



Saint-Gobain Rigips GmbH
Herr Benjamin Bulawa
Schanzenstraße 84

40549 Düsseldorf

Lafu GmbH
Am Wollager 8
27749 Delmenhorst
- Germany -
Tel.: (0 42 21) 1 44 52
Fax: (0 42 21) 1 49 45
Mobil: (01 71) 3 49 01 49
E-Mail: info@lafu-gmbh.com
<http://www.lafu-gmbh.com>

Delmenhorst, 05.11.2015

Formaldehyd

Richt- und Grenzwerte

Aspekte zu Entwicklung, Stand und Ausblick

Bericht Nr. 487 / 15

Auftraggeber: Saint-Gobain Rigips GmbH

Auftragnehmer: Lafu GmbH

Durchgeführt von der Lafu GmbH

Hinweis: Eine auszugsweise Vervielfältigung und Veröffentlichung des Berichtes darf nur mit schriftlicher Genehmigung der Lafu, Labor für chemische und mikrobiologische Analytik GmbH erfolgen. Die Untersuchungsergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	3
2. Entwicklung von Grenz- und Richtwerten für Formaldehyd	4
3. Einflussfaktoren auf die Formaldehydkonzentration am Beispiel der Holzwerkstoffe	10
4. Bewertung tierexperimenteller Verfahren zur Festlegung von Grenz- und Richtwerten	12
5. Gesundheitsbeschwerden	13
6. Zusammenfassende Stellungnahme zu den bestehenden Richt- und Grenzwerten für Formaldehyd	16
Literaturverzeichnis	19

Wir empfehlen, um das größtmögliche Verständnis über die in der Untersuchung enthaltenen Aussagen zu erlangen, den gesamten Bericht durchzulesen.

1. Einleitung

Die Bedeutung der Innenraumlufthygiene ist in den letzten Jahren innerhalb der umweltmedizinischen Praxis ständig gewachsen. Unterschiedlichste Beschwerden und Krankheitsbilder wie z.B. das "Multi-Chemical-Syndrom" – MCS oder das „Sick Building Syndrom“ – SBS, werden mit dem Aufenthalt in Innenräumen in Zusammenhang gebracht. Im Schnitt halten wir uns zwischen 80 und 90 Prozent des Tages in geschlossenen Räumen auf, deren Luft wir einatmen, je nach Alter und Beruf mehr oder weniger. Deshalb haben Verunreinigungen der Luft in Innenräumen wesentlichen Einfluss auf unsere Gesundheit.

Die für die Beurteilung der Raumluftqualität zur Verfügung stehenden Grenz-, Richt- und Orientierungswerte sind unvollständig, uneinheitlich ermittelt und kaum überschaubar, für Betroffene und Experten.

In der Hierarchie haben Grenzwerte gegenüber Richt- und Orientierungswerten den eindeutigen Vorteil der Rechtssicherheit. Sie sind einklagbar und müssen somit nicht weiter interpretiert werden. Da für die wenigsten Innenraumschadstoffe Grenzwerte vorhanden sind, bedeutet dies, dass Erläuterungen und gutachterliche Beurteilungen notwendig sind um die oft komplexen Problematiken bei Schadstoffbelastungen mit den zur Verfügung stehenden Bewertungskonzepten anlassbezogen beurteilen zu können.

Weis (2006) stellt fest, dass für die allermeisten Schadstoffe, mit denen wir es in der Innenraumluft zu tun haben, keine ausreichenden Erkenntnisse vorliegen. Wissen über die Wirkung von Schadstoffgemischen – um die es sich bei der Bewertung von Innenraumproblematiken ja meistens handelt - ist in der Regel nur rudimentär vorhanden.

Braun (2006) führt aus, dass die Richtwerte abhängig von dem jeweiligen und damit meist unzureichenden Stand des toxikologischen Wissens sind und gerade im für Innenräume relevanten Niedrigdosisbereich die toxikologische Datenlage häufig extrem schlecht ist.

Bezüglich der Herangehensweise an das toxikologische Bewertungsschema äußert sich Braun (2006) dahingehend, dass sie der gleiche, wie sie bei der Aufstellung von Schadstoffhöchstmengen für Lebensmittel bekannt ist. Es wird von der im Tierversuch oder beim Menschen beobachteten Wirkschwelle ausgegangen, anschließend wird mit Hilfe einer Reihe von sogenannten Unsicherheitsfaktoren der Richtwert errechnet. Er kritisiert, dass die angewendeten „Unsicherheitsfaktoren“, mit denen toxikologische Wissenslücken kompensiert werden sollen, auf Annahmen, nicht auf wissenschaftlicher Erkenntnis basieren und dass Kombinationseffekte von Schadstoffgemischen nicht adäquat berücksichtigt werden können.

Ein weiterer wichtiger Kritikpunkt, den Braun (2006) benennt, ist, dass der Prozess der Richtwertfindung ohne demokratische Kontrolle abläuft. Er führt aus, dass die Gruppierungen, die über Richtwerte entscheiden, „keine pluralistisch zusammengesetzten, also die Vielfalt der gesellschaftlichen Interessengruppen und Wertesysteme widerspiegelnden Gremien sind.“ Er macht darauf aufmerksam, dass „gerade letzteres, die demokratische Kontrolle und der pluralistische Ansatz angesichts der gravierenden Unsicherheiten bei der toxikologischen Ableitung von Richtwerten unabdingbar ist. Die Entscheidung über Richtwerte ist auch eine Entscheidung über Risiken, denen die Bevölkerung ausgesetzt wird.“ Weiter führt er aus, dass „Innenraum-Richtwerte Gesundheitsrisiken nicht gänzlich ausschließen können; sie sind lediglich Hilfsmittel zur Risikoverminderung. Über das jedem Richtwert somit innewohnende und von der Bevölkerung zu ertragende „Restrisiko“ dürfen nicht reine Expertengruppen im stillen Kämmerlein entscheiden. Spätestens bei der Entscheidung darüber, ob 5 oder 50

zusätzliche Krebstote pro eine Millionen Menschen in Kauf genommen werden, endet die Entscheidungskompetenz von wissenschaftlichen Fachgremien.“

Dass Erkenntnisgewinne zu den toxikologischen Wirkungen von Innenraumschadstoffen aufgrund verschiedener Interessen und Zusammenhänge nicht unbedingt zu einer kritischeren Einschätzung einer Chemikalie führen, soll im Folgenden am Beispiel des Innenraumschadstoffes Formaldehyd näher beleuchtet werden.

2. Entwicklung von Grenz- und Richtwerten für Formaldehyd

2.1 Bewertung von Formaldehydkonzentrationen in der Raumluft

MAK- und AGW-Werte sind gesetzlich geregelte Grenzwerte und gelten für Arbeitsplätze, die der Gefahrstoffverordnung unterliegen (Raumnutzung mit Tätigkeiten mit Gefahrstoffen).

Nach der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) ist der Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) der Grenzwert für die zeitlich gewichtete durchschnittliche Konzentration eines Stoffes in der Luft am Arbeitsplatz in Bezug auf einen gegebenen Referenzzeitraum. Er gibt an, bei welcher Konzentration eines Stoffes akute oder chronische schädliche Auswirkungen auf die Gesundheit im Allgemeinen nicht zu erwarten sind (§ 3 Abs. 6 GefStoffV).

MAK- und AGW-Werte gelten nicht für Innenräume. Laut DIN EN ISO 16000-1 gehören zu den Innenräumen u.a. private Wohn- und Aufenthaltsräume, Räume in öffentlichen Gebäuden (z.B. Kindertagesstätten, Schulen, Krankenhäuser, etc.), Arbeitsräume und Arbeitsplätze in Gebäuden, die nicht gefahrstoffrechtlichen Regelungen unterliegen (z.B. Büros).

2.2 Bewertung von Formaldehydkonzentrationen in der Luft von Innenräumen

Im Jahr 1977 wurde als Reaktion auf die akuten Gesundheitsbeschwerden, die 1976 bei der Schüler- und Lehrerschaft Kölner Schulen auftraten, vom ehemaligen deutschen Bundesgesundheitsamt (BGA) erstmals empfohlen, dass in Innenräumen die Formaldehydkonzentration in der Raumluft von 0,1 ppm nicht überschritten werden sollte (Zwiener 2012). Diese Empfehlung beruhte nicht auf einer toxikologischen Ableitung. Hutter et. al. (kein Datum) führen dazu aus, dass der Empfehlung des BGA 1977 die Vorstellung zugrunde lag, dass ein Minderungsfaktor von 10 zur damaligen Maximalen Arbeitsplatzkonzentration (MAK-Wert) von 1 ppm Formaldehyd ausreichenden Schutz für Risikogruppen in der Allgemeinbevölkerung wie z.B. Kindern, alten und kranken Menschen bieten würde und auch die längere Expositionsdauer in Innenräumen berücksichtigt werden würde.

Auch Zwiener (2012) weist darauf hin, dass es sich bei dem 1977 vom BGA empfohlenen Wert, der auch heute noch seine Gültigkeit hat, formal um einen (behördlich empfohlenen) „Richtwert“– und nicht um einen (vom Gesetzgeber festgelegten) „Grenzwert“ handelt. Er bemängelt, dass in Streitfällen der 0,1 ppm-Wert von Gerichten häufig wie ein verbindlicher Grenzwert angewendet wird und auch das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR), die Nachfolgebehörde des BGA, bisweilen von einem Grenzwert spricht.

1980 nahm die Diskussion um die krebserzeugende Wirkung von Formaldehyd ihren Anfang, nachdem bei Ratten und Mäusen nach Langzeitexposition Tumore festgestellt worden waren (Zwiener 2012). 1984 wurde der Richtwert von 0,1 ppm vom Bundesgesundheitsamt und der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und dem Umweltbundesamt bestätigt (Umweltbundesamt, 2006). Im gleichen Jahr wiesen BGA und Bundesgesundheitsministerium Meldungen zurück, wonach Formaldehyd krebsauslösend sein sollte (Appel 2006).

Der Österreichische Produktsicherheitsbeirat legte 1985 die maximal zulässige Belastung für die Innenraumluft mit 0,1 ppm fest. Dazu zog die Kommission für Reinhaltung der Luft der Österr. Akademie der Wissenschaften den zu dieser Zeit aus Tierversuchen belegten NOEL (no observed effect level) von 2 ppm heran (Österr. Akademie der Wissenschaften, 1997). Der NOEL folgt toxikologischen und statistischen Bewertungskonzepten.

Die AGÖF (2013) gibt zu bedenken, dass toxikologisch abgeleitete Bewertungskonzepte äußerst kritisch zu beurteilen sind: Hierbei werden Versuchstiere verschiedenen hohen Konzentrationen einer Substanz ausgesetzt. Anschließend wird diejenige Konzentration, bei der keine Gesundheitsschädigungen am Tier zu sehen ist, festgehalten. Dieser Wert wird mit einem „Unsicherheitsfaktor“ verrechnet. Bei Versuchstieren lassen sich jedoch nicht alle Gesundheitsbeschwerden, wie z.B. Kopfschmerzen, Konzentrationsstörungen oder Übelkeit nachweisen. Bei statistisch abgeleiteten Bewertungen wird aus „einer größeren Zahl von repräsentativen Untersuchungen eine „übliche, durchschnittlich existierende“ Schadstoffbelastung der Innenraumluft ermittelt und als „normal“ definiert.“ Auch diese Methode ist äußerst fragwürdig (AGÖF, 2013).

1987 wurde der MAK-Wert für Formaldehyd auf 0,5 ppm (0,6 mg/m³) abgesenkt. Zwiener (2012) führt hierzu aus, dass entgegen der allgemeinen Erwartung (auch auf Seiten der Gesundheitsämter) 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, führte. „Vielmehr präzisierte das damalige BGA 1988 die Empfehlung lediglich dahingehend, dass die Formaldehyd-Konzentrationen in der Raumluft zur Vermeidung von Gesundheitsschäden und Geruchsbelästigungen auch kurzzeitig 0,1 ppm nicht überschreiten sollten [BGA 1998]. Diese Haltung verringerte die Glaubwürdigkeit und das Vertrauen in den Empfehlungswert weiter“ [Sagunski 2006].“ (zitiert aus Zwiener 2012, S.275 Abs. 5)

Bereits 1991 stufte die Umweltbehörde EPA der USA Formaldehyd in die Gruppe B1 als „wahrscheinlich krebserregend“ ein. Hierbei wurden zum einen Daten aus Tierversuchen ausgewertet, bei denen ausreichende Beweise für den Zusammenhang von Krebs und Formaldehyd vorliegen, zum Anderen Humandaten aus neun Studien, die den Verdacht nahelegen, dass Formaldehyd Krebs auslöst (EPA, 1989).

In einem Urteil des Oberlandesgerichtes Nürnberg aus dem Jahre 1992, welchem in Fachkreisen viel Beachtung geschenkt wird, entschied dieses, dass die Formaldehydkonzentration in der Innenraumluft eines Fertighauses erst unterhalb von 0,025 ppm als unbedenklich anzusehen ist. (Dies ist ein Viertel des BGA-Richtwertes) (Nürnberg, Oberlandesgericht 1992).

Zwiener (2012) vermerkt hierzu, dass sich das Gericht damit bewusst vom Richtwert des BGA absetzte und begründet dies insbesondere damit, „dass der vom Gericht beauftragte Gutachter die krebserzeugende Wirkung von Formaldehyd bejaht hatte. Das BGA kritisierte dies mit den Worten: „Dieser Ansicht kann sich das Bundesgesundheitsamt nicht anschließen“ ... Vielmehr „sind die vorliegenden Daten nicht geeignet, eine kanzerogene Wirkung am Menschen zu begründen.“ In seiner Erwiderung auf das Urteil bestätigte das BGA zugleich die Gültigkeit des Innenraum-Richtwertes von 0,1 ppm.“ (zitiert aus Zwiener 2012, S. 276 Abs. 2)

Im Jahr 1993 wurde vom BGA gefordert zu prüfen, inwieweit formaldehydemittierende Baustoffe, auch wenn sie die gesetzlich verankerten Produkthanforderungen der E1 Norm erfüllen, „wegen ihrer stark von Temperatur und Luftfeuchte abhängigen Emission überhaupt eingesetzt werden können (Zwiener 2012).

Zwiener 2012 führt hierzu aus, dass das BGA dabei insbesondere auf Unterrichtsräume/Hörsäle und Büroräume Bezug nahm, 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 Material 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].“ (zitiert aus Zwiener 2012, S.275, Abs. 7)

1995 stufte die Internationale Krebsforschungsagentur (International Agency for Research on Cancer, IARC) der WHO Formaldehyd in die Gruppe 2A „wahrscheinlich krebserzeugend beim Menschen“ ein, vier Jahre, nachdem dies bereits durch die EPA der USA geschehen war. Schließlich wurde Formaldehyd 1996 in der EU mit der 22. Anpassung der Richtlinie 67/548/EWG als krebserzeugender Arbeitsstoff der Kategorie 3 („Verdacht auf krebserzeugende Wirkung“) eingestuft.

Im Jahr 2000 wird Formaldehyd von der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe in die Kategorie 4 der krebserzeugenden Stoffe eingestuft („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“) (Umweltbundesamt, 2006).

Das Regionalbüro Europa der Weltgesundheitsorganisation WHO veröffentlichte im Jahr 2000 ebenfalls Luftqualitätsrichtwerte für Formaldehyd. Zwiener 2012 führt dazu aus: „Diese Werte können nach der Art ihrer wirkungsbezogenen Ableitung sowohl für die Außen- als auch für die Innenraumlufthinangezogen werden. Der Kurzzeitwert (30 Min.) für Formaldehyd wurde mit 100µg/m³ (0,082 ppm) festgelegt [WHO 2000]. Bereits 1983 hatte die WHO einen vorläufigen Wert von 60 µg/m³ (0,05 ppm) veröffentlicht, der keinen oder nur geringen Anlass zur Sorge für die menschliche Gesundheit gibt („concentration of limited or no concern“) [WHO 1983]. Es ist unklar, ob dieser Wert noch gültig ist.“ (zitiert aus Zwiener 2012, S. 276, Abs.6)

2004 stufte eine Arbeitsgruppe der Internationalen Krebsforschungsagentur IARC Formaldehyd von Gruppe 2A (wahrscheinlich krebserregend) in Gruppe 1 (krebserregend beim Menschen) ein (IARC, 2004).

Zwiener (2012) führt hierzu weiter aus: „Zudem kam die IARC zu dem Schluss, dass die Ergebnisse der epidemiologischen Studien auf eine Assoziation zwischen der inhalativen Formaldehyd-Exposition am Arbeitsplatz und der Entstehung von Leukämie hindeuten („there is strong but not sufficient for a causal association between leukaemia and occupational exposure to formaldehyde“) [IARC 2004].“ (zitiert aus Zwiener 2012, S. 277 Abs. 1)

„Im Abschlussbericht der EU-Kommission „Kritische Bewertung der Aufstellung und Implementierung von Innenraum-Grenzwerten in der EU“ (INDEX-Projekt) vom Januar 2005 wird Formaldehyd (gemeinsam mit Benzol, Acetaldehyd, Kohlenmonoxid und Stickstoffdioxid) zu den gefährlichsten („most hazardous“) Stoffen in der Innenraumlufthin gezählt und in Gruppe 1 „Hohe Priorität“ eingestuft. Wegen der ubiquitären Vorkommen in der Innenraumlufthin und den zunehmenden Hinweisen, dass Kinder hinsichtlich der Atemwegstoxizität von Formaldehyd empfindlicher sein könnten als Erwachsene, wurde ein Innenraum-Richtwert von 1µg/m³

abgeleitet, eine Konzentration, die in etwa der Außenluft-Konzentration in ländlichen Gebieten entspricht [Europa Commission 2005].“ (zitiert aus Zwiener 2012, S. 277 Abs. 2)

„Anfang 2006 stellte Sagunski (Mitglied der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes) „Überlegungen zur Festsetzung von Richtwerten für Formaldehyd in der Innenraumluft“ an. Sagunski schlug – „angesichts nicht völlig ausräumende Unsicherheiten bei einer Untersuchung von Kindern, ferne 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 beispielweise kurzkettigen Aldehyden wie Acetaldehyd oder Acrolein“ – einen Innenraum-Richtwert II (Gefahren Richtwert) von $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,08 ppm) vor.

Unter Verwendung eines Sicherheitsabstands von 3 leitet Sagunski einen Richtwert I (Vorsorge-Richtwert) von $0,03 \text{ mg}/\text{m}^3$ (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].“ (zitiert aus Zwiener 2012, S. 277 Abs. 3)

Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) nahm 2006 die von 2004 erfolgte Einstufung der IARC zum Anlass, die Risiken (insbesondere in Bezug auf Krebs) neu zu bewerten und schloss sich schließlich der Meinung der IARC an, dass eine inhalative Formaldehyd-Exposition beim Menschen zu Tumoren der oberen Atemwege führen kann. In Bezug auf eine mögliche krebserzeugende Wirkung ist das BfR jedoch der Auffassung, dass die Einhaltung einer Formaldehyd-Konzentration von 0,1 ppm dennoch als „sichere Konzentration“ in Innenräumen gelten kann, die das Krebsrisiko nicht nennenswert erhöht. (BfR, 2006).

Zwiener (2012) führt hierzu aus: „Mit der Festlegung eines toxikologischen begründeten Schwellenwertes für einen krebserzeugenden Stoff hatte das BfR erstmals einen neuen Konzeptionellen Ansatz gewählt. Denn eigentlich geht man bei der Bewertung von kanzerogenen Stoffen davon aus, dass aufgrund der durch sie verursachten Veränderungen der Erbsubstanzen DNA jede 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 das krebserzeugenden Formaldehyd wurde durch das BfR damit begründet, dass der kanzerogenen Wirkung des Stoffes zwei 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 Konzentration zur Tumorentwicklung.“ (zitiert aus Zwiener 2012, S. 277 Abs. 6 und S. 278 Abs. 1)

„Die Ad-hoc-Arbeitsgruppe IRK/AOLG6 schloss sich 2006 den Überlegungen des BfR an und kam ebenfalls zu der Überzeugung, dass die Neueinstufung durch die IARC keine Änderung des Richtwertes für Formaldehyd in der Innenraumluft von 0,1 ppm erforderlich macht. Bei einer Luftkonzentration bis zu diesem Wert wird praktisch kein erhöhtes Risiko der Tumorentwicklung erwartet [UBA 2006]. Bei wiederholter, deutlicher Überschreitung des Wertes können dagegen gesundheitliche Risiken bestehen. Damit wurde 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.“ (zitiert aus Zwiener 2012, S. 278 Abs. 2)

„Leider wurde bei der Neubewertung 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 (Interventionswert) abzuleiten. So ist es für Formaldehyd bei einer mit dem Basisschema „Richtwerte für die Innenraumluft“ (Bundesgesundheitsbl. 11/96) nicht kompatiblen Bewertungsgrundlage geblieben.“ (zitiert aus Zwiener 2012, S. 278 Abs. 3)

Der MAK-Wert von 0,5 ppm wurde 2006 im Zuge der Überarbeitung der TRGS 900 zur Anpassung an die neue Gefahrstoffverordnung ausgesetzt. Übergangsweise wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und dem Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitsschutz (BGIA) ein Wert für die Maximale Arbeitsplatz-Konzentration von 0,3 ppm empfohlen, der gesetzlich nicht bindend war.

Zu einer neuen Einstufung von Formaldehyd kam es 2007 in Frankreich. Zusammen mit Benzol, Dichlorvos, Acetaldehyd, Feinstaub, Radon und DEHP wurde es in einer 4 stufigen Prioritätenliste in die höchste Kategorie („substances hautement prioritaires“) eingestuft (Zwiener 2012). Im gleichen Jahr wurden von der Französischen Agentur für Umwelt Richtwerte für die Innenraumkonzentration von Formaldehyd aufgestellt, welche mit nur 0,008 ppm ($10\mu\text{g}/\text{m}^3$) Langzeitexposition einem Zwölftel des deutschen Richtwertes entspricht (AFSSET, 2007).

Im Jahre 2008 wurde von der kalifornischen Behörde OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment), welche zuständig ist für die Bewertung umweltbedingter Gesundheitsrisiken für Büro- und Schulräume, ein Zielwert für die Formaldehyd-Konzentration in Innenräumen festgelegt, in Höhe von $9\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dieser ist definiert als die Konzentration, bei der bei lebenslanger Exposition, keine nachteiligen gesundheitlichen Wirkungen anzunehmen sind. Da dieser Wert jedoch schwer einzuhalten ist, wurde ein Richtwert von $29\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,02 ppm) festgelegt (OEHHA).

Nach Zwiener (2012) gilt unabhängig davon das ALARA-Prinzip: „so niedrig wie (vernünftigerweise) erreichbar“ (as low as reasonable 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-Gedanken liegt z.B. dem in Deutschland verankerten Reinheitsanspruch für das Trinkwasser zugrunde.“ (zitiert aus Zwiener 2012, S. 279 Abs.1)

2009 kam das National Institute of Environmental Health Science (NIEHS) der USA zu dem Schluss, dass vorliegende Forschungsergebnisse darauf hinweisen, dass es eine signifikante Assoziation zwischen Formaldehyd-Exposition und Asthma bei Kindern gibt (McGwin, 2009)

Das schweizerische Bundesamt für Gesundheit wies 2010 darauf hin, dass die Einhaltung eines Richtwertes nicht gleichzusetzen sei, mit einer guten Raumluftqualität, weshalb die Belastungen mit Formaldehyd in Wohnräumen vorsorglich so gering wie möglich gehalten werden sollen (BAG, 2010).

Statistisch abgeleitete Bewertungskonzepte, wie die AGÖF-Orientierungswerte gehen einen anderen Weg als toxikologisch hergeleitete Richtwerte. Aus den Ergebnissen einer möglichst großen Anzahl von Raumluft- und Hausstaubanalysen werden Referenzwerte sog. Perzentile errechnet, also Belastungswerte, die von einem bestimmten Anteil des betrachteten Datenkollektivs unterschritten werden. Die Bewertung eines konkreten gesundheitlichen Risikos ist mit den Orientierungswerten nicht möglich.

Maraun (2006) führt hierzu aus: „Eine Auffälligkeit beschreibt ein von den Durchschnitts- oder Normalverhältnissen abweichendes Ereignis. Im Sinne einer Belastungsbeurteilung stellen hohe Substanzkonzentrationen in Innenraumproben, sei es Raumluft oder Hausstaub, zuerst einmal eine interpretationswürdige Situation dar. (...) Eine immanente Bedeutung von Auffälligkeit eines Messwertes impliziert bereits die Erfordernis, den vorgefundenen Zustand einer Beurteilung zu unterziehen. Es gilt dabei die Bedeutung dieser ungewöhnlichen Situation festzustellen und daraus Schlüsse für ein Handeln oder auch ein Nichthandeln abzuleiten. Daraus leitet sich die Grundlage für Maßnahmenentscheidungen ab. Je nach Substanz, deren physikalisch-chemische Eigenschaften und der Kenntnis über deren technischen Einsatz kann das weitere

Vorgehen z.B. in der Durchführung von Raumluftmessungen, in der Beprobung und Untersuchung von Verdachtsmaterialien für die Quellenidentifizierung oder in Reinigungsmaßnahmen zur Beseitigung einer Verunreinigung bestehen.“ (zitiert aus Maraun (2006), S. 23)

Die AGÖF (2013) bezeichnet Konzentrationen oberhalb des 90. Perzentilwertes als auffällig und führt hierzu aus: „Er beschreibt eine Überschreitung von in Innenräumen üblichen Konzentrationen und deutet damit auf die Existenz einer entsprechenden Emissionsquelle hin.“ (zitiert aus AGÖF 2013, S.16 Abs. 9)

Als Zielwert für die Konzentration von Formaldehyd in der Raumluft nennt die AGÖF $12,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und bezeichnet diesen als Wert, „der unter dem Gesichtspunkt des Minimierungsgebotes und insbesondere wegen der Reizwirkung und schleichenden Allergenisierung in Innenräumen nicht überschritten werden sollte.“ (Zitat vgl. Internet unter <http://agoef.de/agoef/schadstoffe/formaldehyd.html>, zuletzt geprüft im Februar 2015).

In den AGÖF-Orientierungswerten für flüchtige organische Verbindungen in der Raumluft von 2013 wurde zusätzlich zum Auffälligkeitwert ein Orientierungswert abgeleitet. Bzgl. des Orientierungswertes für Formaldehyd führt die AGÖF (2013) dazu aus:

„Der AGÖF-Orientierungswert entspricht in den meisten Fällen dem Auffälligkeitwert und damit dem 90. Perzentil. (...)Eine Absenkung des Orientierungswertes gegenüber dem Auffälligkeitwert erfolgte für die Parameter Formaldehyd (...), da bei anlassbezogenen Messungen für gezielt erhobene Einzelparameter (Einzelstoff bzw. Summenwert) höhere Konzentrationen ermittelt werden, als dies für Einzelstoffe innerhalb von Screeninguntersuchungen der Fall ist.“ (zitiert aus AGÖF 2013, S. 13 Abs.7 und S. 14 Abs. 2)

In den AGÖF-Orientierungswerten für flüchtige organische Verbindungen in der Raumluft von 2013 liegt der Auffälligkeitwert für Formaldehyd bei $81,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und der Orientierungswert wird mit $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ angegeben (AGÖF 2013).

Jüngste Bestrebungen der ECHA führen dazu, dass in der anstehenden Novellierung der Verordnung 1272/2008/EWG die Kennzeichnungspflichten für Formaldehyd dahingehend verändert werden, als dass die Einstufung bezüglich der krebserzeugenden Wirkung auf „wahrscheinlich krebserregend“ erhöht wird und erstmals eine Einstufung für die Mutagenität von Formaldehyd erfolgt. Dies weist auf einen Trend hin zur Erkenntnis, dass Formaldehyd als ein ubiquitär verbreitetes Humankarzinogen eingestuft werden muss.

Die lang diskutierte Neueinstufung von Formaldehyd wurde mit der Verordnung EU 605/2014 der Kommission vom 5. Juni 2014 zur Änderung der Verordnung EU 1272/2008 (CLP-V) veröffentlicht: Ab dem 1. April 2015 wird der Anhang VI dieser Verordnung dahingehend geändert, dass Formaldehyd als Carc. 1B und Muta. 2 gekennzeichnet werden muss. Die Kategorie 1B besagt, dass die krebserregende Wirkung im Tierversuch nachgewiesen wurde und beim Menschen wahrscheinlich ist. Die Einstufung erfolgt überwiegend aufgrund von Nachweisen bei Tieren. Formaldehyd war bis dato in Deutschland mit dem Verdacht auf karzinogene Wirkung bzw. als „möglicherweise krebserregend“ in Kategorie 3 nach 67/548/EWG (alte Kennzeichnung) und Kategorie 2 nach EG 1272/2008 (neue Kennzeichnung) eingestuft.

Im Februar 2015 wurde ein Arbeitsplatzgrenzwert (AGW-Wert) von 0,3 ppm ($0,37 \text{ mg}/\text{m}^3$) in einer Änderung und Ergänzung der TRGS 900 "Arbeitsplatzgrenzwerte" bekannt gegeben.

Ab 1. Januar 2016 ist Formaldehyd in die Gefahrenklassen Karzinogen/Kategorie 1B und Keimzellmutagen/Kategorie 2 eingestuft. Damit gilt Formaldehyd jetzt offiziell als krebserregend.

3. Einflussfaktoren auf die Formaldehydkonzentration am Beispiel der Holzwerkstoffe

Im Bereich der Innenraumluftschadstoffe spielt Formaldehyd vor allem im Zusammenhang mit der Verwendung von Holzwerkstoffplatten / Spanplatten eine Rolle, da bei deren Herstellung häufig formaldehydhaltige Leime verwendet werden. Verantwortlich für die Formaldehydabgabe eines Holzwerkstoffes sind neben der Leimart, die Leimauftragsmenge, die Pressbedingungen (Temperatur und Zeit) und die Holzinhaltsstoffe. Holzwerkstoffplatten werden z.B. im Innenausbau von Gebäuden (Wand-, Decken- und Fußbodenaufbau) in Bodenbelägen (Laminat, Klick-Parkett, usw.) sowie bei der Herstellung von Möbeln verwendet. Das Formaldehyd dünstet aus den Materialien über ihre gesamte Lebensdauer aus und führt zu einer Belastung der Innenraumluft. (Hutter et al.)

Die Intensität der Formaldehydabgabe aus Holzwerkstoffplatten ist nach Zwiener (2012) dabei abhängig von einer Reihe von Faktoren. Die wichtigsten sind:

- Verhältnis der Fläche der verbauten formaldehydhaltigen Holzwerkstoffe zum Raumvolumen; Die Formaldehydkonzentration nimmt mit der Menge der Holzwerkstoffe oder sonstiger relevanter Bauprodukte im Raum zu.
- Raumlufttemperatur; die Formaldehydkonzentration nimmt mit zunehmender Raumlufttemperatur zu.
- Luftfeuchte; die Formaldehydkonzentration nimmt mit zunehmender Luftfeuchte zu.
- Luftwechselzahl; die Formaldehydkonzentration nimmt mit zunehmender Frischluftzufuhr ab.

An exponierten Stellen können z.B. durch Heizwärme oder durch Sonneneinstrahlung hohe Temperaturen entstehen, welche die Formaldehydabgabe aus Holzwerkstoffplatten stark erhöhen. Auch nutzungsbedingte Feuchtebelastungen im Innenraum, wie z.B. kochen, waschen, duschen, oder Durchfeuchtungen bei Wasserschäden können die Emissionen aus diesen Materialien deutlich verstärken.

Dies bedeutet, dass in Abhängigkeit von der Gesamtmenge des Formaldehyds in Holzwerkstoffen sowohl die Raumluftparameter (Feuchtigkeit, Wärme, Luftdruck), insbesondere die Luftfeuchtigkeit als auch die Nutzungsbedingungen erheblichen Einfluss auf die Ausdünstung von Formaldehyd aus vorhandenen Quellen haben.

Für die Abgabe von Formaldehyd gelten für alle Holzwerkstoffe die Vorschriften der Chemikalienverbotsverordnung. In ihr ist festgelegt, dass in Deutschland keine Holzwerkstoffe auf den Markt gebracht werden dürfen, die mehr als 0,1 ppm Formaldehyd in die Luft einer Prüfkammer emittieren. Der Grenzwert der Chemikalien-Verbotsverordnung bezieht sich auf den Prüfkammerwert.

In der DIBt-Richtlinie 100 werden Holzwerkstoffe in verschiedene Emissionsklassen eingeteilt. Die Emissionsklasse E₁ kennzeichnet unbeschichtete und beschichtete Holzwerkstoffplatten, die geeignet sind, bei der Untersuchung in einer Prüfkammer eine Ausgleichskonzentration von max. 0,1 ml/m³ (ppm) Formaldehyd einzuhalten. Die Angabe der Emissionsklasse E₁ bestätigt dass der Grenzwert (Prüfkammerwert) der Chemikalien – Verbotsverordnung eingehalten wird.

Zwar dürfen in Deutschland nur Werkstoffe in Verkehr gebracht werden, welche diesen Wert nicht überschreiten, jedoch ist zu beachten, dass in durchschnittlichen Haushalten meist mehr als nur eine Formaldehydquelle vorhanden ist (Fußboden, Holzmöbel, Spanplatten etc.). Wenn jedes Bauelement und jeder Einrichtungsgegenstand 0,1 ppm Formaldehyd an

die Innenraumluft abgibt, ist der Grenzwert von 0,1 ppm für die Innenraumluft wohl kaum einzuhalten (Ministerium für Umwelt).

Für Borowski et. al. (2012) besteht Handlungsbedarf zur Anpassung des Prüfverfahrens für Holzwerkstoffe. Sie führen an, dass sich in den letzten 20 bis 30 Jahren die Wohnverhältnisse verändert haben und die Gebäude viel luftdichter geworden sind, was einen deutlich geringeren Luftwechsel mit sich bringt. Aus diesem Grund muss insbesondere der Luftwechsel und die Beladung in der Prüfkammer an die realen Wohnbedingungen angepasst werden, damit sichergestellt ist, dass die 0,1ppm nicht nur in der Prüfkammer, sondern auch in der Innenraumluft sicher eingehalten werden, auch unter Berücksichtigung der Tatsache, dass noch weitere Formaldehyd-Quellen zur Innenraumbelastung beitragen können.

Auch Hill (2015) sieht ein Problem darin, dass in vielen Häusern und öffentlichen Einrichtungen wie Schulen, Maßnahmen zur Energieeinsparung getroffen wurden, wie z.B. neue Fenster und dadurch eine verminderte natürliche Belüftung stattfindet. So wird der Luftaustausch beschränkt und Schadstoffe wie Formaldehyd können so länger in Gebäuden verbleiben

Für eine Reihe von Bauprodukten - derzeit handelt es sich vor allem um Bodenbeläge und Wandverkleidungen - schreibt das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) eine Untersuchung nach dem Bewertungsschema des Ausschusses zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB) vor, um die Belastung der Raumluft durch Emissionen aus diesen Produkten zu reduzieren. Dieses Schema sieht Messungen der Emissionen flüchtiger organischer Stoffe (VOC) und die Einhaltung verschiedener stoffspezifischer Grenzwerte (NIK) sowie auch von Summenparametern vor. In der neuen Fassung des AgBB-Bewertungsschemas vom März 2015 ist Formaldehyd erstmals aufgenommen und mit einem NIK-Wert versehen worden. Hiermit reagiert der AgBB auf die zunehmend kritische Bewertung dieser Stoffe. (natureplus, 2015)

Der Presseerklärung von natureplus zur neuen Fassung des AgBB-Bewertungsschemas vom 11.03.2015 ist speziell zur Einstufung von Formaldehyd zu entnehmen, dass sich der AgBB wie folgt geäußert hat: "Obwohl auch weiterhin Cancerogene der Kategorien 1a und 1b nach Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 nach 3 Tagen nicht mit mehr als 10 µg/m³ sowie nach 28 Tagen nicht mit mehr als 1 µg/m³ emittieren dürfen und Formaldehyd inzwischen als Cancerogen der Kategorie 1b eingestuft wird, fällt Formaldehyd nicht in die Bewertung der Cancerogene. Hier wurde ein NIK-Wert von 100 µg/m³ festgesetzt."

In der Presseerklärung von natureplus vom 11.03.2015 wird die neue Fassung des AgBB-Bewertungsschemas wie folgt kommentiert:

„Unter gesundheitlichen Aspekten also aus Sicht des Verbrauchers gute und weniger erfreuliche Nachrichten. Denn die Aufnahme von VVOC in die Baustoffzulassung ist ein Fortschritt, der neue NIK-Wert für Formaldehyd stellt auch eine Verschärfung der bisherigen Regel dar, die allein bei Holzwerkstoffen zur Klassifizierung als "E1" einen Grenzwert von 120 µg/m³ fordert. Diese Regel wird jetzt (leicht verschärft) für alle möglichen Materialien festgeschrieben. Allerdings dürfte sich für die meisten Holzwerkstoffe nichts ändern, weil sie nicht unter die Prüfung nach AgBB-Schema fallen.

Andererseits wird in Fachkreisen schon seit längerem dieser E1-Grenzwert als zu lasch angesehen. Der Blaue Engel fordert aktuell 60 µg/m³ und natureplus hat produktspezifische Grenzwerte zumeist zwischen 24 und 36 µg/m³. Wegen der krebserregenden Wirkung hatte man in der Fachwelt eigentlich eine stärkere Absenkung der Formaldehyd-Grenzen erwartet. "Dieser AgBB-Wert nimmt immer noch zu viel Rücksicht auf die Industrie, wo vor allem bei Holzwerkstoffen immer wieder einmal hohe Formaldehyd-Belastungen nachweisbar sind", meint deshalb natureplus-Geschäftsführer Thomas Schmitz.“

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. Wichtige Quellen für die Belastung der Innenraumluft mit Formaldehyd können u.a. Holzwerkstoffe, Isolierschäume, Mineralwolle, Lacke, insbesondere säurehärtende Lacke, Farben und Kleber, Textilien und Teppichböden. Beim Heizen und Kochen mit Holz und Gas entsteht ebenso Formaldehyd wie beim Verbrennen von Tabak. (Hutter et.al. ohne Datum) Auch Kinderspielzeug aus Holz kann belastet sein, da viele Holz-Spielzeuge behandelt sind und mit Formaldehyd-haltigem Kleber hergestellt wurden (Hausmann).

Zwiener (2012) berichtet davon, dass Holzspielzeug erhebliche Mengen Formaldehyd abgeben kann. Er führt auf, dass im Frühjahr 2010 eine Textildiscountkette ein aus China importiertes Bastelset zurückrief, das fast 0,1% Formaldehyd enthielt und auch die Stiftung Warentest bei der Untersuchung von Holzspielzeug festgestellt hat, dass diese deutlich mit Formaldehyd belastet waren. Zwiener (2012) zitiert die Stiftung Warentest mit den Worten: „Spielzeug wird nur sicherer werden, wenn die Hersteller aufhören, sich nur am lückenhaften Gesetz festzuhalten, sondern aktiv nach alternativen, unkritischen Stoffen suchten.“ (zitiert aus Zwiener 2012, S.288, Abs.4)

Daraus ist zu schließen, dass Formaldehydquellen in Kinderzimmern schwere gesundheitliche Folgen haben können.

4. Bewertung tierexperimenteller Verfahren zur Festlegung von Grenz- und Richtwerten

Gerade bei den vielen unterschiedlichen Gesundheitsbeschwerden, welche beim Menschen auf Grund einer zu hohen Formaldehydbelastung auftreten, ist es schwierig, diese auf Mäuse oder Ratten zu übertragen.

Formaldehyd, welches inhalativ aufgenommen wird, wird wegen seiner guten Wasserlöslichkeit hauptsächlich im oberen Respirationstrakt eingelagert und absorbiert. Da der Mensch ein Mund-Nase-Atmer ist, geschieht dies in der Mund-, Rachen- und Nasenschleimhaut, aber auch in der Trachea und in den proximalen Bronchien. Bei Nasenatmern, wie der Maus/Ratte, ist jedoch hauptsächlich die Nasenpassage betroffen. Bei der Bewertung von Tierversuchen sollte dies unbedingt berücksichtigt werden. (Hutter et.al. ohne Datum)

Es gestaltet sich schwierig, Beschwerden wie Kopfschmerzen, Übelkeit, Konzentrationsstörungen oder leichtes Unwohlsein bei Nagern zu messen/ zu bewerten. Dies sind jedoch Beschwerden, die von Menschen genannt werden, die in Innenräumen gegenüber Formaldehyd (chronische Belastung im Niedrigdosisbereich) exponiert sind.

5. Gesundheitsbeschwerden

Ein Problem bei der Frage, ab welchen Konzentrationen Formaldehyd sich auf die Gesundheit auswirkt ist, dass in kontrollierten Untersuchungen an Menschen bisher überwiegend Expositionen über 0,5 ppm geprüft wurden (Andersen I, 1983). Diese Tatsache ist äußerst kritisch zu beurteilen, denn auch bei niedrigeren Dosen können bereits erhebliche negative Effekte auf die Gesundheit festgestellt werden.

Die Schadstoffberatung Tübingen (2006) gibt Konzentrationen an, bei denen Wirkungen von Formaldehyd bei kurzfristiger Exposition (Aufnahme inhalativ über Luft) bereits vorhanden sind. Sie sind in folgender Tabelle zusammengefasst:

Wirkungen von Formaldehyd bei kurzfristiger Exposition

(Aufnahme inhalativ über die Luft)

Konzentration	physiologische Erscheinungen
0,05 - 0,125 ppm (60 – 150 µg/m ³)	Geruchsschwelle
0,01 - 1,6 ppm (12 - 1920 µg/m ³)	Schwelle für Reizung der Augen
0,08 - 1,6 ppm (96 - 1920 µg/m ³)	Reizung der Nasenschleimhäute
0,5 ppm (600 µg/m ³)	Schwelle für Reizung der Kehle
2,0 – 3,0 ppm (2400 - 3600 µg/m ³)	Stechen in Nase, Augen und hinterem Rachen
4,0 – 5,0 ppm (4800 - 6000 µg/m ³)	30 Minuten erträglich, zunehmend Unbehagen und Tränenfluss
10,0 – 20,0 ppm (12000 - 24000 µg/m ³)	nach wenigen Minuten Tränenfluss, bis 1 Stunde nach Exposition Atemnot, Husten, Brennen in Nase und Kehle
30,0 ppm	Lebensgefahr, toxisches Lungenödem

(1 ppm = 1,2 mg/m³ Formaldehyd)

Betrachtet man die in der oberen Tabelle aufgeführten Konzentrationen, so fällt auf, dass bereits bei deutlich niedrigeren Konzentrationen als 0,1 ppm physiologische Erscheinungen auftreten können. So beginnt die Geruchsschwelle für Formaldehyd bei 0,05 ppm (60 µg/m³) und die Schwelle für Reizungen der Augen bei 0,01 ppm (12 µg/m³).

Gerade in Innenräumen sind die Niedrigdosiseffekte und die Langzeitwirkungen von Expositionen gegenüber Formaldehyd zu beachten. Schwierig ist es auch, die Langzeitwirkung von Formaldehyd-Expositionen festzustellen, denn Erkrankungen wie z.B. Krebs treten unter Umständen erst Jahrzehnte nach einer Exposition auf.

Laut einer Studie von Kryzanowski et al., bei der auch geringere Expositionen gegenüber Formaldehyd überprüft wurden, nahm die Prävalenz von chronischer Bronchitis und Asthma im Expositionsbereich von 0,06 ppm und 0,14 ppm bei 298 Kindern zu. Dies spricht dafür, dass (besonders bei Kindern) auch Formaldehyd-Expositionen deutlich unter dem vom BfR festgelegten Richtwert von 0,1 ppm Gesundheitsbeschwerden verursachen können (Kryzanowski, 1990). Eine australische Fall-Kontroll-Studie an 88 Kindern zeigte ebenfalls ein erhöhtes Risiko an Bronchialasthma zu erkranken, ab einer Formaldehyd-Konzentration von 0,05 ppm (Rumchev, 2002).

Hill (2015) äußert sich bezüglich der Belastung von Kindern mit Umweltgiften und Schadstoffen insgesamt. Er kommt zu dem Schluss, dass Kinder hier gesondert zu betrachten sind. Denn Kinder reagieren wegen der physiologischen Unterschiede anders als Erwachsene auf Umweltgifte und Schadstoffe. Säuglinge und Kinder haben z.B. ein höheres Atemminutenvolumen als Erwachsene und so kommt es bezogen auf das Körpergewicht zu

höheren inhalativen Dosen. Dies führt zu einer verhältnismäßig höheren Schadstoffaufnahme. Auch die Schadstoffausscheidung ist bei Kindern im Durchschnitt 2 Mal langsamer als bei Erwachsenen. Manche Organe sind außerdem empfindlicher gegenüber Schadstoffen (Hill, 2015). Durch ihre erhöhte Stoffwechselrate nehmen Kinder generell mehr Schadstoffe auf (Hausmann).

Hill (2015) führt weiter aus, dass die Organe sich bei Kindern von der Geburt bis zum Abschluss der Pubertät entwickeln und in dieser Phase anfälliger für toxische Schädigungen sind. Besonders in kritischen Entwicklungsphasen von Gehirn oder Geschlechtsorganen kann es dann zu irreversiblen Schäden kommen. Aus Sicherheitsgründen wurde deshalb für Kinder bereits in mehreren Ländern ein Schutzfaktor 2 beschlossen, d.h. bei gleicher Schadstoffaufnahme wird für Kinder ein zweifach erhöhtes Risiko angenommen, als bei Erwachsenen. In Deutschland gilt diese Regelung leider nicht. (Hill, März 2015, S. 243).

Kinder an belasteten Schulen und Wohnungen sind besonders betroffen, da die langfristige Gesundheit durch frühzeitiges Einwirken von Schadstoffen gefährdet werden kann (Hill, März 2015, S. 10).

Bei Kindern besteht ein höheres Risiko durch Umweltbelastungen an Krebs zu erkranken als bei Erwachsenen.

Eine Exposition gegenüber Schadstoffen insgesamt kann auch die Intelligenz von Kindern beeinträchtigen, indem Gehirnentwicklung und Motorik geschädigt werden. (Hill, März 2015, S. 243).

Bezogen auf das Schulumfeld sind auch Lehrer von den gesundheitlichen Auswirkungen von Innenraumschadstoffen betroffen. So sind den Berichten von Lehrern aus mit Holzschutzmittel oder PCB belasteten Schulen zu entnehmen, dass die gesundheitlichen Symptome von nicht betroffenen Kollegen oft nicht ernst genommen werden. Die Erkrankungen werden oft von Ärzten und Kollegen als eingebildet angesehen. Betroffene gelten als faul und überfordert. (Hill, 2015)

Hill (2015) äußert sich zum Spießrutenlauf von auf solche Art und Weise erkrankten Lehrern treffend: „Da psychosomatische Krankheitsbilder nur schwer von den durch Chemikalien ausgelösten chronischen Krankheitsverläufen wie „Sick Building-Syndrom“, MCS (...), CFS (...) oder einer toxischen Enzephalopathie (TE) zu unterscheiden sind, weichen viele Hausärzte und klinische Mediziner auf eine einfache Erklärung aus: Der Patient/die Patientin ist selbst schuld, dass er/sie sein Leben nicht „positiv“ sieht und eine angebliche Chemikalienbelastung zum Anlass nimmt, seine Leistungsschwäche und sein Versagen im Alltag und Beruf auf äußere Umstände und die Mitmenschen zu schieben, anstatt sich an die eigene Nase zu fassen.“ (Hill, 2015, S. 222f.)

In Innenräumen haben wir es in der Regel mit Schadstoffgemischen zu tun, sodass eine Fokussierung auf Einzelstoffkonzentrationen wie z.B. Formaldehyd zur Lösung einer Gesamtproblematik oft nicht geeignet ist. Aus einer Studie von Prof. Irene Witte wird deutlich, dass verschiedene Umweltgifte oft synergistisch wirken. Laut Witte entfaltet ein Stoffgemisch bereits eine toxische Wirkung, wenn jede Substanz nur zu einem Fünfzigstel vorhanden ist, von dem Wert, der für die Einzelsubstanz als schädlich eingestuft wird (Prawda, 2011). Vermeintlich ungiftige Konzentrationen von Einzelstoffen wirken im Stoffgemisch giftig und zwar umso giftiger, je mehr Einzelstoffe dieses Gemisch enthält. „Dies gilt für alle Chemikalien“ (Witte).

Das Krankheitsbild, welches dadurch entsteht, wird als MCS (Multiple Chemical Sensitivity Syndrom) bezeichnet. Die Symptome betreffen dabei mehrere Organe und treten in Zusammenhang mit verschiedenen niedrig dosierten Fremdstoffen auf. Oft werden die Patienten wegen der unspezifischen Symptome wie Kopfschmerzen, Konzentrationsstörungen, Müdigkeit etc. jedoch von Ärzten als „eingebildete Kranke“ betrachtet, welche eher psychische Probleme haben. Leider ziehen viele Mediziner nicht die Möglichkeit einer Vergiftung mit Schadstoffen in Betracht (Prawda, 2011). Witte fordert deshalb die Einbeziehung von Kombinationswirkungen bei toxikologischen Bewertungen von Schadstoffen.

Der MAK-Wert / AGW-Wert ist mit 0,3 ppm höher als der Richtwert für die Innenraumbelastung in Wohnräumen.

Da viele Menschen jedoch einen erheblichen Teil ihres Lebens am Arbeitsplatz verbringen, wäre es hier ebenfalls sinnvoll, die Belastungen mit Formaldehyd schnellstmöglich erheblich zu reduzieren und dann völlig zu entfernen.

MAK- und AGW-Werte gelten als Arbeitsplatzgrenzwerte. Diese Werte sollen bei einem 8h-Arbeitstag nicht überschritten werden. Die Werte sind auf gesunde Erwachsene zugeschnitten und sollten auf keinen Fall mit anderen Personengruppen wie Kindern, Alten und Kranken gleichgesetzt werden. Dennoch kommt es immer wieder vor, dass Gutachter bei Schulinspektionen genau diese Werte als Bewertungsgrundlage verwenden, um den Anschein zu erwecken, die Belastung sei noch im Rahmen des Grenzwertes (Hill, März 2015, S. 301).

Laut Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden sind Arbeitsplatzgrenzwerte nicht für die Innenraumluft-Bewertung von Schulen oder Kindergärten heranzuziehen (Umweltbundesamt, 2008).

Auch das Netzwerk WECF (Women in Europe for a Common Future) fordert von Herstellern und Politikern, dass das Vorsorgeprinzip vor wirtschaftliche Interessen gestellt wird. Denn solange eine Chemikalie in Verdacht steht, gesundheitsschädlich zu sein, habe sie nichts in Produkten verloren (Hausmann).

Manche sogenannten „Gefälligkeitsgutachter“ lassen sich auf manipulierte Messergebnisse ein, indem z.B. die Lüftungszeiten von Räumen verlängert werden, oder Messungen solange wiederholt werden, bis die „Ergebnisse stimmen“. Teile von Messergebnissen werden auch häufig als „Ausreißer“ deklariert und weggelassen. Dies ist sicher nicht die Regel, aber es kommt vor, denn beispielsweise Gemeinden und Schulleitung wollen den guten Ruf ihrer Einrichtung wahren und die knappen Sanierungsgelder einsparen (Hill, März 2015, S. 319).

6. Zusammenfassende Stellungnahme zu den bestehenden Richt- und Grenzwerten für Formaldehyd

Abschließend ist festzuhalten, dass der zurzeit in Deutschland bestehende Richtwert für die Innenraumbelastung mit Formaldehyd von 0,1 ppm keinesfalls gleichzusetzen ist mit einer guten Raumluftqualität. Das Schweizerische Bundesamt für Gesundheit wies 2010 darauf hin, dass in Deutschland diese Tatsache nicht allen bewusst zu sein scheint. Warum die Grenzwerte in anderen Ländern sich zum Teil so stark vom deutschen Grenzwert unterscheiden bleibt scheinbar unklar.

Es stellt sich die Frage, ob gesetzliche Grenzwerte vor Gesundheitlichen Schäden schützen sollen, oder ob sie nicht vielmehr als „Alibi“ für eine verstärkte Belastung in Innenräumen dienen. Denn bei der Festlegung erfolgt zunächst eine Abwägung zwischen „Kosten und Nutzen“. Es werden „Ermessensspielräume genutzt“. Ein kleines Restrisiko gilt dann als akzeptabel. Dies ermöglicht der Industrie weiterhin den Absatz ihrer Produkte. Der Gesundheitsschutz wird also aus wirtschaftlichen Gründen aufgehoben (Hill, März 2015, S. 311). Hinzu kommt, dass die Grenz-, Richt- und Orientierungswerte oft unübersichtlich sind, unterschiedlich ermittelt wurden und undurchsichtig für Verbraucher und sogar Experten sind.

Dennoch kann die Nicht-Festlegung von Grenz- und Richtwerten fatale Folgen für die Bevölkerung haben. Wenn keine Grenzwerte existieren, existiert auch keine Grundlage, auf der man Gesundheitsbeschwerden mit Schadstoff-Expositionen in Verbindung bringen kann und die Formaldehyd-Industrie würde unentwegt hoch belastete Produkte auf den Markt bringen (Hill, März 2015, S. 319).

Kommt es zum Rechtsstreit, durch Formaldehyd verschuldete Gesundheitsbeschwerden, ist die Partei der Betroffenen stets benachteiligt, da sie in der Beweislast steht, dass die Schadstoffe verantwortlich sind für diverse Erkrankungen. Die Betroffenen besitzen aber keine gesellschaftlich starke Lobby, die ihre Interessen vertritt. Hersteller und Händler von Bauprodukten und Chemikalien, Schulträger und Behörden haben andererseits ein gemeinsames Interesse daran, dass die toxischen Wirkungen von Schadstoffen wie Formaldehyd nicht an die große Glocke gehängt werden (Hill, März 2015, S. 245).

Die folgende Tabelle zeigt ohne Anspruch auf Vollständigkeit eine kleine Chronologie bzgl. der Einstufung von Formaldehyd als kanzerogen sowie die Entwicklung der Arbeitsplatzgrenz- und Innenraumrichtwerte für Formaldehyd in Deutschland.

Jahreszahl	Krebsgeschehen	MAK-AGW-Wert	Richtwert
1977	Aufstellung des Richtwertes für Formaldehyd in der Raumluft	1,0 ppm (1200 µg/m ³)	0,1 ppm (120 µg/m ³)
1980	Die sich aufgrund von Tierversuchen ergebenden Anhaltspunkte auf eine krebserregende Wirkung von Formaldehyd werden vom BGA bestritten		
1987		0,5 ppm (600 µg/m ³)	
1991	EPA: Formaldehyd ist wahrscheinlich krebserregend		
1992	BGA bestreitet im Zusammenhang mit dem Fertighausurteil eine krebserzeugende Wirkung bei Formaldehyd		
1995	IARC der WHO: Formaldehyd ist wahrscheinlich krebserregend beim Menschen		

Jahreszahl	Krebsgeschehen	MAK-AGW-Wert	Richtwert
1996	EU: stuft Formaldehyd als krebserzeugenden Arbeitsstoff ein (Verdacht auf krebserzeugende Wirkung)		
2004	IARC der WHO: wahrscheinlich krebserregend beim Menschen		
2006	BfR überprüft den Richtwert für Formaldehyd von 0,1 ppm aufgrund der Einstufung des IARC und sieht keinen Anlass der Richtwert zu senken.	ausgesetzt wg. Neufassung der GefStoffV	Konzentration von 0,1 ppm (120 µg/m ³) wird als Eingreifwert bestätigt
2015	EU: wahrscheinlich krebserregend beim Menschen	0,3 ppm (360 µg/m ³)	

Betrachtet man den bestehenden, deutschen Richtwert für Formaldehyd in der Innenraumluft, so fällt auf, dass er in Bezug auf die angegebene Konzentration seit seiner Aufstellung im Jahr 1977 auf Veränderungen nicht reagiert und bis heute unverändert fortbesteht.

Trotz zunehmender Erkenntnisse bzgl. Formaldehyd als Kanzerogen wird eine krebserzeugende Wirkung vom BGA bis mindestens 1992 nicht als relevant angesehen und bestritten. Bei der Überprüfung des Richtwertes durch das BfR (Nachfolgeinstitution des BGA) im Jahr 2006 wurde zwar festgestellt, dass Formaldehyd krebserregend ist, aber im Ergebnis der Prüfung kein Anlass zu einer Absenkung des Innenraumrichtwertes von 0,1 ppm gesehen. Der Begründung des BfR ist hierzu zu entnehmen, dass bei den Berechnungen zur Ableitung einer „sicheren Konzentration“, dem sog. NOAEL „(...) kein Sicherheitsfaktor für den Unterschied zwischen den Spezies erforderlich“ sei. Eine Sichere Konzentration liegt demnach bei 0,2 ppm. (H.-B. Richter-Reichhelm, 2006).

Der Richtwert bezieht sich also scheinbar auf das von Formaldehyd ausgehende Krebsrisiko. Die anderen Gesundheitsschäden, welche schon ab viel niedrigeren Konzentrationen auftreten, werden hier nicht berücksichtigt. Denn nur weil Formaldehyd ab einer Konzentration von 0,1 ppm vermeintlich nicht krebserregend ist, können insbesondere Reizwirkungen auftreten und eine schleichende Allergenisierung einsetzen.

Die Ad hoc Kommission Innenraumrichtwerte schließt sich dem Ergebnis der Prüfung vom BfR an und übernimmt den Richtwert. Eine Ableitung nach dem Basisschema, wie für andere Innenraumschadstoffe üblich, erfolgt nicht. Ein Vorsorgewert existiert für Formaldehyd somit nicht. Daraus ist die Schlussfolgerung zu ziehen, dass bereits bei Überschreitung des Innenraumrichtwertes von 0,1 ppm akute Gesundheitsgefahr insbesondere hinsichtlich des Krebsgeschehens besteht.

Weiterhin ist festzuhalten, dass es sich bei Formaldehyd um eine krebserregende Substanz handelt, für die das BfR einen Schwellenwert abgeleitet hat. Bisher bestand ein Einverständnis darüber, dass für krebserzeugende Substanzen keine Schwellenwerte abgeleitet werden können, da jede Konzentration zum Risiko beiträgt an Krebs zu erkranken.

Unserer Auffassung nach gilt für krebserzeugende Substanzen und somit auch für Formaldehyd unabhängig von der detektierten Konzentration, das Minimierungsgebot im Innenraum. Es sollte nach Möglichkeit vollständig aus der Umgebung des Menschen entfernt werden. Grund dafür ist, dass in einem Innenraum auch geringste Mengen dieser Stoffe das Risiko erhöhen, an Krebs zu erkranken.

Weiterhin ist es so, dass das BfR nicht alle relevanten Studien zur Formaldehyd-Belastung beim Menschen beachtet hat oder haben kann. Z.B. zeigten Studien von Kryzanowski und

Rumchev, dass bereits eine Konzentration von 0,05 ppm das Risiko für Bronchialasthma bei Kindern erhöht.

Bekannt ist, dass bereits bei deutlich geringeren Konzentrationen gesundheitliche Beschwerden wie z.B. Augenbrennen auftreten können.

Weiterhin ist unklar, wie sich die Formaldehyd-Konzentrationen auf verschiedene Personengruppen auswirken. So wird nicht differenziert, zwischen gesunden, kranken oder empfindlichen Personen, Kindern, älteren Menschen oder Schwangeren.

In der Innenraumlufte liegen in der Regel Substanzgemische vor, die nicht durch toxikologische Ableitungen allein bewertet werden können. Studien in denen Kombinationswirkungen einzelner Schadstoffe untersucht wurden weisen darauf hin, dass verschiedenen Umweltgifte oft synergistisch wirken und sich somit gegenseitig in ihrer Wirkung verstärken. Dieser Cocktaileffekt muss auch in einem größeren Zusammenhang betrachtet werden, da wir nicht nur von Innenraumschadstoffen kontaminiert werden, sondern auch durch Belastungen im Trinkwasser, in Lebensmitteln, aus der Stadtluft, durch Elektro-Smog, diverse Belastungen an Arbeitsplätzen usw..

Bei der Erstellung von Richt- bzw. Grenzwerten werden die Aspekte der Kombinationswirkungen so gut wie gar nicht berücksichtigt. Dies allein zeigt, dass es sich um Interessenwerte handelt, und nicht um eine vorrausschauende Sorge um die Gesundheit der Menschen.

Generell sollten Richt- und Grenzwerte aus Sicht der Vorsorge und Prävention um ein Vielfaches geringer sein, als zurzeit vorgegeben. Krebserregende Stoffe wie Formaldehyd sollten gar nicht in Wohnräumen gefunden werden. Nur so kann sichergestellt werden, dass die menschliche Gesundheit nicht gefährdet wird.

Generell sollte die Beweislast umgekehrt werden. Dies bedeutet, dass ein Stoff bzw. eine Chemikalie nur dann produziert und angewendet werden darf, wenn bewiesen ist, dass keine negativen Auswirkungen auf Gesundheit und Umwelt erfolgen. Dabei muss aus präventivmedizinischer Sicht bzw. Vorsorgegründen jeweils der gesamte Produktlebenszyklus einbezogen werden.

Momentan existiert für Formaldehyd nur ein Gefahrenwert. Wünschenswert wäre jedoch ein Vorsorgewert, welcher nicht die Grenze zur Gesundheitsgefahr beschreibt, sondern die Gesundheit garantiert. Es entsteht der Eindruck, dass die Formaldehyd-Industrie durch exzellente Lobbyarbeit dafür sorgt, dass der Grenzwert ihren Wünschen angepasst wurde, nämlich dem Wunsch möglichst nichts zu verändern.

Leider werden die Grenzwerte, Richtwerte usw., immer erst Jahre, meist Jahrzehnte später entsprechend ihrer dramatischen gesundheitsschädlichen Auswirkungen herabgesetzt. Diese Feststellung bezieht sich auf die allermeisten Chemikalien, Fasern (Asbest/KMF), Elektro-Smog, Radioaktivität, Nanopartikel usw.

Spätestens im Januar 2016 ist Formaldehyd auch in Deutschland als krebserregend (Stufe 1B) und mutagen (Stufe 2) eingestuft. Ob die Einstufung als Karzinogen auch eine Herabsetzung des deutschen Richtwerts für Formaldehyd in der Innenraumlufte oder zumindest die Ableitung eines Vorsorgewertes zur Folge hat bleibt abzuwarten.

Zu fordern wäre, dass es bei einer derart toxischen Chemikalie dringend notwendig ist, alles zu tun, dass sie völlig aus dem Lebensumfeld des Menschen verschwindet. Das Ziel kann nur ein Verbot von Formaldehyd sein.

Unterschrift und Stempel

Dipl.-Ing. Gary Zörner



Literaturverzeichnis

AFSSET, (. F. (2007).

AgBB, (. z. (2012). *Bewertungsschema für VOC aus Bauprodukten*.

AGÖF. (2013). *AGÖF-Orientierungswerte für flüchtige organische Verbindungen in der Raumluft*.

AGÖF, (. Ö. (n.d.). Retrieved from <http://agoef.de/agoef/schadstoffe/Formaldehyd.html>

Andersen I, M. L. (1983). Controlled human studies with formaldehyde. In G. JE, *Formaldehyde Toxicity*. New York: Hemisphere Publishing Corp.

Appel, K. (2006). *Formaldehyd, Ableitung eines "Safe"-Levels*.

BAG, (. f. (2010). *Formaldehyd in der Innenraumluft-Informationen und Tipps für den Verbraucher*. Bern.

BfR, (. f. (2006). *Krebserregende Wirkung von eingeatmetem Formaldehyd hinreichend belegt, Stellungnahme Nr. 14/2006, 29. Mai 2006*.

BfR, (. f. (2006). *Toxikologische Bewertung von Formaldehyd, Stellungnahme Nr. 023/2006, 30. März 2006*.

BGA, B. (1977). *Bewertungsmaßstab für Formaldehyd in der Raumluft vom 12.10.1977*. BGA-Pressedienst.

BMJFG. (1984). *Formaldehyd. Ein gemeinsamer Bericht des Bundesgesundheitsamtes, der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und des Umweltbundesamtes*. Bonn: W. Kohlhammer.

Commission, E. (2005). *The Index project, Final Report*.

DFG, (. F. (2000). *MAK- und BAT-Wert-Liste 2000*. Weinheim: Wiley-VCH.

EPA, (. E. (1989, Januar 10). *Integrated Risk Information System*. Retrieved September 30, 2015, from Formaldehyde (CASRN 50-00-0): <http://www.epa.gov/iris/subst/0419.htm>

EPA, U. S. (1991). *Integrated Risk Information System Formaldehyd*. Retrieved from <http://www.epa.gov/iris/subst/0419.htm>

H.-B. Richter-Reichhelm, U. G.-R. (2006). *Formaldehyd-gefährlicher als gedacht?* BfR.

Hill, H.-U. (März 2015). *Schadstoffe an Schulen und öffentlichen Gebäuden*.

Hiltrud Breyer, e. a. *Giftfreies Europa*. Brüssel: Die Grünen, Europäische freie Allianz.

Hutter, e. a. (ohne Datum). *Bewertung der Innenraumluft-Formaldehyd, S. 20*.

IARC, (. A. (2006). Formaldehyde, 2-butoxyethanol and 1-tert-butoxypropanol-2-ol. *IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risk to humans* .

IARC, (. A. (2004). *Pressemitteilung-IARC CLASSIFIES FORMALDEHYDE AS CARCINOGENIC TO HUMANS*. Lyon Cedex (France): World Health Organization.

- Kryzanowski M, e. a. (1990). Chronic respiratory effects of indoor formaldehyde exposure. *Environ Res* 52 , pp. 117-125.
- McGwin, G. e. (2009). *Formaldehyde and Asthma in Children: A Systematic Review, Environmental health perspectives*. USA.
- Mehlhorn, L. (1986). Nominierungsverfahren für die Formaldehydabgabe von Spanplatten. *Adhäsion* , pp. 27-33.
- Ministerium für Umwelt, K. u. (n.d.). *Betrieblicher Umweltschutz in Baden-Württemberg*. Retrieved Oktober 06, 2015, from <http://www.bubw.de/?lvl=881>
- Norbäck, e. a. (2000). Indoor air pollutions in schools: nasal patency and biomarkers in nasal lavage. *Allergy* 55 , pp. 163-170.
- Nürnberg, O. (. (1992). *Pressemitteilung vom 20.01.1992, Az 9 U 3700/89*.
- OEHHA, U. (. (n.d.). Retrieved from <http://www.oehhe.org/air/allrels.html>
- Österr. Akademie der Wissenschaften, K. f. (1997). *Flüchtige Kohlenwasserstoffe in der Atmosphäre - Luftqualitätskriterien VOC*. Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie.
- Prawda, W. (2011). *Endlager Mensch:-auch Sie sind vergiftet. Ursachen, Diagnose, Therapie*. Norderstedt: Books on demand GmbH.
- Rumchev, e. a. (2002). Domestic exposure to formaldehyde significantly increases the risk of asthma in young children. *Europ Respir J* 20 , pp. 403-408.
- Sagunski, H. (2006). Formaldehyd, eine Innenraum-Geschichte. In *Materialien zur Umweltmedizin, Aktuelle umweltmedizinische Probleme in Innenräumen, Teil1, Bd.13 der Schriftenreihe*. Bayrisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit.
- U. Euler, N. K. (2009). *Berufliche Formaldehydexposition und Nasopharynxkarzinom*. Dortmund, Berlin, Dresden: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- UBA, (. (2006). *Krebserzeugende Wirkung von Formaldehyd-Änderung des Richtwertes für die Innenraumluft von 0,1 ppm nicht erforderlich*. Bundesgesundheitsbl.-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz.
- Umweltbundesamt. (2006). *Krebserzeugende Wirkung von Formaldehyd-Änderung des Richtwertes für die Innenraumluft von 0,1 ppm nicht erforderlich*. online publiziert: 07. November 2006: Springer Medizin Verlag.
- Umweltbundesamt. (2008). *Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden*. Berlin: Umweltbundesamt.
- WHO. (1983). *Indoor air pollutants: exposure and health effects. EURO Reports and Studies No. 78*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.
- Witte, I. (n.d.). *Carl von Ossietzky Universität Oldenburg*. Retrieved Oktober 06, 2015, from *Fatale Kombinationswirkungen erfordern zusätzliche Untersuchungsverfahren*: <http://www.presse.uni-oldenburg.de/f-aktuell/96-232pm.htm>

Zörner, G. (2015, September 29). Expertengespräch. (K. Lüdtkke, Interviewer)

Zwiener, D. G. (2012). *Bauprodukte für eine gesunde Innenraumluft-Instrumente und Kriterien*. Stuttgart: Consense-Internationale Fachmesse und Kongress für nachhaltiges Bauen, Investieren und Betreiben.