

SCHADSTOFFE IN INNENRÄUMEN

EINE ÜBERSICHT ÜBER DIE AKTUELLEN DAUERBRENNER

Jörg Thumulla, Uwe Münzenberg, Sabine Weber

Ziel des Artikels ist dem Leser in komprimierter Form ein "Update" über aktuelle innenraumhygienische und baubiologische Risiken zu geben - nach dem Motto: aus der Praxis für die Praxis.

Biogene Schadstoffe

Schimmelpilzbelastungen in Gebäuden sind eines der häufigsten Umweltprobleme in Innenräumen. Ursachen von mikrobiellen Wachstum sind neben Baumängeln und unsachgemäß sanierten Wasserschäden immer häufiger ein ungenügender Wärmedämmstandard bei Altbausanierungen im Zusammenspiel mit gleichzeitiger Verringerung des natürlichen Luftwechsels durch bauliche Veränderungen. Das Thema Schimmelpilz in Innenräumen ist heute daher so aktuell wie nie zuvor.

Die Bezeichnung „Schimmelpilze“ ist eine umgangssprachliche Bezeichnung und keine wissenschaftlich systematische Einheit. Mit Schimmelpilzen werden Pilze bezeichnet ohne auffällige Fruchtkörper welche normalerweise keine Sporenzellen ausbilden. Die in Innenräumen vorkommenden Pilze gehören bis auf wenige Ausnahmen zur Klasse der *Fungi imperfecti*.

Schimmelpilze bilden in Wohnräumen eine zunehmende Allergenquelle. Nach Studien der New Yorker Mount Sinai School of Medicine reicht das Spektrum allergischer Reaktionen von Hautreizungen, grippeähnlichen Beschwerden über schwere Erschöpfungszustände bis hin zu Schwindel sowie Gedächtnis- und Sprachstörungen. Einen weiteren Hauptkomplex bilden Atemwegserkrankungen, verbunden mit Reizhusten und Engegefühl in der Brust bis hin zum allergischen Asthma.

Als typische Erkrankungen sind zu nennen: Erkrankungen der oberen und unteren Atemwege, Rhinitis, Sinusitis, Laryngitis, Bronchitis, Alveolitis; Reizerscheinungen in den Augen und auf der Haut; erhöhte Infektanfälligkeit, chronischer Erschöpfungszustand (chronic fatigue syndrome) und Allergien. Es gibt auch Hinweise darauf, daß es bei einigen immungeschwächten Individuen, sowie immunsupprimierten Patienten, zu ernstesten u.U. auch tödlichen Erkrankungen kommen kann.

Bestimmte Schimmelpilze, wie zum Beispiel *Stachybotrys atra*, *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp., *Trichoderma*, *Paecilomyces* können Mykotoxine produzieren (Ueno 1983, Hendry und Cole 1993). Diese sind hauptsächlich in den Sporen enthalten und können durch luftgetragene Sporen zu einer signifikanten Luftkontaminierung beitragen (Sorenson et al 1987). Einzelne Pilzarten können mehrere Toxine bilden. Wiederum können einzelne Toxine unabhängig von mehreren Pilzarten gebildet werden. In neueren klinisch-epidemiologischen Untersuchungen und Fallbeschreibungen werden nun auch Zeichen einer inhalationsbedingten Intoxikation beschrieben ¹

Der Nachweis von Sporen aus der Raumluft sollte sowohl kultivierend auf unterschiedliche Nährböden (als Standard in der Umweltmykologie gelten Malzextrakt und DG 18), als auch über direktmikroskopische Verfahren mittels aktiver Probenahme erfolgen, um kultivierbare und nicht

¹ (Hintikka 1987; Hendry und Cole 1993; Johanning, Morey, Goldberg 1993; Auger, Gourdeau und Auger 1995, Johanning 1998), ausführliche Zitate werden nach nachgeeicht

kultivierbare Sporen erfassen zu können.² Zusätzliche Aussagen ergeben sich durch die Bestimmung der Keimzahl im Hausstaub. Der Nachweis von MVOC über chemische Analytik oder speziell trainierter Schimmelhunde gibt Hinweise über versteckten Schimmelpilzbefall, insbesondere auf versteckten Schimmelpilzbefall. MVOC gehören zu der Gruppe von flüchtigen Verbindungen, sie sind die Stoffwechselprodukte von Bakterien und Pilzen mit oft charakteristischem Geruch (erdig, pilzartig, „feuchter Keller“, manchmal etwas süßlich). Sie treten in der Regel in sehr geringen Konzentrationen in belasteten Innenräumen auf. Die Bildungsrate und die spezifische Zusammensetzung ist von dem jeweiligen Nährstoffangebot der verursachenden Mikroorganismen abhängig^{3,4}.

Der Nachweis von Mykotoxinen im Hausstaub ist bisher auf wenige Einzelsubstanzen beschränkt und damit noch nicht umfassend einsetzbar.

Von Senkpiel et al. wurden jahreszeitabhängige Orientierungswerte zur Bewertung von Schimmelpilzen in Innenräumen veröffentlicht⁵. Das Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg hat einen Qualitätszirkel für die analytische Qualitätssicherung bei der Analytik biogener Innenraum-schadstoffe eingerichtet. Hier wird ein umfangreiches Regelwerk angefangen von der Untersuchungsplanung über die Beschreibung von Indikatororganismen aus baulicher und medizinischer Sicht, Probenahmeverfahren bis zur Erstellung von Beurteilungskriterien erarbeitet. Der Trend geht hierbei dazu, nicht Richtwerte für die Gesamtzahl der KBE festzulegen, sondern durch die Definition von Indikatororganismen Hinweise auf ein Schimmelpilzproblem zu erhalten, was unabhängig von der zur Zeit der Messung festgestellten Sporenkonzentration als innenraumhygienisches Problem angesehen wird.⁶

Biozide

Der Einsatz von Bioziden in Innenräumen führen i.d.R. zu langanhaltenden Belastungssituationen. Gründe für den Einsatz sind die Anwendung als Holzschutzmittel, der Mottenschutz und die Bekämpfung von Insektenbefall. Eine Übersicht über die Konzentration von Bioziden und weiteren SVOC im Hausstaub befindet sich in^{7, 8}.

Holzschutzmittel

Häufigste Vertreter, die jedoch praktisch nur noch in Altlasten vorkommen, sind Pentachlorphenol (PCP) und Lindan. PCP wurde als Fungizid bis in die 80er Jahre eingesetzt wurde in Deutschland 1989 verboten. Lindan wurde als Insektizid in Holzschutzmitteln und Insektenbekämpfungsmitteln wie Holzwurmtod eingesetzt. Der Einsatz dieser Mittel führte zum Holzschutzmittelsyndrom und

2 I. Dill: *Schimmelpilze in Innenräumen – Leistungsfähigkeit der Nachweismethoden*, in: Gebäudestandard 2000: Energie und Raumluftqualität, AGÖF (Hrsg.), Springe Eldagsen 1998.

3 W. Lorenz, *Dem Schimmel auf der Spur*, in Zeitschrift für Umweltmedizin 9,2 (2001)

4 W. Lorenz, *Zur Bewertung von MVOC-Messungen im praktischen Einsatz*, in Zeitschrift für Umweltmedizin 9,1 (2001)Lorenz

5 K. Senkpiel, D. Sassenberg u. H. Ohgke, *Die Bewertung von feuchte- und schimmelpilzbelasteten Innenräumen anhand von Orientierungswerten, Leitlinien und Empfehlungen*, in AGÖF 1999.

6 Gabrio et. al. Qualitätszirkel: *Analytische Qualitätssicherung biogener Schadstoffe* in Umwelt, Gebäude & Gesundheit, Hrsg. Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF), Springe 2001

7 Pöhner, A.; Simrock, S., Thumulla, J., Weber, S.; Wirkner, T.: *Hintergrundbelastung des Hausstaubes von Privathaushalten mit mittel- und schwerflüchtigen organischen Schadstoffen*, AnBUS e.V. (Hrsg.) Eigenverlag, Fürth 1997., Zusammenfassungen in *Zeitschrift für Umweltmedizin*, Heft 6/1998.

8 O. Hostrup et. al, *Biozidanwendungen im Haushalt als möglicher Risikofaktor für die Gesundheit der Raumnutzer*, Biozidberatungsstelle der AG Biochemie/ Toxikologie Carl von Ossietzky Universität Oldenburg und dem Bremer Institut für Präventionsforschung und Sozialmedizin Bremen, im Auftrag des Niedersächsischen Sozialministerium 1997.

einem der längsten Gerichtsprozesse, dem Holzschutzmittelprozess⁹. In den 80er Jahren wurde insbesondere PCP durch eine Vielzahl andere Wirkstoffe wie das Dichlofluanid, Tolyfluanid, Fumecycloxy, Chlorthalonil oder die Triazole Terbucunazol und Propiconazol ersetzt¹⁰. In den 90er Jahren setzt sich die Erkenntnis durch, dass in Wohnräumen keine Holzschutzmittel eingesetzt werden sollten. Das BgVV begründet dies mit der Vermeidung jeder unnötiger Belastung der Bevölkerung mit biologisch wirksamen Chemikalien. Großflächiges Ausbringen von Holzschutzmitteln in Innenräumen ist laut BgVV als unsachgemäße Anwendung von Holzschutzmitteln einzustufen, die zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen des Anwenders und seiner Mittel führen kann.¹¹

Ein Problem insbesondere in den neuen Bundesländern und ehemalig von den amerikanischen Streitkräften genutzten Gebäuden ist der Einsatz von DDT zum Holzschutz in Dachstühlen. Während der Einsatz von DDT in den alten Bundesländern 1972 verboten wurde, ist in den neuen Bundesländern bis Ende der 80er Jahre mit einer Anwendung zu rechnen. Insbesondere in Leichtbauten wie Pavillons ist bis die frühen 70er Jahre mit Chlornaphthalinen als Holzschutzmittel zu rechnen, die häufig für einen muffigen Geruch verantwortlich sind.

Obwohl Hexachlorbenzol häufig in der Literatur als Holzschutzmittel beschrieben wurde, ist es in Innenräumen praktisch nicht nachzuweisen. Häufig nachgewiesene Blutbelastungen dürften daher eher auf seinen Einsatz als Pflanzenschutzmittel, insbesondere als Saatbeizmittel zurückzuführen sein.

Insektenbekämpfungsmittel

Bei den Insektiziden ist zu unterscheiden zwischen den alten chlororganischen Wirkstoffen die mittlerweile nur noch ein Altlastenproblem sind. Probleme mit dem Einsatz von DDT, Methoxychlor oder Dieldrin sind insbesondere aus von den amerikanischen Streitkräften genutzten Gebäuden bekannt. Darüber hinaus können Importartikel aus dritten Welt wie Teppiche etc. mit diesen Mitteln kontaminiert sein.

Aktuelle Wirkstoffe sind die in den 80er Jahren als „natürliche“ Wirkstoffe eingeführten Pyrethrine und Pyrethroide. Während Pyrethrine wie das Pyrethrum, ein natürlicher Wirkstoff, der aus Chrysanthenenblüten extrahiert wird, im Innenraum einem rel. schnellen Abbau unterliegt, führt der Einsatz der synthetischen Pyrethroiden wie dem Permethrin oder dem Deltamethrin zu lang anhaltenden Belastungen in Innenräumen¹². Als Wirkungsverstärker für Pyrethroide wird bei insektenbekämpfenden Mitteln in der Regel Piperonylbutoxid eingesetzt, da es deren Abbau im Körper hemmt.

Weitere aktuelle eingesetzte Wirkstoffe sind Propoxur als Insektizid mit Fraß und Kontaktgiftwirkung, in Sprays und in Köderdosen, Phosphorverbindungen wie Phoxim, Chlorpyrifos oder Dich-

9 Von Ratten und Menschen

10 Bremer Umweltinstitut (Hrsg.) *Gift im Holz*, Eigenverlag, Bremen 1994

11 Bundesamt für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin: Broschüre „Vom Umgang mit Holzschutzmitteln“, 1997

12

lorvos.1314 Der Einsatz solcher Organophosphate wird beispielsweise mit dem Auftreten von neuropsychologischen Verhaltensschäden in Zusammenhang gebracht.¹⁵

Mottenschutzmittel

Seit den 80er Jahren wird insbesondere Permethrin als Mottenschutzmittel für textile Bodenbeläge aus Wolle verwendet. Während die Teppichindustrie davon ausgeht, dass das Permethrin an den Teppichboden festgebunden ist, treten im Hausstaub von Gebäuden in denen solche Böden verlegt sind deutlich erhöhte Gehalte auf, die insbesondere für Kleinkinder problematisch sein können.

Eulan WA neu wurde bis 1988 als Mottenschutzmittel von der Firma Bayer AG produziert. Als Anlaß für die Produktionseinstellung wurden „firmeninterne Gründe“ genannt. Als Vorprodukte, technische Verunreinigungen und Abbauprodukte treten daneben Polychloro-2-aminodiphenylether (PCAD) auf. Diese Substanzen besitzen dioxinähnliche Struktur. Diese gelten ähnlich dem PCP als produktionstechnisch verunreinigt mit polychlorierten Dioxinen und Furanen (PCDD/F).

Konservierungsmittel

Mit dem immer weiter verbreiteten Einsatz von Farben und Klebstoffen auf wässriger Basis wird deren Konservierung immer wichtiger. Häufig werden hierzu Isothiazolone eingesetzt. Darüber hinaus finden Sie Einsatz in Befeuchtern (Klimanlagen). Es wird allergenisierend und sensibilisierend. Nach dem Einsatz von mit Isothiazolonen konservierten Farben wurden in Innenräumen deutlich erhöhte Konzentrationen in Raumluft und Hausstaub nachgewiesen.¹⁶

PAK (Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe)

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe sind eine Gruppe von mehreren hundert Einzelverbindungen, die bei Erhitzungs- oder Verbrennungsprozessen unter Sauerstoffmangel (Pyrolyse) und sind daher z.B. in großen Mengen in Ruß enthalten. Sie sind daher Bestandteil der Emissionen vieler industrieller Prozesse und des Kfz-Verkehrs und sind in der Umwelt ubiquitär verbreitet. Innenraumhygienisch relevant sind PAK vor allem durch den Einsatz von Steinkohlenteer als Parkettkleber bis Ende der 60er Jahre. Bekannt wurde das Problem durch die Wohnungen der ehemaligen Alliierten (Housings), ist aber nicht auf diese beschränkt. Eine Übersicht über die im Hausstaub zu erwartenden Konzentrationen befindet sich in¹⁷. Weitere Quellen sind Teeranstriche¹⁸ und der Einsatz von Teerölen als Holzschutzmittel (Carbolineum), der verbietet die Teerölverbotsverordnung von 1991. Eine Besonderheit ist das Naphthalin, das früher als Mottenschutzmittel eingesetzt wurde. Wegen seines muffigen Geruchs und seiner krebserregenden Eigenschaften wird es seit Jahren nicht mehr verwendet.

13 J. Dullin, B. Neukirchen und Sandra Liedtke: Produktinformationen von Endverbraucherprodukten zur Schädlingsabwehr und -bekämpfung – Ergebnisse eines Marktchecks, in AGÖF2001

14 N. Weis u. P. Stolz: Belastung durch Dichlorvos-Insektensrips – Herleitung eines Orientierungswertes für die Innenraumluft, AGÖF 1998

15 K. Kilburn: Innenraumanwendung von Organophosphaten und neuropsychologische Verhaltensschäden in Umweltmedizin Gesellschaft 14 2/2001

16 M. Binder, W. Maraun und H. Obenland: Die Belastung von Innenraumluft und Hausstaub durch Isothiazolone, AGÖF2001

17 Simrock, S., *PAK-Konzentrationen im Hausstaub von Privathaushalten*, AGÖF 1998 Gebäudestandard 2000, Hrsg. Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute, 1998.

18 M. Köhler, U. Hoernes und C. Zorn PAK-Anstriche durch Teeranstriche und ihre Sanierung in AGÖF 2001

Zahlreiche Vertreter der PAK sind als krebserzeugend (K2) eingestuft. Für die Aromatengemische des Steinkohlenteers und der Steinkohlenteeröle ist die krebserzeugende Wirkung beim Menschen epidemiologisch nachgewiesen. Deshalb wurden sie als beim Menschen eindeutig krebserzeugend eingestuft (K1).

Flammschutzmittel/ Weichmacher

Phosphorsäureester

Während anorganische Flammschutzmittel festgebunden im Material vorliegen, kann der Einsatz von organischen Flammschutzmittel zu erheblichen Kontaminationen von Innenräumen über die Raumluft und den Hausstaub führen. Beispiele sind das Tris(2-chlorethyl)phosphat (TCEP) und das Tris(monochlorpropyl)phosphat (TCPP). Sie finden Einsatz in PU-Schäumen, Farbanstrichen und Tapeten. Neben den beschriebenen Reizwirkungen ist diese insbesondere problematisch weil TCEP mittlerweile in Deutschland als krebserregend (K2) eingestuft ist.¹⁹

Ein weiterer Phosphorsäureester der in Innenräumen von Relevanz ist, ist das Tris(2-butoxyethyl)phosphat (TBEP), das in rutschhemmenden Fußbodenpflegemitteln eingesetzt wird. Darüber hinaus gibt es Hinweise, dass chlorierte Organophosphonate in Innenräumen ebenfalls eine relevante Rolle spielen können.²⁰

Phthalate

Phthalate werden als Weichmacher in Kunststoffen, insbesondere in Weich-PVC, in großen Mengen seit über 40 Jahren verwendet. Weltweit werden jährlich mehrere Millionen Tonnen Phthalate produziert. Weitere Verwendung finden Phthalate in Lacken, Klebstoffen, in der Kosmetikindustrie sowie im medizinischen Bereich. Aufgrund des weiten Anwendungsgebiet sind sie mittlerweile in allen Wohnräumen nachweisbar (Hausstaub und Raumluft). Hauptquellen für Innenraumluftbelastungen dürften in der Regel PVC-Fußbodenbeläge und 'Vinylschaumtapeten' sein. Gesundheitliche Auswirkungen werden seit Jahren diskutiert. Verdachtsmomente bestehen für zentralnervöse Effekte, Störungen des Immunsystems und Fortpflanzungsstörungen. Weiterhin gibt Hinweise darauf, daß bestimmte Phthalate hormonähnliche Wirkungen im Körper verursachen. DEHP ist von der amerikanischen Umweltbehörde EPA als wahrscheinlich beim Menschen krebserzeugend eingestuft (Gruppe B2). Eine Übersicht findet sich in²¹.

Phthalsäureanhydrid

Phthalsäureanhydrid gehört zu den technisch wichtigsten aromatischen Verbindungen, z.B. bei der Synthese von Alkydharzen, ungesättigten Polyesterharzen, Lacken, Kunststoffen oder Phthalat-Weichmachern. Bei höheren Konzentrationen zeigt es Reizwirkung auf Augen, Haut und Schleimhäute wobei die Gefahr der Sensibilisierung besteht, weshalb es zu den relevanten Innenraumallergenen gehört²².

Polychlorierte Biphenyle (PCB)

PCB befinden sich aktuell wieder in der Diskussion. Sie wurden in Innenräumen insbesondere durch Fugendichtmassen, Lacke, Farben und Kondensatoren, eingebracht. Verdächtig sind insbesondere öffentlichen Bauten der 60er und 70er Jahre. Es konnten jedoch wenn auch relevante

19 G. Ingerowski, A. Friedle und J. Thumulla: *Chlorinated Ethyl and Isopropyl Phosphoric Acid Triesters in the Indoor Environment – An Inter-Laboratory Study*, in *Indoor Air* 2001 11: 145-149

20 T. Haumann: Chlorierte Organophosphonate als Weichmacher und Flammschutzmittel, in AGÖF 2001

21 P. Braun u. D. Marchl: *Weichmacher in Innenräumen*, AGÖF 1993

22 M. Fischer u. F. Diel, *Das Allergiker-gerechte Öko-Haus*, in AGÖF 2001

Konzentrationen an PCB bei Wohngebäuden in Plattenbauweise festgestellt werden (alte Bundesländer).

Die Stoffgruppe der PCB besteht aus 209 unterschiedlichen Substanzen (Kongeneren), wobei in der Praxis technische Gemische unterschiedlichster PCB eingesetzt werden. Die Toxizität der einzelnen Kongenere kann in Abhängigkeit von ihrem Chlorierungsgrad und damit ihrer Flüchtigkeit und Ihrer Struktur erheblich differenzieren. Die schwerer flüchtigen PCB werden hauptsächlich über die Nahrung aufgenommen und reichern sich im Fettgewebe an. Ihre biologischen Halbwertszeiten liegen bei bis zu 28 Jahren. Höher chlorierte PCB sind eher für die systemischen Effekte (Nervensystem, Immunsystem) verantwortlich.

Für Innenraumbelastungen relevanter sind die leichter flüchtigen PCB. So ist bei den leichter abbaubaren flüchtigeren PCB zwar mit geringerer Anreicherung im Körper aber möglicherweise mit verstärktem Auftreten von genotoxischen Metaboliten zu rechnen. Es gibt Hinweise darauf, daß die flüchtigeren PCB toxischer als die weniger flüchtigen wirken. Ein besonderes Problem sind die sog. planaren PCB, die in unterschiedlichen Mengen in allen PCB-Gemischen vorkommen. Sie sind von der toxischen Wirkung her mit Dioxinen vergleichbar.²³

Seit der PCB-Verbotsverordnung (1989) ist in Deutschland das Inverkehrbringen von Polychlorierten Biphenylen sowie von Zubereitungen mit einem Gehalt von mehr als 50 mg/kg PCB verboten. Eine aktuelle Übersicht über die PCB-Problematik findet sich in der Broschüre PCB: Begrenzter Nutzen - grenzenloser Schaden²⁴ sowie dem Buch PCB-Belastung in Gebäuden²⁵.

Organozinnverbindungen

In den letzten Jahren gerieten zunehmend zinnorganische Verbindungen, insbesondere das Tributylzinn (TBT), in das Bewusstsein der Wissenschaft und in die öffentliche Diskussion. Sie wurden in Sportkleidung, Babywindeln und Badeartikeln, Sportschuhen, PVC-Fußböden, Kindergummistiefeln oder Barbiepuppen nachgewiesen.

Eine besondere Rolle als Quellen zinnorganischer Verbindungen in Innenräumen spielen großflächig behandelte Einrichtungsgegenstände bzw. ausgelegte Produkte, weshalb PVC-Fußböden eine besondere Relevanz zukommen dürfte. In PVC-Artikeln dienen zinnorganischen Substanzen als Stabilisatoren und werden während des Fertigungsprozesses zugegeben. Andere Quellen sind der direkte Eintrag durch früher übliche, TBT-haltige Desinfektions- und Material- bzw. Holzschutzmittel. Der Einsatz in diesem Bereich geht stark zurück, es ist jedoch in betroffenen Gebäuden weiterhin mit einem diffusen, aber anhaltenden Eintrag der betreffenden Substanzen zu rechnen.

In tierexperimentellen Kurz- und Langzeit-Untersuchungen sind verschiedene Wirkungen von TBT-Verbindungen beschrieben worden. Diese betreffen die Leber, das hämatologische und das endokrine System. Die Ursache der in einer Kanzerogenitätsstudie aufgetretenen veränderten Tumorinzidenzen (z.B. der Hypophyse) wird in einer Beeinflussung endokriner und immunologischer Funktionen gesehen. Die Wirkungen auf das Immunsystem werden derzeit als die

23 M. Hassauer und F. Kalberlah, *Polychlorierte Biphenyle*, in Eikmann et. Al. (Hrsg.) Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen, Erich Schmidt Verlag, Berlin 1999.

24 Verein für Umwelt- und Arbeitsschutz e.V. u. Bremer Umweltinstitut e.V. (Hrsg.): *PCB: Begrenzter Nutzen - grenzenloser Schaden*, Eigenverlag, Bremen 1999

25 Katalyse e.V. (Hrsg.): *PCB-Belastung in Gebäuden Erkennen – Bewerten – Sanieren*, Wiesbaden, Berlin 1995

sensitivsten Parameter der Toxizität bei der Ratte angesehen. Für DBT-Verbindungen geht das BgVV von einer ähnlichen immuntoxischen Wirkpotenz aus²⁶.

Während die Hersteller davon ausgehen, dass die als Stabilisatoren eingebauten Organozinnverbindungen ausreichend fest in die Matrix des Kunststoffes eingebunden sind konnten in Hausstaubwohnungen relevante Hausstaubkonzentrationen mit Organozinnverbindungen festgestellt werden.²⁷

Isocyanate

Die hochtoxischen Isocyanate sind Ausgangsprodukte der im Bau- Wohn- und Heimwerkerbereich zunehmend verwendeten Polyurethane. Sie finden Einsatz beispielsweise in Form von Schaumstoffen, Ortsschäumen, Teppichbodenbeschichtungen, Spanplatten und Lacken. Sie gelten aufgrund ihrer sensibilisierenden Wirkung im beruflichen Bereich als Hauptauslöser des berufsbedingten Asthmas. Raumluftuntersuchungen zeigen jedoch, dass aufgrund der hohen Reaktivität, keine langfristigen isocyanatspezifischen Belastungen im Wohnbereich zu erkennen sind. Als bedenklich angesehen muss jedoch die Zeit der und kurz nach der Anwendung, insbesondere bei Zwei-komponenten-Systemen wie Ortschaften, Reaktionslacken und –Klebstoffen.²⁸

Flüchtige organische Verbindungen

In der Innenraumluft lassen sich weit über hundert flüchtige organische Verbindungen (VOC) nachweisen, die aus verschiedenen Quellen in die Raumluft emittiert werden. Da sich die Zusammensetzung vieler in Innenräumen eingesetzter Produkte im Laufe der Zeit ändert, ist davon auszugehen, daß sich auch die Zusammensetzung des in der Innenraumluft beobachteten VOC-Gemisches über Jahre hinweg ändert. Ursache hierfür sind z.B. ein geändertes Konsumverhalten der Bewohner, beispielsweise beim Möbelkauf oder bei der Auswahl von Anstrichstoffen, und die Substitution von Verbindungen mit nachgewiesener und vermuteter toxikologischer Relevanz. Über Prüfkammeruntersuchungen können die Emissionen von Möbel zur Vergabe von Umweltzeichen geprüft werden²⁹. Die Konzentrationsverteilungen von VOC in der Innenraumluft wurden mittlerweile in einigen Studien^{30,31,32} beschrieben, wobei der Umwelt-Survey aus den Jahren 1985/86 aufgrund veränderter Produkte nicht mehr dem heutigen Stand entsprechen dürfte. Eine ausführliche Übersicht zu Innenraumbelastungen durch Lösemittel gibt³³

26 BgVV (Bundesamt für Gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin), *Tributylzinn (TBT) und andere zinnorganische Verbindungen in Lebensmitteln und verbrauchernahen Produkten* (Stellungnahme vom 6. März 2000)

27 Thumulla, J u. W. Hagenau: Organozinnverbindungen in PVC-Böden und Hausstaub, AGÖF 2001

28 W. Norbert u. P. Plieninger, Isocyanate in der Innenraumluft, AGÖF 1993

29 O. Jann et al.: *Emissionsarme Möbel: Emissionsverhalten, Prüfanforderungen, Umweltzeichen*, AGÖF 1999

30 Krause, C.; Chutsch, M.; Henke, M.; Huber, M; Kliem, C; Leiske, M; Mailahn, W.; Schulz, C.; Schwarz, E.; Seifert, B.; Ullrich, D.: *Umwelt-Survey Band IIIc Wohn-Innenraum: Raumluft*; Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamts Eigenverlag; Berlin; 1991

31 Scholz, H.: *Vorkommen ausgewählter VOC in Innenräumen und deren Bedeutung*. In: Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF): Gebäudestandard 2000: Energie und Raumluftqualität – Ergebnisse des 4. Fachkongresses der Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) am 25. und 26. September 1998 in Nürnberg; 205-214; 1998

32 U. Hott et. al.: *Konzentrationen flüchtiger organischer Verbindungen in der Innenraumluft im Zeitraum 1988 bis 1999*, in AGÖF 2001

33 Verein für Umwelt- und Arbeitsschutz e.V. u. Bremer Umweltinstitut e.V. (Hrsg): *Vorsicht Lösemittel – Nicht nur frisch gestrichen*, Eigenverlag, Bremen 1997

Kohlenwasserstoffe

Kohlenwasserstoffe sind Bestandteile des Erdöls und gelangen als Lösemittel (Testbenzin etc.) oder als Bestandteile von Heizöl und Kraftstoffen in Innenräume. Innerhalb der Kohlenwasserstoffe kann man drei Gruppen unterscheiden: die gesättigten, die ungesättigten und die aromatischen Kohlenwasserstoffe.³⁴ Problematisch sind insbesondere die aromatischen Verbindungen, insbesondere das als krebserregend eingestufte Benzol, das aber mittlerweile nur noch über KFZ-Abgase beispielsweise aus integrierten Garagen in die Innenräume gelangt³⁵. Die ungesättigten Verbindungen wie das trimere Isobuten oder das 4-Phenylcyclohexen sind hauptsächlich Verunreinigungen bei der Herstellung von Polymeren (z.B. SyntheselateX) und sind insbesondere im Zusammenhang mit Geruchsproblemen relevant.³⁶

Terpene

Terpene gehören ebenfalls zu den ungesättigten Kohlenwasserstoffen. Aufgrund ihrer natürlichen Herkunft werden Sie jedoch von diesen unterschieden. Sie sind Bestandteile etherischer Öle und in der Regel geruchsintensiv. In Innenräumen gelangen sie als Lösemittel für Naturfarben oder als Ausdunstungen aus frischem Holz. Problematisch ist insbesondere das Δ^3 -Caren das in Nadelholz enthalten ist, sensibilisierend, daher i.d.R. in Naturfarben nicht mehr enthalten. Pinene stammen aus frischem Nadelholz, und sind Hauptbestandteil von Terpentinölen. Limonen ist hauptsächlich in den Schalen von Zitrusfrüchten enthalten und wird als Lösemittel in Naturfarben und Zitrus-Duft in Reinigungsmitteln und Kosmetika eingesetzt.³⁷

Höhere Aldehyde

Aufgrund ihrer relativ niedrigen Geruchsschwelle besitzen Aldehyde eine erhebliche Bedeutung für die Qualität der Innenraumluft. Eine Übersicht über die zu erwartenden Konzentrationen in der Raumluft gibt³⁸. Insbesondere n-Hexanal stellt eine Leitkomponente dar, wenn die Geruchsbelastigungen mit Aldehyden in Verbindung gebracht werden können. Im Vergleich zu anderen Aldehyden wie Furfural (K3B) und Benzaldehyd weisen die höhere aliphatische Aldehyde eine vergleichsweise geringe Toxizität auf.³⁹ Quellen sind einerseits Materialien aus Holz und zellulosem Material wie Paneele, Laminat, Fertigparkett oder OSB-Platten, bei denen die Aldehyde produktionsbedingt aus Restbeständen von Harzen entstehen. Hierbei treten in geringeren Konzentrationen auch ungesättigten Aldehyde und Ketone auf, die teilweise extrem niedrige Geruchsschwellen besitzen - z.B. 1-Nonen-3-on = $0,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - und somit bereits in Spuren einen deutlichen Beitrag zu der Geruchsbelastung liefern. Weitere Quellen sind Produkte auf Basis von Leinöl, das beispielsweise als Bindemittel in Naturfarben und zur Herstellung von Linoleum eingesetzt wird. Ausreichend ausgereifte Produkte sind jedoch unproblematisch.

Neben diesen Beispielen der Freisetzung von Aldehyden aus nachwachsenden Rohstoffen können auch synthetische Materialien als Ursache hierfür verantwortlich gemacht werden. So konn-

34 P. Pluschke, *Alkane, Alkene und cycloaliphatische Kohlenwasserstoffe*, in *Luft-Schadstoffe in Innenräumen: ein Leitfaden*, S. 161-179, Springer, Berlin 1996

35 U. Siemers u. P. Stolz, *VOC-Belastungen aus Kraftstoffen in Wohnungen über Garagen*, in *AGÖF 1997 Ökologisches Bauen und Sanieren*, Hrsg. Diel, F.; Feist, W.; Krieg, H.-U.; Linden, W., Verlag C.F. Müller Heidelberg 1998

36 F. Kuebart, *Prüfkammeruntersuchungen von Baustoffen – Ökologische Verträglichkeit*, in *AGÖF 1993*

37 P. Pluschke, *Isoprenoide: Terpene, Campher und verwandte Verbindungen* in *Luft-Schadstoffe in Innenräumen: ein Leitfaden*, S. 161-179, Springer, Berlin 1996

38 Beratung und Analyse – Verein für Umweltchemie e.V. (Hrsg.): *Analyse und Bewertung der in Innenräumen vorkommenden Konzentrationen an länger-kettigen Aldehyden*, Eigenverlag, Berlin 1993.

39 F. Kuebart, *Aldehyde aus Baustoffen und anderen Werkstoffen*, in *AGÖF 2001*

ten Phthalate, die als Weichmacher-Bestandteil von PVC-Bodenbelägen sind auf zu feuchten Estrichen hydrolysiert und allmählich in die entsprechende Aldehyde (Ethylhexanal) oxidiert werden. Auch Low Density Polyethylen (LDPE) kann unter ungünstigen Umständen im Kontakt mit Metallen als Katalysator durch radikalische Zersetzung in olefinische Bruchstücke und anschließende Oxidation in die entsprechenden Aldehyde eine unerwartete Geruchsproblematik verursachen.

Halogenierte Kohlenwasserstoffe

Der Eintrag halogenierter Kohlenwasserstoffe in die Innenraumluft hat in den letzten Jahren erheblich nachgelassen. Für Pflegemittel, Klebstoffe und Fleckenwasser gaben die auf diesen Gebieten tätigen Industrieverbände Verzichtserklärungen ab. Im industriellen Bereich werden sie als Entfettungsmittel verwendet. Haupteintrag chlorierter Kohlenwasserstoffe, insbesondere von Tetrachlorethen, ist die Anwendung in chemischen Reinigungen einerseits durch gereinigte Textilien und andererseits im Umfeld von Chemischen Reinigungen – auch wenn auch wenn diese seit Einführung eines Grenzwertes durch die 2. Bundesimmissionsschutzverordnung erheblich gesunken ist⁴⁰. Da bei einer Reihe von halogenierten Lösungsmitteln krebserzeugendes Potential besteht (Chloroform [K4], Trichlorethen [K1], Tetrachlorethen [3B])⁴¹, sollte die Belastung dieser Substanzen in Innenräumen so gering wie möglich gehalten werden.

Alkohole

Zu den bekanntesten Alkoholen zählt Ethanol, das durch Gärungsprozesse entsteht und in großen Mengen in alkoholischen Getränken enthalten ist. Das Vorkommen von iso-Propanol und Ethanol ist hauptsächlich auf deren Einsatz in Reinigungsmitteln, Raumlufsprays und Kosmetika zurückzuführen. Höhere Alkohole werden als Lösungsmittel für Lacke, Farben, Harze, Polituren, Extraktions- und Reinigungsmittel sowie für die Kunststoffherstellung, in Parfümen und Aromastoffen verwendet.

Erhöhte Konzentrationen des Alkohols 2-Ethyl-1-hexanol korrelieren in der Regel mit vorliegenden, häufig versteckten Feuchteschäden und Geruchsproblemen, wobei in großem Umfang als Weichmacher eingesetzte DEHP unter alkalischen Bedingungen (z.B. auf einem Estrich) hydrolysiert (zersetzt) wird. Die gleiche Beobachtung gilt für den Alkohol n-Butanol, der unter diesen Bedingungen aus dem Weichmacher Dibutylphthalat (DBP) entsteht.⁴²

Ester (monofunktionell) und Ketone

Ester sind häufig angenehm fruchtig riechende Stoffe mit guten Lösungsmiteleigenschaften. Ihre Geruchsschwelle ist individuell stark unterschiedlich und wird beispielsweise für Ethylacetat als Einzelstoff mit 200 - 665000 µg/m³ angegeben. Ester werden als Extraktionsmittel, als Lösungsmittel in Klebern, Farben und Lacken verwendet. Ketone wie Aceton oder Methylisobutylketon sind klare leichtflüchtige Lösemittel mit charakteristischem Geruch.

Ketone wie Aceton, Cyclohexanon oder Methylisobutylketon sind leichtflüchtige Lösemittel mit charakteristischem Geruch.

40 P. Pluschke, *Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW) und chlorierte Benzole: Tetrachlorethen aus der Nachbarschaft und andere überraschende Befunde*, in *Luft-Schadstoffe in Innenräumen: ein Leitfaden*, S. 161-179, Springer, Berlin 1996

41 Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe: *MAK- und BAT-Werte-Liste 2000*, Wiley-VCH, Weinheim 2000

42 H. Scholz: *Vorkommen ausgewählter VOC in Innenräumen und deren Bewertung*, in AGÖF 1998

Ester und Ether mehrwertiger Alkohole (Glykolverbindungen)

Ester und Ether mehrwertiger Alkohole (EEMAS) werden vor allem in lösemittelarmen Systemen („Wasserlacke“, Dispersionsfarben, Dispersionskleber) verwendet, um den Gehalt leichtflüchtiger Lösemittelbestandteilen aus Arbeitsschutzgründen zu vermindern. Insofern steigt deren Gehalt der Innenraumluft in den letzten Jahren stark angestiegen. Eine Übersicht über die Konzentrationsverteilung in Innenräumen befindet sich in⁴³. Bei der Analytik ist zu beachten, dass bei der konventionellen VOC-Analytik (Aktivkohle, Elution mit CS₂) deutliche Minderbefunde auftreten.

Wichtig für ihre Bewertung als potentielle raumluftbelastende Faktoren ist ihre deutlich geringere Flüchtigkeit im Vergleich zu den "klassischen" Lösemittelkomponenten aufgrund der höheren Siedepunkte (zwischen 125°C und 290°C). Dadurch erreichen diese Chemikalien zwar während und unmittelbar nach der Verarbeitung entsprechender Produkte bei weitem nicht so hohe Raumluftkonzentrationen wie die leichtflüchtigen Lösemittel, andererseits gasen sie über sehr lange Zeiträume aus.

Aus toxikologischer Sicht ist zum Teil recht wenig über Glykolester und -ether im Niedrig-Dosis Bereich bekannt, wobei insgesamt die Ethylenglykolether als deutlich kritischer einzustufen ist als die Propylenglykolether. In Zusammenhang mit Geruchsproblemen tritt häufig das 2-Phenoxyethanol auf⁴⁴.

Siloxane

Siloxane treten immer häufiger bei Analysen der Innenraumluft auf. Quellen sind insbesondere Möbellacke, in denen sie als Additive zur Verminderung der Oberflächenspannung, der Verbesserung des Verlaufes oder der Erhöhung der Kratzfestigkeit zugesetzt werden, Siliconprodukte beispielsweise zur Hydrophobierung von Baustoffen, Fugendichtmassen und Produkte des persönlichen Bedarfs. So enthalten Deoroller bis zu 60 Gewichtsprozent an Siloxanen. Daten zur toxikologischen Bewertung dieser Substanzen in der Innenraumluft liegen bisher nicht vor.⁴⁵

Phenole/ Kresole

Aufgrund ihrer recht hohen Siedepunkte um 200°C gehören die Phenole und Kresole eher zu den Hochsiedern. Dies hat zu Folge, daß sie über längere Zeiträume hinweg aus in Innenräumen eingesetzten Materialien ausgasen können. Sie sind in großen Mengen in Teerölen enthalten, die durch Erhitzen von Steinkohle, Braunkohle oder Holz unter Luftausschluß erzeugt werden. Der charakteristische und unangenehme Geruch vieler Phenole und Kresole ist stark durchdringend. Aufgrund ihrer sehr niedrigen Geruchsschwellenwerte (Kresole: 4 µg/m³; Phenol: 200 µg/m³) kann dies zu einer langandauernden Geruchsbelästigung führen. Phenole (K3B) und Kresole (K3A) gelten laut als möglicherweise krebserzeugend.

Viele Phenole und Kresole wirken stark fungizid und bakterizid und werden daher als Wirkstoffe in Desinfektionsmitteln und zur Konservierung von Leim, Klebstoffen und Tinten eingesetzt. Die biozide Wirkung der Phenole und Kresole macht Teeröle zu sehr wirksamen Holzschutzmitteln ("Carbolineum"). Neben dem Einsatz als Desinfektions- und Reinigungsmittel in der ehemaligen DDR, der bis heute zu erheblichen Geruchsbelästigungen führt, sind Produkten aus Phenolharzen oder andere Phenolverbindungen enthalten. In Untersuchungen konnten vor allem Phenolharzgebundene Spanplatten, Bodenbelagskleber auf der Basis von Sulfitablauge, Ausgleichsmassen auf Phenolharzbasis, Steinholzestrich, Mineral- und Glaswolle, PVC-Bodenbeläge, Kas-

43 P. Plieninger: *Ester und Ether mehrwertiger Alkohole in der Raumluft – Eine repräsentative Untersuchung in 200 Berliner Haushalten*, in AGÖF 1998

44 D. Marchl: *Raumluftbelastungen durch Glykolverbindungen*, in AGÖF 1997

45 P. Plieninger: *Vorkommen von flüchtigen Verbindungen in der Innenraumluft*, in AGÖF 1997

setzendecken und Polstermaterialien konnten als Phenolquellen identifiziert werden. Weiter relevante Quellen können elektronische Gebrauchsgegenstände wie z.B. Computer, Fernseh- oder Rundfunkgeräte sein, da die Leiterplatten mancher Geräte aus phenolharzgetränktem Papier (Pertinax) hergestellt sind und beim Erwärmen Phenol und in geringerem Umfang Kresole abgeben.⁴⁶

Acrylate

Die Produktion von Alkylacrylsäureester hat in den vergangenen Jahren stark zugenommen. Vereinzelt sind Alkylacrylsäureester lassen sich leicht polymerisieren und bieten daher gute Voraussetzungen für die großtechnische Anwendung bzw. Verarbeitung in den verschiedensten Bereichen. Während bei Acryllacken, mit „Blauer Engel Auszeichnung“ keine Acrylatausgasung festzustellen ist, können bei 2-Komponentensystemen Probleme auftreten. Die meisten dieser Acrylate sind als Monomere giftig und stehen im Verdacht, krebserregend zu sein.

Formaldehyd

Formaldehyd ist eine gasförmige, organische Verbindung, die in der Natur u. a. bei der unvollständigen Verbrennung von kohlenstoffhaltigem Material entstehen kann. Es zählt trotz umfangreicher Reglementierungen immer noch zu den bedeutsamen Innenraumschadstoffen und wird in Innenräumen bis hin zu Konzentrationen im Bereich der maximalen Arbeitsplatzkonzentration in Höhe von 0,5 ppm nachgewiesen. Formaldehyd zählt daher zu den Innenraumverunreinigungen, die in einem vergleichsweise geringen "Sicherheitsabstand" zu bestehenden Arbeitsplatzgrenzwerten in Innenräumen auftreten.⁴⁷

Während die Überschreitung des Grenzwertes nach Chemikalienverbotsverordnung für Holzwerkstoffe bei Spanplatten derzeit kaum mehr zu beobachten ist, wird vor allem bei Leim- und Sperrhölzern, verleimten Parkettböden, OSB-Platten und Laminatböden sowie Holzwerkstoffen, die mit säurehärtenden Lacken behandelt wurden, der Grenzwert für das Verbot des Inverkehrbringens, bestimmt nach EN 717/2 für beschichtete Holzwerkstoffe und Leimhölzer, erreicht oder überschritten. Obwohl es in der Diskussion über Holzwerkstoffplatten immer wieder auftaucht, treten in Massivhölzern keine relevanten Formaldehydkonzentrationen auf⁴⁸. Nach wie vor ein Problem ist Formaldehyd in Fertighäusern, insbesondere der 60er, 70er und frühen 80er Jahre.⁴⁹ Neben quellspezifischen Größen wie die Quellstärke besitzen die raumklimatischen Parameter Luftwechsel, Raumtemperatur, Quelltemperatur, rel. Luftfeuchte und Anströmgeschwindigkeit der Luft an potentielle Quellen einen maßgeblichen Einfluss auf die sich im Innenraum einstellende Ausgleichkonzentration. Die sich einstellenden Raumluftkonzentrationen sind neben der Quellstärke und Raumbeladung auch abhängig von raumklimatischen Bedingungen wie Luftwechsel, Luftfeuchte und Raumtemperatur.

Das Problem Formaldehyd-haltiger Werkstoffe das Formaldehyd Bestandteil der eingesetzten Harze und Kunststoffe ist. Diese Harze werden vor allem bei Zutritt von Feuchtigkeit (Luftfeuchtigkeit) zersetzt und Formaldehyd wird freigesetzt, solange das jeweilige Kunstharz noch vorhanden ist.

Die Aufnahme von Formaldehyd erfolgt überwiegend über die Atmung. Es wird im Atemtrakt vollständig aufgenommen. Die Ausscheidung erfolgt teilweise nach Metabolisierung zu Ameisensäure über den Urin, teilweise als Kohlendioxid über die Lunge.

46 P. Braun: *Phenole und Kresole in der Innenraumluft*, in AGÖF 2001

47 Helmut Scholz: *Vorkommen von Formaldehyd in Innenräumen*, in AGÖF 1998

48 H.-U. Krieg, *Formaldehyd aus natürlichem Holz*, in AGÖF 2001

49 A. Wichmann, *Formaldehyd und Luftwechselraten in Fertighäusern*, AGÖF 1993

Bei langandauernder Formaldehyd-Exposition können sich folgende Symptome zeigen: Husten, Kopf- und Ohrenschmerzen, Nasen- und Halsentzündungen. Dazu sind allgemeine Zeichen des Unwohlseins wie Atem- und Kreislaufbeschwerden, Schwindelgefühl, Übelkeit bis hin zu Erbrechen, Schlaflosigkeit, Nervosität, Depressionen, Streßanfälligkeit, Störungen des Erinnerungsvermögens sowie allergische Erkrankungen (auch Asthma) möglich. Chronische Belastung mit ständiger Reizung der Atmungsorgane läßt die Schleimhäute anfällig werden gegenüber Pollen, Schimmelpilzen und anderen Umweltgiften. Dies führt wiederum zu weiteren allergischen Reaktionen. Als Folge chronischer Einwirkung sind auch Nieren-, Leber- und Lungenschäden möglich.

Bei Personen mit einem gestörten Formaldehydstoffwechsel wurden Störungen des zentralen Nervensystems beobachtet: Konzentrationsstörungen, Wortfindungsstörungen, Übelkeit, Unruhe (häufig mit Diarrhöe), auch Erbrechen. Diese Symptome werden oft als psychosomatische Beschwerden gedeutet.⁵⁰

Übersichtstabelle

Substanz/Substanzgruppe	Vorkommen, Eigenschaften
Schimmelpilze	Feuchtigkeitsausfall aufgrund von Gebäudeundichtigkeiten, unzureichender Isolierung oder mangelhaftem Lüftungsverhalten
Sporen	Zahlreiche Allergene, können Mykotoxine enthalten, können fakultativ pathogen sein
Zellwandbestandteile	Beta-Glucane, Irritationen der Schleimhäute, immunmodulierend
Mykotoxine	Immunotoxisch, karzinogen, zellschädigend, neurotoxisch, teratogen
MVOC	Geruchsintensiv, physiologische Wirkungen sind im Gespräch
Biozide	Der Einsatz von Bioziden in Innenräumen führen i.d.R. zu langanhaltenden Belastungssituationen
PCP	Holzschutzmittel bis in die 80er Jahre, Fungizid in Latex und Leder, in D seit 1989 verboten
Lindan	Insektizid, Einsatz in Holzschutzmitteln, Holzwurmtod, Insektenbekämpfungsmitteln
Dichlofluamid	Fungizid, Ersatzstoff für PCP, bei inhalativer Aufnahme deutlich toxischer als bei oraler
DDT	Insektizid, in Deutschland 1972 verboten, nach wie vor relevant in Altbauten und Importartikeln
Methoxychlor	Insektizid, Vorkommen und Verwendung ähnlich DDT
Dieldrin	Insektizid, Importwaren aus Naturstoffen, Vorkommen wie DDT
Hexachlorbenzol	Pflanzenschutzmittel, Saatbeizmittel, Blutbelastungen sind i. d. R. nahrungsbedingt, praktisch keine Anwendung in Innenräumen
Chlornaphthaline 51	Holzschutzmittel bis frühe 70er Jahre, muffiger Geruch
Ethylparathion (E605)	Insektizid mit breitem Wirkungsspektrum, Phosphorsäureester Hemmung der Colinesterase

50 A. Vogel (Hrsg.), *Politikum Formaldehyd*, AbeKra-Verlag 1997

51 P. Pluschke, *Luft-Schadstoffe in Innenräumen: ein Leitfaden*, S. 194-217, Springer, Berlin 1996

Substanz/Substanzgruppe	Vorkommen, Eigenschaften
Propoxur	Insektizid mit Fraß und Kontaktgiftwirkung, Anwendung als Spray und in Köderdosen
Pyrethrum	Natürliches Insektizid aus Chrysantemenblüten, rel. schneller Abbau im Innenraum
Pyrethroide	Gruppe synthetischer Insektizide, die seit Beginn der 80er Jahre zunehmend Einsatz findet
Permethrin	Insektizid (Mottenschutzmittel, Insektenbekämpfungsmittel), neurotoxisch
Piperonylbutoxid	Wirkungsverstärker für Pyrethroide, hemmt deren Abbau im Körper, Insektenbekämpfungsmittel
Eulan WA neu	Mottenschutzmittel, Einsatz bis 1988, dioxinähnliche Struktur
Isothiazoline	Konservierungsm. in Lacken, Klebern, Befeuchtern (Klimaanl. etc.), sensibilisierende Wirkung
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	organische Pyrolyseprodukte, Teerprodukte wie Teerkleber (Verklebung von Bodenbelägen), Teeröle zum Holzschutz (Carbolineum), Einsatz im privaten Bereich verboten, z.T. krebserregend (K2)
Benzo(a)pyren	Indikatorsubstanz für krebserregende PAK (K2),
Naphthalin	Nicht mehr verwendetes Mottenschutzmittel, muffiger Geruch (K3)
Dioxine	Verunreinigung insbes. in PCP und PCB, Entsteht in Brandfällen, in denen Chlorprodukte wie z.B. PVC beteiligt sind, 2,3,7,8-TCDD (Seveso-D.) ist giftigster vom Menschen hergestellter Stoff
Flammschutzmittel/ Weichmacher	Flammhemmende und weichmachende Substanzen insbesondere für Kunststoffe, Lacke etc.
Polychlorierte Biphenyle (PCB)	Fugendichtmassen, Lacke, Farben, Kondensatoren, Transformatoren; Einsatz bis 80er Jahre, immuno- und neurotoxisch, Probleme insbesondere in öffentlichen Bauten der 60er und 70er Jahre
Phthalate	Insbesondere in Weich-PVC-Produkten aber auch in Kosmetika, hormonähnliche Wirkung
Phthalsäureanhydrid	Ausgangsprodukt für Alkydharze, Phthalate, etc, sensibilisierend
Phosphorsäureester	TCEP, TCPP Insbesondere in Produkten auf PU-Basis (Schäume, Lacke), TCEP krebserregend (K2), TBEP in rutschhemmenden Fußbodenpflegemitteln
Organozinnverbindungen	
Dibutylzinnverbindungen (DBT)	Stabilisatoren insbesondere für PVC-Produkte, immunotoxisch, hormonähnliche Wirkung
Tributylzinnverbindungen (TBT)	Fungizid (z.B. TBTO, HSM, Antifoulingfarbe) Verunreinigung in DBT-Stabilisatoren, immunotoxisch, hormonähnliche Wirkung
Flüchtige organische Verbindungen	
Aldehyde: Formaldehyd	Formaldehydharze (Holzwerkstoffplatten, durch E1-Klassifizierung Problematik gemindert aber nicht beseitigt, säurehärtende Lacke, Formaldehydabspalter als Konservierungsmittel, atemwegsreizend, bei Störung des Metabolismus neurotoxisch

Substanz/Substanzgruppe	Vorkommen, Eigenschaften
Furfural	Kork (Fußböden etc.), geruchsintensiv, reizend, krebverdächtig (K3)
Höhere aliphatische Aldehyde	Pentanal, Hexanal, Heptanal, Leinölprodukte, Alkydharze, atemwegsreizend, geruchsintensiv
Aliphatische Kohlenwasserstoffe	Lösemittel auf Mineralölbasis, Bestandteile von Benzin und Heizöl, z.T. Hinweis auf Geruchsursachen durch Mineralölprodukte
Isoaliphaten	Synthetisches Lösemittel, praktisch geruchsfrei, nur geringe physiologische Wirkung
Aromatische Kohlenwasserstoffe	Bestandteil von Mineralölprod. Tabakrauch, ubiquitär in Außenluft, da Einsatz als Treibstoff
Benzol	in Benzin bis 5% enthalten, Indikator für KFZ-Abgase (Außenluft, Garagen), krebserregend (K1)
Toluol, Xylol, Ethylbenzol,...	Lösemittel (Lacke, Kleber), häufig Einsatz als Gemisch, i.d.R. benzolfrei
Ungesättigte Kohlenwasserstoffe	Häufig Nebenprodukte bei der Herstellung von Polymeren, z.T. Zusammenhänge mit Geruchsproblemen, Kopfschmerzen, Unwohlsein
Trimeres Isobuten	Tritt in Zusammenhang mit unangenehmen Neugeruch von Syntheselatexprodukten auf
4-Phenylcyclohexen	Nebenprodukt bei der Herstellung von Produkten aus synthetischem Kautschuk (Styrol-Butadien-Kautschuk, SBR)Teppichrücken, unangenehmer Neugeruch von Syntheselatexprodukten
Dodecen-Isomerengemisch	Verwendung z.B. als Lösemittel in der Produktion von PVC, geruchsintensiv
Terpene	Bestandteile etherischer Öle, in der Regel geruchsintensiv, Lösemittel für Naturfarben
Δ^3-Caren	Terpentinöle, Nadelholz, sensibilisierend, daher i.d.R. in Naturfarben nicht mehr enthalten
Limonen	Aus Zitrusfrüchteschalen, Lösemittel in Naturfarben, Zitrus-Duft (Reinigungsmitteln, Parfüm)
Pinene	Frisches Nadelholz, Hauptbestandteil von Terpentinölen
Ketone	Lösemittel insbesondere in Lacken
Alkohole (einwertig) niedere	Ethanol, Propanol, Lösemittel, Kosmetikartikel (Parfüm), „Raumluftverbesserer,“
höhere	Lösemittel, als Zersetzungsprodukte von Phthalaten, Hinweis auf Feuchtigkeitseinfluß im Zusammenhang mit Geruchsproblemen
Ester (monofunktionell)	Lösemittel in Lacken und Klebern, z.T. angenehmer, fruchtiger Geruch, Parfüms und Geruchsverbesserer
Ester und Ether mehrwertiger Alkohole (Glykolverbindungen)	Lösevermittler in Lacken, Klebstoffen etc. auf Wasserbasis, aufgrund ihres höheren Siedepunktes führen sie zu deutlich langwierigeren Innenraumbelastungen als konventionelle „Lösemittel,“
Ethylengykolderivate	z.T. toxische Wirkungen bei relevanten Innenraumkonzentrationen nicht auszuschließen, insbesondere bei Phenoxyethanol Zusammenhänge mit Geruchsproblemen
Propylengykolderivate	Deutlich unproblematischer als Ethylengykolderivate im Hinblick auf die physiol. Wirkungen

Substanz/Substanzgruppe	Vorkommen, Eigenschaften
Siloxane	Kosmetikartikel, Lacke, insbesondere Möbellacke, keine Daten zur physiol. Wirkung
Halogenierte Kohlenwasserstoffe	Lösemittel, Entfettungsmittel, Abbeizmittel, chemische Reinigungen, wegen ihrer Toxizität heutzutage kaum noch Verwendung
Phenol, Phenolische Verbindungen	Phenolharze, Desinfektionsmittel, geruchsintensiv
N-Methylpyrrolidon	Lösemittel für schwerlös. Stoffe: Kunststoffe, Lacke, Abbeizmittel, Schädlingsbekämpfungsmittel
Monomere	Ausgangsprodukte für Polymere (Kunststoffe), bei unvollständiger Polymerisierung ausgasbare Reste im Polymer vorhanden
Acrylate	Acrylharze (Farben, Klebstoffe, Dichtmassen), sensibilisierend
Isocyanate	Polyurethan (PU)-Harze (Farben, Klebstoffe, Dichtmassen), sensibilisierend
Styrol	Aromatischer Kohlenwasserstoff, Polystyrolharze („Styropor„), Klebstoffe, neurotoxisch, geruchsintensiv
Fasern und Partikel⁵²	
Asbest festgebunden	Dachplatten, Fassadenelemente, Bodenplatten (Floor-Flex) solange Material unbeschädigt i.d.R. keine oder nur geringfügige Faserfreisetzung
Asbest weichgebunden	Spritzasbest insbes. in öffentlichen Gebäuden zum Brandschutz, hohe Faserfreisetzung
Künstliche Mineralfasern	Dämmstoffe (Mineralfasern, Glasfasern), ältere Materialien krebserregend, gelangen aufgrund von Undichtigkeiten aus Wand-/ Deckenaufbau in die Raumluft
Magic Dust / Fogging / Schwarzstaub⁵³ 54	Schwarze, schmierige Beläge, die sich insbesondere nach Renovierungen zu Beginn der Heizperiode an gegenüber der vorbeiströmenden Raumluft kälteren Wandoberflächen bilden. Die Ursachen lassen sich nicht in jedem Fall abschließend klären
Anorganische Gase⁵⁵	
Kohlendioxid	Menschliche Atmung, Indikator für verbrauchte Luft
Kohlenmonoxid	Tabakrauch, fehlerhafte oder schlecht ziehende Öfen u. Gasherde, Problem insbes. in KFZ-Innenräumen
Stickoxide (NO_x)	Tabakrauch, fehlerhafte oder schlecht ziehende Öfen, Gasherde, Außenluft (Hausbrand)

52 G. Zwiener, *Handbuch Gebäudeschadstoffe*, Rudolf Müller-Verlag, Köln 1997.

53 Magic Dust – Schwärzungen in Innenräumen: U. Münzenberg u. J. Thumulla: *Thesen zum Phänomen Magic Dust*, L. Grün: *Das Phänomen plötzlicher Staubablagerungen (Magic Dust?) – Welche Rolle spielen Heizung, Lüftung und Bauphysik*, P. Plieninger: *Schwarzstaub: Ruß, Dreck oder Spuk?* In AGÖF 2001

54 H.-J. Morriske et. al.: *Neue Untersuchungsergebnisse zum Phänomen „Schwarze Wohnungen“*, in Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 61 (2001) Nr. 9

55 P. Pluschke, *Kohlendioxid: Leitparameter für die physiologisch bedingte Beeinträchtigung der Luftqualität in Innenräumen; Kohlenmonoxid im Haus aus Verbrennungsprozessen aller Art; Stickoxide von drinnen und draußen; Ozon aus technischen und luftchemischen Prozessen; Radon: Luftschadstoff der aus der Tiefe kommt*, in *Luft-Schadstoffe in Innenräumen: ein Leitfaden*, S. 521-102, 259-263, Springer, Berlin 1996

Substanz/Substanzgruppe	Vorkommen, Eigenschaften
Ozon	Sommersmog (Straßenverkehr), Kopierer, Höhensonnen (UV-Leuchten), Ozonluftreiniger
Radon	Bauuntergrund regional stark unterschiedlich, z.T. mineralische Baustoffe, Lungenkanzerogen
Schwermetalle⁵⁶	
Quecksilber	Zerbrochene Fieberthermometer, Holzschutzmittel, Industriealtlasten, neurotoxisch
Arsen	Holzschutzmittel, alte Farbanstriche
Blei	Farben (Rostschutz, ältere Weißpigmente), Wasserleitungen
Tierische Allergene	
Hausstaubmilben	insbesondere auf Raumtextilien/ Matratzen bei höherer Luftfeuchtigkeit
Katzen	Hartnäckiges Allergen, häufig Verschleppung auch in Haushalten ohne Katzen

56 G. Riem: Schwermetalle im Innenraum – Nachweis und Vorkommen in Hausstaub und Materialien, Wissenschaftsverlag Dr. Wigbert Maraun, Frankfurt 1994