Schaum vermehrt zur Dämmung von Gebäuden eingesetzt. In der Folge kam es zu massiven gesundheitlichen Beeinträchtigungen von Gebäudenutzern durch teils extrem hohe Formaldehyd-Konzentrationen in der Innenraumluft.

Das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) erteilt seit Anfang der 1980er Jahre unter bestimmten Voraussetzungen allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen für die Herstellung und Verwendung von nachträglich in Hohlschichten von zweischaligem Mauerwerk für Außenwände eingeschäumte UF-Ortschäume. Die seit 1985 unverändert gültige „ETB-Richtlinie zur Begrenzung der Formaldehydemission in die Raumluft bei Verwendung von Harnstoff-Formaldehydharz-Ortschaum“ (ETB-Ri UF-Ortschaum, DIBt Mitteilungen 1/2009) zielt darauf ab, die Formaldehyd-Konzentration in Aufenthaltsräumen von Häusern, deren Dächer oder Wände mit UF-Ortschaum gedämmt sind, zu begrenzen. Voraussetzung für die bauaufsichtliche Zulassung ist, dass der Schaum in einem Prüfraum nach 20 Tagen eine Formaldehyd-Konzentration von 0,1 ppm nicht überschreitet. Als Wärmedämmung für zweischaliges Mauerwerk von Aufenthaltsräumen darf der Schaum nur eingesetzt werden, wenn die Räume über ausreichende natürliche Belüftungsmöglichkeiten verfügen. Das Mauerwerk muss die in der ETB-Richtlinie festgelegten Anforderungen an die Dichtigkeit erfüllen. Der Zulassungsinhaber (Schaum-Produzent) muss zudem dafür Sorge tragen, dass beim Verarbeiter ausreichend Kenntnisse im Umgang mit formaldehydhaltigem Ortschaum vorhanden sind.

Das DIBt ist der Auffassung, dass durch die sorgfältige Einhaltung sämtlicher Randbedingungen „erreicht werden kann, dass keine Formaldehyd-Belastung über ein gesundheitlich unbedenkliches Maß von 0,1 ppm in den Innenräumen auftritt“ [DIBt 2009]. Um ganz sicher zu gehen, nimmt das DIBt aber auch die Bewohner in die Pflicht, „unmittelbar nach dem Einbringen des Dämmstoffs ... durch sorgfältiges Lüften mögliche Anreicherungen von Formaldehyd im Gebäude zu vermeiden.“ Allerdings kommt es trotz aller Anstrengungen nach Dämmmaßnahmen mit UF-Ortschaum „zu längeranhaltenden erhöhten Formaldehyd-Belastungen“ [DIBt 2009], in deren Folge der Schaum teilweise sogar wieder ausgebaut werden muss.

4.3 - Anstrichmittel

4.3.1 Anstrichmittel auf wässriger Basis

Anstrichmitteln auf wässriger Basis (z. B. Dispersionsfarben) werden zur Gebindekonservierung (Topfkonservierung gegen mikrobiellen Befall) teilweise Stoffe zugegeben, die Formaldehyd freisetzen (sog. Formaldehyd-Depotstoffe). Der freie Formaldehyd entweicht bei der Trocknung des Farbauftrags in die Raumluft.

Nach einer vom Umweltbundesamt veröffentlichten Studie ist nach Verwendung derart konservierter Anstrichstoffe in einem Zeitraum bis zu 2 Wochen mit Formaldehyd-Konzentrationen in der Raumluft zu rechnen, die zu Schleimhautreizungen besonders an den Augen führen können. „Daraus folgt, dass während und in den Tagen nach

Renovierungsarbeiten eine geeignete Lüftung zwingend notwendig ist, damit der Orientierungswert von 0,1 ppm schnellstmöglich wieder erreicht und unterschritten wird“ [WaBoLu, in: Heinemeyer 2006].

Formaldehyd-Abspalter dürfen grundsätzlich auch den mit dem Blauen Engel (DE-UZ 102, Emissionsarme Wandfarben) ausgezeichneten Dispersionsfarben zugesetzt werden. Grenzwerte für die Menge an freiem Formaldehyd sollen „verhindern, dass bei der Verarbeitung und Trocknung des Beschichtungsmaterials der empfohlene Innenraumgrenzwert für Formaldehyd von 0,1 ppm überschritten wird“ [10]. Für Wandfarben, die mit dem natureplus Label ausgezeichnet sind, dürfen keine Formaldehyd-Abspalter eingesetzt werden [11].

Statt Formaldehyd-Abspaltern für wässrige Anstrichstoffe werden in den letzten Jahren vermehrt Konservierungssysteme auf Basis von Isothiazolinonen eingesetzt.

[10] Vergabegrundlage DE-UZ 102 Emissionsarme Wandfarben, April 2010

[11] siehe natureplus RL 0600ff für Wandfarben

4.3.2 Säurehärtende Lacke (SH-Lacke)

SH-Lacke haben ausgezeichnete lacktechnische Eigenschaften und waren über viele Jahre ein erfolgreiches Lacksystem für die Möbelindustrie. Ihr Einsatz ist aber seit Mitte der 1980er Jahre rückläufig. In Deutschland haben SH-Lacke – mit Ausnahme von wenigen Spezialgebieten – praktisch keine Bedeutung mehr.

Der Grund für den weitestgehenden Verzicht auf SH-Lacke liegt in der Tatsache, dass solche Lacke auf Basis von Harnstoff- bzw. Melamin-Formaldehydharzen in der Vergangenheit Ursache für erhebliche Formaldehyd-Belastungen in Innenräumen waren. Nach einem Presseartikel über hohe Formaldehyd-Emission aus einem Bücherregal verzichtete 1993 ein führender skandinavischer Möbelhersteller auf die Verwendung von SH-Lacken.

4.4 - Mineralwolle-Dämmstoffe

Mineralwolle-Dämmstoffe werden üblicherweise unter Verwendung eines formaldehydhaltigen Bindemittels (Phenol-Formaldehyd-Harz) hergestellt. Der Bindemittel-Anteil beträgt bis ca. 7 %, der Anteil von Formaldehyd im Bindemittel liegt bei knapp 30 %.

Produktionsfrische Mineralwolle kann erhebliche Formaldehyd-Emissionen aufweisen. Zwar ist bei luftdichtem Einbau z. B. für die Dachdämmung nicht mit einer Formaldehydabgabe an die Innenraumluft zu rechnen. Bei einem nach innen hin offenen Einbau (Decken, Wände) kann sich die Formaldehyd-Emission aber durchaus in der Innenraumluft bemerkbar machen.

In einer 2008 veröffentlichten Untersuchung von Mineralwolle betrug die Emissionsrate für Formaldehyd 28 Tage nach Einbringen der Probe in die Prüfkammer $50 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{xh}$. [12] Unter Zugrundelegung des Luftwechsels von 0,5/h ergibt sich daraus eine Formaldehyd-Konzentration von $138 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tatsächlich ist die Luftwechselrate in modernen Gebäuden, die nicht technisch belüftet werden, meist viel geringer. In einem solchen Fall ergeben sich dann auch noch höhere Formaldehyd-Konzentrationen.

Es ist davon auszugehen, dass die Formaldehyd-Emission aus Mineralwolle mit der Zeit weiter abnimmt, so dass mit einer dauerhaft hohen Formaldehyd-Belastung der Innenraumluft infolge nicht luftdicht verbauter Mineralwolle nicht zu rechnen ist.

Seit 2009 sind auch Mineralwolle-Dämmstoffe mit einer formaldehydfreien Bindemittel-Technologie auf dem Markt. Vor dem Hintergrund, dass in Frankreich Bauprodukte möglichst formaldehydfrei sein sollen, gehörte dieser Markt zu den ersten, in denen die formaldehydfreie Glaswolle präsentiert wurde.

[12] Neuhaus, Oppl, Clausen: Formaldehyde emissions from mineral wool in building construction into indoor Air; Indoor Air 2008

4.5 - Klebstoffe

In einer Untersuchung des Umweltbundesamtes emittierten von vier verschiedenen Klebern ein Kork- und ein Vlieskleber Formaldehyd. Als Quelle für Formaldehyd ist auch hier – wie bei den wässrigen Anstrichstoffen – ein

Formaldehyd-Abspalter anzunehmen, der den Kleber vor mikrobiologischem Befall während der Lagerung schützen soll [UBA 2007].

4.6 - Glasfaser-Vliese

Glasfaservliese, wie sie z. B. als Auflage auf Abhangdecken, als Ummantelung für spezielle Gipsplatten und als Glasfaser-Bewehrungsstreifen für Gipspachtelmassen Verwendung finden, können infolge des verwendeten UF-Bindemittels deutliche Mengen Formaldehyd abgeben. Untersuchungen an mit Glasvlies ummantelten Spezial-Gipsplatten zeigten Formaldehyd-Emissionen bis etwa 40 % des für Holzwerkstoffplatten maximal erlaubten Wertes von 0,1 ppm. Da die Raumbeladung (Verhältnis von Fläche der verwendeten Glasfaservliese zum Raumvolumen) aber meist vergleichsweise gering ist, sind keine hohen Formaldehyd-Konzentrationen infolge solcher Vliese zu erwarten. Andererseits sind es in vielen Fällen die Beiträge verschiedener Bauprodukte, die schließlich in der Summe zu einer erhöhten Konzentration von Formaldehyd in der Innenraumluft führen.

4.7 - Betonzusatzmittel

Betonzusatzmittel sind organische oder auch anorganische Zusätze zu Frisch- und Festbeton, die durch chemische und/oder physikalische Wirkungen die Eigenschaften von Beton beeinflussen. In Deutschland werden nach Schätzungen etwa 90 % aller Betone mit Zusatzmitteln hergestellt, wobei schwerpunktmäßig Betonverflüssiger und Fließmittel eingesetzt werden. Bestimmte Wirkstoffe wie z. B. Melaminsulfonate oder Naphthalinsulfonate enthalten produktionsbedingt geringe Mengen Formaldehyd.

Um in die Innenraumluft überzutreten, muss der Formaldehyd im Frischbeton zunächst durch langsame Diffusionsprozesse in der wässrigen Phase an die Betonoberfläche gelangen. Es ist davon auszugehen, dass dabei ein Teil des hochreaktiven Formaldehyds im Kontakt mit dem stark alkalischen Zementleim bzw. der Porenlösung des Zementsteins zu Ameisensäure und Methanol reagiert. Prüfkammer-Untersuchungen an 50 Tage alten Betonplatten, die unter Zusatz einer Melaminsulfonatlösung hergestellt wurden, ergaben Formaldehyd-Emissionen von 0,03 ppm (Bedingungen: Beladung 1 m²/m³; 23 °C; 45 % rF; Luftwechsel 1 h⁻¹, Kammer-Blindwert: 0,01 bis 0,02 ppm) [Spanka et al.].

4.8 - Formaldehyd in naturbelassenem Holz?

Das Gerücht, auch naturbelassenes Holz emittiere Formaldehyd in relevanter Menge, hält sich hartnäckig. Tatsächlich enthält naturbelassenes Holz keinen freien Formaldehyd. Allerdings enthält Holz verschiedene Substanzen, bei denen durch thermohydrolytische Zersetzung ab etwa 100 °C Formaldehyd freigesetzt werden kann. Die Formaldehydabgabe nimmt mit einer Erhöhung der Trocknungstemperatur zu und ist auch von der Holzart abhängig. Untersuchungen zeigen, dass für die Weiterverarbeitung zu Holzwerkstoffen vorgesehene Holzspäne und Holzfasern je nach Trocknungsbedingungen zwischen 0,02 und 0,07 ppm Formaldehyd emittieren können [Månsson et al. 1999]. Auch wenn diese Holzspäne bzw. -fasern mit formaldehydfreien Bindemitteln verleimt werden, können die Holzwerkstoffplatten also Formaldehyd-Emissionen aufweisen.

Andere Untersuchungen haben gezeigt, dass naturbelassenes Holz erhebliche Mengen Formaldehyd aus seiner Umgebung, z. B. der Innenraumluft reversibel binden und über einen längeren Zeitraum wieder abgeben kann. In Anwesenheit von Formaldehyd-Quellen kann naturbelassenes Holz also zur Sekundärquelle werden. In formaldehydfreier Umgebung gibt Naturholz jedoch keinen Formaldehyd ab [Krippenstapel 2001].

5. - Regelungen zur Formaldehydabgabe von Holzwerkstoffen

5.1 - Gesetzliche Regelungen zur Formaldehydabgabe von Holzwerkstoffen

(Deutschland, EU)

Im April 1980 wurde durch den Ausschuss für Einheitliche Technische Baubestimmungen (ETB) die "Richtlinie über die Verwendung von Spanplatten hinsichtlich der Vermeidung unzumutbarer Formaldehydkonzentrationen in der Raumluft" veröffentlicht. Ziel der Richtlinie war es, Gesundheitsgefahren infolge der Abgabe von Formaldehyd durch Spanplatten in Aufenthaltsräumen zu vermeiden.

Aufgrund der Chemikalien-Verbotsverordnung (ChemVerbotsV) in Verbindung mit der Bekanntmachung des Bundesgesundheitsamtes "Prüfverfahren für Holzwerkstoffe" vom Oktober 1991 wurde die ETB-Richtlinie überarbeitet und entsprechend dem erweiterten Geltungsbereich mit dem neuen Titel "Richtlinie über die Klassifizierung und Überwachung von Holzwerkstoffplatten bezüglich der Formaldehydabgabe" versehen und als DIBt-Richtlinie 100 veröffentlicht (Fassung Juni 1994).

Die DIBt-Richtlinie 100 definiert Emissionsklassen von Holzwerkstoffplatten. Die Emissionsklasse E1 kennzeichnet unbeschichtete und beschichtete Holzwerkstoffplatten, die geeignet sind, bei der Untersuchung im Prüfraum eine Ausgleichkonzentration von max. 0,1 ml/m³ (ppm) Formaldehyd einzuhalten, also des Grenzwertes für das Inverkehrbringen nach ChemVerbotsV.

Tabelle 2: Emissionsklassen und Anforderungen an die Formaldehyd-Emission gemäß DIBt-Richtlinie 100

Zeile	Spalte	1	2	3a	3b	4a	4b
	Material	Emissionsklasse	Emissionswerte in ppm HCHO (= Ausgleichkonzentration) ¹⁾	Perforatorwerte ⁷⁾ (PF) in mg HCHO/100 g absolut trockene (atro) Platte		Gasanalysenwerte ⁸⁾ in mg HCHO/m ³	
				Mittelwert 4)	Einzelwert 4)	Mittelwert 4)	Einzelwert 4)
1	unbeschichtete Spanplatten	E 1	[0,1	[6,5	[8,0	-	-
2	unbeschichtete Faserplatten	E 1	[0,1	[7,0	[8,0	-	-
3	unbeschichtetes Sperrholz (Tischlerplatten und Furnierplatten)	E 1	[0,1	-	-	Bei Sofort-Prüfung: ⁵⁾ [5,0	Bei Sofort-Prüfung: ⁵⁾ [6,0
						Bei Prüfung nach 4 Wochen: ⁶⁾ [2,5	Bei Prüfung nach 4 Wochen: ⁶⁾ [3,5
4	beschichtete Span- und Faserplatten	E 1	[0,1	-	[10 ¹⁰⁾	-	[3,5
	beschichtetes Sperrholz				wie in Spalte 4 b ¹⁰⁾		[3,5
5	zur Beschichtung vorgesehene Span- und Faserplatten 9)	E 1 b	[0,1) ¹⁰⁾	-	[10	-	-

1) Zu bestimmen nach "Prüfverfahren für Holzwerkstoffe" (s. Bundesgesundhbl. 10/91, S. 488-489) bzw. später nach CEN-Norm prEN 717-1
2) Zu bestimmen nach DIN EN 120. Die Tabellenwerte gelten für eine Materialfeuchte von 6,5 %. Umrechnungen auf diese Bezugsfeuchte werden gemäß Abschnitt 4.3 vorgenommen
3) Zu bestimmen nach DIN 52 368 bzw. später nach CEN-Norm pr EN 717-2
4) Der Mittelwert wird als gleitender Halbjahreswert, der Einzelwert als 95 % Perzentil definiert. Dabei darf kein Meßwert eine obere Toleranzschwelle von + 10 % oberhalb des 95 %-Perzentils überschreiten
5) Sofortprüfung: max. 3 Tage nach Herstellung
6) Lagerung bei 20 °C und 65 % r. F.
7) Perforatorwert der Trägerplatte vor Beschichtung max. 10 mg/100 g; Perforatorwert nach Abschleif der Beschichtung max. 12 mg/1 100g
8) Gasanalysenwerte der Trägerplatte wie Einzelwerte nach Zeile 3, Spalte 4 b
9) Folplatten mit Perforatorwerten > 8 und 5 10 mg HCHO/100 g atro Platte dürfen gemäß 1) nur mit nachfolgender Kennzeichnung in den Verkehr gebracht werden: Nur in beschichtetem Zustand verwenden. Die Eignung der Beschichtung ist nachgewiesen." (s. Anlage: Verzeichnis von Beschichtungen)
10) nach Beschichtung

Hersteller von Holzwerkstoffplatten müssen ihre Produkte hinsichtlich der Formaldehydabgabe entsprechend der jeweiligen Plattenart nach Tab. 2 für jedes Werk klassifizieren. Die Prüfung erfolgt in einer Prüfkammer nach dem Prüfverfahren gemäß Bekanntmachung des Bundesgesundheitsamtes "Prüfverfahren für Holzwerkstoffe" [BGA 1991]. Dazu werden unbeschichtete Holzwerkstoffplatten mit einer Beladung von 1 m²/1 m³ in die Prüfkammer mit einem Volumen von mindestens 12 m³ eingebracht. Die Emissionsprüfung erfolgt bei einer Lufttemperatur von 23 °C, einer rel. Luftfeuchte von 45 % rF und einem Luftwechsel von 1 pro Stunde. Diese Prüfbedingungen wurden 2005 in die DIN EN 717-1 Holzwerkstoffe – Bestimmung der Formaldehydabgabe – Teil 1: Formaldehydabgabe nach der Prüfkammermethode übernommen.

Anlass für Kritik an der Prüfgrundlage ist insbesondere der nicht mehr zeitgemäße Luftwechsel von 1/h. Ohne aktive Frischluftzufuhr ist ein Luftwechsel von 1/h allenfalls noch in alten Bestandsimmobilien mit undichter Gebäudehülle anzutreffen. In Aufenthaltsräumen neuer oder modernisierter Gebäude liegt die Luftwechselrate bei geschlossenen Fenstern und Türen häufig bei einem 1/10 des Wertes. Diese Diskrepanz führt dazu, dass sich bedeutsame Formaldehyd-Konzentrationen in der Innenraumluft bereits dann einstellen können, wenn lediglich Formaldehyd-Quellen vorhanden sind, die für sich genommen nach dem o. g. Prüfverfahren gar keine auffälligen Emissionen verursachen.

Statt der vergleichsweise aufwendigen Prüfkammer-Untersuchung dürfen auch sogenannte abgeleitete Materialprüfmethode angewandt werden:

- Bei Roh-Span- und Roh-Faserplatten erfolgt die Klassifizierung über Perforatorwerte nach DIN EN 120 - Holzwerkstoffe - Bestimmung des Formaldehydgehalts, Extraktionsverfahren genannt Perforatormethode - Ausgabe August 1992. Es gelten die Grenzwerte nach Tab. 2.
- Bei Roh-Sperrholz und bei beschichteten Holzwerkstoffen erfolgt die Klassifizierung über Gasanalysewerte nach EN 717-2: Holzwerkstoffe - Bestimmung der Formaldehydabgabe, Teil 2: Formaldehydabgabe nach der Gasanalyse-Methode. Es gelten die Grenzwerte nach Tab. 2

Die Angabe der Emissionsklasse E1 bestätigt die Konformität der Holzwerkstoffplatte mit der Chemikalien-Verbotsverordnung. Produkte, welche die Emissionsklasse E1 nicht erfüllen, dürfen somit in Deutschland nicht in Verkehr gebracht werden. Ausgenommen hiervon sind Holzwerkstoffe, die nachträglich beschichtet werden, z. B. für den Möbelbau. Solche Platten dürfen vor der Beschichtung den E1-Grenzwert sogar noch überschreiten.

Die E1-Konformität von Holzwerkstoffplatten bedeutet also keinesfalls, dass die Platte „formaldehydarm“ oder „emissionsarm“ ist, obwohl dies von Herstellerseite und auch in Verlautbarungen von Bundesbehörden fälschlicherweise immer wieder so formuliert wird. Zitat: „Die Produkte sind auch für den Anwender kenntlich mit Emissionsklasse E1 für formaldehydarm ...“ [UBA (IRK) 2008].

Die 1987 vom Sachverständigenrat für Umweltfragen erhobene Forderung, „sicherzustellen, dass eine Konzentration von 0,1 ppm auch bei ungünstigen Bedingungen nicht überschritten wird“ [SRU 1987], wurde mit der DIBt-Richtlinie nicht vollinhaltlich umgesetzt. Denn tatsächlich sind die baurechtlichen Vorgaben (DIBt-Richtlinie 100) zur Prüfung von Holzwerkstoffen nicht geeignet, die vom SRU aufgestellte Forderung auch bei ungünstigen Bedingungen sicher zu gewährleisten.

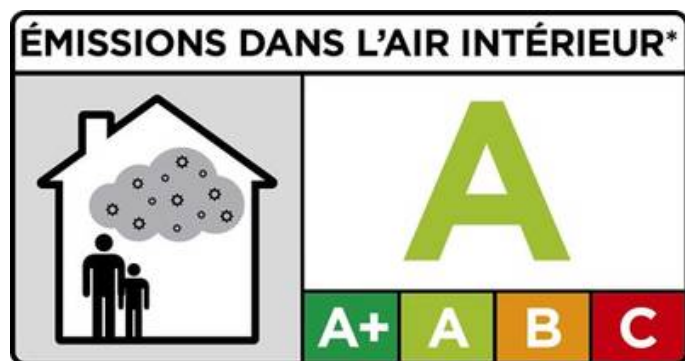
Gemäß der europäischen Norm DIN EN 13986 ist es grundsätzlich zulässig, in der EU auch Holzwerkstoffe mit einer Formaldehydabgabe deutlich über 0,1 ppm in Verkehr zu bringen. Da dies jedoch einen Verstoß gegen das bestehende deutsche Chemikalienrecht darstellt, dürfen solche E2-Holzwerkstoffe hierzulande nicht vertrieben werden. Statt dem in der DIBt-Richtlinie 100 verankerten Begriff „Emissionsklasse“ werden die Holzwerkstoffe nach DIN EN 13986 in die „Formaldehyd-Klassen“ E1 und E2 eingeteilt.

5.2 - Das französische VOC-Label

Seit dem 1.1.2012 müssen Bauprodukte sowie Einrichtungs- und Ausstattungsmaterialien, die neu auf den französischen Markt kommen, hinsichtlich ihrer Emissionen klassifiziert und gekennzeichnet werden (Décret n° 2011-321). Für Produkte, die bereits auf dem französischen Markt sind, gilt die Emissionsklassifizierungs- und Kennzeichnungspflicht seit dem 1.9.2013. Dies betrifft u. a. Fußbodenbeläge, Farben und Lacke, Fenster und Türen sowie Wand- und Deckenverkleidungen.

Das Label (siehe Abb. 1) soll Käufer auf einen Blick darüber informieren, ob von dem jeweiligen Produkt hohe oder niedrige Emissionen zu erwarten sind. Der Kennzeichnung liegen Konzentrationsgrenzen für Formaldehyd und 10 weitere Einzelsubstanzen sowie für die Summe der VOC (TVOC) zugrunde.

Abb. 1: Label zur Kennzeichnung der Emission von Bauprodukten und Materialien der Raumausstattung (VOC-Verordnung, Frankreich, 2011)



Hinsichtlich der Formaldehyd-Emission sind die in Tab. 3 genannten Konzentrationsgrenzen festgelegt.

Tabelle 3: Konzentrationsgrenzen für Formaldehyd gemäß der französischen VOC-Verordnung

Kennzeichnung	Formaldehyd-Emission
---------------	----------------------

A+	Sehr gering	< 10 µg/m ³
A	Gering	< 60 µg/m ³
B	Hoch	< 120 µg/m ³
C	Sehr hoch	> 120 µg/m ³

Anders als beim deutschen Verfahren für die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, handelt es sich bei dem französischen Label um eine Selbsteinstufung des Herstellers. Er kann die Kennzeichnung auch ohne eine Emissionsprüfung vornehmen.

5.3 - Freiwillige Vereinbarungen zur Formaldehydabgabe von Holzwerkstoffen - Label

Die gesetzlichen Regelungen zur Formaldehydabgabe von Holzwerkstoffen in Höhe von 0,1 ppm dienen der Abwehr einer Gesundheits**gefahr** für die Gebäudenutzer im Sinne des Baurechts. Die Höhe des Richtwertes ist aber nicht geeignet eine ausreichende Gesundheits**vorsorge** sicherzustellen. Die Gesundheits**vorsorge** ist ausdrücklich auch nicht das Ziel des Gesetzgebers (Baurecht).

Technisch gesehen stellt die Herstellung von formaldehydarmen bzw. weitgehend formaldehydfreien Holzwerkstoffen bereits seit vielen Jahren kein Problem dar. Dass trotzdem nach wie vor der größte Teil der auf den deutschen Markt gebrachten Holzwerkstoffe unter Verwendung formaldehydhaltiger Leime hergestellt wird, liegt zum einen am günstigeren Preis und zum anderen am Fehlen strengerer gesetzlicher Vorgaben.

Als formaldehydfrei können Materialien bezeichnet werden, wenn

- bei der Herstellung kein Formaldehyd zugesetzt wird,
- kein Formaldehyd als Teil des Herstellungsprozesses entsteht
- und der Formaldehyd-Gehalt ähnlich dem von naturbelassenem Holz ist.

Emissionsreduzierte Holzwerkstoff-Platten und daraus hergestellte Produkte können mit dem Blauen Engel (RAL-Umweltzeichen) ausgezeichnet werden (www.blauer-engel.de):

- Das DE-UZ 76 kennzeichnet emissionsarme unbeschichtete oder beschichtete Holzwerkstoff-Platten und Massivholzplatten.
- Das DE-UZ 38 kennzeichnet emissionsarme Produkte aus Holz und Holzwerkstoffen, wie z. B. Möbel, Laminatböden und Paneele.

Die mit dem Blauen Engel gekennzeichneten Erzeugnisse dürfen maximal 0,05 ppm (62 µg/m³) Formaldehyd abgeben, also die Hälfte des gesetzlichen Grenzwertes.

Abb. 2: Blauer Engel



Das Österreichische Umweltzeichen sieht ebenfalls eine maximal zulässige Formaldehyd-Emission von 0,05 ppm vor.

Der natureplus e. V., eine europäische Organisation für nachhaltige Entwicklung im Bausektor, hat für die Auszeichnung von Holzwerkstoff-Platten mit dem natureplus-Label eine Obergrenze für die Formaldehyd-Emission von 36 µg/m³ (0,029 ppm) festgelegt.

Abb. 3: natureplus-Label

Die Deutsche Gütegemeinschaft Möbel e.V. (DGM), ein Zusammenschluss von Möbelherstellern und Zulieferbetrieben, hat unter dem Dachverband RAL – Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung das RAL-Gütezeichen 430 für Möbel, auch als "Goldenes M" bezeichnet, ins Leben gerufen. Möbel, die das RAL-GZ 430 tragen, müssen bestimmte Qualitätsanforderungen erfüllen, u. a. auch hinsichtlich flüchtiger organischer Verbindungen und Formaldehyd. Die zulässige Formaldehyd-Emission beträgt 0,05 ppm und entspricht damit der des Blauen Engels.

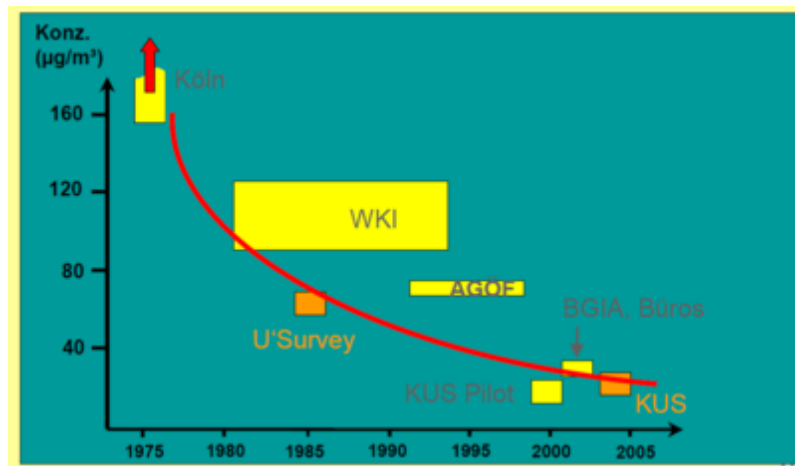
Abb. 4: Goldenes M



6 - Belastung der Innenraumluft

In der Außenluft betragen die Formaldehyd-Konzentrationen ca. 1 bis 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Höhere Gehalte können bei sommerlichen Fotosmogssituationen erreicht werden. Im Innenraum sind unter den Bauprodukten die Holzwerkstoffe die bedeutendsten Quellen für Formaldehyd. Seit den 1970er Jahren ist die bauproduktbedingte Belastung der Innenraumluft mit Formaldehyd deutlich zurückgegangen. Den zeitlichen Trend zeigt die nachfolgende Abbildung.

Abb. 5: Zeitlicher Trend von Mittelwerten veröffentlichter Formaldehyd-Konzentrationen [Seifert 2006]



Erläuterungen:

Köln = Messungen in neuen Schulgebäuden der Stadt Köln

U'Survey = Umwelt-Survey 1985 - 1986

AGÖF = Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute

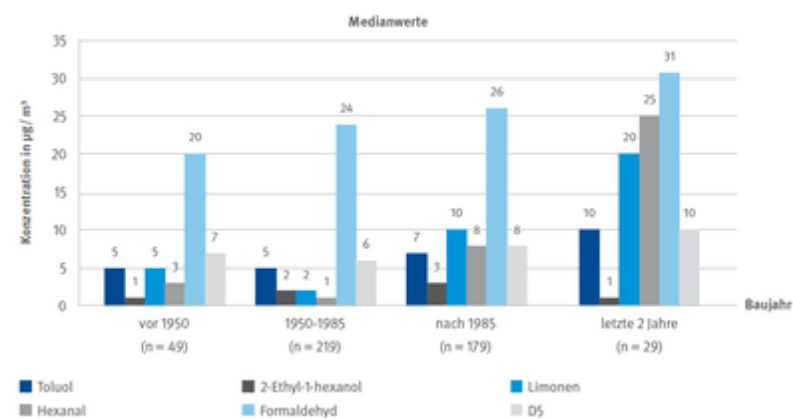
BGIA = Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz, seit 1.1.2010: Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)

KUS = Kinder-Umwelt-Survey 2003 - 2006

Messungen in Schulen im Zeitraum 2003 – 2009 zeigen aber auch, dass die Formaldehyd-Konzentration stark vom Baujahr der Schule abhängt. In neuen Schulen liegen die Formaldehyd-Konzentration in Klassenräumen etwa 50 % höher als in Schulen mit Baujahr vor 1950. Festgestellt wurde auch, dass die Formaldehyd-Konzentration mit dem Baujahr der Schule kontinuierlich ansteigt.

Abb. 6: Formaldehyd-Konzentrationen und weitere ausgewählte Stoffe in der Innenraumluft von Klassenräumen in Abhängigkeit vom Baujahr der Schule

(Unfallkasse NRW, Gesunde Luft in Schulen, Teil 1, Messungen in 381 beschwerdefreien Klassenräumen von 111 Schulen, Zeitraum 2003 - 2009)



Bauproduktbedingte Ursachen für erhöhte Formaldehyd-Konzentrationen in der Innenraumluft sind in den meisten Fällen Holzwerkstoffe. Die Höhe der Formaldehyd-Konzentration in der Raumluft hängt dabei insbesondere von folgenden Faktoren ab:

1. Verhältnis der Fläche der verbauten formaldehydhaltigen Holzwerkstoffe zum Raumvolumen:
Die Formaldehyd-Konzentration nimmt mit der Menge der Holzwerkstoffe im Raum zu.
2. Art des für den Holzwerkstoff verwendeten Leims / Quellstärke:
Aminoplast-verleimte Holzwerkstoffe (UF, MF, MUF) neigen am stärksten zur Formaldehyd-Abgabe.
3. Raumlufttemperatur:
Die Formaldehyd-Konzentration nimmt mit zunehmender Raumlufttemperatur zu.
4. Luftfeuchte:
Die Formaldehyd-Konzentration nimmt mit zunehmender relativer Feuchte zu.
5. Luftwechselzahl:
Die Formaldehyd-Konzentration nimmt mit zunehmender Frischluftzufuhr ab.

Welchen Einfluss die Menge der im Innenraum verbauten Holzwerkstoffe auf die Formaldehyd-Konzentration in der Innenraumluft haben kann, zeigen Untersuchungen, die 2009 in einem in Containerbauweise errichteten Schulersatzbau durchgeführt wurden. Die für die Innenwände verbauten Spanplatten wiesen eine Formaldehyd-Abgabe von 5,2 mg HCHO/100 g atro Platte auf (Perforatorwert). Dieser Wert entspricht rechnerisch 80 % des zulässigen Wertes gemäß DIBT-Richtlinie 100 in Höhe von 6,5 mg HCHO/100 g atro Platte.

Tabelle 4 zeigt die Formaldehyd-Konzentrationen in der Raumluft von drei verschieden großen Räumen in dem in Containerbauweise errichteten Schulersatzbau. Ursache für die festgestellten Formaldehyd-Immissionen waren im Wesentlichen die für die Innenwände eingesetzten Spanplatten.

Tabelle 4: Formaldehyd-Konzentrationen in der Innenraumluft eines in Containerbauweise errichteten Schulersatzbaus mit Wänden aus Spanplatten

Raum	Grundfläche / Volumen des Raumes (ca.)	Formaldehyd-Konzentration	Raumlufttemperatur während der Messung	rel. Feuchte
1	50 m ² / 124 m ³	56 µg/m ³ / 0,046 ppm	21,5 °C	46 % rF
2	33 m ² / 83 m ³	73 µg/m ³ / 0,059 ppm	22,1 °C	54 % rF
3	17 m ² / 41 m ³	126 µg/m ³ / 0,1 ppm	21,6 °C	56 % rF

Im größten Raum (Raum 1) erreicht die Formaldehyd-Konzentration etwa 50 % des aktuellen Innenraum-Richtwertes RW I von 100 µg/m³, im kleinen Raum dagegen wird der Richtwert (Raum 3) deutlich überschritten. Die erheblichen Unterschiede der Formaldehyd-Konzentrationen in der Raumluft sind auf die Unterschiede in der Beladung der Räume mit den Spanplatten zurückzuführen. Die Beladung ist im kleinen Raum am größten und im größten Raum am geringsten.

Wenn mehrere ungünstige Umstände zusammenkommen – wie Ausschöpfung der zulässigen Formaldehyd-Abgabe der verbauten Platten, hohe Beladung, ungünstige raumklimatische Bedingungen – ist auch bei aktuell errichteten Gebäude mit nicht unerheblichen Überschreitungen des Innenraum-Richtwertes für Formaldehyd zu rechnen.

7 - Raumluftmessungen

Besteht der Verdacht auf Formaldehyd-Belastung sollte in einem ersten Schritt eine Raumluftmessung nach DIN ISO 16000-3 durchgeführt werden. Die zu beachtenden Randbedingungen für die Luftprobenahme werden in der DIN EN ISO 16000-1 beschrieben. Als wichtigste Voraussetzung für die Reproduzierbarkeit von Messergebnissen sind standardisierte Messbedingungen einzuhalten. Es gilt: „Bei Kurzzeitprobenahmen ist es ... unmöglich, repräsentative Ergebnisse zu erhalten, wenn unmittelbar nach dem Lüften mit der Messung begonnen wird. Wird der zu bestimmende Stoff konstant und kontinuierlich emittiert, z. B. aus Baumaterialien oder Einrichtungsgegenständen, so muss nach der Fensterlüftung eine mehrstündige Gleichgewichtseinstellung eingehalten werden. ... Wenn keine gewichtigen Gründe dagegensprechen, muss bei Kurzzeitmessungen generell so vorgegangen werden, dass nach einer intensiven Lüftung ein Zeitraum von mehreren Stunden abgewartet wird, bevor mit dem Messvorgang begonnen wird“ (DIN EN ISO 16000-1).

8 - Sanierung formaldehydbelasteter Innenräume

Wurden bei Raumluftmessungen nach DIN ISO 16000-3 erhöhte Formaldehyd-Konzentrationen festgestellt, kann die Raumluftbelastung als Sofortmaßnahme durch erhöhte Frischluftzufuhr gesenkt werden (vermehrte Stoßlüftung). Anschließend ist durch einen erfahrenen Gutachter zu klären, welche Bauteile oder Einrichtungsgegenstände die Formaldehyd-Belastung verursachen.

Für eine dauerhafte Absenkung der Formaldehyd-Belastung kommen grundsätzlich verschiedene Maßnahmen in Betracht:

- › Entfernen der Quelle
- › Abdichten der Quelle
- › Chemische Bindung des Formaldehyds

8.1 - Entfernen der Emissionsquelle

Falls Möbel die Formaldehyd-Belastung verursachen, liegt es nahe, diese aus dem Raum zu entfernen. Auch bei einfach zu demontierenden bzw. leicht zu ersetzenden Holzwerkstoffplatten stellt das Entfernen die beste Lösung dar. Anschließend wird der Erfolg der Maßnahme durch eine Raumluftmessung überprüft. Formaldehydbelastete Holzwerkstoffe sind kein gefährlicher Abfall dar und können mit dem Hausmüll/Sperrmüll entsorgt werden. Eine Verbrennung im Hausbrand ist wegen der enthaltenen Bindemittel nicht zulässig.

8.2 - Abdichten der Emissionsquelle

Sind die Emissionsquellen gut zugänglich, kann auch ein Abdichten in Erwägung gezogen werden. Oft wird eine merkliche Absenkung der Raumluftbelastung bereits dadurch erreicht, dass lediglich die besonders emissionsintensiven Kanten, Bohrlöcher (Schränke) oder Ausfräsungen beschichtet werden. Für das Beschichten von Kanten und Flächen der belasteten Holzwerkstoffplatten kann ein handelsüblicher, emissionsarmer Acryllack (Blauer Engel DE-UZ 12a) verwendet werden. Offene Kanten können auch mit einem Umleimer und Bohrlöcher oder Ausfräsungen mit emissionsarmer Silikon- oder Polyacryl-Dichtmasse (Blauer Engel DE-UZ 123) ausgefüllt werden.

Für den Fall, dass größere Flächen beschichtet werden sollen, ist zu bedenken, dass die im Lack enthaltenen Lösemittel zu einer neuen Raumluftbelastung führen können. Grundsätzlich gilt für alle Abdichtungs- bzw. Beschichtungsmaßnahmen: Das den Platten innewohnende Potenzial zur Formaldehyd-Emission bleibt erhalten. Der Erfolg der Maßnahme hängt also ganz wesentlich von der Sorgfalt und Vollständigkeit der Abdichtung ab.

8.3 - Chemische Bindung des Formaldehyds

Lassen sich die Formaldehydquellen nicht oder nur mit unzumutbarem Aufwand entfernen, bietet sich in vielen Fällen eine 1998 neuentwickelte unbedenkliche und umweltverträgliche Sanierungsmethode mit Schafwolle an. Dabei wird die natürliche chemische Zusammensetzung der Wolle genutzt und Formaldehyd aus der Raumluft durch Chemisorption fest in den Wollfasern gebunden [Zwiener et al. 1999].

Schafwolle besteht chemisch betrachtet aus Eiweißfasern, deren kleinster chemischer Baustein Aminosäuren sind. Als äußerst reaktives Molekül ist Formaldehyd in der Lage mit den Aminosäuren chemisch zu reagieren. Dabei bilden sich stabile und unschädliche Verbindungen, die zu irreversiblen Vernetzungen zwischen den Peptidketten der Schafwollfasern führen.

Verwendet werden sollten nur Wollvliese, die weder mit Permethrin-Mottenschutzmittel noch mit Flammschutzmitteln behandelt sind. Im Falle einer Entsorgung der Vliese kann dies über den normalen Hausmüll erfolgen.

Ein ungezielter Einbau von Schafwollvliesen führt nicht zum Erfolg. Vielmehr muss im Rahmen der Sanierungsplanung zunächst geklärt werden, ob die Methode im Einzelfall erfolgversprechend ist. Anschließend ist durch einen mit dem Verfahren vertrauten Sachverständigen ein auf das Gebäude zugeschnittenes Sanierungskonzept zu erstellen.

8.4 - Sanierung mit Zimmerpflanzen?

Kurzzeitexperimente der NASA in den 1980er Jahren hatten gezeigt, dass Zimmerpflanzen die Konzentrationen von Formaldehyd und anderen Innenraum-Schadstoffen reduzieren können. Wissenschaftler des GSF-Forschungszentrums für Umwelt und Gesundheit befassten sich daraufhin intensiver mit dem Metabolismus von Formaldehyd und anderen Stoffen in Pflanzen. In den Blättern der Pflanzen wurde ein Enzym gefunden, das Formaldehyd umwandelt, so dass der Stoff schließlich zu Naturstoffen abgebaut werden kann. Die Entgiftungsreaktionen in den Pflanzen ähneln dabei Stoffwechselvorgängen in der tierischen und menschlichen Leber.

Hohe Aktivitäten des Formaldehyd-abbauenden Enzyms wurden bei der Birkenfeige und der Efeutute festgestellt. Es zeigte sich aber auch, dass entscheidend für die luftreinigende Wirkung nicht die Enzymaktivität ist, sondern die Formaldehyd-Aufnahmerate der Pflanze. Diese stellt letztlich den begrenzenden Faktor für die Luftfilterkapazität von Zimmerpflanzen dar [Langebartels et al. 1994]. Im Ergebnis der Untersuchungen wurde schließlich klar, dass mit Zimmerpflanzen unter Praxisbedingungen keine wirklich bedeutsame Reduktion der Formaldehyd-Konzentration in der Innenraumluft erreicht werden kann.

Literatur

AFSSET, Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'environnement et du Travail, 2007

Appel, K. E.: Formaldehyd, Ableitung eines "Safe-Levels", 29.5.2006

Bundesamt für Gesundheit (BAG): Formaldehyd in der Innenraumluft - Informationen und Tipps für Verbraucher, Bern, Mai 2010 Download

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

Bundesgesundheitsamt (BGA): Bekanntmachung des Bundesgesundheitsamtes, Bundesgesundheitsbl. 31, Nr. 2, Febr. 1988

Bundesgesundheitsamt (BGA): Bekanntmachung des Bundesgesundheitsamtes: Prüfverfahren für Holzwerkstoffe, Bundesgesundheitsblatt 34. Jg., Oktober 1991, Nr. 10, S. 488-489

Bundesgesundheitsamt (BGA): Bekanntmachungen des Bundesgesundheitsamtes: Zur Gültigkeit des 0,1-ppm-Wertes für Formaldehyd, Bundesgesundheitsbl. 9/92

Bundesgesundheitsamt (BGA): Bekanntmachungen des Bundesgesundheitsamtes, Kommission Innenraumlufthygiene des BGA, Bundesgesundheitsbl. 2/93

Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR): Toxikologische Bewertung von Formaldehyd, Stellungnahme Nr. 023/2006, 30. März 2006

Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR): Krebserregende Wirkung von eingeatmetem Formaldehyd hinreichend belegt, Stellungnahme Nr. 14/2006, 29. Mai 2006

Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR): Inhalative Exposition des Verbrauchers gegenüber Formaldehyd, Aktualisiertes Diskussionspapier des BfR vom 30. April 2005, aktualisiert 24. Juli 2006

Bundesministerium für Jugend, Familie und Gesundheit (BMJFG, Hrsg.): Formaldehyd. Ein gemeinsamer Bericht des Bundesgesundheitsamtes, der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und des Umweltbundesamtes. Bonn (Schriftenreihe des BMJFG, Bd. 148), Verlag W. Kohlhammer, 1984

Department of Health and Human Services (DHHS, USA): Formaldehyde Exposure in Homes – A reference for State Officials to Use in Decision-making, 2008 Download

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG): MAK- und BAT-Werte-Liste 2016, Verlag Wiley-VCH, Weinheim

Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Regelungen der ETB-Richtlinie zur Begrenzung der Formaldehydemission in die Raumluft bei Verwendung von Harnstoff-Formaldehydharz-Ortschaum (ETB-Ri UF-Ortschaum), DIBt Mitteilungen 1/2009

Europäische Kommission: The Index project, Final Report, Jan. 2005

Europäische Kommission: Verordnung (EU) Nr. 605/2014 der Kommission vom 5. Juni 2014 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 (CLP-V)

Heinemeyer, G. et al. (BfR): Formaldehyd – Exposition und offene Fragen; Expertengespräch Formaldehyd, 29.5.2006

International Agency for Research on Cancer (IARC), 2004

International Agency for Research on Cancer (IARC): Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tert-Butoxypropan-2-ol; IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, vol 88. World Health Organization, Lyon, pp 39-325, 2006

Kerns, W. D. et al.: Cancer Res. 1983, 43, 4382

Kolossa-Gehring, M.: Ergebnisse aus dem Kinder-Umwelt-Survey, KiGGS-Symposium, 25.9.2006

Krippenstapel, C.: Holz-Zentralblatt Nr. 126, 19.10.2001

Langebartels, C. et al., Was können Pflanzen zur Entgiftung von Formaldehyd und anderen Innenraumluftverunreinigungen beitragen?, GSF, 1994

Månsson, B. et al.: Holz-Zentralblatt Nr. 7, 15.1.1999

Neuhaus et al.: Formaldehyd emissions from mineral wool in building constructions into indoor air; Indoor Air 2008, Kopenhagen

Oberlandesgericht (OLG) Nürnberg: Pressemitteilung vom 20.1.1992, Az 9 U 3700/89

Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA, USA): OEHHA Air-Table for all Acute, 8-hour and Chronic Reference Exposure Level (REL)s

RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e. V.: Allgemeine Güte- und Prüfbestimmungen für Möbel, RAL-GZ 430, April 2008

Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU): Luftverunreinigungen in Innenräumen, Sondergutachten, Mai 1987, Deutscher Bundestag, Drucksache 11/613, 15.7.1987

Sagunski, H.: Formaldehyd, eine Innenraum-Geschichte. in: Materialien zur Umweltmedizin, Aktuelle umweltmedizinische Probleme in Innenräumen, Teil 1, Bd. 13 der Schriftenreihe, Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (Hrsg.), 2006

Seifert, B.: Wissenschaftliche Bewertung von Formaldehyd: Neue Perspektiven für den Verbraucherschutz, BfR-Fachveranstaltung, Berlin, 29.5.2006

Spanka, G., Thielen, G.: Freisetzung flüchtiger organischer Substanzen aus zementgebundenen Bauprodukten
Download

Swenberg, J. A. et al.: Cancer Res. 1980, 40, 3398

Umweltbundesamt (UBA): Krebserzeugende Wirkung von Formaldehyd – Änderung des Richtwertes für die Innenraumluft von 0,1 ppm nicht erforderlich, Bundesgesundheitsbl – Gesundheitsforsch – Gesundheitsschutz: 49, (2006), 1169

Umweltbundesamt (UBA: Umwelt- und Gesundheitsanforderungen an Bauprodukte, UBA Texte 16/07, März 2007

Umweltbundesamt (UBA), Innenraumlufthygiene-Kommission (IRK), Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden, 2008

Umweltbundesamt (UBA): Bekanntmachungen des Umweltbundesamtes, Vergleichswerte für flüchtige organische Verbindungen (VOC und Aldehyde) in der Innenraumluft von Haushalten in Deutschland: Bundesgesundheitsbl – Gesundheitsforsch – Gesundheitsschutz (2008): 51, 109-112

VAH – Verbund für Angewandte Hygiene e. V.: Mitteilung Nr. 2/2007

Verband der Deutschen Holzwerkstoffindustrie e.V. (VHI), 2010: Webiste VHI

World Health Organization (WHO), Regional Office for Europe: Indoor air pollutants: exposure and health effects, Euro Reports and Studies 78, Copenhagen, 1983

World Health Organization (WHO), Regional Office for Europe: Air quality guidelines for Europe, 2nd edn., Copenhagen, pp 87-91, 2000

Zwiener, G. et al.: Sorption of Indoor Formaldehyde by Wool, Proceedings of the 8th International Conference On Indoor Air Quality and Climate, Edinburgh, Vol. 1, pp. 414-419, 1999