



DI Bernhard Damberger

Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie
Leitung analytisches Labor
Stutterheimstraße 16-18/2, A-1150 Wien
Tel.: +43-(0)1-9838080; Fax.: +43-(0)1-9838080-15
damberger@innenraumanalytik.at

Geboren 1968 in Ried im Innkreis

Lebenslauf

HTBLA für chemische Betriebstechnik in Wels
Studium Umwelttechnik an der BOKU der TU-Wien, Abschluss 1995

Seit 1995 im Bereich der Innenraumanalytik tätig. Durchführung mehrerer wissenschaftlicher Studien im Bereich Luftschadstoffe in Innenräumen. Mitarbeiter des Arbeitskreises Innenraumluft am Lebensministerium und des Fachnormenausschusses FNA 236 "Indoor Air" am Österreichischen Normungsinstitut. Die Schwerpunkte der Tätigkeit ist: Leitung analytisches Labor, Gerüche in Innenräumen, Tracergasmessungen, Untersuchung der Gebäudedichtheit (BlowerDoor-Verfahren), Schwarzstaubproblematik.

Holzlagenwerkstoffe und Raumluftqualität

DI Bernhard Damberger, DI Peter Tappler, DI Felix Twrdik

1 Einleitung

Seit den 70er-Jahren rückte in unseren Breiten die Verringerung von gesundheitsrelevanten Umweltfaktoren zunehmend in den Mittelpunkt des politischen und wissenschaftlichen Interesses. Die Konzentration an Luftschadstoffen im Außenbereich konnten durch Reduzierung der Emissionen im Bereich Industrie, Verkehr, bei Müllverbrennungsanlagen und bei Kraftwerken deutlich gesenkt werden. In dieser Zeit wurden auch die Bezeichnungen synthetischer Chemikalien wie Formaldehyd oder Pentachlorphenol aufgrund von öffentlichen Berichten über Nutzerbeschwerden in Innenräumen allgemein bekannt.

In der Folge trat die Tatsache ins Bewusstsein, dass speziell in Innenräumen anzutreffende Luftverunreinigungen existieren, die sowohl durch menschliche Aktivitäten als auch durch die Emission von Baustoffen und Materialien der Innenausstattung verursacht werden (Seifert 1990). Es wurde in zahlreichen vergleichenden Studien nachgewiesen, dass die Belastung durch bestimmte innenraumtypische Luftschadstoffe in nicht gewerblich genutzten Räumen im Durchschnitt die Belastung im Außenbereich um ein Vielfaches überschreitet (De Bortoli et al. 1986; Wallace et al. 1986).

Als Alternative zu synthetischen Materialien wurden natürliche, zum Teil traditionelle Baustoffe, Materialien und Konstruktionen in den Markt eingeführt, die jedoch in Einzelfällen, meist als Folge falscher Anwendung, ebenfalls zu raumlufthygienischen Problemen führen können (Tappler 2004).

Das Thema "Gesunde Raumluft" gewinnt heute für Hersteller von Baumaterialien, Planer, Ausführende und Gebäudebetreiber immer stärker an Bedeutung. Dies liegt weniger an der zunehmenden Schadstoffkonzentration in Innenräumen, sondern vielmehr an den gesteigerten Anforderungen und an der erhöhten Sensibilität von Raumnutzern, für die das Vermeiden von schädlichen Einflüssen mittlerweile zu den Selbstverständlichkeiten gehört. Einzelne wissenschaftliche Arbeiten wiesen nach, dass Zusammenhänge zwischen der Qualität der Innenraumluft und der Produktivität existieren und dass verunreinigte Raumluft einen nicht zu unterschätzenden Kostenfaktor in Gebäuden darstellt (Wargotzki et al. 1999). Hersteller von Bauprodukten und Materialien der Innenausstattung können daher am Thema „Innenraumschadstoffe“ im weitesten Sinn nicht vorbeigehen. Leider wird die Diskussion in manchen Themenbereichen weniger von Fakten als von Mythen bestimmt. Aus den Medien bekannte Schadstoffe wie Formaldehyd oder Asbest genießen wesentlich mehr Aufmerksamkeit als eher unbekanntes Noxen wie z.B. das radioaktive Edelgas Radon.

Obwohl seit etwa Mitte der 80er-Jahre durch freiwillige Selbstbeschränkung von Herstellern, gesetzliche Vorgaben oder Druck von Konsumenten eine wirksame Reduktion zahlreicher in Innenräumen auftretenden Schadstoffen erreicht wurde, treten auch heute noch Situationen in Innenräumen auf, die als hygienisch bedenklich oder gesundheitsschädlich bezeichnet werden können. Ein Grund dafür ist, dass energiesparende Maßnahmen in der Regel mit einer deutlichen Verringerung des Luftwechsels verbunden sind. Die Häufigkeit und Art der Lüftung sowie die aus anderen Gründen notwendige Abdichtung neuerer Objekte beeinflussen signifikant die Schadstoffkonzentration in Innenräumen.

Schwerpunkt vorliegender Arbeit sind Holzlagenwerkstoffe. Es werden darunter Holzwerkstoffe verstanden, welche einen schichtförmigen Aufbau aufweisen, wobei die einzelnen Lagen faserparallel (z.B. Brettschichtholz) oder kreuzweise (z.B. Sperrholz) miteinander verleimt werden. Die einzelnen Lagen können aus Brettern, Pfosten, also Schnittholz, aber auch aus Furnieren bestehen. Die bekanntesten Vertreter dieser Produktgruppe sind Brettschichtholz und plattenförmige Holzlagenwerkstoffe. Unter Brettschichtholz versteht man Bauteile aus parallel zur Faser verleimten Brettern oder Pfosten. Andere Bezeichnungen sind Leimbinder, Leimholz, Lamellenträger u.ä. Der Einsatz von Brettschichtholz erfolgt dort, wo von Konstruktionselementen hohe Zug- bzw. Biegefestigkeiten in der Längsrichtung erwartet werden, also im konstruktiven Holzleimbau. Zu den bekanntesten Vertretern der plattenförmigen Holzlagenwerkstoffe gehören das Sperrholz und Massivholzplatten, die häufig mehrschichtige ausgeführt werden (z.B. „Drei-Schichtplatten“, „Tischlerplatten“). Durch die guten Festigkeitswerte können Massivholzplatten für aussteifende Konstruktionen im gesamten Holzbau verwendet werden. Eine weitere sehr bedeutende Verwendungsmöglichkeit liegt im Innenausbau. Hier können alle Arten von Wand- und Deckenverkleidungen, aber auch Möbel hergestellt werden.

2 Regelungen für die Bewertung von Innenraumschadstoffen und Materialien

Die österreichische Entwicklung war seit den siebziger Jahren stark mit der in der damaligen BRD verknüpft. Der noch heute angewandte Richtwert für Formaldehyd von 0,1 ppm wurde 1977 veröffentlicht (Bundesgesundheitsamt 1977). Der in Deutschland 1990 publizierte Grenzwert für Tetrachlorethen (TCE, Perchlorethylen) von 0,1 mg/m³ (Bundesimmissionschutzgesetz 1990) bewirkte in der Folge einen starken Rückgang der Raumluftkonzentrationen dieses Schadstoffes. In Österreich wurde dieser Wert zwar nicht übernommen, es wurden jedoch gleich lautende Empfehlungen für Wohnräume ausgesprochen (Produktsicherheitsbeirat 1985). In der Praxis wird in Österreich häufig der WHO-Richtwert von 0,1 mg/m³ = 0,083 ppm verwendet (WHO 1998). Mitte der neunziger Jahre begann in Deutschland eine multidisziplinäre Arbeitsgruppe ein wegweisendes Richtwertesystem für Innenräume zu publizieren (Ad-hoc Arbeitsgruppe 1996), in der Folge erschienen Richtwerte für einige wichtige Schadstoffe in der Innenraumluft (Sagunski 1998; 2004).

Um auch in Österreich Rechtssicherheit zu schaffen, begann 1999 am Lebensministerium eine interdisziplinär zusammengesetzte Arbeitsgruppe, eine Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft zu erarbeiten. Die Richtlinie wird als Lose-Blatt Sammlung herausgegeben und laufend ergänzt bzw. aktualisiert. Derzeit stehen der allgemeine Richtlinienenteil sowie die speziellen Teile „VOC-Tetrachlorethen“, „VOC-Allgemeines“, „VOC-Styrol“, „VOC-Toluol“, „VOC-Summenparameter“ und „CO₂ als Lüftungsparameter“ zur Verfügung (BMLFUW 2007). Eine für den Sachverständigen hilfreiche, umfangreiche Auflistung innenraumrelevanter Regelwerke ist Teil der Richtlinie. Derzeit (2007) sind die Richtlinienenteile „Aliphatische Kohlenwasserstoffe“, „Aromatische Kohlenwasserstoffe“, „Terpene“ und „Formaldehyd“ in Bearbeitung.

In Österreich wurden in Innenräumen vorkommende gesundheitsschädliche Chemikalien wie Asbest, Formaldehyd oder PCB's durch diverse Verordnungen des Chemikaliengesetzes verboten bzw. in ihrer Anwendung beschränkt.

Das im Bauproduktengesetz allgemein formulierte Ziel, die Gesundheit von Gebäudenutzern zu schützen, wird in einem vom deutschen Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten herausgegebenen Dokument (AgBB 2007) in Hinblick auf die Emission flüchtiger organischer Verbindungen aus Bauprodukten präzisiert. Zu diesem Zweck werden für Bauprodukte Prüfkammeruntersuchungen durchgeführt, die dabei gemessenen Emissionen werden mit festgelegten Leistungswerten für VOC, TVOC, SVOC und

kanzerogene Stoffe verglichen. Damit soll sicherstellt werden, dass Mindestanforderungen zum Schutz der Gesundheit erfüllt werden. Es wird derzeit diskutiert, in welcher Form Geruchsstoffe in Zukunft berücksichtigt werden bzw. ob eine sensorische Beurteilung vorgesehen sein wird.

3 Holzlagenwerkstoffe und Innenraumluftverunreinigungen – der Klassiker Formaldehyd

Produkte aus der als „ökologisch“ wahrgenommenen Gruppe der Holzlagenwerkstoffe werden häufig als Alternative zu Spanplatten eingesetzt, sehr gebräuchlich sind dreilagige Massivholzplatten für Konstruktionen und für den Möbelbau sowie sichtbare Leimbinder als zum Teil tragende Bauteile, auch Sperrholz wird in Innenräumen eingesetzt. Die Emissionsrate an Formaldehyd wird bei diesen Materialien vor allem von der Auswahl der Leime bestimmt.

Grundsätzlich wird die Konzentration einer Verbindung in der Raumluft eines Innenraumes von folgenden Größen bestimmt:

- Quellstärke (Abgabemenge bezogen auf die wirksame Oberfläche des Produktes) z.B. bei Formaldehyd gesetzlich geregelt (E1 als Mindestmaßstab für in Innenräumen eingesetzte Produkte), abhängig von Temperatur und Luftfeuchte
- Beladung (Einheit in m^2 Materialoberfläche pro m^3 Raumvolumen)
- Luftwechsel des Raumes (Einheit in h^{-1})

Das Inverkehrsetzen von formaldehydhaltigen Stoffen, Zubereitungen und Fertigwaren ist in der österreichischen Formaldehydverordnung geregelt. Ob ein Holzwerkstoff den gesetzlichen Vorgaben bezüglich Formaldehyd entspricht, wird durch in Normen festgelegte Prüfmethode bestimmt. In der österreichischen Formaldehydverordnung wird gefordert, dass der Werkstoff mit einer Oberfläche von einem 1 m^2 in einer 1 m^3 großen Prüfkammer untersucht wird, in welcher ein Luftwechsel von 1 h^{-1} vorliegt.

Da die Prüfung in der Prüfkammer relativ aufwendig und zeitintensiv ist, lässt der Gesetzgeber abgeleitete Prüfmethode zu. Im Fall der Holzlagenwerkstoffe ist dies die Gasanalysemethode. Bei dieser Methode werden bei deinem Prüfling die Schmalflächen diffusionsdicht versiegelt und bei 60°C die Formaldehydabgabe über mehrere Stunden gemessen. Der ermittelte Gasanalysewert, der in mg Formaldehyd pro m^2 und Stunde angegeben wird, wird mit den Vorgaben der ÖNORM EN 13353 bzw. ÖNORM EN 13986 verglichen. Bei Einhaltung dieser Materialkennwerte ist davon auszugehen, dass die durch den Holzwerkstoff verursachte Ausgleichskonzentration in der Luft eines Prüfraumes unter genau definierten Bedingungen den in § 1 Abs. 1 der Formaldehydverordnung festgelegten Wert von $0,1 \text{ ppm}$ Formaldehyd nicht überschreitet.

In der Regel werden bei österreichischen Holzlagenwerkstoffen bei dieser genormten Prüfung die Grenzwerte deutlich unterschritten. Die Bedingungen im Prüfraum stimmen allerdings meist nicht mit den Bedingungen in realen Innenräumen überein. Der Luftwechsel im Prüfraum muss bei 1 h^{-1} liegen, in realen Räumen ohne Lüftungsanlagen liegt der Luftwechsel je nach Art des Bauwerks zwischen $0,05$ und $0,4 \text{ h}^{-1}$ (Tappler et al. 1997, Tappler et al. 2006). Werte um die $0,4 \text{ h}^{-1}$ werden beispielsweise in Altbauten mit sehr undichten Kastenfenstern gemessen, $0,05 \text{ h}^{-1}$ sind eher für neuere Niedrigenergiehäuser repräsentativ. Kontrollierte Lüftungsanlagen für Niedrigenergiehäuser und Passivhäuser werden in der Regel mit einem Luftwechsel von $0,4 \text{ h}^{-1}$ ausgelegt. In neu errichteten Gebäuden ohne Lüftungsanlagen, bei denen auf die Luftdichtigkeit geachtet wurde, ist mit einem durchschnittlichen natürlichen Luftwechsel von unter $0,1 \text{ h}^{-1}$ zu rechnen. Das bedeutet, dass gegenüber dem normierten Prüfraum pro Stunde nur weniger als $1/10$ der Luft ausgetauscht wird – bei gleicher Beladung und Quellstärke ist mit einer deutlich höheren (theoretisch über 10-fache) Konzentration zu rechnen.

Um unter diesen beschriebenen, luftdichten Verhältnissen bei durchschnittlicher Beladung die toxikologisch abgeleiteten Raumluftrichtwerte einzuhalten, muss die Formaldehydabgabe der eingesetzten Holzwerkstoffe sehr gering sein. Die Praxis zeigt, dass nicht nur der Luftwechsel, sondern auch die Beladung gegenüber den Prüfkammerbedingungen abweichen kann. Bei reinen Holzkonstruktionen ist es z.B. durchaus üblich, dass Wände, Decken und der Fußboden aus Holzwerkstoffen (Holzlagen- und Holzfaserwerkstoffe) bestehen. Bei einem 25 m² großen Raum mit einer Raumhöhe von 2,5 m und 15 m² Türen und Fenster, bei dem alle Flächen aus Holzwerkstoffen gefertigt sind, errechnet sich die Beladung mit etwa 1,4 m² Werkstoffoberfläche pro m³ Raumvolumen. Bei der so berechneten Beladung ist noch nicht berücksichtigt, dass die Werkstoffoberflächen, die nicht unmittelbar mit der Raumluft in Kontakt stehen, wie zum Beispiel die Innenseite von Zwischenwänden oder abgehängten Decken nicht luftdicht von Raum getrennt sind, die Emissionen dieser Oberflächen können jedoch auch in die Raumluft übertreten. Gegenläufig zu diesem Effekt sind allerdings diffusionshemmende Beschichtungen an den Oberflächen.

Auch die Quellstärke kann vom ermittelten Prüfkammerwert abweichen. Einerseits geben Holzlagenwerkstoffe bei höheren Temperaturen verstärkt flüchtige Substanzen ab, durch das Bohren von Löchern in z.B. zum Schallschutz verwendeten Dreischichtplatten wird die aktive Oberfläche extrem vergrößert und die Abgabe von flüchtigen Substanzen erhöht.

Aus all diesen Gründen kommt es vor, dass der fast schon vergessene Schadstoff Formaldehyd wieder in die Schlagzeilen gelangt. Es treten immer wieder Fälle auf, bei denen der österreichischen Formaldehydverordnung entsprechende Produkte nach dem Einbau, meist verursacht durch einen sehr geringen Luftwechsel und/oder hoher Beladung des Raumes, erhöhte Konzentrationen an Formaldehyd in der Raumluft verursachen. Meist erfüllen die eingesetzten Materialien die Vorgaben für die E1 Qualität, wobei es auch hier vereinzelt zu Überschreitungen kommt (z.B. von Tischlern selbst produzierte Dreischichtplatten).

Ein Urteil des obersten Gerichtshofes weist in solchen Fällen die Schuld eindeutig den Verarbeitern zu (SZ 22/145; OGH 22.9.1971, 5 Ob 226/71/KRES S/61). Die Sachlage wird nachstehend beispielhaft dargestellt:

Die klagende Verbraucherin hatte beim beklagten Möbelhaus die Herstellung und den Einbau einer Einbauküche bestellt. Nach der Lieferung und Montage rügte die Käuferin schriftlich, dass von den Küchenmöbeln eine unzumutbare Geruchsbelästigung ausgehe. Sie forderte „Wandlung“, d.h. dass die Möbel wieder abgeholt werden und der Kaufpreis zurückerstattet wird. Dieser Forderung wurde nicht entsprochen und deshalb Klage erhoben. Vorher führte ein Privatgutachter eine Messung der Formaldehyd-Raumluftkonzentration durch und ermittelte einen Wert von 330 µg/m³ (= 0,264 ppm). Im Zuge des Verfahrens wurde durch einen Gerichtssachverständigen erneut eine Messung durchgeführt, mit dem Ergebnis von 252,5 µg/m³ (= 0,202 ppm). Bis September (Kauf war Ende April) sei eine Formaldehyd-Konzentration von 0,13 ppm zu erwarten. Es wurde angeführt, dass bei Formaldehyd-Gehalten von mehr als 0,31 ppm Reizungen der Augen, bei Konzentrationen von mehr als 0,5 ppm Reizungen der Kehle auftreten können (Anm.: die hier vorgetragenen Wirkschwellen entsprechen nicht dem heutigen Kenntnisstand). Das Erstgericht ging davon aus, dass ein wesentlicher Mangel vorlag und gab dem Wandlungsbegehren statt.

Der Einwand der beklagten Partei, dass zum Zeitpunkt des Schlusses der mündlichen Verhandlung der Mangel bereits „verschwunden“ sei, wurde vom Gericht verworfen. Maßgeblich sei, dass der Mangel im Zeitpunkt der Wandlungserklärung vorhanden war und nicht auch in absehbarer Zeit verbessert werden konnte (BMLFUW 2007).

4 Flüchtige organische Verbindungen (VOC) und Geruchsstoffe

Holzwerkstoffe aus Nadelholz sind in gealtertem Zustand keine relevanten Emittenten von VOC. Im frisch geschnittenen Zustand geben jedoch Nadelhölzer eine Reihe von Terpenkohlenwasserstoffe (Terpene) sowie Aldehyde wie z.B. Hexanal an die Raumluft ab. Verbindungen wie α -Pinen, β -Pinen oder Δ^3 -Caren wurden in relevanten Konzentrationen als Abgasung von frischem Nadelholz nachgewiesen (Salthammer et al. 1996).

Erfahrungsgemäß nimmt die Emissionsrate mit zunehmender Alterung der Holzwerkstoffe ab und wird in der Regel nicht als störend empfunden. Die emittierten Holzinhaltstoffe sind auch für den charakteristischen Geruch von Holz verantwortlich (wobei nicht alle Geruchsstoffe, die an der Genese des Geruchs beteiligt sind, bekannt sind und analytisch nachgewiesen werden können).

5 Innenraumluftchemie: Reaktive Substanzen, Partikel

Aus der Außenluft stammende Luftbestandteile wie Ozon und andere reaktive Verbindungen können in der Gasphase oder an Materialoberflächen mit von Holzwerkstoffen emittierten Substanzen reagieren und neue Verbindungen erzeugen. Art und Menge dieser so genannten sekundären Emissionsprodukte sind stark von den Vorläufersubstanzen und den klimatischen Parametern abhängig. Holzwerkstoffe emittieren herstellungsbedingt reaktive Verbindungen wie α -Pinen, β -Pinen, Δ^3 -Caren, Longifolen, β -Phellandren, Camphen, Myrcen oder Carvon, die als Vorläufersubstanz dieser Sekundärprodukte zu betrachten sind (Salthammer 2000). Solche Verbindungen können schon in niedrigen Konzentrationen durch ihre Geruchsintensität oder ihre irritative Wirkung das menschliche Wohlbefinden negativ beeinflussen (Wolkoff et al. 1997, Wolkoff et al. 1999). Diese Verbindungen könnten unter Umständen die Ursache von Beschwerden sein, die von den Nutzern meist völlig unerwartet in mit Naturstoffen ausgestatteten Gebäuden auftreten.

Für den Nachweis dieser Verbindungen ist zum Teil eine über Routinemethoden hinausgehende, spezielle Analytik notwendig, manche Substanzen können derzeit überhaupt noch nicht analytisch erfasst werden. Vorläufige Ergebnisse zeigen, dass bei der Reaktion von VOC wie Limonen, Pinenen, die auch von Holzprodukten emittiert werden, mit Ozon ultrafeine Partikel entstehen (Weschler und Shields 1999). Die gesundheitliche Relevanz derartiger reaktiver Mischungen wird zur Zeit vor allem von nordeuropäischen Arbeitsgruppen intensiv untersucht, es ist jedoch zu vermuten, dass diese Substanzen eine nicht zu unterschätzende Wirkung vor allem im Bereich der oberen Atemwege und der Augen haben (Klenø und Wolkoff 2002, Rohr et al. 2002).

6 Resümee und Ausblick

Holzlagenwerkstoffe geben in der Regel in gealtertem Zustand keine maßgeblichen Mengen an relevanten Innenraumschadstoffen an die Raumluft ab. Es treten jedoch immer wieder Fälle auf, bei denen der österreichischen Formaldehydverordnung entsprechende Produkte nach dem Einbau, meist verursacht durch einen sehr geringen Luftwechsel und/oder hoher Beladung des Raumes, erhöhte Konzentrationen an Formaldehyd in der Raumluft verursachen.

Obwohl es auch nicht zu erwarten ist, dass Holzlagenwerkstoffe verbraucherseitig als Emittenten von „Umweltschadstoffen“ wahrgenommen werden, ist dennoch Vorsicht bei der Auswahl der verwendeten Leimharze und Holzarten geboten. Dies vor allem in Hinblick darauf, dass sich der Focus des wissenschaftlichen Interesses hin zu stärker reaktiven

Substanzen und zu Geruchsstoffen verlagert. Der Bereich der komplexen Innenraumchemie, das heißt der Bereich der erst nach der Anwendung eines Baumaterials neu entstehenden Substanzen und seine Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit wird mit Sicherheit in Zukunft großen Raum im wissenschaftlichen Diskurs einnehmen.

Bei der Bewertung von Bauprodukten in Hinblick auf die Emission flüchtiger organischer Verbindungen ist im Bereich der Holzlagenwerkstoffe vor allem die Gruppe der Terpene zu betrachten, problematisch könnte eventuell die im Rahmen des Bauproduktengesetz in der Zukunft notwendig werdende sensorische Beurteilung sein (AgBB 2007).

Ob die Terpenabgabe durch Veränderungen bei der Sortierung, Trocknung und Bearbeitung gesteuert werden kann, sollte anhand von Forschungsprojekten abgeklärt werden.

7 Literatur

Ad-hoc Arbeitsgruppe (1996): Richtwerte für die Innenraumluft: Basisschema, Bundesgesundheitsblatt 39 (11), 422-426

AgBB (2007): Vorgehensweise bei der gesundheitlichen Bewertung der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC und SVOC) aus Bauprodukten. Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB). Internet vom 13.03.2007: <http://www.umweltbundesamt.de/bauprodukte/agbb.htm>

Bundesgesundheitsamt (1977): 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

BMLFUW (2007): Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft. Erarbeitet vom Arbeitskreis Innenraumluft am Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Blau-Weiße Reihe (Loseblattsammlung)

De Bortoli M, Knöppel H et al. (1986): Concentrations of selected organic pollutants in Indoor and outdoor air in northern Italy. Environment International 12: 343-350

Formaldehydverordnung (1990): BGBl. Nr. 194/1990 und 6. Durchführungserlass zum Chemikaliengesetz; Einsetzbare Prüfmethode bei der Überwachung der Formaldehydverordnung

Hutter HP, Moshhammer H, Wallner P, Damberger B, Tappler T, Kundi M (2003): Belastung der Raumluft in 160 Wiener Wohnungen mit flüchtigen organischen Verbindungen. Mitteilungen der Sanitätsverwaltung 104(1):3-7.

Klenø JG, Wolkoff P (2002): Eye Irritation from Exposure to ppb-Levels of Limonene Oxidation Products. INDOOR AIR '02 – Proc. 9th Internat. Conf. on Indoor Air Quality and Climate, Monterey, USA, Vol. 2: 602-607

Produktsicherheitsbeirat (1985): Empfehlung des Produktsicherheitsbeirats des Bundesministeriums für Familie, Jugend und Konsumentenschutz. Sitzung vom 4.3.1985, Sitzungsprotokoll

Rohr AC, Wilkins CK, Clausen PA, Hammer M, Nielsen GD, Spengler JD, Wolkoff P (2002) Upper Airway and Pulmonary Effects of Terpene Oxidation Products in Balb/C Mice. INDOOR AIR '02 – Proc. 9th Internat. Conf. on Indoor Air Quality and Climate (Monterey, USA, 30.06.-05.07.2002), Vol. 2: 590-595

- Salthammer T, Fuhrmann F (1996): Emission of Monoterpenes from wooden furniture. INDOOR AIR '96 – Proc. 7th Internat. Conf. on Indoor Air Quality and Climate, Nagoja, Japan, Vol. 3: 607-612
- Salthammer T (2000): Verunreinigung der Innenraumluft durch reaktive Substanzen – Nachweis und Bedeutung von Sekundärprodukten, Teil III-6.4.2 des Handbuch für Bioklimatologie und Lufthygiene, 4. Erg.Lfg. 12/2000
- Sagunski H (1998) Richtwerte für die Innenraumluft: Rechtlicher Rahmen und Anforderungen an die regulatorische Toxikologie, in: Gebäudestandard 2000: Energie und Raumluftqualität, AGÖF Fachkongress 1998, Nürnberg, 170-176
- Sagunski H (2004): Umgang mit innenraumbezogenen Beschwerden (Schwerpunkt Geruchswahrnehmungen). 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: 129-134
- Seifert B (1990): Flüchtige Organische Verbindungen in der Innenraumluft. Bundesgesundheitsblatt 33: 111-115
- Tappler P, Sulzner M, Scheidl K, Damberger B, Burtscher I (1997): Formaldehyd und Luftwechsel in österreichischen Fertigteilhäusern. IBO Eigenverlag
- Tappler P (2004): Ist Natur gesund? Mögliche Raumluftprobleme durch Naturstoffe. 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: 209-216
- Tappler P, Damberger B, Twrdik F, Mitterer K (2006): Pilotstudie zur Untersuchung des Luftwechsels in Innenräumen. Im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
- Wallace L.A., Pellizari E. et al. (1986): Total exposure assessment methodology (TEAM) study: Personal exposure, indoor-outdoor relationships, and breath levels of volatile organic compounds in New Jersey. Environment International 12: 369-387
- Wargotzki P, Wyon DP, Baik YK, Clausen G, Fanger PO (1999): Perceived Air Quality, Sick Building Syndrome (SBS) Symptoms and Productivity in an Office with Two Different Pollution Loads. Indoor Air Vol. 9, No. 3: pp. 165-179
- Weschler CJ and Shields HC. (1999): Indoor ozone/terpene reactions as a source of indoor particles. Atmos. Environ. 33 (15): pp. 2301-2312
- WHO (1998): Indoor Air Quality: organic pollutants. Euro Reports and Studies No. 111. Copenhagen: World Health Organisation, Regional Office for Europe
- Wolkoff P, Clausen PA, Jensen B, Nielsen GD, Wilkins CK (1997): Are we measuring the relevant indoor pollutants? Indoor Air 7: pp. 92-106
- Wolkoff P, Clausen PA, Wilkins CK (1999): Formation of strong airway irritants in a model mixture of (+)- α -pinene/ ozone. Atmospheric Environment 33: 693-698