



IBO - FORSCHUNGSBERICHT

Nr. 03-FPP-2007

RAUMLUFTINDIKATOR(EN) FÜR DEN WOHNBAU

TEIL 1: MODELL FÜR DIE WOHNBAUFÖRDERUNG

IBO Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie GmbH.

Alserbachstr. 5/8
A-1090 Wien

IBO Innenraumanalytik OG

Stutterheimstraße 16-18/2
1150 Wien

Hildegund Mötzl

unter Mitarbeit von

Philipp Boogman, Bernhard Lipp, Markus Wurm (IBO)
Peter Tappler, Felix Twrdik (IBO Innenraumanalytik OG)

im Auftrag von

Bundesinnung Bau
Wirtschaftskammer Österreich
Schaumburgergasse 20
A-1040 Wien

Wien, am 30.11.2008

Geringfügige Änderungen am 09.04.2009 auf Seite 4, 5, 13, 14, 16, 19, 39, 44, 48

Alle in diesem Bericht enthaltenen Angaben, Daten, Ergebnisse usw. wurden von den Autoren nach bestem Wissen erstellt. Dennoch sind inhaltliche Fehler nicht völlig auszuschließen. Daher übernehmen die Autoren und das IBO keine Haftung für etwaige inhaltliche Unrichtigkeiten.

INHALTSVERZEICHNIS

IBO - Forschungsbericht.....	1
Teil 1: Modell für die Wohnbauförderung.....	1
Inhaltsverzeichnis	3
Ziel und Inhalt der Studie	4
Motivation	4
Zielsetzung	4
Vorarbeiten.....	4
Berichtaufbau	6
Schadstoffemissionen aus Bauprodukten in die Raumluft	7
Überblick	7
Radioaktivität.....	8
Flüchtige organische Verbindungen (VOC)	9
Relevante Bauprodukte und Bauteilschichten	10
Methoden zur Bewertung der Raumluftqualität	11
Bewertungsansätze.....	11
„Bauphysikalisches Modell“.....	11
„Ökobilanz-Modell“	12
„ABC-Modell“	12
„Bauproduktmanagement“.....	13
Lüftungsanlagen.....	14
Raumuntersuchungen	16
Schlussfolgerungen.....	17
Bauproduktmanagement – Auswahl emissionsarmer Bauprodukte.....	19
Motivation	19
Verfahren.....	19
Relevante Bauprodukte und Bauteilschichten	20
Punkte im klima:aktiv – Haus	22
Raumuntersuchungen - Messung flüchtiger organischer Verbindungen (VOC)	23
Durchführung der Raumuntersuchung.....	23
Probenahme und Analytik	24
Richtwerte	28
Bewertungsgrundlagen	32
Begriffe und Abkürzungen	44
Literatur	45

ZIEL UND INHALT DER STUDIE

Motivation

In den letzten Jahren machten sich vermehrt Initiativen zur ökologischen Bewertung von Baumaterialien bemerkbar. So wurde bereits in der Mehrheit der Bundesländer der ÖkoIndex 3, eine ökologische Kennzahl basierend auf Primärenergieinhalt, Treibhauspotential und Versauerungspotential der Baustoffherstellung, in der Wohnbauförderung eingeführt. Im CEN TC 350 sollen Normen zur Umweltdeklaration von Bauprodukten und Bewertung der Nachhaltigkeit von Bauwerken erarbeitet werden, die vor allem auf der Methode der Ökobilanzen beruhen. Aus Sicht von Bau!Massiv! wird bei diesen Initiativen zu einseitig auf ökologische Belastungen während der Herstellung eingegangen. Raumluftrelevante Aspekte würden zu sehr vernachlässigt. Das IBO wurde daher von Bau!Massiv! mit der Durchführung einer Studie zum Thema „Raumluftindikator(en) für die Wohnbauförderung“ beauftragt.

Zielsetzung

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist ein einfach zu verstehendes und handhabbares Verfahren, das die relevantesten Innenraumschadstoffe aus Bauprodukten berücksichtigt. Das Schema muss in der Planungsphase Einsatz finden können, damit das mit Bauprodukten verbundene raumluftrelevante Gefährdungspotenzial vorsorgend bewertet werden kann. Vorhandenes Wissen soll so optimal zusammengefasst werden, dass ein einfaches, transparentes und eindeutiges Bewertungssystem entsteht, das z.B. auch für die Wohnbauförderung geeignet ist. Vorrangige Zielsysteme sind das klima:aktiv-Haus und damit kompatible Wohnbauförderungssysteme wie die Niederösterreichische, Salzburger oder Vorarlberger Wohnbauförderung für mehrgeschossige Wohnbauten. Methodische Ansätze liefern Umweltzeichen- und Beschaffungskriterien, das Forschungsprojekt „SIBAT“ sowie die Online-Datenbank baubook.

Die vorliegende Studie konzentriert sich auf Grund der Zielsetzung auf:

- den Einfluss von Bauprodukten (Baustoffen inkl. Innenausstattungsmaterialien und Bauchemikalien) auf die Raumluftqualität
- die Bewertung von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC)
- die Emissionen während der Nutzungsphase (kein ArbeitnehmerInnenschutz)
- die Anwendung im mehrgeschossiger Wohnbau
- den Neubau und präventive Maßnahmen (keine Altlasten wie z.B. Asbest)

Dieser Studie soll ein 2. Teil „Raumluft-Indikator(en)“ folgen, in der aktuelle Ökobilanzansätze (v.a. DALYs) auf die Fragestellung „Emissionen aus Baustoffen“ erprobt werden sollen. Ökobilanzansätze werden daher im vorliegenden Bericht nur gestreift.

Vorarbeiten

Der vorliegenden Studie ist eine **Vorstudie** im Umfang von 3 Personentagen vorangegangen [Vorstudie 2007], welche die Möglichkeiten und Potentiale zur Entwicklung und Umsetzung von Raumluftindikatoren und die Eigenschaften von Massivbaustoffe aufzeigte. Die Ergebnisse der Vorstudie bilden die allgemeine Grundlage für die vorliegende Arbeit.

Im Projekt **SIBAT** wurde für das Gebäudebewertungsprogramm „Total Quality Assessment“ ein Bewertungsansatz entwickelt, welcher das „Raumluft-Wirkpotenzial“ von Bauprodukten beschreibt [SIBAT 2005]. Die Bewertung wird anhand von vier Wirkungskategorien CMR (cancerogene, mutagene und reproduktionstoxische Stoffeigenschaften), reizende Wirkungen, inhalative Toxizität sowie einer Vorsorgekategorie (Stoffe mit nachgewiesener oder vermuteter Wirkung auf das Hormonsystem und organische Stoffe mit auffälligen Befunden in Hausstaubmessungen) vorgenommen.

Beruhend auf den Ergebnissen in SIBAT wurde für Online-Bauprodukte-Datenbank **baubook Professionell** eine fünfstufige Bewertungsskala für die „Nutzung“ von Baustoffen erarbeitet.

Die Ausschreibung ist ein wichtiger Verfahrensschritt für die Auswahl emissionsarmer Bauprodukte. Im Rahmen des Interreg III A- Projekts „**Ökologisches Bauen und Beschaffen für Kommunen** in der Bodensee-Region“ [Interreg 2007] wurde ein Kriterienkatalog mit ökologischen Leistungsbeschreibungen für die Ausschreibung erarbeitet. Diese ökologischen Kriterien sollen die technischen Kriterien der Leistungsbeschreibung ergänzen.

Viele Grenz- und Richtwerte, die als Grundlagen für SIBAT, baubook oder das Interreg-Projekt herangezogen wurden, stammen aus den Vergaberichtlinien zu **natureplus**, dem internationalen Qualitätszeichen für Bauprodukte. natureplus stellt hohe Anforderungen an die „Raumluftqualität“ von Bauprodukten. Bauprodukte werden dabei Gehalts- und Emissionsuntersuchungen in Prüfkammern unterzogen. Auf für die Bewertung der VOC-Emissionen aus Bauprodukten wurden Grenzwerte abgeleitet [Köhler 2003].

Mit über 10 Jahren Erfahrung und modernsten Methoden der Messtechnik ist das von der IBO Innenraumanalytik betriebene **Innenraum Mess- und Beratungsservice** das Kompetenzzentrum für Beratung, Messung und Sanierung im Bereich Schadstoffe in Innenräumen in Österreich. Das umfangreiche Fachwissen war wichtige Grundlage für den vorliegenden Bericht, vor allem für das Kapitel „Raumuntersuchungen“.

Das Leistungspaket **Chemikalienmanagement** mit anschließender Raumuntersuchung wird von der bauXund GmbH in Zusammenarbeit mit der IBO Innenraumanalytik angeboten. Bisher wurden etwa 100 Projekte (in Summe etwa 400'000 m² Nutzfläche) begleitet. Neben Wohngebäuden wurde das Chemikalienmanagement auch bei Dienstleistungsgebäuden wie Büros, Kindergärten, Spitälern und Schulen – bei Neubau und Sanierung – erfolgreich eingesetzt. Zu den Auftraggebern zählten u.a.: Bauhilfe, BUWOG, BWS, Daheim, Domizil Bauträger GmbH, GEWOG, Kabelwerk Bauträger GmbH, Medillike Bauträger GmbH, Mischek Bauträger GmbH, Neue Heimat Ennstalgruppe, Passivhaus Kammelweg Bauträger GmbH, Sozialbau, Stumpf Wohnprojekte, WE Bauträger GmbH, Wiener Heim, Wohnungseigentum.

Für die Deklaration energieeffizienter und klimaschonender Wohnungs-Neubauten wurde vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft das Programm **klima:aktiv haus** mit dazugehörigem Kriterienkatalog geschaffen. Die maximal erreichbare Punktzahl beträgt 1'000. Ein „klima:aktiv Haus“ muss alle Musskriterien erfüllen und mindestens 700 Punkte erreichen. Für ein „klima:aktiv Passivhaus“ gelten strengere Musskriterien und es muss mindestens 900 Punkte. Der Nachweis der Kriterien und die Ermittlung der Punktzahl erfolgt durch den Bauträger, die entsprechenden Unterlagen sind auf Nachfrage vorzulegen. Das klima:aktiv Haus soll als Grundlage für Wohnbauförderungen dienen.

Berichtaufbau

Der vorliegende Bericht beginnt mit einem Überblick über bauproduktrelevante Schadstoffemissionen in die Raumluft. Es ist nicht die Absicht dieses Kapitels eine vollständige Zusammenschau der umfangreichen Literatur zu diesem Thema zu geben, sondern lediglich eine Einführung in die darauf folgenden Kapitel.

Im Kapitel „Methoden zur Bewertung der Raumluftqualität“ werden unterschiedliche Ansätze vorgestellt. Diese reichen von wirkungsbezogenen Ansätzen („Ökobilanzmethoden“) bis zur Auswahl von emissionsarmen Bauprodukten („Bauproduktmanagement“).

Das Kapitel „Bauproduktmanagement – Gezielte Auswahl von emissionsarmen Bauprodukten“ gibt eine detaillierte Anweisung zur Durchführung des Bauproduktmanagements von der Ausschreibung bis zur Ausführung. Das Kapitel ist so gestaltet, dass es auch für sich alleine stehen kann.

Ein wichtiger Teil der Sicherstellung guter Raumluftqualität ist die Endkontrolle mittels Raumuntersuchungen. In dem Kapitel „Raumuntersuchungen“ werden daher Anleitungen zur Durchführung der Probennahmen und zur Beurteilung der Raumluftqualität gegeben. Auch dieses Kapitel kann einzeln herausgenommen werden.

Um eine leichtere Lesbarkeit der Texte zu gewährleisten, wird auf die explizite geschlechtsneutrale Schreibweise verzichtet. Stellvertretend für beide Geschlechtsformen wird jeweils nur die kürzere männliche Bezeichnung verwendet.

SCHADSTOFFEMISSIONEN AUS BAUPRODUKTEN IN DIE RAUMLUFT

Überblick

Die Mehrzahl der Menschen in den Industriestaaten verbringt mehr als 90 % des Tages in Innenräumen (im Wohnbereich, in Ausbildungsstätten, am Arbeitsplatz,...). Besonders schutzbedürftige Personengruppen, wie Kinder, alte und kranke Menschen, die erfahrungsgemäß empfindlicher auf Schadstoffe reagieren, verbringen überdurchschnittlich viel Zeit in Innenräumen.

Seit einigen Jahren nehmen Erkrankungen, die mit hoher Wahrscheinlichkeit auf Schadstoffe in Innenräumen zurückzuführen sind, sowie Beschwerden über die schlechte Qualität der Raumluft zu. Nicht immer ist es möglich, den auftretenden Beschwerden eindeutige Verursacher zuzuordnen: Der Begriff "Sick Building Syndrome" wird in der Regel für klimatisierte Gebäude angewendet und bezeichnet ein bestimmtes Krankheitsbild, das ausschließlich in Gebäuden auftritt und sich in unspezifischen Symptomen wie Schleimhaut- und Bindehautreizungen, Kopfschmerzen, allergischen Symptomen und erhöhter Krankheitsanfälligkeit äußert. Davon abzugrenzen sind gebäudebezogene Krankheiten ("Building Related Illness"), die differenzialdiagnostisch klar erfassbar sind. Beispiele dafür sind Krankheiten, die in Zusammenhang mit raumlufttechnischen Anlagen genannt werden, wie die Legionellose, oder Schleimhautreizungen durch Schadstoffe, die aus Bauprodukten in die Raumluft abgegeben werden.

Über den Aspekt möglicher Gesundheitsgefährdung hinaus hat die Raumluft aber auch eine zentrale Funktion für die gesamte menschliche Wohn- und Lebensqualität. Deshalb sind selbst alle "nur" das Wohnbefinden beeinträchtigenden Eigenschaften (z. B. Geruch) von enormer Bedeutung.

Bereits in den 80er Jahren hat sich in vergleichenden Studien gezeigt, dass die Raumluft in nicht gewerblich genutzten Innenräumen mit einem Vielfachen der Luftschadstoffe in der Außenluft belastet sein kann [De Bortoli 1986; Wallace 1986]. Diese speziell in Innenräumen anzutreffenden Luftverunreinigungen stammen aus unterschiedlichen Quellen:

- Menschliche Aktivitäten (z.B. Zigarettenrauchen, Reinigungstätigkeiten oder Verbrennungsvorgänge)
- Bauprodukte und Einrichtungsgegenstände
- Haustechnische Anlagen
- Immissionen aus dem Außenbereich (z.B. Schimmelpilzsporen, Pollen, Radon, Umweltschadstoffe)

Für die vorliegende Studie sind Schadstoffemissionen aus Bauprodukten und deren Einfluss auf die Raumluftqualität von Interesse. Beispiele für Schadstoffe und dafür als Quelle in Frage kommende Bauprodukte zeigt Tabelle 1 ([Broschüre Raumluft], angepasst und ergänzt).

Mit Ausnahme von Fasern, die für die vorliegende Studie keine Relevanz haben, und Radioaktivität, gehören alle Substanzgruppen den flüchtigen organischen Verbindungen an. Für die folgenden allgemeinen Betrachtungen baustoffbezogener Raumluftverunreinigungen genügt es daher die beiden folgenden Gruppen zu unterscheiden:

- VOC (flüchtige organische Verbindungen)
- Radioaktive Substanzen (Radon und Gammastrahlung)

Einsatzstoffe	Wirkungsspektrum	Bauprodukte
Lösemittel	Geruchsbelästigung, Reizung des Atemtrakts, Beeinträchtigung des Nervensystems, Befindlichkeitsstörungen	Farben, Lacke, Kleber, Ausgleichsmassen
Weichmacher	Schädigung der Leibesfrucht, Beeinträchtigung des Immunsystems und Krebsverdacht (PCB), hormonähnliche Effekte (DEHP)	Fugen- und Dichtungsmassen, alte Wandfarben (PCB), Produkte aus Weich-PVC (DEHP)
Flammschutzmittel	Verringerung der Fruchtbarkeit	Bauprodukte aus Kunststoff
Biozide	Kopfschmerzen, Übelkeit, Schädigung des Nervensystems	Holzschutzmittel, Lacke, Teppiche
Formaldehydhaltige Klebstoffe	Reizung der Schleimhäute (v.a. Augen, Nase), Hustenreiz, Unwohlsein, Atembeschwerden, Kopfschmerzen, möglicherweise krebserregend	Holzwerkstoffe, Dispersionskleber, Lacke
Fasern	Atemwegserkrankungen	Faserdämmstoffe, Textile Bodenbeläge
Natürliche Inhaltsstoffe	Reizend, Sensibilisierend	Holzwerkstoffe, Naturfarben, Sonstige Bauprodukte aus nachwachsenden Rohstoffen
Radioaktivität (Radon, Gammastrahlung)	Krebserzeugend	Granit, Phosphatgipse (in Österreich nicht erhältlich)
Geruchsstoffe	Belästigung, Befindlichkeitsstörungen, Stressfaktor	Möbel und Fußbodenlacke, Naturstoffe, synthetische Stoffe wie z.B. Teppichrücken
Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	Krebsverdacht, Geruchsbelästigung	Parkettkleber, Feuchteabdichtungen, Karbolineum

Tabelle 1: Wichtige durch Baumaterialien verursachte Schadstoffe in Innenräumen

Radioaktivität

Im Zusammenhang mit Gebäuden sind zwei Formen von radioaktiver Strahlung relevant:

- Alphastrahlung (in der Lunge) durch den radioaktiven Zerfall von Radon
- Gamma Strahlung

Dem Radon werden in Österreich 5 bis 15% der Lungenkrebs-Erkrankungen zugeschrieben [AGU 2003, Friedmann 2004a,b]. Es entsteht ständig durch radioaktiven Zerfall aus natürlichem Uran. Die Hauptquelle von Radon ist der geologische Untergrund. Von dort kann das Gas über Kellerräume in Wohnräume eindringen. Auch manche Baustoffe (die jedoch kaum mehr verwendet werden) wie bestimmte Granitarten, Schlacken oder Phosphatgips können zur Radonbelastung der Raumluft beitragen.

Radioaktive Baustoffe sind in Österreich kein Thema mehr. Bei der Produktprüfung testet das IBO Materialien nach der ÖNORM S 5200, die die mögliche Radonemanation mit Hilfe der Untersuchung bestimmter Isotopen darstellt. Bei Unterschreiten des sog. Summenwerts von 1, was in den vergangenen Jahren immer deutlich der Fall war, ist auch bei exzessivem Gebrauch des Materials keine relevante zusätzliche Radonbelastung des Innenraumes mit Radon gegeben.

Flüchtige organische Verbindungen (VOC)

Zu den nach Vorkommen und Wirkung bedeutungsvollsten Verunreinigungen der Raumluft gehören flüchtige organische Verbindungen (VOC¹). Die Summe der VOC-Konzentrationen in Innenräumen betragen im Mittel bis wenige hundert $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Unmittelbar nach Fertigstellung von Gebäuden, nach Renovierungs- oder intensiven Reinigungsarbeiten oder nach Einbringen neuer Einrichtungsgegenstände können die TVOC-Werte kurzzeitig bis mehrere $1'000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ betragen [Zwiener/Mötzl 2006].

Erhöhte VOC-Konzentrationen in Innenräumen werden für vielfältige Beschwerde- und Krankheitsbilder verantwortlich gemacht. Zu den Symptomen zählen u.a. Reizungen an Augen, Nase, Rachen, trockene Schleimhäute, trockene Haut, Nasenlaufen und Augentränen, neurotoxische Symptome wie Müdigkeit, Kopfschmerzen, Störungen der Gedächtnisleistung und Konzentrationsfähigkeit, erhöhte Infektionsanfälligkeit im Bereich der Atemwege, unangenehme Geruchs- und Geschmackswahrnehmungen. Einige der in Innenräumen zu findenden organischen Verbindungen stehen im Verdacht, krebserregend zu sein [Mølhav 1982].

Das Spektrum der VOC ist äußerst heterogen und vielfältig. Typische VOC-Stoffklassen sind Alkane und Cycloalkane, aromatische Kohlenwasserstoffe, halogenierte Kohlenwasserstoffe, Terpene, Alkohole, Glykole/Glykolether/Glykolester, Aldehyde, Ketone, Ester und Carbonsäuren.

Eine einheitliche Definition gibt es nicht, VOC-Definitionen müssen immer in Zusammenhang mit den verwendeten Probenahmetechniken gesehen werden. In gesetzlichen Regelungen werden VOC meist als „Organische Verbindungen mit einem Siedepunkt (oder Siedebeginn) von höchstens 250°C bei normalen Druckbedingungen definiert (z.B. 2004/42/EG). In der vorliegenden Studie wurde die Definition einer Arbeitsgruppe der WHO aus dem Jahr 1989 übernommen, die auch in für die vorliegende Studie wichtige Grundlagen wie die Richtwerte Arbeitskreis Innenraumluft des BMLFUW, die VDI-Richtlinie 4300 Bl. 6, die natureplus-Vergaberichtlinien oder das AgBB-Schema Eingang fanden:

1. Leichtflüchtige organische Verbindungen (VVOC): Siedepunktbereiche von 0°C bis $50\text{-}100^\circ\text{C}$
2. Flüchtige organische Verbindungen (VOC₆₋₁₆): Retentionsbereich von C₆ bis C₁₆ (entspricht einem Siedepunktbereich von $50\text{-}100^\circ\text{C}$ bis $240\text{-}260^\circ\text{C}$).
3. Schwerflüchtige organische Verbindungen (SVOC): Retentionsbereich von C₁₆ bis C₂₂ (entspricht einem Siedepunktbereich $240\text{-}260^\circ\text{C}$ bis $380\text{-}400^\circ\text{C}$).
4. Staubgebundene organische Verbindungen (POM, z.B. PAK): Siedepunktbereich $> 380^\circ\text{C}$

Zur Unterscheidung des allgemeinen und des spezifischen VOC-Begriffs wird in der Studie der spezifische Begriff mit dem Index „6-16“ (Retentionsbereich C₆ bis C₁₆) versehen (VOC enthält somit VVOC, VOC₆₋₁₆, SVOC und POM).

Bauprodukte sind wichtige Quellen für VOC in der Raumluft. Weitere Quellen für VOC in der Innenraumluft können sein:

- Einrichtungsgegenstände, Heimtextilien
- Wasch-, Putz-, Reinigungs-, Körperpflegemittel, Kosmetika
- sog. Luftverbesserer
- Schreibmaterialien (Filzschreiber u.ä.)
- Hobby- und Bastelarbeiten
- Körperausdünstungen

¹ VOC = Abk. für Volatile Organic Compounds

- Schädlingsbekämpfung
- Arzneimittel
- Verbrennungsprodukte (Tabakrauch, Kerzen, Gasherd, Kamin usw.)
- Treibstoffkomponenten (Garage, Tiefgarage)
- sekundäre Emissionsprodukte als Ergebnis chemischer Reaktionen in der Innerraumlufte
- Büro- und Haushaltsgeräte
- Druckerzeugnisse
- Stoffwechselprodukte von Mikroorganismen
- Essenszubereitung
- Außenluft
- kontaminierter Untergrund

Relevante Bauprodukte und Bauteilschichten

VOC-Emissionen aus Bauprodukten können in Prüfkammern untersucht werden. Derzeit ist die Situation zwar noch so, dass für die meisten Bauprodukte keine Prüfkammeruntersuchungen vorliegen. Vor allem von Deutschland gehen allerdings Bestrebungen aus, Prüfkammeruntersuchungen für bestimmte Materialien gesetzlich vorzuschreiben. Auf europäischer Ebene wird im Technischen Ausschuss CEN TC 351 „Bewertung der Freisetzung gefährlicher Substanzen aus Bauprodukten“ an einer europaweiten Harmonisierung der Prüfvorschriften gearbeitet.

Tabelle 4 im Kapitel Bauproduktmanagement zeigt einen Überblick über Bauprodukte und ihre Relevanz als potentielle VOC-Emittenten. Die tatsächliche Relevanz ist selbstverständlich entscheidend von der eingesetzten Menge sowie den lokal vorliegenden Randparametern und Raumgrößen abhängig.

Im Rahmen der Studie wurden auch Recherchen, bis zu welcher Baustoffschicht Bauprodukte raumlufteffektiv wären, angestellt. Die durchsuchte Sekundärliteratur brachte allerdings keine systematisierbaren Erkenntnisse hinsichtlich Schadstoffdurchgang durch vorgelagerte Baustoffschichten, Lackierungen, Folien u.ä. Zur Klärung dieser Fragestellung müssten Primärliteratur und bauphysikalisch-chemische Grundgesetze bzw. Prüfkammerexperimente herangezogen werden. Hinweise auf diffusionshemmende Faktoren geben Maßnahmen in der Schadstoffsanierung von Gebäuden, bei denen Diffusionssperren zur Reduktion der Emissionen verwendet werden. So werden z.B. Holzschutzmittel aus Bauholz durch Polyethylenfolienumhüllung weitgehend am Eintritt in die Raumlufte gehindert oder Formaldehyd aus Spanplatten durch Folienfurniere oder Lackierung diffusionsgebremst [Witthauer 1993]. Umgekehrt wurde in Raumlufteuntersuchungen immer wieder festgestellt, dass auf der Außenseite aufgebrachte lösemittelhaltige Imprägnierungen Bauteile durchdringen und im Innenraum hohe Schadstoffbelastungen verursachen können. Auch über Fensteröffnungen und Undichtigkeiten in der Gebäudehülle können raumabseitig aufgebrachte Schadstoffe in den Innenraum gelangen.

Als raumlufteffektiv werden in der Studie daher

- alle Bauchemikalien, die an der raumbegrenzenden Hülle angewandt werden (außen oder innen),
und
- alle Baustoffe, die sich raum-innenseitig befinden (luftdichte Schicht und alle davor liegenden Baustoffe)

betrachtet.

METHODEN ZUR BEWERTUNG DER RAUMLUFTQUALITÄT

Bewertungsansätze

Es sind grundsätzlich zwei Ansätze für die aggregierte Bewertung der gesundheitlichen Wirkungen durch Raumluftschadstoffe möglich: der wirkungsorientierte und der substanzorientierte Ansatz.

Beim **wirkungsorientierte Ansatz** werden die Luftschadstoffe definierten Wirkungsklassen (z.B. „krebserzeugend“, „sensibilisierend“ ...) zugeteilt. Innerhalb der Klassen werden die Luftschadstoffe jeweils entsprechend der „Schwere“ ihrer Wirkung gewichtet und in der Regel zu einem Indikator aggregiert. Ein Beispiel für die wirkungsorientierte Bewertung ist die Ökobilanz.

Bei der **substanzorientierten Bewertung** werden Luftschadstoffe in Substanzgruppen zusammengefasst. Die Kriterien für die Zusammenfassung sind etwa chemische Verwandtschaft (z.B. „VOC“), vergleichbare gesundheitliche Wirkungen (z.B. „KMR-Stoffe“) oder der Einsatzzweck (z.B. „Holzschutzmittel“).

In der Studie wurden vier prinzipielle Lösungsansätze für die Darstellung von Raumluftindikatoren verfolgt:

1. „Bauphysikalisches Modell“
2. „Ökobilanz-Modell“
3. „ABC-Modell“
4. „Bauproduktmanagement“

Zudem spielen die beiden folgenden Maßnahmen eine wichtige Rolle bei der Herstellung eines gesunden Raumklimas:

5. Einsatz von Lüftungsanlagen
6. Endkontrolle durch Raumuntersuchungen

„Bauphysikalisches Modell“

Prüfkammeruntersuchungen von Bauprodukten könnten dafür herangezogen werden, die Schadstoffkonzentration in realen Räumen zu antizipieren. Die Schadstoffkonzentration im Raum folgt einer Differentialgleichung, deren Lösung Turk bereits 1963 veröffentlichte:

$$c(t) = c_0 * \exp(-Q * t / V) + (c_a + E/Q) * (1 - \exp(-Q * t / V))$$

c = Konzentration im Raum zur Zeit t ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) t = Zeit (min)
 c_0 = Anfangskonzentration zur Zeit $t=0$ ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) Q = Außenluftvolumenstrom ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)
 c_a = Konzentration in der Außenluft ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) V = Raumvolumen (m^3)
 E = Emission im Raum ($\text{mg} \cdot \text{h}^{-1}$) Q/V = Luftwechsel (h^{-1})

Es gibt bereits Raumklima-Software, z.B. Multi-Chamber Concentration and Exposure Model (MCCEM, download unter <http://www.epa.gov/oppt/exposure/pubs/mccem.htm>), mit deren Hilfe in einfachen Modellen in Abhängigkeit von diversen Quellen die Schadstoffkonzentrationen im Raum abgeschätzt werden kann. Eine weitere Möglichkeit zur Bestimmung der Schadstoffkonzentrationen im Innenraum zum Zeitpunkt t könnte die Anpassung von Bauphysikprogrammen zur dynamischen Simulation von Feuchtegehalten in der Raumluft (WUFI oder TRNSYS) sein.

Das „Bauphysikalische Modell“ eignete sich gut zur Kombination mit dem Ökobilanz-Modell, mit dessen Hilfe den erhobenen Schadstoffkonzentrationen Wirkungen zugeordnet werden könnten. Einer breiten Anwendung des „Bauphysikalischen Modells“ steht derzeit noch entgegen, dass Emissionsmodelle und Referenzwerte für Bauprodukte aufgestellt werden müssten.

„Ökobilanz-Modell“

Das Wissen über Raumluftverunreinigungen hat sich seit Beginn des verstärkten wissenschaftlichen Interesses Ende der siebziger Jahre stetig vergrößert und verfeinert. Es ist jedoch nach wie vor bei einer Vielzahl von Faktoren nicht hinreichend bekannt, ob und in welchem Ausmaß eine gesundheitliche Belastung von Raumnutzern besteht. Gerade im Spannungsbereich Raumluft und Gesundheit sind Ursachen-Wirkungsbezüge äußerst schwer herzustellen, weil einerseits langfristige Belastungen im Niedrigdosisbereich vorkommen und andererseits schwer fassbare, diffuse Symptome und Befindlichkeitsstörungen eher die Regel als die Ausnahme sind. In manchen Fällen ist es schwierig, die relevanten Parameter zu erfassen. Entsprechend komplex ist es naturgemäß, Zusammenhänge zu erfassen und Noxen in Innenräumen adäquat zu bewerten.

Die Ökobilanz ist eine möglichst umfassende Erfassung und Bewertung der Umweltauswirkungen eines oder mehrerer Produktsysteme auf Basis aller wesentlichen Stoff- und Energieströme. Die Bewertung erfolgt in der Regel durch wirkungsorientierte Indikatoren wie Verknappung abiotischer und biotischer Ressourcen, Beitrag zum Treibhauseffekt, Abbau der Ozonschicht, Versauerung, Eutrophierung, Verringerung der Artenvielfalt, Humantoxizität, Ökotoxizität, Bildung von Photooxidantien, Bodenbeanspruchung, Lärmbelastigung, Geruchsbelastigung, Erschütterungen, oder optische Einwirkungen. Für die vorliegende Untersuchung ist die Umweltkategorie „Humantoxizität“ von Relevanz.

Eine Auswahl methodischer Ansätze zur Bewertung der Humantoxizität in Ökobilanzen wurde bereits im Anhang 3 „Bewertungsmethoden / „Bewertung der Humantoxischen Eigenschaften in Ökobilanzen“ der Vorstudie gezeigt. Zwei wesentliche methodische Schwachstellen bestehen bei der Bewertung der Humantoxizität in Ökobilanzen:

1. Methodische Schwierigkeiten, humantoxische Eigenschaften zu klassifizieren, zu gewichten und zu aggregieren
2. Vernachlässigung lokaler Effekte

Diese führten dazu, dass die Humantoxizität bisher in den meisten Ökobilanz-Datenbanken von Bauprodukten unberücksichtigt blieb und nach Ansicht der Autoren als globaler Indikator auch bleiben wird. Für lokale Betrachtungen wie z.B. die gesundheitliche Belastung durch Raumluftschadstoffe könnte die Ökobilanzmethode jedoch brauchbare Inputs liefern.

Aus methodischer Sicht ist das DALY-Modell das ausgereifteste und international anerkannteste Modell zur Bewertung der Humantoxizität. Das DALY-Modell wurde in den Niederlanden zur Berechnung einer „Gesundheitsbelastungszahl“ eines ausgewählten Gebäudes eingesetzt [Meijer 2005]. Die Studie führte allerdings wegen der Aggregation von VOC- und Radon-Emissionen ohne Berücksichtigung von natürlichen Hintergrundbelastungen und Schwellenwerten zu wenig aussagekräftigen Ergebnissen. Ein grundlegendes Problem bei der breiten Anwendung des DALY-Modells ist, dass nur für 36 raumluftrelevante Substanzen DALYs vorliegen und dass wir keine Übereinstimmung mit anerkannten Richtwerten für die Raumluftqualität finden konnten.

Die Anwendung des Ökobilanz-Modells würde daher noch weitergehende Studien erfordern.

„ABC-Modell“

„ABC-Modelle“ bezeichnen Bewertungsmethoden, die Indikatoren auf Skalen bzw. nach Klassen bewerten, vergleichbar mit dem Schulnotensystem. Ein systematischer Bewertungsansatz für das

Raumluftbelastungspotential von Bauprodukten in Form eines ABC-Modell wurde bereits in [SIBAT 2005] definiert. Das SIBAT-Modell wurde für die Bauprodukte-Online-Datenbank „baubook pro“ und schließlich für die vorliegende Studie weiterentwickelt.

Das Bewertungsschema für **Baustoffe** basiert auf Inhaltsstoffdeklaration und Emissionsdaten aus Prüfkammeruntersuchungen. Es werden 4 Parameter beurteilt:

- kanzerogene, mutagene und reproduktionstoxische Stoffe
- VOC-Summenparameter
- VOC-Einzelparameter
- Vorsorgekategorie

Die Einzelergebnisse in den 4 Wirkungskategorien werden abschließend zu einer einzigen Bewertungsklasse aggregiert. Auf der fünfstufigen Skala bedeutet **A** einen vernachlässigbaren Einfluss und **E** einen extrem hohen Einfluss auf die Raumluftqualität.

Die Bewertung von **Bauchemikalien** basiert auf den Risiken der Inhaltsstoffe und deren Konzentrationsanteilen. Grundlage für die Risikobewertung sind die R-Sätze der Stoffe, das sind gesetzlich vorgeschriebene Hinweise, die auf der Stoffverpackung auf die spezifisch gefährlichen Eigenschaften hinweisen. Die toxikologischen Wirkungen werden in vier Gefährdungskategorien unterteilt, wobei für die vorliegende Studie lediglich die Kategorie „Nutzergefährdung“ von Relevanz ist. Die Gefährdungsindices werden auf Basis der errechneten Größenordnung wieder wie bei den Baustoffen in Form der Buchstaben A bis E dargestellt.

Das ABC-Modell methodisch konsistent von der Baustoffebene auf die Gebäudeebene zu aggregieren, ist praktisch nicht möglich. Im Rahmen dieses Modells erschien es den Autoren daher am sinnvollsten, die Bauproduktbewertung als Kriterium für die Auswahl emissionsarmer Produkte heranzuziehen (siehe Tabelle 2). Die Berechnung der Mindestanforderungen könnte mit Hilfe von ECOSOFT bzw. Bauphysikprogrammen gemeinsam mit dem OI3 erfolgen.

Nr.	Raumluftqualität	Pkte	Mindestanforderung
1-2		80-120	
1	Emissionsarme Bauprodukte: Auswahl der raumluftrelevanten Bauprodukte gem. "Bauprodukt-klassen" und Einhaltung der Raumluft-Richtwerte	80	über 95% der verlegten Fläche aller Produkte sind in A eingestuft, kein Produkt schlechter als in B
		60	über 90% der verlegten Fläche aller Produkte sind in A eingestuft, kein Produkt schlechter als in B
		40	Bauprodukte gem. "Bauprodukteklassen" ausgewählt und dokumentiert
2	Komfortlüftung optimiert	40	Lüftungsanlage gemäß Anforderungen

Tabelle 2: Mögliche Bewertung der Raumluftqualität im Rahmen eines Gebäudebewertungssystems mit max. 1000 erreichbaren Punkten (i.e. klima:aktiv-Haus)

Die Schwierigkeiten bei der Umsetzung dieses Modells ergeben sich daraus, dass die notwendigen Informationen für die Einstufung der Bauprodukte im Regelfall nicht verfügbar sind, außer sie tragen ein Umweltzeichen. Weitere Abhilfe kann in absehbarer Zukunft die Bauprodukte-Online-Datenbank baubook schaffen.

„Bauproduktmanagement“

Bauproduktmanagement bedeutet die sorgfältige Auswahl von Bauprodukten (Baustoffen und Bauchemikalien) zur Vermeidung von Schadstoffen in Innenräumen. Es umfasst die Verankerung der Kriterien zur Vermeidung von Schadstoffemissionen in den Ausschreibungen und bei der Auftragsvergabe, die Freigabe der Bauprodukte vor Einsatz auf der Baustelle und eine kontinuierliche

Qualitätssicherung auf der Baustelle. Die erfolgreiche Umsetzung wird vom Fachkonsulenten als Kurzbericht schriftlich dokumentiert und muss zusätzlich durch eine Raumuntersuchung überprüft werden.

Ökologische Kriterien für die Ausschreibung, die den technischen Kriterien der standardisierten Leistungsbeschreibungen vorangestellt werden können, wurden z.B. im Rahmen des Projekts [Interreg 2007] erarbeitet. Die für die Raumluft relevanten Kriterien sind auf www.baubook.info zu finden. Die Kriterien orientieren sich an bestehenden Umweltzeichen, v.a. natureplus und das Österreichische Umweltzeichen, die dann auch als Nachweis geeignet sind. In der Vertragsvergabe im Anschluss an die Ausschreibung sind die sich aus den in der Ausschreibung definierten ökologischen Mindeststandards ergebenden Pflichten der Auftragnehmer in Verträgen festzuschreiben (z. B. Genehmigungs-, Berichtspflichten).

Vor Arbeitsbeginn wird mit den ausführenden Firmen eine **Bauproduktenliste** („Vereinbarte Bauprodukte“) erstellt. Dabei reichen die ausführenden Firmen mindestens zwei Wochen vor Arbeitsbeginn eine vollständige Liste aller für die Bauausführung vorgesehenen Bauprodukte und allfällige erforderliche Nachweise für die ökologische Mindestqualität ein. Alle eingesetzten Bauprodukte müssen von einem externen Konsulenten kontrolliert und freigegeben werden.

Parallel zu den verpflichtenden Kontrollen der Bauleitung führt ein externer Konsulent dreimal eine unangekündigte **Kontrolle der Baustelle** durch. Auf der Baustelle dürfen ausschließlich die in der Liste angeführten Bauprodukte gelagert und verwendet werden. Die vereinbarten Bauprodukte dürfen auf der Baustelle ausschließlich in Originalverpackung vorkommen. Zu Projektabschluss erhält der Auftraggeber einen Endbericht über die gesetzten Maßnahmen als Dokumentation.

Lüftungsanlagen

Im Zuge der Energieeinsparungsmaßnahmen werden Gebäude und Wohnungen immer effizienter gedämmt, eine Maßnahme, die den Effekt eines deutlich reduzierten Luftwechsels mit sich bringt. Lüftungsanlagen sorgen für konstante Zufuhr von Frischluft und Abfuhr von Luftschadstoffen und stellen in modernen luftdichten Gebäuden den sichersten und zuverlässigsten Luftaustausch dar, da sich – im Gegensatz zur Fensterlüftung – der Luftaustausch bedarfsgerecht und witterungsunabhängig einstellen und regulieren lässt.

Im klima:aktiv Haus sind Kriterien an die Auslegung, den Schallpegel, die Energieeffizienz und die Bedienerfreundlichkeit von Lüftungsanlagen formuliert, die Berücksichtigung finden sollten.

Eine unter Umständen anzudenkende Variante wäre, die Installation von Lüftungstechnischen Anlagen und die Verwendung emissionsarmer Bauprodukte alternativ zu fördern. Das in diesem Zusammenhang vorgebrachte Argument ist, dass bei ausreichender Lüftung von Räumen auch bei Verwendung schadstoffemittierender Materialien eine Belastung der Raumluft mit Schadstoffen nicht mehr gegeben sei, da diese sofort abgelüftet werden und durch den schnellen Abtransport Schadstoffdepots in den Materialien auch schneller verarmen.

Obschon dieses Argument für bestimmte Einzelfälle zutrifft, kann dennoch nicht empfohlen werden, die Installation von Lüftungstechnischen Anlagen in Innenräumen und die Verwendung emissionsarmer Baustoffe und Materialien der Inneneinrichtung prinzipiell alternativ zu empfehlen. Die Gründe dafür sind folgende:

- Nicht in allen Fällen reichen Lüftungsmaßnahmen aus, Schadstoffkonzentrationen, die aus emittierenden Materialien stammen, derart zu senken, dass für Menschen hygienisch unbedenkliche Situationen resultieren.
 - In Wohngebäuden sind ausschließlich Anlagen mit geringen Luftwechselzahlen in Gebrauch. Gerade in derartigen durch kontrollierte Raumlüftungsanlagen be- und entlüfteten Innenräumen liegen häufig Luftwechselzahlen um 1 h^{-1} oder darunter vor (der gesamt volumenbezogene Luftwechsel wird in energieoptimierten Gebäuden in der Regel auf $0,25 \text{ h}^{-1}$ eingestellt). Selbst bei raumbezogen höheren Luftwechselzahlen liegen in Nebenräumen deutlich niedrigere Luftwechselzahlen vor.
 - Bei bedarfsgesteuerten Abluftanlagen, die mittels Feuchtesteuerung über in den Wänden situierte Frischluftventile in Verbindung mit Konstantdruck-Abluftventilatoren gesteuert werden, liegt die Grundlüftungsrate bei etwa $0,25 \text{ h}^{-1}$. Es ergeben sich daher unter diesen Bedingungen, die in einem nicht unbeträchtlichen Zeitraum vor allem in der kalten Jahreszeit während der Nutzung des Raumes gegeben sein dürfte, Luftwechsel, die in einem Bereich liegen, in dem eine effiziente Schadstoffabfuhr durch Lüftung nicht mehr gegeben ist.
 - Nach Einsatz stärker emittierender Bauteile (z.B. lösungsmittelhaltige Anstriche, Formaldehyd emittierende Holzwerkstoffe) sind bei angenommenen Luftwechselzahlen im Bereich von 1 h^{-1} und darunter kalkulatorisch über einen längeren Zeitraum hygienisch bedenkliche Raumluftkonzentrationen zu erwarten, wenn nicht zusätzlich gelüftet wird. Derartige Situationen kommen häufig in der Praxis vor. Ein entscheidendes Argument ist auch die Tatsache, dass Emissionsuntersuchungen laut österreichischer Formaldehydverordnung bei einem Luftwechsel von 1 h^{-1} durchgeführt werden. Dies bedeutet, dass in typischen Gebäuden mit kontrollierten Lüftungsanlagen bei entsprechend hoher Raumbeladung mit Holzwerkstoffen relevante Raumluftkonzentrationen an Formaldehyd gegeben sein können.
- Nutzer von durch kontrollierte Lüftungsanlagen be- und entlüfteten Gebäuden messen erfahrungsgemäß dem manuellen Fensterlüften keine große Bedeutung bei – das regelmäßige und effiziente Lüftung wird über den Zeitraum der Funktion der Anlage – in der Regel in der kalten Jahreszeit – nicht durchgeführt. Es herrscht hier die Meinung vor, dass die Lüftungsanlage in jedem Fall für eine effiziente Abfuhr von Schadstoffen sorgt, was jedoch, wie weiter oben ausgeführt, nicht immer den Tatsachen entspricht.

In den Sommermonaten, mitunter auch schon in der Übergangszeit, entspricht die Komplettabschaltung der Anlage einer viel geübten Praxis. Dennoch treten auch im Zeitraum, in dem die Anlage nicht in Betrieb ist, Situationen auf, in denen die Fenster vollständig geschlossen werden – es sind dies z.B. kühlere Nächte, regnerische oder stürmische Tage oder Situationen, in denen Lärmimmissionen von außen verhindert werden sollen. In diesen Zeiträumen liegt die Luftwechselzahl auf Grund der hohen Dichtheit moderner energieoptimierter Gebäude unter $0,1 \text{ h}^{-1}$, in den meisten Fällen sogar unter $0,05 \text{ h}^{-1}$. In diesen Zeiträumen ist daher die Schadstoffsituation mit Gebäuden ohne Lüftungstechnische Anlagen zu vergleichen.

Das Vorhandensein einer Lüftungstechnischen Anlage allein ist daher in zahlreichen praxisrelevanten Fällen kein Garant für hygienisch einwandfreie Raumluft. Auch bei Verwendung Lüftungstechnischer Anlagen ist auf die Verwendung emissionsarmer Bauprodukte zu achten, um das Ziel „Schadstoffarme Raumluft“ zu erreichen.

„Ein Raum, welcher einen verwesenden Misthaufen einschließt, wird trotz aller Ventilation eine ekelhafte Wohnstätte, ein Herd für schlechte Luft bleiben. Erst wo Reinlichkeit durch rasche Entfernung oder sorgfältigen Verschluss luftverderbender Stoffe nichts mehr zu leisten vermag, beginnt das Feld für die Ventilation.“ Pettenkofer (1858) [Witthauer 1993]

Raumuntersuchungen

Mittels Raumuntersuchungen werden Schadstoffe in der Raumluft und im Hausstaub gemessen und bewertet. Die Raumuntersuchungen ergänzen Maßnahmen zur Auswahl schadstoffarmer Bauprodukte im Sinne einer Qualitätssicherung und Endkontrolle, ersetzen diese aber nicht. Im Bericht werden Messanweisungen, Probenahme und Analytik für die zu untersuchenden Schadstoffe angeführt.

Anschließend erfolgt die Beurteilung der Raumluftqualität an Hand von Richtwerten und Vorgaben. Bei Unterschreitung der Richtwerte bzw. Erfüllung der Vorgaben wird angenommen, dass in Bezug auf die untersuchten Parameter weder eine gesundheitliche Gefährdung noch eine unzumutbare Belästigung besteht.

Auf Basis der im Kapitel „Raumuntersuchungen“ beschriebenen Grundlagen hat das IBO Richtwerte für Einzelverbindungen bzw. Summenparameter zur Beurteilung der Raumluftqualität von Neubauten abgeleitet. Beurteilt werden Formaldehyd, flüchtige organische Verbindungen (VOC) sowie mittel- bis schwerflüchtige organische Substanzen (SVOC) auf Basis von Raumluft- und Hausstaubuntersuchungen. Die sensorische Geruchsprüfung dient bis zum Vorliegen von Erfahrungswerten mit den neuen Richtlinien nur zur Orientierung.

Je nach Ergebnis der Raumluft- und Hausstaubuntersuchung werden Neubauten in drei Klassen unterteilt werden:

- Klasse I – niedrige bis durchschnittliche Schadstoffkonzentrationen in der Raumluft
- Klasse II – leicht bis deutlich erhöhte Schadstoffkonzentrationen in der Raumluft
- Klasse III – über das übliche Maß hinausgehende, hygienisch unerwünschte Belastung der Raumluft. Diese Gebäude sollten z.B. keine Wohnbauförderung erhalten.

Bei der Überprüfung der Raumluftqualität sollten zusätzlich zu den für das Bauproduktmanagement relevanten VOCs noch folgende Parameter überprüft werden:

- Radon – In Gebieten mit Radonpotentialklasse 2-3 lt ÖN S 5280-2 sind Maßnahmen zur Vermeidung des Radoneintrags aus dem Untergrund ins Gebäude zu setzen. Der Erfolg der Maßnahmen ist durch eine Raumluftuntersuchung gemäß Vornorm ÖNORM S 5280-1 zu bestätigen.
- Schimmel – Im Gebäude dürfen keine Quellen für Schimmelpilzsporen nachweisbar sein. Die Beurteilung erfolgt nach UBA-Leitfaden.

Tabelle 3 zeigt die vorgeschlagenen Richtwerte für Raumluftparameter. Die Anforderungen an Einzelsubstanzen und einzelne Substanzgruppen sind im Kapitel Raumuntersuchungen / Bewertungsgrundlagen angeführt.

Substanz	Klasse I ⊕	Klasse II ⊖	Klasse III ⊗
VOC - Gesamtkonzentration	≤ 0,5 mg/m ³	0,5 – 3 mg/m ³	> 3 mg/m ³
VOC - Einzelsubstanzen bzw. wenn kein WIR vorhanden:	≤ WIR ≤ RW I	≤ WIR ≤ RW II	> WIR > RW II
Formaldehyd (30 Minuten Richtwert)	≤ 0,05 mg/m ³	0,05 – 0,1 mg/m ³	> 0,1 mg/m ³
Mittel- bis Schwerflüchtige Substanzen	≤ Hintergrundwert	Zwischenbereich	>Orientierungswert
Radon in gefährdeten Gebieten	200 Bq/m ³	200 Bq/m ³	200 Bq/m ³
Schimmelpilzsporen	keine Quelle	keine Quelle	keine Quelle

WIR ... Wirkungsbezogene Innenraumrichtwerte

RW I und RW II ... Internationale Richtwerte, siehe Text

Tabelle 3: IBO-Richtwerte für Raumuntersuchungen von Neubauten

Schlussfolgerungen

Bisher gibt es keine international akzeptierte Methode zur Bewertung der raumluftrelevanten Eigenschaften von Baustoffen, die mit den Wirkungskategorien aus der Umweltbewertung (Treibhauspotential, etc.) vergleichbar wären. Deshalb musste auch im Rahmen der vorliegenden Studie, von einem wirkungsorientierten Bewertungsansatz abgesehen werden.

Von den vorgeschlagenen Lösungsansätzen ist das Modell „Bauproduktmanagement“ bezüglich Praxistauglichkeit und rascher Umsetzbarkeit am vielversprechendsten. Vergleichbare Ansätze wurden in den letzten Jahren im Rahmen des „Chemikalienmanagements“ (bauXund) oder dem Service „Nachhaltig Beschaffen in der Gemeinde“ (Umweltverband Vorarlberger Gemeindehaus) erfolgreich erprobt.

Für die Umsetzung des „Ökobilanz-Modells“ wurde mit den DALYs zwar eine methodische Grundlage geschaffen, jedoch fehlen noch ausreichende Daten für die Anwendung auf Raumluft-Schadstoffe. Es erscheint uns aber möglich, in weiteren Studien auf Basis der bestehenden DALYs und in einem Abgleich mit weiteren Toxizitätseinstufungen von Raumluft-Schadstoffen (Richtwerte für die Raumluft, NIK-Werte) DALYs für weitere wichtige Raumluft-Schadstoffe abzuleiten.

Prüfkammeruntersuchungen von Bauprodukten könnten dafür herangezogen werden, die Schadstoffkonzentration in realen Räumen zu antizipieren und eigneten sich gut für die Kombination mit Ökobilanzen. Einer breiten Anwendung des „Bauphysikalischen Modells“ steht derzeit noch entgegen, dass Emissionsmodelle und Referenzwerte für Bauprodukte aufgestellt werden müssten.

Die Schwäche des „ABC-Modells“ liegt in den (noch) fehlenden Produktinformationen und in der Aggregation von der Bauproduktebene auf die Gebäudeebene. Unserer Ansicht nach ist dieses Modell daher am sinnvollsten als Kriterium für die Auswahl emissionsarmer Produkte anwendbar. In diesem Sinne könnte es eine Variante bzw. Ergänzung im Modell „Bauproduktmanagement“ sein.

Die Anforderungen an die „Raumluftqualität“ von Bauprodukten sollten mit der Vorschreibung von Lüftungsanlagen und der Endabnahme durch Raumluftuntersuchungen gekoppelt werden. Diese Maßnahmen sollten immer gemeinsam, nicht alternativ, verlangt werden.

BAUPRODUKTMANAGEMENT – AUSWAHL EMISSIONSARMER BAUPRODUKTE

Motivation

Die Mehrzahl der Menschen in den Industriestaaten verbringt mehr als 90 % des Tages in Innenräumen (im Wohnbereich, in Ausbildungsstätten, am Arbeitsplatz,...). Besonders schutzbedürftige Personengruppen, wie Kinder, alte und kranke Menschen, die erfahrungsgemäß empfindlicher auf Schadstoffe reagieren, verbringen überdurchschnittlich viel Zeit in Innenräumen.

Bereits in den 80er Jahren hat sich in vergleichenden Studien gezeigt, dass die Raumluft in nicht gewerblich genutzten Innenräumen mit einem Vielfachen der Luftschadstoffe in der Außenluft belastet sein kann (z.B. [De Bortoli 1986]). Zu den nach Vorkommen und Wirkung bedeutungsvollsten Schadstoffen in der Raumluft gehören die flüchtigen organischen Verbindungen (VOC²). Bauprodukte sind wichtige Quellen für VOC in der Raumluft.

„Bauproduktmanagement“ ist eine sehr effiziente, praxistaugliche, kostengünstige und rasch umsetzbare Möglichkeit, Schadstoffe in der Raumluft zu vermeiden. Vergleichbare Ansätze wurden in den letzten Jahren im Rahmen des „Chemikalienmanagements“ (bauXund), „Nachhaltig Beschaffen in der Gemeinde“ (Umweltverband Vorarlberger Gemeindehaus) oder Sentinel Haus (Sentinel) erfolgreich erprobt. Mit dem Bauproduktmanagement verbunden sollte der verpflichtende Einsatz von Lüftungsanlagen im Neubau und die Endabnahme durch Raumuntersuchungen sein.

Verfahren

Bauproduktmanagement bedeutet die sorgfältige Auswahl von Bauprodukten (Baustoffen und Bauchemikalien) zur Vermeidung von Raumluftschadstoffen. Es umfasst die Verankerung ökologischer Kriterien in den Ausschreibungen und bei der Auftragsvergabe, die Freigabe der Bauprodukte vor Einsatz auf der Baustelle und eine kontinuierliche Qualitätssicherung auf der Baustelle. Die erfolgreiche Umsetzung wird vom Fachkonsulenten als Kurzbericht schriftlich dokumentiert und durch eine Raumluftmessung überprüft.

Ökologische Kriterien für die Ausschreibung werden in die standardisierten Leistungsbeschreibungen integriert. In der Vertragsvergabe im Anschluss an die Ausschreibung sind die sich aus den in der Ausschreibung definierten ökologischen Mindeststandards ergebenden Pflichten der Auftragnehmer in Verträgen festzuschreiben (z. B. Genehmigungs-, Berichtspflichten). Ökologische Kriterien für die Ausschreibung wurden im Rahmen des Projekts [Interreg 2007] erarbeitet und stehen auf der Online-Datenbank www.oebox.at zum Download zur Verfügung. Ein Auszug der für die Emissionen in die Raumluft relevanten Kriterien ist z.B. unter www.baubook.info zu finden.

Vor Arbeitsbeginn wird mit den ausführenden Firmen eine **Bauproduktenliste** („Vereinbarte Bauprodukte“) erstellt. Dabei reichen die ausführenden Firmen mindestens zwei Wochen vor Arbeitsbeginn eine vollständige Liste aller für die Bauausführung vorgesehenen Bauprodukte und allfällige erforderliche Nachweise für die ökologische Mindestqualität ein. Alle eingesetzten Bauprodukte müssen von einem externen Konsulenten kontrolliert und freigegeben werden.

² VOC = Abk. für Volatile Organic Compounds

Parallel zu den verpflichtenden Kontrollen der Bauleitung führt ein externer Konsulent dreimal eine unangekündigte **Kontrolle der Baustelle** durch. Auf der Baustelle dürfen ausschließlich die in der Liste angeführten Bauprodukte gelagert und verwendet werden. Die vereinbarten Bauprodukte dürfen auf der Baustelle ausschließlich in Originalverpackung vorkommen. Zu Projektabschluss erhält der Auftraggeber einen Endbericht über die gesetzten Maßnahmen als Dokumentation.

Relevante Bauprodukte und Bauteilschichten

Im Bauproduktmanagement sind all jene Bauprodukte zu berücksichtigen, die Relevanz für die Raumluftqualität in der Nutzungsphase haben. Grundsätzlich in Betracht gezogen werden

- alle Bauchemikalien, die an der raumbegrenzenden Hülle angewandt werden (außen oder innen), und
- alle Baustoffe, die sich raum-innenseitig befinden (luftdichte Schicht und alle davor liegenden Baustoffe)

Tabelle 4 zeigt einen Überblick über Bauprodukte und ihre Relevanz als potentielle VOC-Emittenten. Baustoffe, die keine oder vernachlässigbar geringe Gehalte an organischen Inhaltsstoffen enthalten, geben keine flüchtigen organischen Verbindungen ab. Diese Baustoffe werden daher in Relevanz-Stufe 0 eingestuft (= Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Produkt aus der betreffenden Produktgruppe relevante Schadstoffbelastung verursacht, ist vernachlässigbar). Dazu zählen alle Baustoffe aus mineralischen Rohstoffen wie massive Baustoffe, mineralische Bauplatten, Dämmstoffe (ohne organisches Bindemittel), Bodenbeläge und Putze. Da aus Materialien dieser Art kaum Emissionen zu erwarten sind, sind nicht viele Baustoffe aus dieser Gruppe untersucht worden. Prüfkammeruntersuchungen an mineralischen Baustoffen (Betone, Gipskartonplatten, Putze) wurden z.B. von der EMPA durchgeführt. Auch die EMPA beurteilt diese Gruppe bezüglich VOC als „problemlos für den Innenraum“ [EMPA 1997, S 39].

Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Produkt – ohne qualitätssichernde Maßnahmen in der Produktauswahl – relevante Schadstoffbelastung verursacht, wird als hoch eingestuft (Stufe 2), wenn aufgrund der potentiellen organischen Inhaltsstoffe auf VOC-Emissionen geschlossen werden kann bzw. aus Prüfkammeruntersuchungen bei Vertretern der Produktgruppe erhöhte VOC-Emissionen aufgetreten sind. Dies betrifft vor allem großflächig aufgetragene Bauchemikalien wie Wandfarben, Klebstoffe, Abdichtungsmaterialien, Bodenbeläge aus nachwachsenden oder synthetischen Rohstoffen sowie Holzwerkstoffe und beschichtete Materialien.

Produkte, die aufgrund organischer Zusatzstoffe wie Dispersionen, Bindemittel, Schutzmittel etc. eine gewisse Wahrscheinlichkeit haben, dass Schadstoffe emittiert werden, werden in Relevanzstufe 1 eingestuft. Dazu werden gezählt: pastöse Putze und Mörtel, sonstige kleinflächig aufgetragene Bauchemikalien, naturbelassenes Massivholz, Dämmstoffe aus Kunststoffen, Mineralwolle oder nachwachsenden Rohstoffen, Fenster und Innentüren aus Holz- und Holzwerkstoffen.

Die tatsächliche Relevanz der Produkte der Stufe 1 und 2 ist selbstverständlich entscheidend vom konkreten Produkt, von der eingesetzten Menge sowie der lokal vorliegenden Randparameter und Raumgrößen abhängig.

Bauchemikalien	Relevanz	Anmerkung
Wandfarben und sonstige Anstriche	2	
Klebstoffe	2	besonders relevant sind Verlegewerkstoffe wegen der großflächigen Anwendung
Abdichtungsmaterialien	2	
Pastöse Putze und Mörtel	1	VOC aus organischen Zusatzstoffen oder Bindemitteln
Sonstige Bauchemikalien großflächig	2	
Sonstige Bauchemikalien kleinflächig	1	
Holz und Holzwerkstoffe	Relevanz	Anmerkung
Holzwerkstoffplatten	2	Emissionen aus Bindemittel oder Holzinhaltsstoffen
Massivholz, beschichtet	1-2	je nach Beschichtung
Massivholz, naturbelassen	1	
Dämmstoffe	Relevanz	Anmerkung
Dämmstoffe aus Kunststoffen	1	z.B. Pentan oder Styrol aus EPS-Dämmstoffen
Mineralwolle-Dämmstoffe	1	Formaldehyd aus dem Bindemittel
Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen	1	z.B. Geruchsstoffe, Aldehyde; flüchtige Zusatzstoffe
Sonstige mineralische Dämmstoffe	0	
Bodenbeläge	Relevanz	Anmerkung
Mineralische Bodenbeläge	0	Vor Ort aufgebraute Oberflächenbeschichtungen s. Bauchemikalien
Elastische und textile Bodenbeläge	2	
Holzböden (Fertigparkett, Vollholz)	2	
Fenster und Türen	Relevanz	Anmerkung
Fenster	1	geringe Rahmenfläche
Innentüren aus Holz- und Holzwerkstoffen	1	
Mineralische Baustoffe	Relevanz	Anmerkung
Massive Baustoffe (Ziegel, Beton,..)	0	Nachbehandlungsmittel o.ä. siehe Bauchemikalien
Mineralische Bauplatten (Gipskarton, Gipsfaser, Lehmplatten,...)	0	
Mineralische Putze und Mörtel	0	

0... Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Produkt aus der betreffenden Produktgruppe relevante Schadstoffbelastung verursacht, ist vernachlässigbar

1... Eine gewisse Wahrscheinlichkeit, dass ein Produkt aus der betreffenden Produktgruppe - ohne qualitätssichernde Maßnahmen in der Produktauswahl - relevante Schadstoffbelastung verursacht, ist gegeben.

2... Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Produkt aus der betreffenden Produktgruppe - ohne qualitätssichernde Maßnahmen in der Produktauswahl - relevante Schadstoffbelastung verursacht, ist hoch.

Tabelle 4: Potentielle VOC-Emittenten unter den Bauprodukten und deren Relevanz im Rahmen von vorsorgenden Maßnahmen

Punkte im klima:aktiv – Haus

Der klima:aktiv Gebäudestandard ist ein vom Lebensministerium und dem Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie ins Leben gerufener Qualitätsnachweis für Wohngebäude. Er bezeichnet Häuser, die neben der Energieeffizienz auch die Aspekte Planungs- und Ausführungsqualität, Baustoffe und Konstruktion sowie Komfort und Raumluftqualität berücksichtigen. Ein wesentliches Ziel des klima:aktiv haus Programm-Managements ist die Integration der Kriterien in die Wohnbauförderung der Länder.

Die Punkteverteilung im klima:aktiv – Haus für Wohngebäude erfolgt derzeit nach folgendem Schlüssel:

		Gesamt	1.000
Nr.	Titel		erreichbare Punkte
A	Planung und Ausführung	120	max. 120
A 1.	Planung		max. 100
A 2.	Ausführung		max. 40
B	Energie und Versorgung		max. 600
B 1.	Wärmebedarf und -versorgung		max. 575
B 2.	Energiebedarf elektrisch		max. 40
B 3.	Wasserbedarf		max. 40
C	Baustoffe und Konstruktion		max. 160
C 1.	Baustoffe		max. 110
C 2.	Konstruktionen und Gebäude		max. 100
D	Komfort und Raumluftqualität		max. 120
D 1.	Thermischer Komfort		max. 30
D 2.	Raumluftqualität		max. 110
		Gesamt	1.000

Tabelle 5: Kriterienverteilung im klima:aktiv – Haus, Stand April 2008

Der klima:aktiv Haus Kriterienkatalog für Dienstgebäude soll bis Ende 2008 fertig gestellt werden. Bestimmt wird die Entwicklung der Kriterien für Dienstleistungsgebäude Rückwirkung auf die bestehenden Kriterien für Wohngebäude haben. Dabei ist davon auszugehen, dass das Schwergewicht der Punkte beim Aspekt „Energie und Versorgung“ verbleiben wird und sich an den max. erreichbaren 600 Punkten in diesem Bereich nichts ändern wird. Eine Punkteverschiebung ist daher wenn, dann in den drei anderen Aspekten zu erwarten. Unseren Vorschlag, wie Bauproduktmanagement in das klima:aktiv Haus – Schema integriert werden kann, zeigt Tabelle 6.

Nr.	Behaglichkeit	Pkte	
1-3	Thermischer Komfort	max. 40	gemäß Anforderungen
Nr.	Raumluftqualität	Pkte	
1a	Frischluftanlage optimiert	M 15	gemäß Anforderungen
1b	Komfortlüftung optimiert	40	gemäß Anforderungen
2	Raumluftuntersuchung	M 15	Klasse II erfüllt
		40	Klasse I (Zielwerte) erfüllt
3	Emissionsarme Bauprodukte	40	"Produktmanagement" bei Ausschreibung, Anbotsprüfung und Baustellenüberprüfung, Nachweis: Bauproduktenliste, Protokolle, Endbericht

Tabelle 6: Kriterienvorschlag für „Bauproduktmanagement“ im Rahmen von klima:aktiv - Haus

RAUMUNTERSUCHUNGEN - MESSUNG FLÜCHTIGER ORGANISCHER VERBINDUNGEN (VOC)

Nur durch eine Endkontrolle der Innenräume nach Beendigung der (Neu-)Bauarbeiten kann gewährleistet werden, dass die Maßnahmen im Rahmen eines Bauproduktmanagements zur Auswahl emissionsarmer Bauprodukte ordnungsgemäß durchgeführt wurden und erfolgreich waren.

Ergebnisse einmaliger Messungen geben den Momentanzustand der Konzentrationen von flüchtigen organischen Verbindungen und für die zum Zeitpunkt der Messung herrschenden Bedingungen wieder. Dies unterstreicht die Wichtigkeit der entsprechenden Prüfraumvorbereitung und der sachgemäßen Probenahme. Nachfolgend finden sich detaillierte Beschreibungen über die Durchführung der Raumuntersuchungen, die Probenahme und die Analytik für die zu untersuchenden Parameter.

Die Beurteilungsgrundlagen sowie die daraus abgeleiteten Richtwerte und Vorgaben werden ebenfalls beschrieben. Bei Unterschreitung der Richtwerte bzw. Erfüllung der Vorgaben wird angenommen, dass in Bezug auf die untersuchten Parameter weder eine gesundheitliche Gefährdung noch eine unzumutbare Belästigung besteht.

Durchführung der Raumuntersuchung

Neben den in der ÖNORM ISO 16000 Blatt 1 behandelten Punkten ist vor allem Folgendes in Bezug auf die Messstrategie zu beachten:

- Die Untersuchungen soll in der Regel 4 Wochen nach Abschluss der letzten Arbeiten in den zu untersuchenden Innenräumen, jedenfalls vor der Ausstattung mit Einrichtungsgegenständen, erfolgen.
- Bei der Messung ist darauf zu achten, dass keine schadstoffintensiven Arbeiten in den angrenzenden Bereichen des Gebäudes zu einem Eintrag von Schadstoffen in den zu untersuchenden Bereich führen. Bei Verdacht auf einen derartigen Eintrag muss die Raumluft der Bereiche, aus denen ein derartiger Eintrag vermutet wird (z.B. Gangbereich vor einer Wohnung), mit untersucht werden.
- Es soll so weit wie möglich die tatsächliche Belastungssituation der Benutzer der zu untersuchenden Räume unter ungünstigen Bedingungen erfasst werden. Bei natürlich belüfteten Räumen werden nach einer etwa 15-minütigen intensiven Lüftungsphase die Türen und Fenster des Raumes vor der Messung über einen Zeitraum von 4 bis 6 Stunden verschlossen. Außentüren und Fenster müssen während der Messung verschlossen bleiben, Fenster- und Türfugen sollten jedoch nicht abgeklebt werden. Die Raumtemperatur sollte sich im üblichen Bereich (20 - 23°C) bewegen. Innentüren sind in der Regel ebenfalls geschlossen zu halten, begründete Ausnahmen davon sind jedoch möglich. Türen können kurz geöffnet werden, um z.B. den Raum zu betreten, sie sind jedoch unmittelbar darauf wieder zu schließen.
- Die Windgeschwindigkeit im Außenbereich sollte die Kategorie 3 nach Beaufort (Bereich 3,6 - 5,4 m/s, entspricht „Schwache Brise“ – Blätter und dünne Zweige bewegen sich) nicht überschreiten.
- In Räumen mit raumlufttechnischen Anlagen ist die Anlage unter dem für den Nutzer ungünstigsten, noch realistischen Betriebszustand zu betreiben (niedriger Luftwechsel). Ist dies nicht bekannt, ist die niedrigste für den Normalbetrieb vorgesehene Lüftungsstufe zu wählen.
- Die Personen, die die zu untersuchenden Räume vor den Untersuchungen betreten können, müssen darauf hingewiesen werden, dass in einem Zeitraum von etwa einer Woche vor der Messung bis zur Messung keine lösungsmittelhaltigen Produkte (z.B. Pflagemittel, Klebstoffe)

verwendet werden dürfen. In den zu untersuchenden Räumen darf vor und während der Probenahme nicht geraucht werden.

- Je nach den lokalen Bedingungen können zusätzlich Messungen der Außenluft, Messungen in anliegenden Räumen oder an anderen relevanten Messorten durchgeführt werden.
- Die Auswahl der Räume richtet sich nach den örtlichen Verhältnissen und der Raumnutzung. Es sollen Räume untersucht werden, die dem dauernden Aufenthalt von Personen dienen (z.B. Wohnräume, Schlafräume, Büros, Schulräume, Gruppenräume von Kindergärten).
- Das Probenahmenvolumen ist zur Ermittlung des Beurteilungswertes bei kurzen Bezugszeiträumen des Richtwertes (Kurzzeitprobenahme, z.B. Halbstundenmittelwerte) auf durchschnittliche Raumluftbedingungen in Bezug auf Temperatur und Luftdruck umzurechnen. Als durchschnittliche Raumluftbedingungen werden 20 °C und 1013 hPa festgelegt.
- Am Beginn und am Ende jeder Probenahme erfolgt eine Untersuchung der Lufttemperatur sowie der relativen Luftfeuchtigkeit mittels kalibrierter elektronischer Messgeräte.
- Bei Parametern, deren Probenahme sich über einen längeren Zeitraum erstreckt, ist ein Lüftungsregime mit täglich 2-3 Lüftungsphasen zu je 10 Minuten einzuhalten. Die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchtigkeit wird hier während des gesamten Probenahmezeitraums gemessen.
- Für Hausstaubuntersuchungen muss der Fußboden der zu beprobenden Räume eine Woche vor der Messung grundgereinigt werden und darf danach nicht mehr gereinigt werden.

Die jeweils einzusetzende Probenahmetechnik hängt von der zu untersuchenden Substanz/Substanzgruppe ab sowie von der Mittelungszeit des jeweils relevanten Richtwerts.

Probenahme und Analytik

Formaldehyd

Die Formaldehydkonzentration in der Raumluft wird mittels Kurzzeitprobenahme (30 Minuten) festgestellt.

Die Messplanung und Probenahmestrategie gestaltet sich laut ÖNORM ISO 16000-2³.

Referenzverfahren für die Probenahme ist die Sammlung der Substanz durch Absorption des Aldehyds in einer wässrigen Lösung, welche Ammoniumacetat enthält, wobei ein definiertes Luftvolumen durch eine Gasprobenahmeapparatur gesaugt wird (Acetylaceton-Methode). Diese Möglichkeit der Probenahme ist in ÖNORM EN 717-1⁴ beschrieben. Die Analytik und Auswertung erfolgt mit Hilfe eines Spektralphotometers nach ÖNORM EN 120⁵.

Die Bestimmungsgrenze des gesamten Verfahrens darf maximal 10 µg/m³ betragen.

³ VDI 4300 Blatt 3 - Messen von Innenraumluftverunreinigungen, Messstrategie für Formaldehyd – 12/1997

⁴ ÖNORM EN 717-1 Holzwerkstoffe - Bestimmung der Formaldehydabgabe - Teil 1: Formaldehydabgabe nach der Prüfkammer-Methode - 2005 02 01

⁵ ÖNORM EN 120 - Holzwerkstoffe - Bestimmung des Formaldehydgehaltes - Extraktionsverfahren, genannt Perforatormethode - 1993 02 01

Alternativ kann die Probenahme und Analytik nach DIN ISO 16000-3 durchgeführt werden. Dabei werden DNPH⁶-Kartuschen als Aktivsammler eingesetzt und die Proben mittels HPLC-Analytik ausgewertet.

Unterschiedliche Raumklimabedingungen können sich auf die Formaldehyd-Konzentration auswirken. Die Emissionsrate von Holzwerkstoffen, die in der Regel die Hauptquelle für Formaldehyd darstellen, wird wesentlich von der Temperatur und der relativen Luftfeuchte beeinflusst. Unter der Voraussetzung, dass die Hauptquelle(n) von Formaldehyd Holzwerkstoffe im untersuchten Raum selbst sind, ist daher eine Umrechnung der Messwerte auf standardisierte Raumluftbedingungen (23° C, 45% rel. Luftfeuchte) mittels der Andersen Formel⁷ und eine Beurteilung dieser Ergebnisse sinnvoll. Das Ergebnis dieser Berechnung gilt nur als Orientierung.

Flüchtige organische Verbindungen

Die Probenahme erfolgt mittels aktiver Probenahme auf geeigneten Sorbentien. Zur Anreicherung flüchtiger organischer Verbindungen können je nach Anwendung und Siedebereich unterschiedliche Adsorbentien verwendet werden, die sich meist hinsichtlich der Desorptionstechnik unterscheiden. Als Sorbentien dienen in den meisten Fällen Tenax und Aktivkohle in unterschiedlichen Ausführungen.

Die Verwendung von Aktivkohle ist für die meisten unpolaren und schwach polaren VOC gut geeignet. Für polare Substanzen (z.B. Aldehyde) sollten andere Sammelmedien (z.B. Anasorb 747) verwendet werden.

Die Vorteile des Einsatzes von Aktivkohleröhrchen als Adsorbens mit anschließender Lösungsmitteldesorption (Schwefelkohlenstoff) liegt vor allem bei der Möglichkeit, wiederholte Einspritzungen durchführen zu können. Manche der den VOC zugeählten Substanzen können jedoch mit dem üblicherweise angewendeten Desorptionsmittel CS₂ von Aktivkohle nicht oder nur in unzureichendem Ausmaß desorbiert werden. Ein Beispiel dafür sind hochsiedende polare Komponenten, die nur mit speziellen Lösungsmitteln desorbiert werden können (z.B. Dichlormethan/ Methanolgemisch). Weitere Nachteile der Lösungsmitteldesorption sind die schlechtere Empfindlichkeit (da immer nur ein kleiner Teil der Probe zur Analyse gelangt) und der Lösungsmittelpeak, der unter Umständen den Nachweis eines Teiles der interessierenden Substanzen unmöglich macht. Manche Substanzen sind von Aktivkohle nicht oder nur unvollständig desorbierbar.

Die Probenahme auf Tenax⁸ mit nachfolgender Thermodesorption ist – bei entsprechender Beachtung und sorgfältiger Durchführung der Konditionierung – wegen der hohen Nachweisempfindlichkeit insbesondere für den Nachweis spezieller Einzelsubstanzen geeignet.

Die Tenax/Thermodesorptions-Methode wird auch von ECA-IAQ für die TVOC-Bestimmung empfohlen [ECA-IAQ 1997]. Diese Methode erlaubt die Erfassung einer größeren Substanzpalette als bei der Lösungsmitteldesorption (polare und unpolare Substanzen). Die Nachweisgrenze ist gegenüber der Methode der Lösungsmittlextraktion wesentlich besser, da der Verdünnungsschritt der Extraktion entfällt, allerdings ist auch das Sammelvolumen geringer und damit gegebenenfalls das

⁶ DNPH = Dinitrophenylhydrazin

⁷ Kommission Innenraumlufthygiene des BGA (1993): Raumklimabedingungen in Schulen, Kindergärten und Wohnungen und ihre Bedeutung für die Bestimmung der Formaldehydkonzentration. In Bundesgesundheitsblatt 2/93

⁸ Poröses Polymer (Poly-2,6-diphenyl-p-phenylenoxid)

Proben/Hintergrund-Verhältnis ungünstiger. Außerdem werden Substanzen mit niedrigem Siedepunkt schlecht adsorbiert. Ein weiterer Nachteil der Methode liegt darin, dass die Analyse bei Unklarheiten nicht wiederholt werden kann. Deshalb empfiehlt sich eine parallele Probennahme mit zwei Sammelpumpen.

Grundlagen der gaschromatographischen Bestimmung organischer Verbindungen finden sich in ÖNORM M 5700-1, die ÖNORM M 5700-2 geht auf die Analytik durch Desorption mit CS₂ ein. Weiters finden sich Grundlagen der gaschromatographischen Bestimmung organischer Substanzen in VDI 2100 Blatt 1, wo auch verschiedene Möglichkeiten der Detektion beschrieben werden. Die ÖNORM EN ISO 16017 Teil 1 und 2 sowie die VDI 2100 Blatt 3 beschreibt die Probenahme flüchtiger organischer Verbindungen durch Sorptionsröhrchen in Verbindung mit Thermodesorption und Kapillar-Gaschromatographie ein. Die Analyse der Proben wird im Labor unter Anwendung eines gaschromatographischen Analysenverfahrens vorgenommen.

Die Bestimmungsgrenze des gesamten Verfahrens darf maximal 5 µg/m³ betragen. Das Verfahren der Thermodesorption unter Verwendung entsprechender Sorbentien ist der Desorption mittels CS₂ gleichwertig.

Für die Bestimmung von Summenparametern wird die Gesamtfläche aller aus der Probe stammenden Peaks der jeweiligen Substanzen, die über der Basislinie liegen, ermittelt. Peaks mit einem Signal/Rausch-Verhältnis < 5 sind zu vernachlässigen. Der Verlauf der Basislinie muss durch geeignete Kontrollanalysen bekannt sein. Die Integrationsparameter für die Berechnung der einzelnen Peakflächen sollen so gewählt werden, dass mit der kleinsten Peakfläche eine Konzentration von 5 µg/m³ Toluol in der Raumluft noch sicher erfasst wird.

Der Summenparameter VOC wird unter Bezug auf die ECA-Definition für die VOC (n-Hexan bis n-Hexadecan) hauptsächlich auf drei Arten bestimmt:

1. Es wird nach gaschromatographischer Trennung ohne Berücksichtigung der Konzentrationen der Einzelsubstanzen die entsprechende Fläche unter dem Chromatogramm betrachtet. Mit Hilfe des Ansprechfaktors einer Referenzverbindung (z.B. Toluol) wird daraus die Konzentration des Summenparameters errechnet. Die Detektion erfolgt mittels FID oder mittels Massenspektrometer. Dieses Verfahren stellt die einfachste und kostengünstigste Methode der Summenbildung dar. Eine Fehlerquelle bei dieser Methode ist das unterschiedliche Ansprechverhalten der Einzelsubstanzen im Detektor, der mit nur einer Verbindung kalibriert wird.
2. Es werden nach gaschromatographischer Trennung die Konzentrationen der einzelnen in diesem Bereich identifizierten Verbindungen unter Verwendung des jeweils für sie gültigen Ansprechfaktors mittels externer Standards ermittelt und aufsummiert. Die aufsummierten Konzentrationen stellen den Zahlenwert für den Summenparameter dar. Die nicht identifizierten Verbindungen werden bei der Summenbildung nicht berücksichtigt. Je nach Anteil von nicht identifizierten Verbindungen kann es bei diesem Verfahren zu erheblichen Minderbefunden kommen. In der Regel wird die Identifikation der Einzelverbindungen mittels Massenspektrometer durchgeführt.
3. Es werden nach gaschromatographischer Trennung die Konzentrationen der einzelnen in diesem Bereich identifizierten Verbindungen unter Verwendung des jeweils für sie gültigen Ansprechfaktors mittels externer Standards ermittelt und aufsummiert. Weiters wird die Fläche der noch nicht quantifizierten Verbindungen betrachtet. Mit Hilfe des Ansprechfaktors einer Referenzverbindung (in der Regel Toluol) wird die der Referenzverbindung äquivalente Konzentration der noch nicht quantifizierten Verbindungen errechnet. Die Summe der Konzentrationen beider

Gruppen stellt den Zahlenwert für den Summenparameter dar.

Eine Alternative zur Wahl einer einzigen Referenzverbindung für alle nicht über externe Standards quantifizierbaren Substanzen ist die Quantifizierung von Gruppen ähnlicher Verbindungen über einen Repräsentanten für die Gruppe (z.B. alle aliphatischen und isoaliphatischen Verbindungen werden über n-Decan berechnet).

Um der Gefahr der Über- oder Unterbewertung der Konzentrationen der Einzelsubstanzen vorzubeugen, empfiehlt es sich, den Anteil nicht identifizierter Stoffe an der Gesamtkonzentration soweit als möglich zu reduzieren. In jedem Fall ist jedoch eine Zuordnung in Stoffklassen und eine weitest gehende Identifizierung anzustreben. Kann eine Substanz nicht eindeutig identifiziert werden, ist auch die Nennung einer Vermutung oder ein Hinweis auf die Substanzklasse möglich, soweit geeignete Anhaltspunkte (z. B. typische Massenfragmente) entsprechende Rückschlüsse zulassen.

Der Summenparameter für VOC kann unterschiedliche Bezeichnungen wie TVOC (Total Volatile Organic Compounds), Summe-VOC oder Gesamt-VOC tragen. Der Begriff TVOC wird zwar noch immer unterschiedlich angewendet, es hat sich jedoch eine Definition zur Berechnung dieses Parameters durchgesetzt, die in [ECA-IAQ 1997] beschrieben und von [Seifert 1999] übernommen wurde. Er folgt in seiner Berechnung der unter Punkt 3 vorgestellten Vorgangsweise. Darüber hinaus werden weitere detaillierte Vorgaben genannt [ECA-IAQ 1997].

Die Vorgangsweise, die sich der tatsächlichen Konzentration bei einem geringen Anteil nicht identifizierter Verbindungen am besten annähert, ist die oben unter Pkt. 3 beschriebene Methode der Berechnung des Summenparameters. Dies ist allerdings auch die aufwändigste Vorgangsweise.

Mittel- bis schwerflüchtige organische Substanzen

Die Probenahme für die Untersuchung von sedimentiertem Hausstaub erfolgt in Anlehnung an VDI 4300 Blatt 8. Der sedimentierte Hausstaub wird über einen handelsüblichen Staubsauger von der frei begehbaren Bodenfläche in einen neuen Staubsaugerbeutel gesaugt. [AGÖF 2004].

Die Analytik kann nach folgendem Verfahren erfolgen:

Die Probe wird mit n-Hexan bzw. Hexan/Aceton extrahiert, PCP wird acetyliert, wobei die zu analysierenden Substanzen in die organische Phase übergehen. Ein Aliquot des Extrakts wird mittels Kapillar-Gaschromatographie mit Elektroneneinfangdetektor / Flammenionisationsdetektor (GC / ECD / FID) bzw. Massenspektrometer untersucht, um den Gehalt der Substanzen quantitativ zu bestimmen. Als interner Standard dienen α -HCH, 2,4,6-Tribromphenol und PCB 209.

Die Bestimmung der PAK erfolgt, je nach Arbeitsbereich, mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) mit UV- und Fluoreszenzdetektor bzw. Kapillar-Gaschromatographie mit Flammenionisationsdetektor (GC / FID).

Sensorische Geruchsprüfung

Sensorische Geruchsprüfungen durch eine einzelne Person dienen der orientierenden Bewertung und sind mit Unsicherheiten behaftet. Für eine statistisch abgesicherte Beurteilung eines Raumes ist die Prüfung durch mehrere Personen notwendig. Durch Erhöhung der Prüferanzahl sinkt die methodisch bedingte Unsicherheit der Bewertung.

Eine möglichst weitgehende Objektivierung des Einsatzes menschlicher Sinnesorgane zu Prüfzwecken erfolgt durch die allgemeinen Vorgaben der EN 13725 für Prüfpersonen. Die die Geruchsprüfung durchführenden Personen müssen aufgrund einer speziellen Sensorikausbildung

über das technische Wissen von Geruchsbewertungen und über die notwendigen Qualifikationen für derartige sensorische Prüfungen verfügen. Die Erfüllung der Qualifikationen dient der Standardisierung in Hinblick auf Geruchserkennung und Geruchsempfindlichkeit (Parameter, die in der Regel zwischen unterschiedlichen Personen stark schwanken können). Als allgemeine Voraussetzung für die Eignung der Prüfer dienen die Vorgaben der ÖNORM S 5701.

Die Geruchsnoten werden unmittelbar nach Betreten des Raumes vergeben, wobei für die Prüfer eine Kalibriereinrichtung (n-Butanol in unterschiedlichen Geruchsintensitäten) nach ÖNORM S 5701 zur Verfügung stehen muss. Die Beschreibung des Geruchs erfolgt quantitativ (Intensität), qualitativ (Art des Geruches) und in Hinblick auf eine hedonische Wirkung (angenehm – unangenehm). Weiters wird die Akzeptanz beurteilt.

Zur Einstufung der Intensität im Rahmen der quantitativen Prüfung werden Noten zwischen 0 und 5 vergeben: nicht wahrnehmbarer (0) / sehr schwacher (1) / schwacher (2) / mittlerer (3) / starker (4) / sehr starker Geruch (5). Zwischennoten in Abstufungen von 0,25 sind möglich.

Für die qualitative Beurteilung des Geruches soll soweit möglich auf das Schema der ÖNORM S 5701 zurückgegriffen werden.

Die Beurteilung der Akzeptanz erfolgte grafisch nach nicht skalierten Strecken von klar unakzeptabel bis klar akzeptabel, die Beurteilung der Hedonik nach einer nicht skalierten Strecke von äußerst unangenehm bis äußerst angenehm. Die Nutzung bzw. Widmung des Raumes sowie der Zeitraum, der seit der Ausstattung des Raumes vergangen ist, fließt in die Bewertung der Akzeptanz ein, sie wurde den Prüfern vorab mitgeteilt.

Die Prüfer dürfen während der Beurteilung nicht miteinander kommunizieren. Am Ende der Prüfung werden die Einzelergebnisse für die Intensität arithmetisch gemittelt, Zwischenwerte werden auf Schritte von 0,25 gerundet. Die nicht skalierten Strecken für die Akzeptanz und Hedonik werden skaliert. Bei der Akzeptanz entspricht der Wert von -10 klar unakzeptabel, der Wert von +10 klar akzeptabel. Bei der Hedonik entspricht der Wert von -4 äußerst unangenehm, der Wert von +4 äußerst angenehm. Am Ende der Prüfung werden die von den Prüfern angegebenen Werte abgelesen. Bei mehreren Prüfern errechnet sich die Gesamtnote für die Akzeptanz und die Hedonik als arithmetischer Mittelwert der Einzelergebnisse der Prüfer.

Richtwerte

Auf Basis der im anschließenden Kapitel beschriebenen Bewertungsgrundlagen hat das IBO Richtwerte für Einzelverbindungen bzw. Summenparameter zur Beurteilung der Raumluftqualität von Neubauten abgeleitet - ohne Berücksichtigung der Messunsicherheit. Beurteilt werden Formaldehyd, flüchtige organische Verbindungen (VOC) sowie mittel- bis schwerflüchtige organische Substanzen (SVOC) auf Basis von Raumluft- und Hausstaubuntersuchungen eingestuft. Die sensorische Geruchsprüfung dient bis zum Vorliegen von Erfahrungswerten mit den neuen Richtlinien nur zur Orientierung.

Je nach Ergebnis der Raumluft- und Hausstaubuntersuchung werden Neubauten in drei Klassen unterteilt werden:

- Klasse I – niedrige bis durchschnittliche Schadstoffkonzentrationen in der Raumluft
- Klasse II – leicht bis deutlich erhöhte Schadstoffkonzentrationen in der Raumluft
- Klasse III – über das übliche Maß hinausgehende, hygienisch unerwünschte Belastung der Raumluft. Diese Gebäude sollten z.B. keine Wohnbauförderung erhalten.

Für die Beurteilung von Formaldehyd in der Raumluft existieren eine Reihe von nationalen und internationalen Richtwerten. Der IBO-Zielwert für die Klasse I entspricht der Wirkungsbezogenen Immissionsgrenzkonzentration (WIK), die als Grenzkonzentration zum Schutz der menschlichen Gesundheit auch für besonders empfindliche Gruppen angesehen wird. Bei Überschreiten des 30-Minuten-Richtwerts von $0,1 \text{ mg/m}^3$ fällt das Gebäude in Klasse 3.

Zu den mittel- bis schwerflüchtigen organischen Substanzen (SVOC) zählen Weichmacher, Flammenschutzmittel oder Biozide. Sie können durch Screening des sedimentierten Hausstaubs detektiert werden. Die vom IBO definierten Orientierungswerte basieren auf den gesetzlichen Richtlinien sowie in [AGÖF 2004] und [UBA 2005] veröffentlichten Orientierungswerten, die keine toxikologischen Eigenschaften enthalten, sondern statistisch aus real in Innenräumen vorkommenden Konzentrationen abgeleitet sind. Der IBO-Orientierungswert beschreibt eine deutliche Überschreitung von in Innenräumen üblichen Konzentrationen und legt das Vorhandensein einer Quelle nahe. Es ist allerdings zu beachten, dass bedingt durch die Probenahme die untersuchte Matrix inhomogen sein kann. In diesem Fall wären die gemessenen Konzentrationen nicht repräsentativ für den untersuchten Innenraum. Bei erhöhten Werten empfiehlt sich in jedem Fall eine Kontrollmessung, um die Ergebnisse abzusichern.

Tabelle 7 zeigt einen Überblick über die Ziel- und Richtwerte für die Einteilung von Neubauten in die Klassen I bis III. Eine Zusammenstellung der anzuwendenden Richtwerte für Einzelsubstanzen und für mittel- bis schwerflüchtige Substanzen geben Tabelle 8 und Tabelle 9.

Es sei darauf hingewiesen, dass die Richtwerte den momentanen Stand des Wissens wiedergeben und regelmäßig aktualisiert werden müssen. Die jeweils aktuellsten Richtwerte können beim IBO nachgefragt werden.

Substanz	Klasse I ☺	Klasse II ☹	Klasse III ⊗
VOC - Gesamtkonzentration	$\leq 0,5 \text{ mg/m}^3$	$0,5 - 3 \text{ mg/m}^3$	$> 3 \text{ mg/m}^3$
VOC - Einzelsubstanzen	$\leq \text{WIR}$	$\leq \text{WIR}$	$> \text{WIR}$
bzw. wenn kein WIR vorhanden:	$\leq \text{RW I}$	$\leq \text{RW II}$	$> \text{RW II}$
Formaldehyd (30 Minuten Richtwert)	$\leq 0,05 \text{ mg/m}^3$	$0,05 - 0,1 \text{ mg/m}^3$	$> 0,1 \text{ mg/m}^3$
Mittel- bis Schwerflüchtige Substanzen	$\leq \text{Hintergrundwert}$	Zwischenbereich	>Orientierungswert

WIR ... Wirkungsbezogene Innenraumrichtwerte

RW I und RW II ... Internationale Richtwerte, siehe Text

Tabelle 7: Ziel- und Richtwerte für die Schadstoffkonzentration in der Raumluft.

Substanz	Klasse I ☺	Klasse II ☹	Klasse III ☹	Qu-
Tetrachlorethen (7-Tages Mittelwert)	≤ 250 µg/m ³	≤ 250 µg/m ³	> 250 µg/m ³	WIR
Styrol (Stunden-Mittelwert ^a)	≤ 10 µg/m ³	≤ 10 µg/m ³	> 10 µg/m ³	WIR
Styrol (7-Tages Mittelwert)	≤ 40 µg/m ³	≤ 40 µg/m ³	> 40 µg/m ³	WIR
Toluol (Stunden-Mittelwert)	≤ 75 µg/m ³	≤ 75 µg/m ³	> 75 µg/m ³	WIR
Benzol	≤ 2,5 µg/m ³	≤ 10 µg/m ³	> 10 µg/m ³	WIK
Summe C ₁ -C ₄ -Alkylbenzole	300	3000	3000	HAM
Summe C ₉ -C ₁₄ -Alkane/-Isoalkane	200	2000	2000	IRK
Summe bicyclischer Terpene	200	2000	2000	IRK
Summe monocyclischer Terpene	200	2000	2000	HAM
N-Methylpyrrolidon	40	400	400	HAM
Propanal, Hexanal, Furfural –Einzelsubstanz	20	-	-	HAM
Summe C ₂ -C ₆ -Aldehyde	1000	1000	1000	HAM
Decamethylpentacyclosiloxan (Siloxan D5)	300	3000	3000	HAM
Texanoldiisobutyrat (TXIB)	10	1000	1000	HAM

Qu. ... Quelle

WIR ... Wirkungsbezogene Innenraumrichtwerte [BMLFUW]

WIK ... Wirkungsbezogene Immissionsgrenzkonzentration [Akad.d.W.1997]

HAM...Landesgesundheitsbehörde Hamburg, Deutschland

IRK... Deutsche Innenraumrichtwerte Ad-hoc Arbeitsgruppe der IRK/ AGLMB

^a bei Unterschreitung keine 7-Tages Messung nötig)

Tabelle 8: Zusammenstellung der Wirkungsbezogenen Innenraumrichtwerte [BMLFUW] und deutscher Richtwerte mit Stand 05/2008. Bei der Bewertung der Raumluf ist jeweils die geltenden Fassung heranzuziehen.

Bewertungsgrundlagen

Formaldehyd

Ein Grenzwert für Formaldehyd in der Luft von Innenräumen wurde in Österreich bisher nicht festgeschrieben. Für Arbeitsräume, in denen Formaldehyd als Arbeitsstoff eingesetzt wird (Werkräume von Tischlereien, chemische Industrie etc.), gilt der MAK Wert von 0,5 ppm = 0,6 mg/m³ laut Grenzwertverordnung (2003). Der MAK-Wert ist in der Regel aber für Innenräume wie Büros, Schulen, Wohnräume etc. nicht zur Beurteilung der Raumluftkonzentration geeignet.

Formaldehyd wurde von der IARC (Untergruppe der WHO für Krebsforschung) als kanzerogen für den Menschen klassifiziert und in Kategorie 1 eingestuft. Eine entsprechende Publikation der IARC ist zur Zeit in Vorbereitung [IARC 2008]. Laut einer Stellungnahme des deutschen Bundesinstitutes für Risikobewertung [BfR 2006] kann eine inhalative Formaldehydexposition beim Menschen Krebs auslösen und zu Tumoren der oberen Atemwege führen. Außerdem deuten die Ergebnisse von epidemiologischen Studien auf eine Assoziation zwischen der Formaldehydexposition durch Inhalation und der Entstehung von Leukämien hin. Es wird abgeleitet, dass eine Konzentration von 0,1 ppm Formaldehyd als sicher angesehen werden kann und das Krebsrisiko für den Menschen nicht nennenswert erhöht. Daher wird vom BfR ein "safe" level von 0,1 ppm empfohlen.

Darüber hinaus existieren für die Beurteilung von Formaldehyd in der Raumluft eine Reihe von nationalen und internationalen (Richtwerten Tabelle 10).

Formaldehyd	Raumluftkonzentration		Bemerkungen
	[ppm]	[mg/m ³]	
Weltgesundheitsorganisation (WHO)	0,05	0,06	level of no concern [WHO 1983]
	0,08	0,10	30 Minuten Richtwert [WHO 2000]
Wirkungsbezogene Immissionsgrenzkonzentration – WIK	0,04	0,05	Grenzkonzentration zum Schutz der menschlichen Gesundheit, auch für besonders empfindliche Gruppen, für die Außenluft konzipiert. [Akad.d.W. 1997]
Bundesgesundheitsamt Deutschland	0,10	0,12	Richtwert auch unter ungünstigen Bedingungen einzuhalten [BGA 1977/84]
Arbeitskreis Innenraumlufte des BMLFUW (2007)	0,05	0,06	24-Stunden-Mittelwert
	0,08	0,10	30 Minuten Richtwert

Tabelle 10: Richtwerte für Formaldehyd in Innenräumen

Richtwert Weltgesundheitsorganisation (WHO):

Die Weltgesundheitsorganisation legte in den Air Quality Guidelines for Europe [WHO 2000] einen Richtwert von 0,1 mg/m³ = 0,083 ppm als Halbstundenmittelwert fest. Eine ältere Publikation der WHO (1983) definierte einen „level of no concern“ von 0,06 mg/m³ = 0,05 ppm, unter dem Gesundheitsschäden unwahrscheinlich sind.

WIK Österreichische Akademie der Wissenschaften:

Wirkungsbezogene Immissionsgrenzkonzentrationen (WIKs) bilden eine Basis um die menschliche Gesundheit, auch für besonders empfindliche Gruppen, vor schädlichen Einflüssen zu schützen und Beeinflussungen für Gesundheit und Wohlbefinden nach dem derzeitigen Stand des Wissens zu vermeiden. Unter Berücksichtigung eines möglicherweise vorhandenen Einflusses von Formaldehyd

auf die Krebsentstehung beim Menschen, erscheint es der Akademie der Wissenschaften plausibel, den aus Tierversuchen belegten NOEL (no observed effect level) von 2 ppm auch auf den Menschen zu übertragen. Bei Einhaltung der Immissionsgrenzkonzentration von 0,04 ppm ist insbesondere aufgrund der neueren Modelle anzunehmen, dass auch Krebserkrankungen bei Langzeiteinwirkung vermieden werden. Der Richtwert wurde ursprünglich für die Außenluft konzipiert.

Richtwert Bundesgesundheitsamt (BRD):

Das Bundesgesundheitsamt Berlin hat 1977 und 1984 einen Richtwert von 0,1 ppm für maximale Immissionskonzentrationen in Innenräumen empfohlen, der auch unter ungünstigen Bedingungen einzuhalten ist. Dieser Wert dient in vielen Fällen als Interventionswert.

Richtwerte Arbeitskreis Innenraumluft des BMLFUW:

Der Arbeitskreis Innenraumluft des BMLFUW Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft) hat 2007 Richtwerte für Innenräume empfohlen [BMLFUW 2007]. Aufgrund der Unsicherheiten hinsichtlich der Reizwirkung im oberen Respirationstrakt bei sehr niedrigen Formaldehydkonzentrationen bei empfindlichen Erwachsenen und bei Kindern ist eine formelle Ableitung eines Wirkungsbezogenen Innenraumrichtwertes (WIR) derzeit nicht sinnvoll. Daher wird bezüglich der Beurteilung von Innenräumen empfohlen, den Richtwert der WHO (1983) als Wert mit keinem oder nur geringem Anlass zur Sorge für die menschliche Gesundheit bzw. für die Kurzzeitexposition den Wert der WHO-Air Quality Guidelines for Europe (2000) heranzuziehen.

Flüchtige organische Verbindungen

Grenzwerte für flüchtige organische Verbindungen in der Luft von Innenräumen sind in Österreich nicht vorhanden. In einer vom Umweltministerium und der österreichischen Akademie der Wissenschaften herausgegebenen Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft werden Richtwerte für die Innenraumluft festgelegt [BMLFUW]. Ziel dieser Richtlinie ist eine österreichweit einheitliche Erfassung und Bewertung der Innenraumluft. Die angegebenen Richtwerte sind als wirkungsbezogene Innenraum-Richtwerte (WIR) definiert, wobei ein WIR jene Konzentration darstellt, bei dessen Unterschreitung gemäß dem derzeitigen Wissensstand mit keiner schädigenden Wirkung zu rechnen ist.

Für Tetrachlorethen (auch PER oder TCE) ist der WIR mit 250 µg/m³ und für Styrol mit 40 µg/m³ als 7-Tages-Mittelwerte festgelegt, für Toluol mit 75 µg/m³ als Stunden-Mittelwert. Bei Überschreitung dieser Werte sind Maßnahmen einzuleiten, die nach dem Stand der Technik geeignet sind, eine Reduktion der Raumluftkonzentration herbeizuführen.

Bei Unterschreiten des Wertes von 10 µg/m³ Styrol bei einer Kurzzeitmessung unter worst-case Bedingungen wird davon ausgegangen, dass auch der WIR unterschritten ist. Eine Langzeitmessung wäre dann nicht erforderlich.

Für die krebserregende Substanz Benzol werden keine wirkungsbezogenen Grenzkonzentrationen, sondern nur Werte zur Begrenzung des Krebsrisikos angegeben. In den Luftqualitätskriterien VOC der Akademie der Wissenschaften [Akad.d.W. 1997] wird ein Aktionswert von 10 µg/m³ und ein Zielwert von 2,5 µg/m³ jeweils als Jahresmittelwert angegeben.

Zur Beurteilung weiterer Einzelsubstanzen bzw. Gruppen ähnlicher Substanzen können auch die von der deutschen Ad-hoc Arbeitsgruppe der IRK/ AGLMB bzw. der Landesgesundheitsbehörde Hamburg für VOC festgelegten Richtwerte dienen. Es wurden zwei unterschiedlich hohe Richtwerte festgelegt [Bundesgesundheitsblatt 1996, Sagunski 2004]: Bei Überschreitung von Richtwert II besteht unverzüglich Handlungsbedarf, da bei Überschreitungen dieses Richtwertes bei Daueraufenthalt in

diesen Räumen eine gesundheitliche Gefährdung vorliegt. Bei Überschreitung von Richtwert I sind bei lebenslanger Exposition allein durch den Luftpfad gesundheitliche Beeinträchtigungen nicht auszuschließen. Eine Überschreitung des Richtwertes I ist mit einer über das übliche Maß hinausgehenden, hygienisch unerwünschten Belastung verbunden.

In Tabelle 11 sind die österreichischen und deutschen Richtwerte für ausgewählte VOC zusammengefasst.

Substanz	Bezeichnung	Raumluftkonzentration [µg/m³]	Bemerkungen
Tetrachlorethen (TCE, PER)	WIR – wirkungsbezogener Innenraumrichtwert ^b	250	7-Tages Mittelwert
	Grenzwert laut Bundesimmissionschutzgesetz (1990)	149 (0,1 mg/m³)	7-Tages Mittelwert Gültig in Deutschland
Styrol	WIR – wirkungsbezogener Innenraumrichtwert ^b	40	7-Tages Mittelwert
		10	Stunden-Mittelwert, bei Unterschreitung keine 7-Tages Messung nötig
	Deutsche Innenraumrichtwerte Ad-hoc Arbeitsgruppe der IRK/AGLMB [Sagunski 1998]	30	Richtwert I: keine Gefährdung
		30 ... 300	Zwischenbereich ^a
		300	Richtwert II: Akuter Handlungsbedarf
Toluol	WIR – wirkungsbez. Innenraumrichtwert ^b	75	Stunden-Mittelwert
	WIK – wirkungsbez. Immissionsgrenzkonz. ^c	300	Luftqualitätskriterien VOC, Akademie der Wissenschaften, Tagesmittelwert
	Deutsche Innenraumrichtwerte Ad-hoc Arbeitsgruppe der IRK/AGLMB [Sagunski 1996]	300	Richtwert I: keine Gefährdung
		300 ... 3.000	Zwischenbereich ^a
	3.000	Richtwert II: Akuter Handlungsbedarf	
Xylole	WIK – wirkungsbez. Immissionsgrenzkonz. ^c	350	Tagesmittelwert
Benzol	WIK – wirkungsbez. Immissionsgrenzkonz. ^c	2,5	Zielwert
		10	Aktionswert
Summe C ₁ -C ₄ -Alkylbenzole	Landesgesundheitsbehörde Hamburg, D ^d	300	Richtwert I: keine Gefährdung
		300 ... 3.000	Zwischenbereich ^a
		3.000	Richtwert II: Akuter Handlungsbedarf
Summe C ₉ -C ₁₄ -Alkane/-Isoalkane	Deutsche Innenraumrichtwerte Ad-hoc Arbeitsgruppe IRK/AGLMB ^e	200	Richtwert I: Vorsorgewert
		200 ... 2.000	Zwischenbereich ^a
		2.000	Richtwert II: Gefahrenrichtwert
Summe bicyclischer Terpene	Deutsche Innenraumrichtwerte Ad-hoc Arbeitsgruppe der IRK/AGLMB ^f	200	Richtwert I: keine Gefährdung
		200 ... 2.000	Zwischenbereich ^a
		2.000	Richtwert II: Akuter Handlungsbedarf
Summe monocyclischer Terpene	Landesgesundheitsbehörde Hamburg, Deutschland ^d	200	Richtwert I: keine Gefährdung
		200 ... 2.000	Zwischenbereich ^a
		2.000	Richtwert II: Akuter Handlungsbedarf
N-Methylpyrrolidon	Landesgesundheitsbehörde Hamburg, Deutschland ^d	40	Richtwert I: keine Gefährdung
		40 ... 400	Zwischenbereich ^a
		400	Richtwert II: Akuter Handlungsbedarf

Substanz	Bezeichnung	Raumluftkonzentration [µg/m³]	Bemerkungen
Propanal, Hexanal, Furfural	Landesges.behörde Hamburg, Deutschland ^d	20	Pro Einzelsubstanz – Richtwert I: keine Gefährdung
Substanz	Bezeichnung	Raumluftkonzentration [µg/m³]	Bemerkungen
Summe C ₂ -C ₆ -Aldehyde	Landesges.behörde Hamburg, Deutschland ^d	1.000	Richtwert II: Akuter Handlungsbedarf
Decamethylpentacyclosiloxan (Siloxan D5)	Landesgesundheitsbehörde Hamburg, Deutschland ^d	300	Richtwert I: keine Gefährdung
		300 ... 3.000	Zwischenbereich ^a
		3.000	Richtwert II: Akuter Handlungsbedarf
Texanoldiisobutyrat (TXIB)	Landesgesundheitsbehörde Hamburg, Deutschland ^d	10	Richtwert I: keine Gefährdung
		10 ... 1.000	Zwischenbereich ^a
		1.000	Richtwert II: Akuter Handlungsbedarf

^a Zwischenbereich: hygienisch unerwünschte Situation

^b [BMLFUW], Stand 2008

^c [Akad.d.W. 1997]

^d [Sagunski 2004]

^e [Sagunski 2005]

^f [Sagunski 2003]

Tabelle 11: Österreichische und deutsche Grenz- und Richtwerte für ausgewählte VOC

Es existieren weiters österreichische und deutsche Orientierungswerte für „Gesamt VOC“ bzw. TVOC (total volatile organic compounds). Aus kontrollierten Wirkungsstudien mit VOC-Gemischen definierter Zusammensetzung kann geschlossen werden, dass die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Reizwirkungen und Geruchswahrnehmungen mit steigender Gesamtkonzentration des Gemisches, ausgedrückt als VOC-Gesamtkonzentration, zunimmt. Wegen der Variabilität der Zusammensetzung des VOC-Spektrums und der daraus resultierenden Vielfalt möglicher Wirkungsendpunkte lassen sich jedoch keine abgesicherten Dosis-Wirkungs-Beziehungen angeben. Mit steigender Konzentration nimmt jedenfalls die Wahrscheinlichkeit zu, dass sich spezifische Quellen an VOC in den jeweiligen Innenräumen befinden.

Aufgrund der beschriebenen Einschränkungen der Aussagekraft eines VOC-Summenparameters werden in der österreichischen Richtlinie zur Bewertung der Innenraumlufte keine Richt-, sondern Orientierungswerte vorgeschlagen. Diese Orientierungswerte basieren nicht auf einer toxikologischen Ableitung, sondern spiegeln die in der Praxis auftretenden Konzentrationsbereiche wider. Der VOC Summenparameter eignet sich demnach nicht als Kriterium für eine allfällige gesundheitliche Bewertung, sondern ist vielmehr als einer der Indikatoren für die Gesamtsituation anzusehen. Tabelle 12 zeigt österreichische und deutsche Orientierungswerte für „Gesamt VOC“. Kanzerogene und Geruchsstoffe sowie Verbindungen, für welche Einzelstoffbewertungen vorliegen, sind dabei einer gesonderten Betrachtung zu unterziehen.

Bezeichnung	Bewertung der Konzentration	Raumluftkonzentration [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Bemerkungen
Österreichische Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluf ¹ [BMLFUW]	Niedrig	< 250	Keine Richtwerte, keine scharfen Abgrenzungen der Bereiche, keine toxikologische Bewertung, Angabe des Messverfahrens nötig
	Durchschnittlich	250 ... 500	
	Leicht erhöht	500 ... 1.000	
	Deutlich erhöht	1.000 ... 3.000	
	Stark erhöht	> 3.000	
[Schleibinger 2002]	Zielwert	< 300	Keine Definition der Messmethodik, keine toxikologische Bewertung
	Richtwert	1.000	
Ad-hoc Arbeitsgruppe der IRK/ AGLMB [IRK/AGLMB 2007] definiert für TVOC	Hygienisch unbedenklich	< 300	Unbedenklich, soweit keine Richtwertüberschreitungen vorliegen Nutzung nur befristet akzeptabel (< 12 Monate) Nutzung nur befristet akzeptabel (< 1 Monat) Raumnutzung möglichst vermeiden
	Hygienisch noch unbedenklich	300 ... 1000	
	Hygienisch auffällig	1.000 ... 3.000	
	Hygienisch bedenklich	3.000 ... 10.000	
	Hygienisch inakzeptabel	> 10.000	

Tabelle 12: Österreichische und deutsche Orientierungswerte „Gesamt VOC“

In Deutschland wurden zusätzlich für einzelne Substanzklassen von VOC Richt- und Zielwerte publiziert (Tabelle 13). Diese Werte stellen jedoch keine toxikologisch abgeleiteten Werte im Sinne von wirkungsbezogenen Innenraumrichtwerten dar.

Substanzklasse	Richtwerte nach [Schleibinger 2002] in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Zielwerte nach [Schleibinger 2002] in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Zielwerte nach [Seifert 1990] in $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Summe Alkane	200	50	100
Summe Aromaten	200	50	50
Summe Terpene und Sesquiterpene	150	40	30
Summe Chlorierte Kohlenwasserstoffe	20	5	30 (Halogenierte KW)
Summe Aldehyde	120	50	20
Summe Ketone	50	20	(Aldehyde/Ketone)
Summe Glykolester und -ether	100	20	20
Summe Ester einwertiger Alkoh.	50	20	(Ester)
Summe Alkene	10	5	
Summe Alkohole	50	20	
Andere			50

^a Werte dienen als Orientierung. Für eine Bewertung werden die anerkannten deutschen und österreichischen Richt- und Orientierungswerte herangezogen.

Tabelle 13: Ziel- und Richtwerte für Klassen von VOC (Deutschland) ^a

Gerüche

Bei der Festlegung der deutschen Richtwerte für die Innenraumluft wurde ein Überschreiten des mittleren Geruchsschwellenwertes (so die geruchserzeugende Substanz bekannt ist und dafür ein Geruchsschwellenwert besteht) als eine über das übliche Maß hinausgehende, hygienisch unerwünschte Belastung der Raumluft bezeichnet [Bundesgesetzblatt 1996]. Personen mit erhöhter Geruchswahrnehmung können aber Konzentrationen weit unter dem mittleren Geruchsschwellenwert wahrnehmen. Der anzustrebende Zielwert liegt daher unterhalb des mittleren Geruchsschwellenwertes. In einer Arbeit des Österreichischen Bundesinstitutes für Gesundheitswesen werden Gerüche folgendermaßen beurteilt [Bl.f.GW 1995] (Auszug): „Gerüche werden individuell und situationsbedingt sehr unterschiedlich beurteilt. In der überwiegenden Zahl der Fälle werden jedoch persistente Gerüche, deren Auftreten und Dauer von den Raumnutzern nicht gesteuert werden können, als störend empfunden. Psychovegetative Reaktionen wie periphere Vasokonstriktion oder Pupillenerweiterung, werden durch Geruchsreize beeinflusst. Berichtet wird auch über geruchsbedingte Schlafstörungen. Es wird vermutet, dass sich schlechte Gerüche verstärkend auf asthmatische Symptome auswirken.“

Eine weitere Beurteilungsgrundlage in Bezug auf Geruchsstoffe ist die von der Akademie der Wissenschaften und dem österreichischen Umweltministerium herausgegebene Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft [BMLFUW 2004] (Auszug): „Eine besondere Bedeutung für die Innenraumluft haben Geruchsstoffe. Während am Arbeitsplatz Geruchsstoffe in gewissem Ausmaß im Sinne einer tätigkeitsspezifischen Belastung akzeptiert werden können, gelten für Innenräume im Sinne dieser Richtlinie strengere Regeln. Es ist zu berücksichtigen, dass Geruchsschwellen Werte darstellen, die bei 50 % der Individuen eine Geruchswahrnehmung ausgelöst haben. Will man daher erreichen, dass ein hoher Anteil der Personen keine Geruchswahrnehmung bei der Einwirkung eines Stoffes hat, dann ist im Allgemeinen die Geruchsschwelle wesentlich zu unterschreiten.“

Da in der Praxis in den meisten Fällen keine Einzelsubstanzen als Geruchsstoffe vorliegen, deren Geruchsschwellenwert bekannt ist, ist die Forderung, die Geruchsschwelle wesentlich zu unterschreiten, so zu verstehen, dass in dauernd genutzten Innenräumen von der überwiegenden Anzahl von normal geruchsempfindlichen Personen keine oder nur schwache Gerüche wahrgenommen werden. Gerüche alleine (ohne Berücksichtigung allfälliger erhöhter Konzentrationen gesundheitsschädigender Substanzen) werden in der umweltmedizinischen Praxis nicht als gesundheitsschädlich, sondern als belästigend beurteilt.

Bei der Untersuchung und Bewertung von Gerüchen müssen Baualter, Bauzustand und der Abstand zur letzten Veränderung in den fraglichen Räumen berücksichtigt werden. In einem Zeitraum bis etwa 3 Monaten nach der Erstellung bzw. Sanierung eines zu untersuchenden Gebäudes oder Gebäudebereiches kann es sich bei den im Untersuchungsbereich feststellbaren Gerüchen um übliche, herstellungsbedingte und zeitlich begrenzte Emissionen von Baustoffen handeln, deren Abklingverhalten in der Bewertung zu berücksichtigen ist. Das Abklingverhalten ist von der Materialart und dem Einbringverfahren (Applikation) abhängig. Geruchliche Belastungen können auch auf handwerkliche Fehler oder ungeeignete Materialien beim Einbringen der Baustoffe zurückzuführen sein. Als deutlich unangenehm empfundene Gerüche sind jedoch auch in diesem Zeitraum nicht als „üblicher“ Zustand zu bezeichnen. Nach diesem Zeitraum sollten bei fachgerechter Verarbeitung und geeigneten Materialien nur mehr Gerüche mit maximal schwacher Intensität und keine als „unangenehm“ empfundenen Gerüche auftreten.

Es ist nicht möglich, für alle in der Praxis auftretenden Fälle eindeutige, schematische Bewertungsgrundlagen für Gerüche zu geben. Es ist zu beachten, dass die bei der Prüfung gegebene Raumtemperatur das Ausmaß von Emissionen an Geruchsstoffen aus Materialien verändern kann, die relative Luftfeuchte kann sich auf die Akzeptanz auswirken. Andere Einflüsse wie Windgeschwindigkeit und Temperaturdifferenz innen-außen können ebenfalls Einflüsse auf den Luftwechsel und damit auch auf die Geruchsintensität haben.

Die Gesamtbewertung eines konkreten Raumes in Hinblick auf einen Mangel erfolgt mittels einer situativ-integrativen Bewertung durch den die Untersuchung leitenden Sachverständigen unter Berücksichtigung der Bewertungen der Faktoren Intensität, Qualität, Akzeptanz und Hedonik durch die Prüfer sowie der physikalischen Randparameter der Prüfung. Weiters sind die bei der Befragung der Nutzer ermittelten Faktoren (Geruch dauernd vorhanden oder intermittierend, Verlauf der Intensität etc.) und die Nutzung bzw. Widmung des Raumes zu berücksichtigen.

Biozide

Grenz- und Richtwerte für Biozide im Hausstaub von Innenräumen, sind in Österreich nicht festgelegt. In Österreich wird lediglich die Konzentration einzelner besonders gesundheitsgefährlicher Substanzen wie Pentachlorphenol (PCP) in Fertigwaren geregelt. In Deutschland gibt es z.B. für PCP auch einen Richtwert für Hausstaub:

Für Pentachlorphenol (PCP) wird von der deutschen PCP Richtlinie ein Wert von 1 mg/kg (Frischstaub) bzw. 5 mg/kg (Altstaub) als Richtwert definiert, bei dessen Überschreitung weitere Maßnahmen, wie Material- oder Luftuntersuchungen, vorzunehmen sind. Bei erhöhten Werten ist eine Holzschutzmittelbehandlung von Holz oder Holzwerkstoffen in den betreffenden Räumen sehr wahrscheinlich. Stehen keine Konzentrationswerte an PCP im sedimentierten Staub zur Verfügung, fordert die deutsche PCP-Richtlinie, in weiteren Untersuchungen die PCP-Konzentrationen in möglicherweise behandeltem Holz zu untersuchen. Hierzu sind Materialproben aus 0 bis 2 mm Tiefe des in Betracht kommenden Holzes zu entnehmen. Ergeben sich PCP-Konzentrationen von über 50 mg PCP/kg Holz, wird darüber hinaus empfohlen festzustellen, ob die behandelte Holzfläche, die mit der Innenraumluft in Kontakt steht, zu dem Raumvolumen in einem Verhältnis größer als 0,2 m² pro m³ steht. Ist dies ebenfalls der Fall, d.h. werden beide genannten Werte überschritten, wird im Folgenden empfohlen festzustellen, ob die im Jahresmittel zu erwartende Raumluftbelastung über 1 µg PCP/m³ Luft liegt. Ist dies der Fall, so wird im Folgenden empfohlen, eine Sanierung des PCP-belasteten Raumes durchzuführen.

In Österreich wird die Konzentration von Pentachlorphenol (PCP) in Fertigprodukten, die in Verkehr gesetzt werden, mit 5 mg/kg (ppm) gesetzlich beschränkt. Bei Werten bis zu 1 mg/kg liegt eine sehr niedrige Belastung vor (Grundbelastung bei Holz). Bei Werten bis 5 mg/kg ist die Belastung gering, bei Werten zwischen 5 - 50 mg/kg deutlich. Als hohe Belastungen werden Werte zwischen 50 - 500 mg/kg und als sehr hohe Werte über 500 mg/kg angenommen.

In Anlehnung an PCP kann obiges Bewertungsschema auch für Lindan angewendet werden. Allerdings zeigen Messungen, dass die entsprechenden Hausstaubkonzentrationen mit tendenziell höheren Raumluftkonzentrationen korreliert sind.

Vom deutschen Umweltbundesamt wurden für PCP, Lindan und Permethrin ⁹ die in angeführten Orientierungswerte publiziert [UBA 2005].

Substanz	Einheit	Konzentrationsangaben		
		50-Perzentil	90-Perzentil	95-Perzentil
Pentachlorphenol (PCP)	[mg/kg]	0,2	1,6	2,9
Lindan	[mg/kg]	< 0,05	0,28	0,75
Permethrin	[mg/kg]	0,17	4,82	14,5

Tabelle 14: Orientierungswerte Hausstaub Innenraum - UBA

Zur Beurteilung der Belastungen mit einzelnen Bioziden können auch die AGÖF-Orientierungswerte herangezogen werden (siehe Kapitel „AGÖF-Orientierungswerte“).

Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Die Konzentration der Leitsubstanz Benzo(a)pyren im Hausstaub ist ein Hinweis auf mögliche Quellen an Teerprodukten im untersuchten Objekt. Die Grundbelastung von Hausstaub mit Benzo(a)pyren wird mit bis zu 1 mg Substanz/kg angenommen. Bei ansteigenden Werten steigt auch die Wahrscheinlichkeit, dass erhöhte Raumluftkonzentrationen an PAK auftreten.

Bei Belastungen in Wohnungen durch PAK-hältige Parkettkleber gibt das Hessische Umweltministerium einen Sanierungszielwert von kleiner 1 mg/kg Benzo(a)pyren im Hausstaub (7-Tage-Probe) an [Hessen 1998]. Darunter ist die Wahrscheinlichkeit, dass sich relevante Mengen an Teerprodukten in dem untersuchten Objekt befinden, gering.

Bei erhöhten Konzentrationen im Hausstaub sollte sowohl die Konzentration weiterer PAK im Hausstaub bestimmt als auch die Raumluft untersucht werden, da auch für die Raumluft Orientierungswerte existieren.

Für eine Einstufung der Konzentration im sedimentierten Hausstaub können auch die von der AGÖF publizierten Orientierungswerte für PAK im Hausstaub (siehe Kapitel „AGÖF-Orientierungswerte“) dienen.

Phthalate

Grenzwerte für Phthalate im Hausstaub von Innenräumen sind in Österreich nicht vorhanden. Eine erhöhte Konzentration von Phthalaten im Hausstaub ist ein Hinweis auf mögliche Quellen an Phthalaten im untersuchten Objekt.

Vom deutschen Umweltbundesamt (UBA) wurden für Phthalate die in Tabelle 15 eingetragenen Orientierungswerte publiziert [UBA 2005]. Für eine Beurteilung der Einzelverbindungen können auch die von der AGÖF publizierten Orientierungswerte für Phthalate im Hausstaub (siehe Kapitel „AGÖF-Orientierungswerte“) dienen.

Ergänzende Anmerkung zur Beurteilung von Phthalaten: Mit der EU-Richtlinie 1999/815/EG ¹⁰ wurde die Verwendung von sechs Phthalaten in Spielzeugen und Babyartikeln vorläufig verboten. Nun

⁹ Ein weiterer häufig eingesetzter biozider Wirkstoff ist Permethrin. Als Quelle kommen neben Holzschutzmitteln auch Schädlingsbekämpfungsmaßnahmen oder behandelte Textilien (z.B. Teppiche) in Frage.

¹⁰ Entscheidung der Kommission vom 7. Dezember 1999 über Maßnahmen zur Untersagung des Inverkehrbringens von Spielzeug- und Babyartikeln, die dazu bestimmt sind, von Kindern unter drei Jahren in den Mund genommen zu werden, und aus Weich-PVC bestehen, das einen oder mehrere der Stoffe

werden durch eine neue Richtlinie die drei Phthalate DEHP (Di-(2-ethyl-hexyl)phthalat), DBP (Dibutylphthalat) und BBP (Benzylbutylphthalat), die als fortpflanzungsgefährdend bekannt sind, in sämtlichen Spielzeugen und Babyartikeln verboten. Außerdem wird die Verwendung von DINP (Diisononylphthalat), DIDP (Diisodecylphthalat) und DNOP (Di-n-octylphthalat) in Spielzeugen und Babyartikeln verboten, wenn diese von Kindern in den Mund genommen werden können.

Substanz	Einheit	Konzentrationsangaben		
		50-Perzentil	90-Perzentil	95-Perzentil
Dimethylphthalat (DMP)	[mg/kg]	0,2	1,5	3,7
Diethylphthalat (DEP)	[mg/kg]	3,3	59	90
Di-n-butylphthalat (DBP)	[mg/kg]	42	110	160
Butylbenzylphthalat (BBzP)	[mg/kg]	15	130	210
Di-2-ethylhexylphthalat (DEHP)	[mg/kg]	420	980	1200
Di-n-octylphthalat (DNOP)	[mg/kg]	1,6	9,4	21

Tabelle 15: Orientierungswerte Hausstaub Innenraum nach [UBA 2005]

Bromierte Flammschutzmittel

Bromierte Flammschutzmittel werden hauptsächlich in Verbindung mit Kunststoffen eingesetzt. Beispiele für Anwendungen sind Leiterplatten, Kunststoffgehäuse von technischen Geräten wie Kopierern, Computern oder Fernsehern, Textilfasern, die flammfest sein müssen oder geschäumte Baustoffe.

Bromiertes Flammschutzmittel	Einsatzbereiche
Hexabromcyclododecan	u. a. in Polystyrol
Dibromneopentylglykol	in Polyurethan(schäumen), Polyesterharzen und Polypropylen
Tetrabromphthalsäureanhydrid	in Polyester
Tetrabrombisphenol A (TBBA)	in Epoxyd- und Phenolharzen (Leiterplatten, elektronische Bauteile), in technischen Kunststoffen wie hoch schlagfestem Polystyrol (HIPS), Polycarbonat (PC), PBT und ABS (für Gehäuse, Spezialteile)
Polybromierte Biphenyle (PBB): Decabrombiphenyl	Anwendungen in technischen Kunststoffen, vgl. auch TBBA
Polybromierte Diphenylether (PBDE): Deca, Okta- und Pentabromdiphenylether	ähnliche Anwendungen wie TBBA, auch in Textilien

Tabelle 16: Bromierte Flammschutzmittel und ihre Anwendungsbereiche [hamm-chemie]

Toxikologische Daten sind zur Zeit noch unzureichend. Als Risikogruppe sind wie bei allen persistenten Stoffen im Hausstaub vor allen Krabbel- und Kleinkinder anzusehen. Die orale Aufnahme von Staub durch Verschlucken bedeutet für diesen Personenkreis einen wesentlichen Aufnahmepfad. Für eine Einstufung der Konzentration im sedimentierten Hausstaub können die von der AGÖF publizierten Orientierungswerte für Bromierte Flammschutzmittel im Hausstaub dienen.

TRIS-Phosphate

Die Verbindungsgruppe der TRIS-Phosphate werden als Flammschutzmittel und/oder Weichmacher in verschiedenen Materialien eingesetzt (z.B. Farben, Holz, Teppichen, Tapeten, Schaumstoffen, Montageschäumen, Schmiermittel, hydraulische Flüssigkeiten). Größere Mengen wurden insbeson-

Diisononylphthalat (DINP); Di-(2-ethyl-hexyl)phthalat (DEHP), Dibutylphthalat (DBP), Diisodecylphthalat (DIDP), Di-n-octylphthalat (DNOP) oder Benzylbutylphthalat (BBP) enthält

dere als Weichmacher in PVC und synthetischen Kautschuktypen eingesetzt. Weitere Einsatzgebiete ergeben sich aufgrund biozider Eigenschaften.

TBEP (Tris-(2-butoxyethyl)-phosphat) wird oft in Bodenbeschichtungen eingesetzt [WHO 2000-2], TCEP (Tris(2-chlorethyl)phosphat) wird in erster Linie als Weichmacher und Viskositätsregulator mit flammhemmenden Eigenschaften verwendet.

Für den Menschen liegen keine abschließenden Aussagen zur gesundheitlichen Auswirkung vor, beobachtet wurden u.a. Reizerscheinungen der Haut und der Schleimhäute¹¹. Dementsprechend existieren auch in Österreich keine verbindlichen Richtwerte für die Konzentration an TRIS-Phosphaten im Hausstaub. Für eine Einstufung der Konzentration im sedimentierten Hausstaub können die von der AGÖF publizierten Orientierungswerte für TRIS-Phosphate im Hausstaub (siehe Kapitel „AGÖF-Orientierungswerte“) dienen. Bei auffällig erhöhten Konzentrationen wird die Untersuchung der Raumluft empfohlen (zur Beurteilung der Konzentrationen in der Innenraumluft existieren deutsche Richtwerte).

AGÖF-Orientierungswerte für Hausstaubproben

Zur Beurteilung der Belastungen einzelner mittel- bis schwerflüchtigen organischen Verbindungen können die AGÖF-Orientierungswerte herangezogen werden (siehe Kapitel „AGÖF-Orientierungswerte“). Dabei handelt es sich um keine toxikologische Einschätzung, sondern um statistische Auswertungen von real in Innenräumen vorkommenden Konzentrationen. Die Orientierungswerte umfassen Hintergrund-, Normal- und Auffälligkeitwerte:

- Der "Hintergrundwert", das 10-Perzentil der Messwerteverteilung, beschreibt einen Zustand, der durch die konsequente Vermeidung von Emissionsquellen erreichbar und deswegen grundsätzlich anzustreben ist. Diese Hintergrundwerte liegen vielfach kleiner gleich der Nachweisgrenze der angewandten Methoden.
- Der "Normalwert" (50-Perzentil) stellt die durchschnittliche Belastungssituation des betrachteten Kollektivs dar, die im Allgemeinen auf Quellen im Innenraum zurückgeht. Bei diesen Werten können zwar Innenraumquellen angenommen werden, ein Handlungsbedarf lässt sich daraus üblicherweise jedoch nicht ableiten.
- Der "Auffälligkeitwert" (90-Perzentil) beschreibt eine Überschreitung von in Innenräumen üblichen Konzentrationen und legt das Vorhandensein einer Quelle nahe.

Es ist zu beachten, dass bedingt durch die Probenahme die untersuchte Matrix inhomogen sein kann. In diesem Fall wären die gemessenen Konzentrationen nicht repräsentativ für den untersuchten Innenraum. Bei erhöhten Werten empfiehlt sich in jedem Fall eine Kontrollmessung, um die Ergebnisse abzusichern.

¹¹ Auskunft ARGUK-Umweltlabor GMBH; BRD

	AGÖF in mg / kg Probenmasse = ppm			
	Hintergrundwert	Normalwert	Auffälligkeitswert	Bestimmungsgrenze
Pestizide				
2,3,4,6-Tetrachlorphenol				0,1
β-HCH				0,1
γ-HCH (Lindan)	<0,1	0,1	0,5	0,1
delta-HCH			0,1	0,2
Aldrin	<0,1	<0,1	1	0,1
Bromophos-Methyl	<0,1	<0,1	0,1	0,1
Chlordan	<0,1	<0,1	0,5	0,1
Chlorpyrifos	<0,1	0,1	1	0,1
Chlorthalonil	<0,1	<0,1	1,5	0,1
Dichlofluanid	<0,1	0,1	0,2	0,2
Dieldrin	<0,1	<0,1	0,1	0,1
Endosulfan 1+2	<0,1	<0,1	0,5	0,1
Endrin	<0,1	<0,1	0,5	0,1
Furmecycloz	<0,1	<0,1	0,5	2,0
Heptachlor	<0,1	0,1	0,5	0,1
Heptachlorepoxyd	<0,1	0,1	0,5	0,1
Hexachlorbenzol (HCB)	<0,1	<0,1	0,1	0,1
Methoxychlor	<0,1	0,1	5	0,2
PCSD + PCAD ^a (EULAN WA neu)	<0,1	<0,1	10	1,0
Pentachlorphenol (PCP)	<0,1	0,3	1	0,1
Propiconazol	<1		3	1,0
Quintozen				0,1
Summe DDT und Abkömmlinge	<0,1	<0,1	3	0,3
Tebuconazol	<0,1	<0,1	0,1	0,1
Tolyfluanid	<0,1	0,1	0,2	0,1
Pyrethroide/Pyrethrum/Piperonylbutoxid	Hintergrundwert	Normalwert	Auffälligkeitswert	Bestimmungsgrenze
Allethrin	<0,5	<0,5	1	0,5
Cyfluthrin	<0,5	<0,5	1	0,5
Cypermethrin	<0,5	<0,5	1	0,5
Deltamethrin	<0,5	<0,5	1	0,5
Fenvalerat	<0,5	<0,5	1	0,5
Permethrin	<0,5	<0,5	5	0,5
Phenothrin	<0,5	<0,5	1	0,5
Piperonylbutoxid	<0,5	<0,5	1	2,0
Tetramethrin	<0,5	<0,5	1	0,5

	AGÖF in mg / kg Probenmasse = ppm			
	Hintergrundwert	Normalwert	Auffälligkeitswert	Bestimmungsgrenze
Phthalate				
Dimethylphthalat (DMP)	<2	5	10	5
Diethylphthalat (DEP)	<2	5	10	5
Di-i-butylphthalat (DiBP)	20	50	200	5
Di-n-butylphthalat (DBP)	<10	30	200	5
Butylbenzylphthalat (BBzP)	<5	5	150	5
Di-2-ethylhexylphthalat (DEHP)	150	400	1000/ 100*	5
Polychlorierte Biphenyle	Hintergrundwert	Normalwert	Auffälligkeitswert	Bestimmungsgrenze
PCB-28	<0,02	<0,02	0,02	0,01
PCB-52	<0,02	<0,02	0,02	0,01
PCB-101	<0,01	0,02	0,2	0,01
PCB-138	<0,01	0,05	0,4	0,01
PCB-153	<0,01	0,05	0,4	0,01
PCB-180	<0,01	0,03	0,4	0,01
Summe PCB ^b			5	0,3
TRIS-Phosphate	Hintergrundwert	Normalwert	Auffälligkeitswert	Bestimmungsgrenze
Tris-(2-chlorethyl)-phosphat (TCEP)	<0,1	0,5	5	0,1
Tris-(2-chlorisopropyl)-phosphat (TCPP)	<0,1	1	5	0,1
Tris-(Dichlorpropyl)-phosphat (TDCPP)	<0,1	<0,1	1	0,1
Tris-(2-butoxyethyl)-phosphat (TBEP)	<0,1	0,5	50	0,1
Triphenylphosphat (TPP)	<0,1	<0,1	1	0,1
Bromierte Flammschutzmittel	Hintergrundwert	Normalwert	Auffälligkeitswert	Bestimmungsgrenze
Tribromphenylallylether	<0,1	<0,1	0,5	0,1
Pentabrommethylbenzol	<0,1	<0,1	0,5	0,1
Hexabrom-Benzol	<0,1	<0,1	0,5	0,1
Hexabrom-Cyclododecan	<0,1	<0,1	0,5	0,1
Tetrabrom-Bisphenol A	<0,1	<0,1	0,5	0,1
Polybromierte Biphenyle	<0,1	<0,1	0,5	0,1
Polybromierte Diphenylether (PeBPE,OBDE)	<0,1	<0,1	0,5	0,1

a PCSD + PCAD = Polychlorierte Sulfonamid-Diphenylether / polychlorierte Amino-Diphenylether

b Summe PCB gesamt nach DIN 51 527 ist die Summe von 6 Einzelverbindungen (PCB 28, 52, 101, 138, 153 und 180 nach dem Ballschmitter-Index), welche mit dem Faktor 5 multipliziert wird

c Auf Wunsch kann die Konzentration der 16 PAK nach EPA in der Probe angegeben werden

* für Klein und Krabbelkinder in der Wohnung

Tabelle 17: Ableitung von Orientierungswerten für mittel- bis schwerflüchtige Substanzen

BEGRIFFE UND ABKÜRZUNGEN

AgBB	Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten, erarbeitet Grundlagen für eine einheitliche und nachvollziehbare gesundheitliche Bewertung von Bauprodukten in Deutschland
Bauchemikalien	alle auf der Baustelle eingesetzten „nicht-festen“ Produkte (flüssige, pastöse, gas- und staubförmige)
Bauprodukte	Baustoffe und Bauchemikalien
Baustoffe	alle bei der Errichtung des Gebäudes eingesetzte Fertigwaren inkl. Innenausstattungsmaterialien wie Bodenbeläge
DALY	disability adjusted life years (Ökobilanzindikator zur Bewertung der Humantoxizität)
IBO	Österreichisches Institut für Baubiologie und –ökologie
Innenräume	definiert in Anlehnung an die Richtlinie VDI 4300 Blatt 1 - beinhaltet auch Räume an Arbeitsplätzen, die nicht im Hinblick auf den interessierenden Luftschadstoff arbeitnehmerschutzrechtlichen Bestimmungen unterliegen
baubook	Bauprodukte-Online-Datenbank (www.baubook.info)
klima:aktiv-Haus	Programm des Lebensministerium zur Förderung des klimafreundlichen Bauens
KMR-Stoffe	Krebserregende, Mutagene oder Reproduktionstoxische Stoffe
natureplus	Internationales Umweltzeichen für nachhaltige Bauprodukte (siehe auch Vorarbeiten)
POM	staubgebundene organische Verbindungen
Raumluft	Luft in Innenräumen
SVOC	schwerflüchtige organische Verbindungen
TVOC	Summe aller flüchtigen organischen Verbindungen (total volatile organic compounds)
VOC	Gesamtheit der flüchtigen organische Verbindungen (volatile organic compounds), enthält VVOC, VOC, SVOC und POM.
VOC ₆₋₁₆	flüchtige organische Verbindungen (volatile organic compounds) im Retentionsbereich C6 (n-Hexan) bis C16 (n-Hexadecan). Diese Bezeichnung ist nicht üblich, wird aber in der vorliegenden Studie verwendet, um den allgemeinen VOC-Begriff vom speziellen zu unterscheiden.
VVOC	leichtflüchtige organische Verbindungen

LITERATUR

- AgBB 2002 Vorgehensweise bei der gesundheitlichen Bewertung der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC und SVOC) aus Bauprodukten. AgBB- Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten, Juni 2002, <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/voc.htm>, zitiert nach [SIBAT 2005]
- AgBB 2005 Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten: A contribution to the Construction Products Directive: Health-related evaluation procedure for volatile organic compounds emissions (VOC and SVOC) from building products. September 2005
- AGÖF 2004 AGÖF-Orientierungswerte für Inhaltsstoffe von Raumluft und Hausstaub. In: Umwelt, Gebäude und Gesundheit. Innenraumhygiene, Raumluftqualität und Energieeinsparung, 7. AGÖF Fachkongress, München 4.-5.3.2004
- AGU 2003 Wohnen und Gesundheit. Hrsg.: AGU (Ärztinnen und Ärzte für eine gesunde Umwelt), Projektleitung: Hans-Peter Hutter. Wien 2003
- Akad.d.W. 1997 Akademie der Wissenschaften: Flüchtige Kohlenwasserstoffe in der Atmosphäre - Luftqualitätskriterien VOC, Hrsg. Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie. 1997
- BfR 2006 Stellungnahme der Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR) Nr. 023/2006 vom 30. März 2006 – Toxikologische Bewertung von Formaldehyd
- BGA 1977/84 Bundesgesundheitsamt (BGA): Bewertungsmaßstab für Formaldehyd in der Raumluft. BGA-Pressedienst 19/77 vom 12.10.1977, auch: Formaldehyd. Gemeinsamer Bericht des BGA, der BAU und des UBA, 1.10.1984
- BI.f.GW 1995 Österreichisches Bundesinstitut für Gesundheitswesen. Luftverunreinigungen in Innenräumen 1995
- BMLFUW Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft, erarbeitet vom Arbeitskreis Innenraumluft am Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) und der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Blau- Weiße Reihe. Loseblattsammlung. pdf-Dateien auch unter <http://www.innenraumanalytik.at/richtwerte.html>
- BMLFUW 2004 Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft. Hrsg.: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Akademie der Wissenschaften – Kommission Reinhaltung der Luft, Eigenverlag des BMLFUW, Blau-Weiße Reihe (Loseblattsammlung). Ausgabe 2004
- BMLFUW 2007 Arbeitskreis Innenraumluft des BMLFUW: Vorschlag Richtlinienenteil Formaldehyd der Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft. Wien 2007

- Broschüre Raumluft Wegweiser für eine gesunde Raumluft. Die Chemie des Wohnens. IBO Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie (Autor). Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Hrsg, Verleger). Jan 2002 (3. Ausg.)
- Bundesgesundheitsblatt 1996 Richtwerte für die Innenraumluft: Basisschema. Bundesgesundheitsblatt 11/96
- Bundesimmissionsschutzgesetz 1990 2. Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz (1990): Verordnung zur Emissionsbegrenzung von leichtflüchtigen Halogenkohlenwasserstoffen (BGBl. I S. 2694)
- CML 2001 Centre of Environmental Science, Leiden University (Guinée, M.; Heijungs, Huppes, G.; Kleijn, R.; de Koning, A.; van Oers, L.; Wegener Seeswijk, S.; de Haes, U.); School of Systems Engineering, Policy Analysis and Management, Delft University of Technology (Bruijn, H.); Fuels and Materials Bureau (von Duin, R.); Interfaculty Department of Environmental Science, University of Amsterdam (Huijbregts, M.): Life Cycle assessment: operational guide to the ISO standards. Final Report, May 2001.
- De Bortoli 1986 Concentrations of selected organic pollutants in Indoor and outdoor air in northern Italy, Environment International 12, pp. 343-350. 1986
- ECA-IAQ 1993 Biological particles in Indoor Environments, Commission of the European Communities Brusseles, Report No. 12. 1993
- ECA-IAQ 1997 European collaborative action Indoor Air Quality and its impact on man (ECA-IAQ): Total Volatile Organic Compounds (TOC) in Indoor Air Quality Investigations. Environment and Quality of Life. Report No 19 prepared by working group 13. 1997
- ECA-IAQ 2005 European Collaborative Action, Urban Air, Indoor Environment and Human Exposure (ECA-IAQ): Harmonisation of indoor material emissions labelling systems in the EU, Inventory of existing schemes, Report No 24. EUR 21891 EN. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities 2005
- Ehrnsperger 2005 Gesundheits- und Umweltkriterien bei der Umsetzung der EG-Bauproduktenrichtlinie. Ehrnsperger, Renate; Misch, Wolfgang. Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt). Gefördert vom Umweltbundesamt, Berlin. Bericht Nr. UFOPLAN-Nr. 200 62 311. UBA-FB 000794. Februar 2005 (Download unter <http://www.umweltbundesamt.de> möglich)
- EMPA 1997 Zellweger C.; Hill M., Gehrig R., Hofer P.: Schadstoffemissionsverhalten von Baustoffen, Methodik und Resultate. EMPA Abt. Luftfremdstoffe/Umwelttechnik im Auftrag des Bundesamtes für Energie. 1997
- Friedmann H 2004a Radon in Österreich. Physikalische Grundlagen und Vorkommen. In: Österr. Institut für Baubiologie und -ökologie (Hrsg.): Gesunde Raumluft. Schadstoffe in Innenräumen – Prävention und Sanierung. Internationaler Kongress, MessezentrumWienNeu, 12.-13.2.2004, IBO-Verlag, Wien, 183-186, zitiert nach [SIBAT 2005]

- Friedmann H 2004b Internet: http://www.univie.ac.at/Kernphysik/oenrap/j_mittel.gif vom 14.07.2004, zitiert nach [SIBAT 2005]
- Gams 1998 Schimmelpilze in Innenräumen; Umwelt & Gesundheit Heft 4/1998, 9. Jahrgang
- Gawrich 2002 Gawrich, Stefan: Analyse der Einsatzmöglichkeiten und Validierung des globalen Gesundheitsmaßes "Disability adjusted life years" (DALY) mit Mikrodaten am Beispiel des United States Renal Data System. Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Sozialwissenschaft, 2002
- Grenzwerteverordnung 2003 BGBl. II Nr. 253/2001 zuletzt geändert durch BGBl. II Nr. 184/2003: Verordnung des BM für Wirtschaft und Arbeit über Grenzwerte für Arbeitsstoffe und krebserzeugende Arbeitsstoffe
- hamm-chemie www.hamm-chemie.de/k9/k9te/bromhaltige_flammschutzmittel.htm am 06.03.2008
- Hessen 1998 Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie Jugend, Familie und Gesundheit: Erlass vom 02.06.1998; AZ: VIII 8-22d-20/98
- Hadgson 1995 Hodgson AT: A review and a limited comparison of methods for measuring total volatile organic compounds in indoor air. Indoor Air 5:247-257 (1995)
- IARC 2008 Overall Evaluations of Carcinogenicity to Humans; as evaluated in IARC Monographs Volume 88; <http://www-cie.iarc.fr/monoeval/crthgr01.html>
- Interreg 2007 Ökologisch Bauen und Beschaffen in der Bodenseeregion, Interreg IIIA Alpenrhein, Bodensee, Hochrhein- Projekt, April 2005 bis Juni 2008. IBO im Auftrag der Projektgruppe des oben genannten Interreg IIIA-Projektes (Umweltverband Vorarlberg, Stadt Konstanz, Stadt Bad Säckingen, Stadt Ravensburg, Umweltbüro des Gemeindeverwaltungsverbandes Donaueschingen, Hüfingen und Bräunlingen, Energie & Umweltzentrum Allgäu und Energieinstitut Vorarlberg), Jan 2007
- IRK/AGLMB 2007 Ad-hoc Arbeitsgruppe der IRK/ AGLMB: Beurteilung der Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten. 2007
- ISO 16814 Building environment design — Indoor air quality — Methods of expressing the quality of indoor air for human occupancy
- Kasser U 2001 Bautox-Index BTI – Bewertung des ökotoxikologischen Potenzials von Baukonstruktionen. Machbarkeitsstudie im Auftrag des Hochbauamtes des Kantons Zürich, Amt für Hochbauten der Stadt Zürich, unveröffentlicht, zitiert nach [SIBAT 2005]
- klima:aktiv 2007 Technische Erläuterungen – Kriterien zum klima:aktiv Haus. Version 3.3.3. Energieinstitut Vorarlberg, Österreichisches Institut für Baubiologie und –ökologie im Auftrag von Lebensministerium / BMVIT. 2.4.2007, weitere Informationen unter: www.klimaaktivhaus.at
- Köhler 2003 Michael Köhler: Erarbeitung eines Schemas zur Bewertung flüchtiger organischer Verbindungen. In Hildegund Mötzl et al: Indikatoren zur

- Baustoffwahl in der Sanierung. Vergaberichtlinien für Wärmedämmverbund- und Beschichtungssysteme als Grundlage für die Vergabe des internationalen Umweltzeichens natureplus. BMVIT (Hrsg). Dez. 2003. Aktualisierte Fassung unter www.natureplus.org
- Leutgeb 2005 F. Leutgeb (bauXund): Die ixbau¹²-Methodik zur Bewertung von Bauchemikalien. Vorabdruck im IBO-Tagungsband „Häuser der Zukunft – Von der Forschung in die Praxis“. Feb 2005
- Meijer 2005a Human Health Damages due to Indoor Sources of Organic Compounds and Radioactivity in Life Cycle Impact Assessment of Dwellings. Part 1: Characterisation Factors. Arjen Meijer^{1,2}, Mark AJ Huijbregts³ and Lucas Reijnders². ¹ IVAM, Amsterdam ; ² Institute for Biodiversity and Ecosystem Dynamics, Universiteit van Amsterdam; ³ Department of Environmental Studies, University of Nijmegen. Int J LCA 10 (6) 309 – 316 (2005)
- Meijer 2005b Human Health Damages due to Indoor Sources of Organic Compounds and Radioactivity in Life Cycle Impact Assessment of Dwellings. Part 2: Damage Scores. Arjen Meijer^{1,2}, Mark AJ Huijbregts³ and Lucas Reijnders². ¹ IVAM, Amsterdam ; ² Institute for Biodiversity and Ecosystem Dynamics, Universiteit van Amsterdam; ³ Department of Environmental Studies, University of Nijmegen. Int J LCA 10 (5) 383 – 392 (2005)
- Möhner M 2003 Risikobewertung aus arbeitsmedizinisch-epidemiologischer Sicht am Beispiel des Schneeberger Lungenkrebses. Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz 46: 592-602, zitiert nach [SIBAT 2005]
- Molhave 1982 Molhave et al: Indoor air pollution due to organic gases and vapors of solvents in building materials. In Environmental international 8, pp 117-127
- OMNITOX <http://dx.doi.org/10.1065/lca2004.08.163>
- ÖNRAP 2001 Österreichisches Radonprojekt. <http://www.univie.ac.at/Kernphysik/oenrap/welcome.htm>; zitiert nach [SIBAT 2005]
- Rietschel 1994 Raumklimatechnik. Band 1 Grundlagen. Hermann Rietschel, Horst Esdorn (Hrsg.). Springer Verlag, 16. Aufl., Berlin 1994
- Rietschel 2004 Hermann-Rietschel-Institut: Handbuch zur Messung der empfundenen Luftqualität. 2004
- Sagunski 1996 Sagunski H: Richtwerte für die Innenraumluft: Toluol. Bundesgesundheitsblatt 39 (11): 416-421. 1996
- Sagunski 1998 Sagunski H: Richtwerte für die Innenraumluft: Styrol, Bundesgesundheitsblatt 41 (9): 392-398. 1998
- Sagunski 2003 Sagunski H, Heinzow B: Richtwerte für die Innenraumluft: Bicyclische Terpene. Bundesgesundheitsblatt 46 (4): 346-352. 2003

¹² Die Online-Bauproduktbanken ixbau und öbox haben sich in der „baubook“ fusioniert.

- Sagunski 2004 Sagunski H: Umgang mit innenraumbezogenen Beschwerden. In: Österr. Institut für Baubiologie und -ökologie (Hrsg.): Tagungsband zum Kongress „Gesunde Raumluft. Schadstoffe in Innenräumen – Prävention und Sanierung“, S 129-134. IBO-Verlag, Wien 2004
- Sagunski 2005 Sagunski H, Mangelsdorf I: Richtwerte für die Innenraumluft: Aromatenarme Kohlenwasserstoffgemische (C₉-C₁₄). Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz 48. 2005
- SARAH 1998 Forschungsprojekt Sanierung radonbelasteter Häuser. Endbericht, Gefördert vom BMWA, Projekt Nr. F1375; zitiert nach [SIBAT 2005]
- Schleibinger 2002 Schleibinger H et al: Ziel- und Richtwerte zur Bewertung der VOC-Konzentrationen in der Innenraumluft – ein Diskussionsbeitrag, Umweltmedizin in Forschung und Praxis 7 (3): 139-147. 2002
- Seifert 1990 Seifert B: Regulating Indoor Air. Proceedings of the 5th Int. Conf. on Indoor Air Quality and Climate, Toronto, Canada, Vol 5: 35-50. 1990
- Seifert 1999 Seifert B: Richtwerte für die Raumluft. Bundesgesundheitsblatt 42, S. 270-278. 1999
- Strahlenschutzkommission 1994 Empfehlungen der Strahlenschutzkommission betreffend Richtwerte für die Radonkonzentration in Innenräumen, in: Radon in Österreich 1993; Forschungsberichte des Bundesministeriums für Gesundheit, Sport und Konsumentenschutz, Sektion III, Wien
- SIBAT 2005 SIBAT - Vorsorgende Sicherstellung der Innenraumluftqualität von Gebäuden – Anwendung von Toxizitätskriterien in der Materialbewertung. Ines Oehme, Manfred Klade (IFZ - Interuniversitäres Forschungszentrum für Technik, Arbeit und Kultur), Philipp Boogman, Hildegund Mötzl (IBO - Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie), Peter Tappler (Innenraum Mess- und Beratungsservice). Erika Ganglberger, Susanne Geissler, Gabriele Mraz (Österreichisches Ökologie-Institut für angewandte Umweltforschung). Projektbericht im Rahmen der Programmlinie „Haus der Zukunft - Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften“ im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie. Graz, Wien April 2005.
<http://www.hausderzukunft.at/results.html/id2780>
- SOPHIE Sources of Pollution for a Healthy and Comfortable Indoor Environment
- SSK 1994 Empfehlungen der österreichischen Strahlenschutzkommission betreffend Richtwerte für die Radonkonzentration in Innenräumen. In: Radon in Österreich 1993; Forschungsberichte des Bundesministeriums für Gesundheit, Sport und Konsumentenschutz, Sektion III, Wien, zitiert nach [SIBAT 2005]
- Tappler 1994 Tappler et al: Emissions of volatile organic compounds from textile floor coverings, in: Healthy Buildings 94, Proc. 3th Internat. Conf. of Healthy Buildings, Budapest 1994, Vol. 1, pp. 237-242. 1994

- Tappler 1997 Tappler et al: Formaldehyd und Luftwechsel in österreichischen Fertigteilhäusern, 60 S. 1997
- UBA 2002 Leitfaden zur Vorbeugung, Untersuchung, Bewertung und Sanierung von Schimmelpilzwachstum in Innenräumen. Erstellt durch die Innenraumlufthygienekommission des Umweltbundesamtes, Umweltbundesamt, Berlin 2002
- UBA 2005 Umwelt Survey 1998, Internet: <http://www.umweltbundesamt.org/fpdf-k/2786.pdf>
- UNDP 2001 UNDP (United Nations Development Programme). Human Development Report 2001. Making new technologies work for human development. New York, Oxford 2001
- Vorstudie 2007 Raumluftindikator(en) - Vorstudie. Mötzl Hildegund (IBO) in Kooperation mit Tappler Peter, Twrdik Felix (IBO Innenraumanalytik OG) im Auftrag von Wirtschaftskammer Österreich - Bundesinnung Bau. IBO-Forschungsbericht Nr. 01-FPP-2007. Wien, 8.1.2007
- Wallace 1986 Wallace L.A., Pellizari E. et al.: Total exposure assessment methodology (TEAM) study: Personal exposure, indoor-outdoor relationships, and breath levels of volatile organic compounds in New Jersey, in Environment International 12, pp. 369-387. 1986
- WHO 1983 Indoor air pollutants: exposure and health effects. EURO Reports and Studies No. 78. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen 1983
- WHO 2000 Air Quality Guidelines for Europe. Second Edition. WHO Regional Publications, European Series, No. 91. World Health Organisation (WHO), Regional Office for Europe, Copenhagen
- WHO 2000-2 Environmental Health Criteria No. 218, WHO 2000
- WHO 2001 WHO (World Health Organisation): World health Report 2001. Mental Health: New Understanding. New Hope. Genf 2001.
- Witthauer 1993 Jürgen Witthauer, Herwarth Horn, Wolfgang Bischof: Raumluftqualität – Belastung, Bewertung, Beeinflussung. C.F.Müller 1993
- World Bank1993 World Bank: World Development Report: Investing in Health. Washington 1993.
- Zwiener/Mötzl 2006 Ökologisches Baustofflexikon. Gerd Zwiener, Hildegund Mötzl. Heidelberg: C.F. Müller 2006 (3. Aufl.)