

Raumlufthygienische Bewertung von Emissionen aus Bauprodukten

T 2575

T 2575

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

Abschlußbericht

zum Forschungsvorhaben

Raumlufthygienische Bewertung von Emissionen aus Bauprodukten

Gefördert durch das Deutsche Institut für Bautechnik
Az.: IV 1-5-565/89

Erarbeitet von

Klaus-Reinhard Brenske

unter Mitwirkung von

Uwe Kaiser und Jürgen Wegner

Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene
des Bundesgesundheitsamtes
14195 Berlin (Dahlem)

1993

**Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben:
Raumlufthygienische Bewertung von Emissionen aus Bauprodukten**

Inhaltsübersicht

	Seite
Kurzfassung	4
1. Einleitung	5
2. Allgemeine hygienische Anforderungen an Raumluft und -klima	7
3. Allgemeine Aussagen zur Abschätzung von Emissionsraten	9
4. Baustoffgliederung	11
5. Radioaktivität, Radon	13
6. Diskussion einzelner Baustoffgruppen	19
6.1 Künstliche Mineralfasern	19
6.1.1 Herstellung	19
6.1.2 Verwendung	20
6.1.3 Emissionen	21
6.1.3.1 Gasförmige Emissionen	21
6.1.3.2 Partikelförmige Emissionen	21
6.1.4 Empfohlene Maßnahmen	23
6.1.5 Nachtstromspeicheröfen	24
6.2 Formaldehyd enthaltende Materialien	24
6.2.1 Vorkommen in Bauteilen	24
6.2.2 Gesundheitliche bzw. raumlufthygien. Bewertung	25
6.2.3 Umsetzung des Formaldehydrichtwertes	26
6.2.3.1 Spanplatten	26
6.2.3.1.1 Rechtliche Verankerung der Anforderungen	26
6.2.3.1.2 Maßnahmen zur Kontrolle der Formaldehyd- konzentrationen	28
6.2.3.2 UF-Ortschaum	29
6.3 Holzschutzmittel	30
6.3.1 Eigenschaften von Holz, Holzschutz	30

	Seite	
6.3.2	Arten von Holzschutzmitteln	31
6.3.3	Prüfzeichen und RAL-Gütezeichen	32
6.3.4	Emissionen	33
6.3.6	Schlußfolgerungen	36
6.4	Textile Bodenbeläge (Teppichböden)	36
6.4.1	Herstellung	37
6.4.2	Rezepturen	37
6.4.3	Gemessene Emissionen	39
6.4.3.1	Emissionen des Belagmaterials	39
6.4.3.2	Emissionen b. Verkleben von textilen Bodenbelägen	42
6.4.4	Schlußfolgerungen	44
6.5	Polyvinylchlorid (PVC)	45
6.5.1	Herstellung und Vorkommen im Baubereich	45
6.5.2	Emissionen	46
6.5.3	Diskussion der gegen die Verwendung von PVC vorgebrachten Argumente	47
6.5.4	Schlußfolgerungen	48
6.6	Lacke und Farben	48
6.6.1	Inhaltsstoffe	49
6.6.2	Emissionen	51
6.6.3	Schlußfolgerungen	54
7.	Diskussion und Ausblick	58
7.1	Ansätze	58
7.2	Klassifizierung von Emissionen	61
7.3	Beschaffung von Rezepturen	63
7.4	Toxikologische Bewertung	66
7.5	Vergleich zwischen Baustoffemissionen und Feldmessungen	68
7.6	Ausblick - zweckmäßiges Vorgehen zur Weiterbearbeitung des Baustoffthemas	72
8.	Literatur	74
 <u>Anhang</u>		
A	Baustoffgliederung	81
B	Stoffe und Materialien im Bereich 10 (Fußbodenaufbau)	94
C	Produktblätter	100
D	Wiedergabe wichtiger Veröffentlichungen	115

Kurzfassung

Ziel des Vorhabens war die Erfassung und Bewertung von in der Innenraumluft vorkommenden Emissionen aus Baustoffen und Bauprodukten, zu denen im weiteren Sinne auch Materialien zum Innenausbau wie Tapeten und Teppichböden zu zählen sind.

Hierzu wurde eine Baustoffgliederung erstellt, die im wesentlichen aus 12 Gruppen besteht, und es wurden Literaturrecherchen zu diesen einzelnen Materialien durchgeführt. In die Auswertung gelangten Rezepturen, Prospektmaterial, Literatur und Berichte anderer Vorhaben.

Die Mitglieder der Innenraumluftthygiene-Kommission des Bundesgesundheitsamtes, die als begleitende Gutachter für das Forschungsvorhaben gewonnen werden konnten, hatten mehrfach empfohlen, Rezepturen zu sammeln und nach kritischen, aber bisher in diesem Zusammenhang nicht diskutierten Stoffen zu durchsuchen. Damit sollte erreicht werden, daß in Zukunft toxische Emissionen von Baustoffen nicht erst als solche erkannt werden, wenn ihre Quellen als Bauprodukte schon in großem Umfang zur Anwendung gekommen sind, so wie es in der Vergangenheit oft der Fall war (z. B. bei Formaldehyd, PCP, PCB). Dieses Ziel konnte nicht erreicht werden, da es nicht gelungen ist, zu einer solchen Auswertung geeignete, vollständige Rezepturen zu erhalten. Selbst unter strenger Vertraulichkeit mitgeteilte Rezepturen wiesen nur Grundbestandteile aus, aus denen sich kaum Hinweise auf mögliche toxische Emissionen entnehmen ließen. Andererseits entstehen störende Emissionen auch aus Verunreinigungen oder Nebenprodukten, die naturgemäß nicht in Rezepturen stehen, z. B. die Hauptkomponente des störenden Geruchs neuer Teppichböden (4-Phenylcyclohexen). Daher beruht der Abschlußbericht im wesentlichen auf der Auswertung von Berichten anderer Vorhaben. Dadurch war es aber nicht möglich, neue, bisher nicht diskutierte Emissionen zu erfassen. Im Bericht werden auch Ansätze zur theoretischen Abschätzung von Emissionsraten aufgrund der Rezepturen formuliert. Eine vernünftige Ermittlung von Emissionsraten ist aber nur durch Messungen möglich.

Als wesentliche Konsequenz des Forschungsvorhabens wurde eine Empfehlung des BGA im Zusammenwirken mit der BAFAM, der BAU und dem UBA an die Hersteller vorbereitet, die Inhaltsstoffe ihrer Produkte vollständig anzugeben. Im Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des BGA soll ein Forschungsvorhaben initiiert werden, in dem Methoden für Emissionsmessungen an Baustoffen entwickelt und solche Messungen auch durchgeführt werden.

1. Einleitung

Der zunehmende Lebensstandard mit seiner immer "reichhaltigeren" Ausstattung der Wohnungen, die gesteigerte Nutzung von sog. Haushaltschemikalien und Materialien im Hobbybereich sowie Emissionen aus Bauprodukten tragen alle zur Kontamination der Innenraumluft bei. Die Innenraumluftqualität wird aber nicht nur durch die gestiegene Anzahl potentieller Emittenten, sondern auch durch Energiesparmaßnahmen, bzw. die dadurch verminderte Raumluftventilation beeinflusst. Amerikanischen Angaben zufolge hält sich der Durchschnittsbürger bis zu 90 % des Tages in geschlossenen Räumen auf [Ju, Spengler 1981]. Bei bestimmten Bevölkerungsgruppen (Alte, Kranke) dürfte dieser Prozentsatz eher noch höher sein.

Der menschliche Organismus wird also mit einer Fülle von verschiedenen Stoffen konfrontiert, und es stellt sich somit die Frage der gesundheitlichen Auswirkungen dieser Stoffgemische in Innenräumen. Das Spektrum der medizinischen Problemfelder kann sich von Geruchsbelästigungen (z.B. bei neuen Teppichböden [Seifert u. a. 1989]) im Sinne einer Behaglichkeitsstörung über akut irritative Auswirkungen auf Respirationstrakt und/oder Bindehäute (z.B. Formaldehyd [BMJFG 1984]) bis hin zu potentiellen Langzeiteffekten aus den Bereichen Neurotoxizität, Mutagenität, Reproduktionstoxizität oder Immuntoxizität erstrecken (z. B. PCP [Krause, Englert 1980]).

Am Arbeitsplatz sind mit der Festlegung maximaler Arbeitsplatzkonzentrationen (MAK-Werte) durch die Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe die Anforderungen an die Reinhaltung der Luft gesetzlich relativ umfassend festgelegt [DFG 1990]. Demgegenüber existieren für nichtgewerbliche Innenräume keinerlei gesetzliche Regelungen zur Sicherung einer für die Bewohner gesundheitlich unbedenklichen Luftqualität. Von der Weltgesundheitsorganisation sind 1987 sogenannte Luftgüteleitlinien ("Air Quality Guidelines") für 28 Substanzen veröffentlicht worden [WHO 1987], die auf der Grundlage toxikologischer/sensorischer Befunde ermittelt wurden. Selbst wenn es für eine große Zahl von Stoffen solche Werte gäbe, würde sich die Frage nach der praktischen Bedeutung dieser Werte stellen. Die Grenzwertkontrolle sehr vieler Verbindungen in Millionen Haushalten würde einen enormen Aufwand erfordern und außerdem einen Eingriff in die Privatsphäre darstellen [Seifert, Fischer 1988].

Die von Seifert und Fischer diskutierte Problematik der Innenraumluftkontamination läßt sich auf die einfache Forderung reduzieren, daß auf die Festlegung von Grenzwerten für Schadstoffe in der Innenraumluft ganz verzichtet werden sollte und dafür vorsorglich das Einbringen solcher Materialien oder Produkte kontrolliert werden müßte, die Schadstoffe freisetzen können.

Erläuterung der Zielsetzung

Eine raumlufthygienische Bewertung von Emissionen aus Bauprodukten erfordert eine korrekte Zuordnung der Innenraumkontaminanten zu den jeweiligen Emissionsquellen. Notwendige Voraussetzung hierfür ist eine systematische Erfassung möglichst aller zur Anwendung kommenden Bauprodukte bzw. deren Inhaltsstoffe.

In der Anfangsphase des Vorhabens wurde deshalb versucht, durch eine Unterteilung in

Rohbau und Innenausbau

die Menge der Bauprodukte einzugrenzen. Grundlage dieses Vorgehens war die Überlegung, daß die Kontamination der Innenraumluft hauptsächlich durch Emissionen aus Bauprodukten erfolgt, die für den Innenausbau verwendet werden. Es stellte sich allerdings heraus, daß eine solche Unterteilung nicht zu einer Verminderung der Zahl der zu bewertenden Bauprodukte führt, da

- a) zahlreiche Bauprodukte sowohl im Rohbau als auch im Innenausbau vorkommen,
- b) eine Zuordnung nicht immer exakt möglich ist und
- c) auch der Rohbau durch Emissionen zu innenraumrelevanten Konzentrationen führen kann.

Es wurde deshalb nach einer praxisorientierten, möglichst umfassenden Gliederung der Bauprodukte gesucht. Eine solche Gliederung in überschaubarer Form existierte in den uns zugänglichen Quellen nicht. Aus entsprechender Fachliteratur [Piltz u. a. 1985; Knoblauch 1990], einem Zwischenbericht einer Arbeitsgruppe in Kiel [Schleswig-Holstein 1989] und aus Produktinformationen [Deutscher Baukatalog 1990] etc. wurde als Grundlage für das Forschungsvorhaben ein Entwurf einer Gliede-

tik von Bauprodukten erstellt. Dieser Entwurf wurde teilweise vom Institut für Bautechnik (IfBt) überarbeitet und stellt eine möglichst systematische Auflistung relevanter Bauprodukte dar.

2. Allgemeine hygienische Anforderungen an Raumluft und -klima

Die wesentlichen Parameter der Innenraumluft und des Innenraumklimas, die die Qualität der Innenraumluft beschreiben und von denen die Behaglichkeit bei einem Aufenthalt in dem betreffenden Raum abhängt, sind

- Lufttemperatur
- mittlere Strahlungstemperatur
- relative Luftfeuchtigkeit
- Luftgeschwindigkeit
- Schadstoffbelastung

Als "Raumtemperatur" bzw. "operative Raumtemperatur" [DIN 1946 Teil 2, Neuausg. vorauss. Jan. 1994] wird der arithmetische Mittelwert von Lufttemperatur und mittlerer Strahlungstemperatur angesehen. Tab. 2.1 zeigt die von Grandjean empfohlenen Temperaturbereiche [Grandjean 1973].

Wohnzimmer	20 - 23
Schlafzimmer	17 - 20
Küche	18 - 20
Bad	20 - 23
WC	16 - 19
Flur	18 - 20

Tab 2.1: Wohnphysiologisch optimale Temperaturbereiche für Wohnräume in °C [Grandjean 1973]

Der Behaglichkeitsbereich für die relative Luftfeuchtigkeit liegt, weitgehend unabhängig von der Temperatur, zwischen etwa 30 und 70 %. Gelegentliche Unterschreitungen bis auf 20 % sind nach DIN 1946 Teil 2 [DIN 1946 Teil 2, Raumlufttechnik, Gesundheitstechnische Anforderungen, Januar 1983; Neuausgabe in Vorbereitung, s.o.] tolerabel. Bei hoher Luftfeuchtigkeit wird der Behaglichkeitsbereich der Temperatur eingeschränkt, Abweichungen von der optimalen Temperatur werden stärker empfunden. Bei

niedriger Luftfeuchtigkeit können die zunehmende statische Elektrizität und das Austrocknen von Staub, der dadurch flugfähig wird, störend wirken.

Die Luftgeschwindigkeit darf aus Gründen der thermischen Behaglichkeit nicht zu hoch sein, da sonst Zugluft empfunden wird, die Grenze ist von der Lufttemperatur und dem Turbulenzgrad der Strömung abhängig. Bei einer Lufttemperatur von 20-24 °C sollte die Luftgeschwindigkeit ca. 0,15 m/s im Winter und 0,25 m/s im Sommer nicht überschreiten.

Die ersten Gedanken zur Schadstoffbelastung der Innenraumluft stammen von Max von Pettenkofer, der einen hygienischen Grenzwert für die Kohlendioxidkonzentration (Indikator!) festsetzte. Daraus ergibt sich die Forderung nach einem Mindestluftwechsel, der so groß sein muß, daß die Kohlendioxidkonzentration den Grenzwert nicht übersteigt, und zwar auch bei ständiger Emission durch die sich in dem Raum aufhaltenden Personen.

Für die stationäre Innenluftkonzentration c_{st} (mg/m^3) eines Stoffes, der von einer im Innenraum befindlichen Quelle mit der konstanten Quellstärke Q (mg/h) emittiert wird, gilt, wobei c_a die Außenluftkonzentration (mg/m^3), n der Luftwechsel ($1/\text{h}$) und V das Raumvolumen (m^3) sind:

$$c_{st} = \frac{Q}{n \cdot V} + c_a$$

Da die Außenluftkonzentrationen für typische Innenluftschadstoffe meist deutlich kleiner als die Innenluftkonzentrationen sind, hat man in der Vergrößerung des Luftwechsels ein rasch wirksames Mittel zur Verminderung der Schadstoffkonzentration im Innenraum. Die vermehrte Lüftung sollte in der kalten Jahreszeit zur Vermeidung übermäßigen Wärmeverlustes als Stoßlüftung durchgeführt werden. Im Sommer, wo wegen der erhöhten Innentemperaturen die Emissionsraten in der Regel höher sind, kann dafür eine Dauerlüftung erfolgen.

Der natürliche Luftwechsel durch die Fugen geschlossener Fenster und Türen liegt meist zwischen 0,5 und 1 /h. Bei sehr dicht schließenden Fenstern (sogenannte "moderne" Fenster mit Dichtungen) werden sogar nur Werte im Bereich von 0,3 /h oder noch darunter erreicht. Hier sollte durch bewußtes Lüften der mittlere Luftwechsel erhöht werden. - Zusätzlich sollte die aus Gründen der Hygiene erforderliche Lüfterneuerung durch stufenlos einstellbare und leicht regulierbare Lüftungseinrichtungen ermöglicht werden. - Bei geöffneten Fenstern und Türen kann der

Luftwechsel 3 - 5 /h oder noch deutlich mehr betragen (Durchzug).

Wahrscheinlich ist die Verringerung des Luftwechsels durch die seit den "Ölkrise" in den 70er Jahren verwendeten sehr dichten Fenster eine wesentliche Ursache für die Zunahme der Schadstoffkonzentrationen in der Innenluft und der dadurch bedingten Gesundheitsstörungen. Hier zeigt sich, daß Umweltschutz (Minimierung von Wärmeverlust und damit Brennstoffverbrauch und CO₂-Emission) und Gesundheitsschutz (Minimierung der Schadstoffkonzentrationen in der Innenraumluft) durchaus auch im Gegensatz zueinander stehen können.

Zur Gewährleistung eines angenehmen Raumklimas werden besonders in Bürogebäuden Klimaanlage eingesetzt, die die Lufttemperatur und -feuchtigkeit im optimalen Bereich halten sollen. Gerade in solchen Gebäuden aber klagt häufig eine größere Anzahl von Personen über Befindlichkeitsstörungen, die am Wochenende oder im Urlaub rasch abklingen.

Obwohl die genauen Ursachen dieses sogenannten Sick-Building-Syndroms noch nicht endgültig geklärt sind, sind offenbar folgende Effekte beteiligt:

- zu hohe Luftgeschwindigkeiten im Bereich der Zuluftöffnungen,
- zu hohe Schadstoffkonzentrationen in der Raumluft, da häufig zur Energieeinsparung mit zu hohem Umluft- und mit zu geringem Frischluftanteil gearbeitet wird,
- Einsatz von Desinfektionsmitteln im Wasservorrat der Luftbefeuchter, die in die Raumluft ausgetragen werden.

In zunehmendem Maße wird inzwischen das Verteilen von Mikroorganismen aus der Klimaanlage selbst und aus den Luftschächten in die Räume als wesentliche, wenn nicht Haupt-Ursache für das Sick-Building-Syndrom angesehen [Exner 1992]. Durch häufigere Wartung und Reinigung und durch einen höheren Außenluftanteil könnte die Belastung deutlich gesenkt werden.

3. Allgemeine Aussagen zur Abschätzung von Emissionsraten

Da in vielen, wenn nicht in den meisten Fällen keine Daten über gemessene Emissionsraten verfügbar sind, kann hilfsweise eine

Abschätzung nach den im folgenden aufgeführten Gesichtspunkten versucht werden.

Für die Emission von flüchtigen Stoffen in die Gasphase sind thermodynamische genauso wie kinetische Größen von Einfluß. Die thermodynamisch entscheidende Größe ist der Dampfdruck. Der Dampfdruck entspricht der maximalen Konzentration, die bei einer rein gasförmigen Emission erreicht werden kann. Dampfdrücke reiner Stoffe bei Raumtemperatur lassen sich häufig Tabellenwerken entnehmen, ansonsten müssen sie mit Hilfe des Siedepunktes und Annahmen über die Verdampfungsenthalpie abgeschätzt werden.

Liegt ein Stoff als Komponente in einer Mischung vor, so ist der Dampfdruck in der Regel kleiner. In sogenannten idealen Mischungen ist der Dampfdruck gleich dem Dampfdruck des reinen Stoffes multipliziert mit seinem Molenbruch (RAOULTsches Gesetz). Der Molenbruch ist ein Maß für die Konzentration, er kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Für reine Stoffe ist der Molenbruch 1.

In den sogenannten realen Mischungen - dazu müssen auch die im Baubereich eingesetzten Mischungen gezählt werden - läßt sich der tatsächliche Dampfdruck einer Komponente nicht berechnen. Er kann - je nach Art der zur Mischung gehörenden Substanzen - kleiner, aber auch größer sein, als mit Hilfe des Molenbruchs zu berechnen wäre. Im Sinne einer "worst case"-Betrachtung könnte daher der Molenbruch außer acht gelassen und nur der Dampfdruck des reinen Stoffes herangezogen werden. Dieses Vorgehen wird insbesondere bei niedermolekularen Zusätzen in Kunststoffen dadurch gestützt, daß das eigentliche Polymer wegen seiner großen Molmasse nach Teilchenzahlen gerechnet gegenüber niedermolekularen Zusätzen nur einen geringen Anteil hat.

Als kinetische Einflußgrößen sind die Diffusionseigenschaften anzusehen. Hier muß unterschieden werden zwischen der Diffusion noch innerhalb des emittierenden Materials und der Diffusion durch eine erste dünne Luftschicht, die unmittelbar vor der Oberfläche steht und die von der Luftbewegung im Raum nicht erfaßt wird und daher nicht durch Konvektion, sondern nur durch Diffusion überwunden werden kann. Da die Dicke dieser stehenden Luftschicht von der Luftgeschwindigkeit im freien Raum abhängt, ändert sich damit auch ihr Diffusionswiderstand.

Zimmerli ist bei der Untersuchung der Emission von Holzschutzmitteln aus Anstrichfilmen zu dem Ergebnis gekommen, daß der

Einfluß des Diffusionswiderstands der stehenden Schicht überwiegt und der Diffusionswiderstand innerhalb des emittierenden Films vernachlässigt werden kann [Zimmerli 1982]. In diesem Fall sind die Emissionsraten stark von der Luftgeschwindigkeit im Raum beeinflußt. Dagegen scheint bei der Ausgasung von Formaldehyd aus Spanplatten die Diffusion innerhalb der Quelle zu überwiegen, da - außer bei sehr niedrigen Luftgeschwindigkeiten - kein bedeutender Einfluß der Luftgeschwindigkeit auf die Emissionsrate festgestellt werden konnte [Schlüter]. Dies steht damit in Einklang, daß Spanplatten im Vergleich zu einem Anstrichfilm eine viel größere Tiefenausdehnung haben und daß die Formaldehydemission nur sehr langsam abklingt, so daß der Formaldehyd nicht nur von der Oberfläche, sondern auch aus tieferen Schichten stammt und entsprechende Diffusionswege im Material zurücklegen muß. Welcher Diffusionswiderstand bei anderen Quellen überwiegt und bevorzugt in die Betrachtungen miteinzubeziehen ist, muß jeweils im Einzelfall geklärt werden.

Es können hierbei naturgemäß große Unsicherheiten auftreten, so daß sich Emissionsraten und Raumlufkonzentrationen bestenfalls in der Größenordnung abschätzen lassen. Andererseits besteht auch in der toxikologischen Bewertung, besonders in der Bemessung von Sicherheitsfaktoren, ein erheblicher Spielraum, so daß die Abschätzung von Konzentrationen nicht das mit Abstand schwächste Glied der Kette sein muß.

Wenn die Quelle allerdings nicht frei im Raum steht, sondern abgedeckt ist, z.B. durch eine Verkleidung, ist eine Schätzung des Diffusionswiderstands praktisch unmöglich, da dann nicht nur Materialdaten, sondern auch die Art und Qualität der Verarbeitung im Einzelfall, z.B. die Größe von Fugen, entscheidend sind.

Alle Betrachtungen hinsichtlich des Dampfdrucks können nur für rein gasförmige Emissionen gelten, nicht jedoch für Aerosole und partikelgebundene Substanzen.

4. Baustoffgliederung

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde eine Baustoffgliederung zwecks systematischer Erfassung aller Baustoffe erstellt. Diese Gliederung beruht im wesentlichen auf der Struktur von gängigen Lehrbüchern über Baustoffkunde [Scholz, Baustoffkenntnis; Piltz, Härig, Schultz, Technologie der Baustoffe], wurde aber in einzelnen Punkten nach Wünschen des IfBt, hier insbesondere

von Hrn. Prof. Dr. Meyer, abgeändert. Die Baustoffgliederung ist im Anhang A aufgeführt.

In einzelnen Fällen war keine eindeutige Zuordnung bestimmter Baumaterialien möglich, so daß gelegentlich Mehrfachnennungen auftreten, so z.B. bei Parkettversiegelungen (Fußboden und Anstrichstoff) oder Fußbodenkleber (Fußboden und Klebstoff).

Das wesentliche Problem solcher systematischen Gliederungen ist, daß sie den Eindruck erwecken, man könnte sie systematisch und vollständig im Hinblick auf Schadstoffemissionen in die Innenraumluft bearbeiten. Das Bearbeitungsraaster ist jedoch immer nach unten offen. Es muß eine willkürliche und z.T. auch subjektive Grenze gezogen werden, bis zu welchem Gehalt eines Schadstoffs im Baustoff, bis zu welchem Dampfdruck, bis zu welcher zu erwartenden Raumluftkonzentration man gehen will, jeweils unter Berücksichtigung der - soweit vorhandenen - toxikologischen Daten. Tatsächlich führt dies dazu, daß etliche Baustoffgruppen von vornherein ausgeschlossen werden und eine Konzentration auf genau die Baustoffgruppen erfolgt, die von vornherein als problematisch bekannt sind. Die Möglichkeit eines Screenings mit dem Aufdecken eines noch nicht in der Öffentlichkeit diskutierten Schadstoffs besteht dann allerdings kaum noch.

Ein ganz anderer Ansatz wurde in dem Bericht "Umwelt-Verträglichkeit von Baustoffen" gewählt [Pappi, Stürmer 1992]. Hier wurden die Baustoffe nach dem Standardleistungsbuch für das Bauwesen (StLB) vorgestellt. Dies hat zwei Vorteile. Erstens steht vor allem dem Praktiker das StLB näher als eine eher abstrakte Baustoffgliederung, und zweitens werden alle für einen bestimmten Leistungsbereich verwendeten Werkstoffe auch zusammen dargestellt.

Als von vornherein unverdächtig für die Emission von Schadstoffen - ausgenommen Radon - wurden die Bereiche 1 (Betonbau) und 2 (Mauerwerksbau) angesehen (zu Radioaktivität und Radon s. Kap. 5). In Einzelfällen sind aber auch aus Beton Emissionen bekanntgeworden, nämlich die Emission von Ammoniak, wenn dem Beton Steinkohlenflugasche zugesetzt worden war, die aus Feuerungsanlagen mit Entstickungssystemen stammte. Offenbar wird ein Teil des zur Entstickung in das Rauchgas eingeblasenen Ammoniakgases in der Asche gebunden und später aus dem Beton wieder freigesetzt.

Im Bereich 3 (Holzbau) sind Holzwerkstoffe wegen der Emissionen aus den Leimen (Harnstoff-Formaldehyd-Harz) und die Holzschutzmittel mögliche Quellen für Schadstoffemissionen.

Im Bereich 4 (Metallbau) sind nur die organischen Beschichtungen von Interesse. Mit den Vorbehandlungsmitteln, die nur in der Bauphase und z.T. auch nur im Herstellungsbetrieb eingesetzt werden, sollte der endgültige Benutzer nicht in Kontakt kommen.

Im Bereich 5 (Fenster und Glas) sind nur Kunststoffe und Dichtungsmassen von Bedeutung, die auch im Bereich 6 (Kunststoffbau/Dichtungsmassen) aufgeführt sind.

Der Bereich 7 (Dächer) spielt praktisch keine Rolle. Zwar ist durchaus bei einigen der im Bereich 7 aufgeführten Materialien eine Schadstoffemission zu erwarten, die jedoch an die Außenluft erfolgt und außer in Sonderfällen (z. B. Mansardenwohnungen) nicht in die Innenraumluft gelangen kann.

Die Bereiche 8 bis 12 (8. Wärmedämmung/ Feuchtigkeitsschutz/ Schalldämmung; 9. Klebstoffe; 10. Fußböden; 11. Wände und Decken; 12. Anstrichmittel) enthalten die meisten der bekannten Schadstoffquellen für die Innenraumluft, so daß diese Bereiche am wichtigsten sind.

5. Radioaktivität, Radon

Die im Strahlenschutz relevanten Strahlenarten sind Alpha-, Beta- und Gamma-Strahlung. Alpha-Strahlung besteht aus Heliumkernen, Beta-Strahlung aus Elektronen und Gamma-Strahlung aus Photonen (bzw. elektromagnetischen Wellen). Alpha-Strahlung hat eine sehr hohe Wechselwirkungswahrscheinlichkeit mit Materie, Beta-Strahlung eine weniger hohe und Gamma-Strahlung die geringste.

Aus diesem Grunde haben Alpha- und Beta-Strahlung schon in Luft nur begrenzte Reichweiten in der Größenordnung von Zentimetern bzw. Metern, in dichter Materie sind die Reichweiten entsprechend kürzer. Daher sind Alpha- und Beta-Strahlen für den Menschen praktisch nur von Bedeutung, wenn die Strahler inkorporiert werden. Allerdings ist mit Alpha- und Beta-Strahlung in

der Regel gleichzeitig auch die Emission von Gamma-Strahlung verbunden.

Maßeinheiten der wichtigsten radiologischen Größen sind:

- Bq (Becquerel) für die Aktivität eines Strahlers;
1 Bq = 1 Zerfall/s
Alte Einheit: Ci ($1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$)
- Gy (Gray) für die aufgenommene Energiedosis eines bestrahlten Objekts; 1 Gy = 1 J/kg
Alte Einheit: Rad ($1 \text{ rd} = 10^{-2} \text{ Gy}$)
- Sv (Sievert) für die aufgenommene Äquivalentdosis;
1 Sv = 1 J/kg
Alte Einheit: Rem ($1 \text{ rem} = 10^{-2} \text{ Sv}$)

Zur Umrechnung von Gy auf Sv wird mit einem dimensionslosen Faktor multipliziert, der die relative biologische Wirksamkeit der betreffenden Strahlenart wiedergibt. Dieser Faktor hat z.B. für Gamma-Strahlung den Wert 1, für Alpha-Strahlung den Wert 20. - Eine Dosisleistung ist eine Dosis bezogen auf die Zeitdauer der Einwirkung.

Der Mensch ist kosmischer und terrestrischer Strahlung (Gamma-Strahlung) ausgesetzt, die zusammen die externe natürliche Strahlenexposition erzeugen. Tabelle 5.1 zeigt für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland die mittleren Werte der jährlichen effektiven Äquivalentdosis. Daß die Dosisleistung in Wohnungen höher ist als im Freien, ist auf die Radioaktivität der mineralischen Baustoffe zurückzuführen, die in Wänden und z.T. auch in Fußböden verwendet werden. Die eigene Radioaktivität der Baustoffe übertrifft demnach in der Regel ihren gegenüber der äußeren Strahlung abschirmenden Effekt.

Kosmische Strahlung in Meereshöhe	0,3 mSv
Kosmische Strahlung in 1000 m Höhe	0,45 mSv
Terrestrische Strahlung	
- im Freien	0,5 mSv
- in Wohnungen	0,7 mSv
Interne Strahlenexposition (Inkorporation und Inhalation)	1,6 mSv
Effektive Äquivalentdosis	2,4 mSv

Tab.5.1: Mittlere Werte der jährlichen natürlichen Strahlenexposition in der Bundesrepublik Deutschland [BMU-Jahresbericht 1990, "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung"]

Bei einem radioaktiven Zerfall entsteht ein neuer Kern, der zu einem anderen chemischen Element gehört. Der neue Kern kann stabil sein, oder er ist auch radioaktiv und erleidet später einen weiteren Zerfall. Auf diese Weise kann eine sogenannte Zerfallsreihe entstehen, in der verschiedene chemische Elemente durchlaufen werden. Die Aktivität einer ganzen Zerfallsreihe kann - im sogenannten radioaktiven Gleichgewicht, das ein Fließgleichgewicht ist - durch Messung eines Nuklids erfaßt werden, da im radioaktiven Gleichgewicht jedes Nuklid die gleiche Aktivität hat. Die bekannten Zerfallsreihen, deren Ausgangsnuklide Uran-238, Uran-235 und Thorium-232 sind, enden jeweils bei einem stabilen Bleiisotop.

Für die Beurteilung der Radioaktivität von Baustoffen wichtige Nuklide sind K-40, Ra-226 und Th-232 (K Kalium, Ra Radium, Th Thorium). Ra-226 und Th-232 gehören Zerfallsreihen an und werden stellvertretend für ihre ganze Zerfallsreihe gemessen. K-40 ist zu 0,0012 % in natürlichem Kalium enthalten, das wiederum einen wesentlichen Bestandteil aller mineralischen Baustoffe darstellt.

Die Zerfallsreihe des U-238, zu der auch das Nuklid Ra-226 gehört, ist von besonderer Bedeutung, da in ihr das gasförmige Rn-222 als Zwischenprodukt auftritt (Rn Radon). Radon gehört chemisch zu den Edelgasen. Sobald ein Ra-226-Atomkern zum Rn-222 zerfallen ist, verliert er alle chemischen Bindungen und kann frei aus dem Material herausdiffundieren (Emanation), bis bei den folgenden Zerfällen wieder radioaktive bindungsfreudige Elemente (Schwermetalle) entstehen, die sich z. B. an Staubteilchen anlagern und mit der Atemluft inhaliert werden können. Die Halbwertszeit des Rn-222 beträgt 3,8 Tage und reicht für eine Diffusion aus dem Wandmaterial in die Innenraumluft aus, während z.B. das Rn-220, das zur Th-232-Zerfallreihe gehört, mit einer Halbwertszeit von nur 56 Sekunden das Wandmaterial praktisch nicht verlassen kann.

Zur Zeit gibt es in Deutschland keine gesetzlichen Regelungen oder Richtlinien zur Begrenzung radioaktiver Stoffe im Baumaterial. Die infolge von natürlich radioaktiven Stoffen in Baumaterialien resultierende Strahlenexposition liegt innerhalb des Schwankungsbereiches der natürlichen Strahlenexposition des Menschen, die zum überwiegenden Teil durch den Rn-222-Gehalt und dessen kurzlebige Folgeprodukte in Wohnräumen verursacht wird.

Zur orientierenden Bewertung der Radioaktivität von Baumaterialien kann folgende Summenformel verwendet werden:

$$\frac{a_K}{a_{K,max}} + \frac{a_{Ra}}{a_{Ra,max}} + \frac{a_{Th}}{a_{Th,max}} < 1$$

Darin sind a_K , a_{Ra} und a_{Th} die aktuellen spezifischen Aktivitäten von K-40, Ra-226 und Th-232. $a_{K,max}$, $a_{Ra,max}$ und $a_{Th,max}$ sind diejenigen spezifischen Aktivitäten, die ein Wandmaterial bei alleiniger Anwesenheit des jeweiligen Nuklids bzw. seiner Zerfallsreihe haben darf, ohne daß bei vorgegebener Geometrie (übliche Raumgrößen, Abmessungen und Wandstärken) eine bestimmte zusätzliche Strahlenexposition überschritten wird.

In dieser Summenformel sind die Werte für $a_{K,max}$, $a_{Ra,max}$ und $a_{Th,max}$ so gewählt, daß die oben genannte zusätzliche Exposition ohne die Berücksichtigung der Emanation des Rn-222 erreicht wird. In einer erweiterten Summenformel wird der Anteil von Rn-222 durch einen zusätzlichen Term berücksichtigt. Tabelle 5.2 zeigt Werte für die Parameter der Summenformel, die von einer zusätzlichen jährlichen Strahlenexposition von 1 mSv, 1,5 mSv und 2 mSv ausgehen.

K-40	Ra-226	Th-232	
4810	370	260	ÖNORM "normal", 1 mSv/a
9620	106	520	ÖNORM "Raum", 2 mSv/a
4810	370	260	Werte für Tab. 5.3 (ohne Berücks. d. Rn-Em.)
4810	185	260	Werte für Tab. 5.3 (mit Berücks. d. Rn-Em.)

Tab.5.2: Werte für die Parameter der Summenformel in Bq/kg (z. T. umgerechnet aus pCi/g), nach verschiedenen Quellen [ÖNORM S 5200 (Vornorm), Österreichisches Normungsinstitut, Wien 1988; "Die Strahlenexposition von außen in der Bundesrepublik Deutschland durch natürliche radioaktive Stoffe im Freien und in Wohnungen unter Berücksichtigung des Einflusses von Baustoffen", Der Bundesminister des Innern, 1977]

In Tabelle 5.3 sind die spezifischen Aktivitäten von Ra-226, Th-232 und K-40 für ausgewählte Baustoffe [BMU-Jahresbericht 1990, Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung] dargestellt.

Material	Ra-226 Mittelwert (Bereich)	Th-232 Mittelwert (Bereich)	K-40 Mittelwert (Bereich)	Verhältniszahlen ohne / mit Berücks.d.Rn-Eman.	
B a u s t o f f e n a t ü r l i c h e n U r s p r u n g s					
Granit	100 (30 - 500)	120 (17 - 311)	1000 (600 - 4000)	0,94	1,21
Dolerit	20 (10 - 29)	30 (8 - 44)	290 (22 - 380)	0,23	0,28
Gneis	75 (50 - 157)	43 (22 - 50)	900 (830 - 1500)	0,56	0,76
Diabas	16 (10 - 25)	8 (4 - 12)	170 (100 - 210)	0,11	0,15
Basalt	26 (6 - 36)	29 (9 - 37)	270 (190 - 380)	0,24	0,31
Granulit	10 (4 - 16)	6 (2 - 11)	360 (9 - 730)	0,12	0,15
Quarzporphyr	54 (15 - 86)	77 (53 - 98)	1300 (1000 - 2100)	0,71	0,86
Hornblendeschiefer	13	14	380	0,17	0,20
Frucht-/Phycodenschiefer	38 (34 - 45)	59 (56 - 73)	780 (760 - 930)	0,49	0,59
Kalkstein/Marmor	24 (4 - 41)	5 (2 - 11)	90 (<40 - 240)	0,10	0,17
Travertin	4	19	20	0,09	0,10
Sandstein/Quarzit	20 (13 - 70)	25 (15 - 70)	500 (<40 - 1100)	0,25	0,31
Kies, Sand, Kiessand	15 (1 - 39)	16 (1 - 64)	380 (3 - 1200)	0,18	0,22
Gips, Anhydrit	10 (2 - 70)	10 (2 - 100)	60 (7 - 200)	0,08	0,10
Flintstein	6	1	1	0,02	0,04
Kaolin	90 (30 - 200)	100 (70 - 200)	600 (200 - 1000)	0,75	1,00
Lava	42 (20 - 70)	42 (25 - 60)	720 (490 - 890)	0,42	0,54
Tuff, Bims	100 (<20 - 200)	100 (30 - 300)	1000 (500 - 2000)	0,86	1,13
Ton, Lehm	<50 (<20 - 90)	40 (18 - 200)	1000 (300 - 2000)	0,50	0,63
F i n a l b a u s t o f f e , B i n d e m i t t e l					
Ziegel/Klinker	510 (10 - 200)	52 (12 - 200)	700 (100 - 2000)	0,48	0,62
Beton	30 (7 - 92)	23 (4 - 71)	450 (50 - 1300)	0,26	0,34
Kalksandstein, Porenbeton	15 (6 - 80)	10 (1 - 60)	150 (40 - 800)	0,11	0,15
Leichtbeton (nicht spez.)	30 (<20 - 90)	30 (<20 - 80)	1100 (700 - 1600)	0,43	0,51
Leichtbetonsteine mit Zuschlag aus:					
Bims	80 (20 - 200)	90 (30 - 300)	900 (500 - 2000)	0,75	0,97
Blähton, Blähschiefer	30 (<20 - 80)	30 (<20 - 60)	400 (40 - 700)	0,28	0,36
Schlacke	100 (20 - 700)	100 (20 - 200)	500 (300 - 1000)	0,76	1,03
Ziegelsplitt	40 (30 - 70)	60 (30 - 100)	500 (400 - 600)	0,44	0,55
Hohlblocksteine	40 (15 - 59)	25 (4 - 52)	320 (60 - 800)	0,27	0,38
Holzwohle-Leichtbaupl.	21 (19 - 25)	12 (11 - 14)	210 (50 - 360)	0,15	0,20
Wandfliesen	79 (67 - 100)	93 (51 - 128)	560 (250 - 1000)	0,69	0,90
Asbestzement	<20 (<20 - 40)	<20 (11 - 40)	100 (<40 - 300)	0,15	0,21
Schamotte	60 (20 - 100)	70 (40 - 200)	400 (200 - 600)	0,51	0,68
Ofenkacheln	74	70	310	0,53	0,73
Schlackenwolle	94	31	110	0,40	0,65
Schlämme	9	2	26	0,04	0,06
Zement (nicht spezifiziert)	97 (23 - 330)	20 (11 - 37)	320 (110 - 500)	0,41	0,67
Portlandzement	30 (10 - 50)	20 (10 - 40)	200 (100 - 700)	0,20	0,28
Hüttenzement	60 (20 - 100)	80 (30 - 200)	100 (<40 - 200)	0,49	0,65
Tonerdenschmelzzement	200 (100 - 200)	200 (100 - 200)	<40	1,32	1,86
Kalk, -hydrat, Fertigputz	30 (<20 - 100)	30 (<20 - 100)	300 (<40 - 500)	0,26	0,34
I n d u s t r i e l l e A b f a l l s t o f f e					
Chemiegips aus:					
Apatit	60 (40 - 70)	<20		(0,24)	(0,40)
Phosphorit	600 (300 - 1000)	20 (<4 - 160)	100 (<40 - 300)	1,72	3,34
Rauchgasentschwefelung	20 (<20 - 70)	<20	<20	0,14	0,19

Tab. 5.3: Spezifische Aktivitäten natürlicher Radionuklide in ausgewählten Baustoffen (Bq/kg) und Werte der Summenformel als Verhältniszahlen [basierend auf dem BMU-Jahresbericht 1990]

Zusätzlich sind in der Tabelle die nach der oben genannten Summenformel (ohne und mit Berücksichtigung der Rn-Emanation) berechneten Verhältniszahlen aufgeführt.

Aus den ermittelten Verhältniszahlen geht hervor, daß in fast allen Fällen der Wert von 1 unterschritten wird. In den wenigen Fällen von Überschreitungen würde dies bedeuten, daß der oben zugrunde gelegte Wert der Strahlenexposition von 1 mSv bei Daueraufenthalt in diesen Räumen überschritten wird. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, daß eine zusätzliche Strahlenexposition von 1 mSv im weiten Schwankungsbereich der gesamten natürlichen Strahlenexposition liegt, der in der Bundesrepublik Deutschland zwischen weniger als 1 bis zu 8 mSv pro Jahr beträgt. Ursache hierfür ist - wie bereits oben erwähnt - in erster Linie die in weiten Bereichen schwankende Radon-222-Konzentration in Wohnräumen.

Baustoffe sind nicht die einzige Quelle für eine Radonbelastung in Wohnräumen. Je nach den geologischen Bedingungen können auch erhebliche Radonmengen aus dem Baugrund in die Raumluft gelangen, die zu einer deutlich höheren Radonkonzentration in Wohnräumen führen als infolge der Freisetzung aus dem Baumaterial. Wenn darüber hinaus die mineralischen Baustoffe vorzugsweise in der näheren Umgebung des Gebäudestandortes gewonnen wurden, dessen Untergrund eine hohe spezifische Aktivität aufweist, kann sich die Emanation aus den beiden Quellen Baustoff und Baugrund addieren.

6. Diskussion einzelner Baustoffgruppen

6.1 Künstliche Mineralfasern

Künstliche Mineralfasern werden im Bau hauptsächlich zu Zwecken der Wärme- und Schalldämmung eingesetzt. Insbesondere im Bereich der Wärmedämmung konkurrieren sie mit einer Reihe anderer künstlicher oder z. T. bearbeiteter natürlicher Stoffe, darunter Polystyrolschaum, Polyurethanschaum, Blähton, Kork oder Schafwolle. Hier zeigt sich das Problem der Abwägung zwischen Vor- und Nachteilen für den Einsatz von Dämmstoffen überhaupt und zwischen den einzelnen zur Verfügung stehenden Materialien. Wärmedämmung vergrößert die Behaglichkeit durch Temperaturerhöhung der inneren Oberflächen, senkt Heizkosten und CO₂-Ausstoß (Treibhauseffekt) und schont die natürlichen Energievorräte. Dies muß man sich vor Augen halten, wenn von den Nachteilen der Dämmstoffe wie

- denkbaren gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch gas- oder partikelförmige Emissionen,
- Energie- und Materialaufwand für die Herstellung und
- Umweltbelastungen bei Herstellung und Entsorgung

die Rede ist.

6.1.1 Herstellung

Der Begriff der "künstlichen Mineralfasern" (KMF, engl. MMMF "man-made mineral fibres") ist ein Oberbegriff für synthetische Fasern aus anorganischen Stoffen. Es kann sich dabei sowohl um silikatische als auch um nichtsilikatische Fasern handeln. "Mineralwolle" als Oberbegriff für die als Baustoffe im Hochbau verwendeten künstlichen Mineralfasern ist die Bezeichnung für faserförmig erstarrte glasige Schmelzen silikatischer Stoffe, die nach dem nichttextilen Verfahren zerfasert wurden. Die Fasern zeigen keine Orientierung und sind von endlicher Länge im Bereich von Zentimetern. Der Durchmesser der Einzelfasern streut um einen Faktor von etwa 100, der arithmetische Mittelwert liegt im Bereich von 3-9 µm. "Glaswolle" ist Mineralwolle auf der Basis von Kalknatrongläsern, z. T. mit Borsäurezusatz. "Steinwolle" ist Mineralwolle auf der Basis natürlicher Gesteine, denen z. T. zur Senkung des Schmelzpunkts Flußmittel zugesetzt werden. "Basaltwolle" und "Diabaswolle" sind nach ihrem Hauptrohstoff benannte besondere Formen von Steinwolle.

"Schlackenwolle" ist Mineralwolle auf der Basis von Schlacken der metallverhüttenden Industrie [Tiesler 1992].

Mineralwolle wird hergestellt in Form von

- Matten, ausgerüstet mit Staubbindemitteln, aber mit wenig oder gar keinem formgebenden Bindemittel, z. T. mit einem Trägermaterial versteppt oder vernadelt, rollbar,
- Filzen, ausgerüstet mit Staubbindemitteln, formbeständig durch formgebende Bindemittel (Phenol-Formaldehyd-, Harnstoff-Formaldehydharze) oder durch Verschmelzen, z. T. mit einer Kaschierung (meist Aluminiumfolie) verklebt, rollbar,
- Platten, die sich von den Filzen nur durch höhere Steifigkeit unterscheiden und nicht rollbar sind.

Daneben gibt es Mineralwolle noch lose und als Zöpfe zur Abdichtung von Hohlräumen sowie in Form fertiger Schalen zur Isolierung von Rohrleitungen [Tiesler 1992, Scholz 1991].

6.1.2 Verwendung

Mineralwolle wird zur Wärmedämmung verwendet, die bevorzugt an der Außenseite hinter einer vorgehängten Fassade stattfindet. Eine Dämmung an der Innenseite ist grundsätzlich möglich, ist aber bauphysikalisch ungünstiger, da so das Mauerwerk in verstärktem Maße Temperaturschwankungen ausgesetzt ist, eine Durchfeuchtung möglich wird, sofern nicht innen eine wirksame Dampfsperre angebracht wird, und Wärmebrücken insbesondere im Fußbodenbereich nicht völlig vermieden werden können. Weiterhin kann mit Mineralwolle eine Dämmung der Decken über dem obersten Geschoß und eine Dämmung des Steildachs durchgeführt werden, die meist zwischen den Sparren erfolgt, da eine Dämmung unter den Sparren den freien Raum deutlich verringern würde. Auch bei einer Steildachdämmung ist eine Dampfsperre erforderlich, da es sonst zu einer Durchfeuchtung unterhalb der meist verwendeten Unterspannbahn kommen könnte.

Zur Schalldämmung ist Mineralwolle besser geeignet als die meist geschlossenporigen Schaumstoffe. Sie wird eingesetzt in doppelschaligen Trennwänden, in abgehängten Decken ("Akustikdecken") und zur Dämmung von Körperschall unter sogenanntem "schwimmendem" Estrich.

6.1.3 Emissionen

6.1.3.1 Gasförmige Emissionen

Aufgrund ihrer Herstellung aus der Schmelze sollte Mineralwolle frei von organischen Stoffen sein. Bei Emissionsmessungen wurde aber eine Reihe von organischen Stoffen gefunden, deren eigentliche Quelle offenbar die Ausrüstung vor allem mit formgebenden Bindemitteln ist. So wurde Formaldehyd gefunden, der - wie in Spanplatten - durch Hydrolyse des Harnstoff-Formaldehydharzes entsteht, allerdings mit etwa 50fach geringerer Emissionsrate als bei den zum Vergleich gemessenen Spanplatten [Pickrell u. a. 1983, zitiert nach Schriever, Marutzky 1991].

Außerdem muß bei der "offenporigen" Mineralwolle mit großer Oberfläche immer damit gerechnet werden, daß bei vorübergehender starker Schadstoffbelastung der Luft durch Adsorption eine Sekundärquelle entsteht, die insbesondere bei Klimaänderungen (Erhöhung der Temperatur und/oder Luftfeuchtigkeit) störend werden kann.

Van der Wal u. a. [1987] untersuchten bei 50 °C Proben von Mineralwolle, die in Gebäuden eingebaut war, in denen es zu Beschwerden über unangenehme Gerüche gekommen war. Als Emissionen fanden sie eine Reihe geradkettiger und verzweigter aliphatischer Aldehyde vom i-Butanal bis zum n-Dekanal, einige aliphatische Ketone (2-Pentanon, 3-Pentanon, 2-Hexanon, 3-Hexanon und 2-Heptanon) und einige aromatische Aldehyde (Benzaldehyd, Hydroxybenzaldehyd, Methylhydroxybenzaldehyd, Dimethylhydroxybenzaldehyd). Die Emissionsraten feuchter Proben waren um den Faktor 100 größer als die von trockenen Proben.

Bayer und Black [1987, zitiert nach Schriever, Marutzky 1991] fanden als Hauptemissionen einer mit Harnstoff-Formaldehydharz gebundenen Mineralfaser-Dämmstoffplatte Aceton, Hexan, Dichlormethan und Toluol im Konzentrationsbereich von etwa 20-200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Diese Werte sind aber nicht auf den Wohnraum übertragbar, da die - nicht angegebene - Beladung bei diesem Versuch sehr hoch gewesen sein dürfte.

6.1.3.2 Partikelförmige Emissionen

Während organische Emissionen und Gerüche nur gelegentlich beklagt und kaum diskutiert werden, besteht das eigentliche Problem der Mineralwolle in der Emission von Feinstäuben.

Künstliche Mineralfasern mit einem Durchmesser $< 1 \mu\text{m}$ sind von der MAK-Kommission 1992 als "Stoffe mit begründetem Verdacht auf krebserzeugendes Potential" eingestuft worden (MAK III B). Es wird eine Aufnahme in die Gruppe der im Tierversuch krebserregenden Stoffe (MAK III A2) diskutiert [Fischer 1991]. Ein Verdacht auf krebserzeugendes Potential liegt auf der Hand, da lungengängige Asbestfasern als eindeutig beim Menschen krebserzeugend (MAK III A1) erkannt worden sind.

Die krebserzeugende Wirkung ist an bestimmte Abmessungen der Fasern gebunden. Als kritisch gelten Fasern mit einem

- Durchmesser $< 2-3 \mu\text{m}$ und einer
- Länge $> 5 \mu\text{m}$.

Die Fasern dürfen aber auch nicht länger als $100 \mu\text{m}$ sein, da sie sonst nicht mehr atembar und lungengängig sind. Außerdem müssen die Fasern im Gewebe eine gewisse Beständigkeit aufweisen, dürfen sich also nicht zu rasch auflösen.

Es ist denkbar, daß die Abmessungen und die Beständigkeit im Gewebe die wichtigsten Kriterien für die Karzinogenität sind und daß dies für natürliche wie künstliche Mineralfasern gleichermaßen gilt, so daß von der chemischen Natur der Fasern im wesentlichen nur die unterschiedliche Beständigkeit von Einfluß ist [IARC 1988].

Zwischen Asbest und künstlichen Mineralfasern gibt es zwei wesentliche Unterschiede: zum einen in der Beständigkeit, zum anderen im Bruchverhalten: künstliche Mineralfasern brechen unter Querspaltung und neigen nicht wie Asbestfasern zur Längsspaltung.

Die Beständigkeit künstlicher Mineralfasern ist unterschiedlich und hängt stark von der speziellen Art der Fasern ab, ist aber - abgesehen von Spezialfasern, die nicht im Baubereich zur Anwendung kommen - meist geringer als die von Asbestfasern, wodurch sich das krebserzeugende Potential der künstlichen Mineralfasern entsprechend verringert. Versuche zur Auflösungsgeschwindigkeit in simulierten Körperflüssigkeiten zeigten, daß sich dünne Fasern ($\varnothing < 1 \mu\text{m}$) innerhalb eines Jahres vollständig auflösen können [IARC 1988].

Durch die Längsspaltung kommt es beim Asbest in hohem Maße zur Neubildung kritischer Fasern mit kleinen Durchmessern, bei künstlichen Mineralfasern kann sich deren Anteil nicht nach-

träglich erhöhen. Von der Herstellung her liegt der Anteil von Fasern mit einem Durchmesser $< 1 \mu\text{m}$ zwischen 0,5 und 20 %, mit einem Durchmesser $< 2 \mu\text{m}$ zwischen 5 und 50 % [Tiesler 1992].

Insgesamt ist das krebserzeugende Potential künstlicher Mineralfasern als deutlich geringer einzuschätzen als das von Asbest. Zusätzlich wurde festgestellt, daß kritische Fasern von Mineralwolle in geringerem Maße als erwartet emittiert werden und daß die Faserkonzentrationen z. T. im Außenluftbereich lagen [Tiesler 1992]. Daher gibt es zur Zeit höchstwahrscheinlich keine Gefährdung der Gesundheit der Bevölkerung durch ordnungsgemäß eingebaute mineralwollhaltige Dämmstoffe [Fischer 1991].

Es wird auch diskutiert, ob physikalisch-chemische Untersuchungen auf Löslichkeit, Beständigkeit und Dickenverteilung die aufwendigen Karzinogenitätstests zumindest teilweise ersetzen können [Muhle 1993].

Anläßlich eines VDI/DIN-Kolloquiums über "faserförmige Stäube" im September 1993 in Fulda wurde die Krebsgefährdung durch künstliche Mineralfasern am Arbeitsplatz und in der Umwelt erneut diskutiert. Die von einer Arbeitsgruppe von BGA, BAU und UBA abgegebene gemeinsame Stellungnahme ist dem Anhang D beigelegt.

6.1.4 Empfohlene Maßnahmen

Beim Verlegen wie beim Entfernen mineralfaserhaltiger Baustoffe sollten ein Feinstaubatemfilter und Handschuhe getragen werden. Zur Minderung von Staub sollte während der Arbeiten gut gelüftet werden, beim Entfernen von mineralfaserhaltigen Baustoffen kommt auch eine Staubminderung durch Befeuchten des Materials in Frage.

Mineralfaserhaltige Materialien sollten zum Innenraum hin möglichst staub- und winddicht abgeschlossen sein. Dies gilt auch unter der Prämisse, daß bei freiem Kontakt von Mineralwolle mit der Raumluft keine besorgniserregenden Faserkonzentrationen festgestellt wurden. Eine solche Abdichtung erfolgt allerdings meist schon aus bauphysikalischen Gründen als Dampfsperre in Form von Aluminium- oder Polyethylenfolien.

Es bleibt zu überlegen, ob das Anbringen einer winddichten Folie zwischen Mineralwolle und freiem Innenraum grundsätzlich vorgeschrieben werden sollte. Unabhängig davon sollten die Her-

steller darauf achten, bevorzugt Fasermaterial mit geringer Beständigkeit herzustellen und den Anteil lungengängiger Fasern klein zu halten.

6.1.5 Nachtstromspeicheröfen

Nachtstromspeicheröfen zählen eigentlich nicht zu Baustoffen. In ihnen wird aber auch Mineralwolle zum Zweck der Wärmedämmung in den Innenraum gebracht. Im Unterschied zu den sonst im Bau verwendeten Mineralwollen werden hier die Isolierungen viel stärker thermisch belastet, da die Schamott-Steine im Innern eines Nachtstromspeicherofens bis auf ca. 600 °C aufgeheizt werden. Bei diesen Temperaturen pyrolysieren die in der Mineralwolle enthaltenen Bindemittel. Dabei entsteht ein beißender Geruch, der häufig zu Beanstandungen führt. Diese Geruchsentwicklung ist allerdings auf die ersten Aufheizversuche beschränkt und verschwindet bald wieder. Die ersten Aufheizungen sollten daher bei extremer Lüftung und möglichst noch zu einer Jahreszeit erfolgen, in der die Wärme nicht wirklich gebraucht wird.

Bis Anfang der 70er Jahre wurden Nachtstromspeicheröfen mit asbesthaltigen Isoliermaterialien ausgerüstet. Wegen der Gefahr der Freisetzung von Asbestfasern, unterstützt durch den zur schnelleren Wärmeabgabe eingebauten Lüfter, wurde generell zum Ersatz des Isoliermaterials geraten (s. auch Anlage im Anhang D). Dies ist praktisch jedoch nur durch den Ersatz des gesamten Ofens möglich. Wieweit auch eine Freisetzung von künstlichen Mineralfasern kritischer Größen in bedenklichem Ausmaß aus Nachtstromspeicheröfen stattfinden kann, bedarf noch der Klärung.

6.2 Formaldehyd enthaltende Materialien

6.2.1 Vorkommen in Bauteilen

Bei der Umsetzung von Formaldehyd mit Harnstoff oder Melamin entstehen durch Kondensation Aminoplaste, und zwar die Kunstharze Harnstoff-Formaldehyd- (UF) bzw. Melamin-Formaldehydharz (MF). Beide Harze dienen insbesondere zur Herstellung von Holzwerkstoffen (Spanplatten, Tischlerplatten, Furnierplatten, Faserplatten) in unbeschichteter und beschichteter Ausführung. UF-Harze weisen zwar eine geringere Feuchtfestigkeit als Mela-

minharze auf, ihre Verwendung für den Innenraumbereich ist jedoch wegen ihrer kostengünstigen Herstellung besonders stark verbreitet. Die Umkehrung der Kondensation (Hydrolyse), aber auch die Produktion von Spanplatten unter Formaldehyd-Überschuß führt bei Harnstoff-Formaldehydharzen zur Freisetzung von Formaldehyd, eine unerwünschte Eigenschaft, die die Innenraumluft in gesundheitsbeeinträchtigender Weise belasten kann.

Wird Formaldehyd mit Phenolen kondensiert, entstehen Phenoplaste, das sind Kunstharze, die wegen der stabilen Phenol-Formaldehydbindung bei Endprodukten ein Freisetzen von Formaldehyd kaum erwarten lassen, sofern kein freier Formaldehyd vorliegt.

Weitere Bauprodukte, die mit Harnstoff-Formaldehydharzen hergestellt werden, sind Ort- oder Montageschäume zur Wärmeisolation von Gebäuden, die insbesondere nachträglich in Hohlräume geschäumt werden, um den Wärmeverlust während der Heizperiode zu vermindern. Auch derartige Materialien können Formaldehyd abgeben, so daß es über die angrenzenden Bauteilschichten zu einer Erhöhung der Formaldehydkonzentration in Innenräumen kommen kann.

Auf die Verwendung von Aminoplasten und damit von Formaldehyd in der Lackindustrie als Bestandteil der Bindemittel sei nur am Rande hingewiesen.

6.2.2 Gesundheitliche bzw. raumlufthygienische Bewertung

Formaldehyd in der Raumluft, der durch den Atemtrakt in den Organismus gelangt, wird vom Körper weitgehend resorbiert und zum größten Teil zu Kohlendioxid und Wasser oxidiert und dann wieder ausgeschieden ("verstoffwechselt"). Ein Bruchteil des eingeatmeten Formaldehyds kann jedoch in die tieferen Bronchien und die Lunge gelangen und dabei Schleimhautreizungen hervorrufen. Maßgebend für diese Wirkungen ist die Konzentration des Formaldehyds in der Raumluft bzw. die vom Körper aufgenommene Dosis. Die Art der Wirkung von Formaldehyd beim Menschen nach kurzfristiger Exposition reicht bei steigender Belastung von Geruchswahrnehmungen, Reizung der Augen und der Nase, Reizung der Kehle, Tränenfluß, Husten bis zum toxischen Lungenödem mit Lebensgefahr. Bei langfristiger Formaldehydexposition mit - im Vergleich zur Außenluft - erhöhten bis mittleren Konzentrationen (z. B. MAK-Wert) können chronische Wirkungen nicht immer ausgeschlossen werden.

Die Reizwirkungen des Formaldehyds in der Innenraumluft waren 1976/1977 Anlaß dafür, daß sich ein für die Gesundheit und die Bautechnik zuständiger Personenkreis (insbesondere Fachärzte, Hygieniker, Toxikologen, Physiologen, Chemiker, Ingenieure der Bauhygiene, Bautechnik und Materialprüfung sowie Mitarbeiter von Ressorts und Behörden) mit der Erarbeitung eines tolerierbaren Formaldehydkonzentrationswertes befaßte. Diese jetzt als "Richtwert für die Innenraumluft" zu bezeichnende Formaldehydkonzentration beträgt auf Vorschlag des Bundesgesundheitsamtes 0,1 ppm (ca. 0,12 mg HCHO/m³). Sie wird unter der Voraussetzung der Einhaltung der einschlägig geltenden Empfehlungen, Richtlinien und Normen bauhygienischer Umgebungsbedingungen als noch zulässig angesehen. In diesem Wert ist auch berücksichtigt, daß sich in den Räumen besonders empfindliche Bevölkerungsgruppen wie Säuglinge, Kinder oder Kranke befinden können. Zu einer ähnlichen Größeneinschätzung des Formadehydrichtwertes gelangte die WHO mit der Angabe von 0,1 mg HCHO/m³ [WHO 1987].

6.2.3 Umsetzung des Formaldehydrichtwertes

Die Umsetzung des Formaldehydrichtwertes in Normen, Richtlinien, Baubestimmungen, Verordnungen oder anderen rechtsverbindlichen Vorschriften erfolgte schrittweise auf der Grundlage umfangreicher Messungen und Ringversuche sowie Beratungen mit Behördenvertretern, Prüfinstitutionen, Herstellern, Verbraucherverbänden u. a. m.. Das Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes war an diesen Aktivitäten wesentlich beteiligt. Dabei kam es vor allem darauf an, unter definierten Raumklima- und Beladungsbedingungen (Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Luftwechsel mit Luftgeschwindigkeit, Raumbeladung) die Formaldehydkonzentration bei definierten Emittenten in Prüfräumen zu bestimmen und in verschiedenen Laboratorien möglichst übereinstimmende Ergebnisse zu erhalten.

6.2.3.1 Spanplatten

6.2.3.1.1 Rechtliche Verankerung der Anforderungen

Da die Verwendung von Spanplatten im Bauwesen (z. B. Fertighäuser) und im Innenausbau (z. B. Einbaumöbel) bereits Mitte der 70er Jahre zu Klagen über Innenraumluftbelastungen durch Formaldehyd geführt hat und 1977 der 0,1 ppm-Wert fundiert begründet worden ist, sahen sich die zuständigen Bauaufsichtsbehörden in der Lage und in der Pflicht, diesen Wert durch Formaldehyd-

Emissionsbegrenzungen der Spanplatten in die Baupraxis einzuführen. Die "Richtlinie über die Verwendung von Spanplatten hinsichtlich der Vermeidung unzumutbarer Formaldehydkonzentrationen in der Raumluft", im April 1980 als ETB herausgegeben, wurde in Verbindung mit der "Richtlinie über die Klassifizierung von Spanplatten bezüglich der Formaldehydabgabe" bis 1981 in allen Bundesländern eingeführt, so daß nunmehr im Bauwesen einschließlich dem Innenausbau keine Spanplatten mehr verwendet werden durften, die zu hohe Formaldehydemissionen zeigten. Seit dieser Zeit ist die Zahl der bekannt gewordenen Beanstandungen über Formaldehydbelastungen insbesondere im Fertighausbereich sprunghaft zurückgegangen.

Um schließlich auch die Formaldehydfreisetzung aus allen Spanplatten, insbesondere daraus hergestellten Möbeln einzugrenzen, wurde in der Gefahrstoffverordnung vom 26.8.1986 (§ 9, Abs. 3 u.4) festgelegt, daß Holzwerkstoffe (Spanplatten, beschichtete Spanplatten, Tischlerplatten, Furnierplatten und Faserplatten) nicht in den Verkehr gebracht werden dürfen, wenn die durch den Holzwerkstoff verursachte Ausgleichskonzentration des Formaldehyds in der Luft eines Prüfraumes 0,1 ppm überschreitet. Das Bundesgesundheitsamt, das im Einvernehmen mit der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) nach Anhörung von Sachverständigen hierfür Prüfverfahren zu veröffentlichen hatte, die diesen Anforderungen entsprechen, kam dieser Aufforderung nach umfangreichen Messungen und Beratungen, auch mit Vertretern der Industrie und auch auf EG-Ebene, nach: Das Prüfverfahren für Holzwerkstoffe (Bundesgesundheitsblatt 10/91, S. 488-489) fixiert die Prüfkammermethode als Referenzverfahren zur Bestimmung der Ausgleichskonzentration des Formaldehyds, indem es Bedingungen für den Prüfraum und das Raumklima festlegt und Meßverfahren für die analytische Auswertung angibt. Wegen seines erheblichen zeitlichen und apparativen Aufwandes ist das Referenzverfahren kaum geeignet, hiermit laufende Produktionskontrollen bei der Herstellung von Holzwerkstoffen durchzuführen. Deshalb werden auch abgeleitete Prüfmethode zugelassen, wenn für sie der Nachweis einer hinreichend großen Korrelation zur Prüfkammermethode vorliegt. Hierzu gehören insbesondere die Perforatormethode und die Gasanalysemethode, für die in der genannten Veröffentlichung für besonders häufig verwendete Holzwerkstoffe bereits vorläufige Materialkennwerte angegeben sind. Ein Sachverständigenausschuß bei der BAM wird über Änderungen und ggf. Erweiterungen dieser abgeleiteten Prüfmethode beraten.

6.2.3.1.2 Maßnahmen zur Kontrolle der Formaldehyd- konzentrationen

Bei dem 0,1 ppm-Richtwert für Formaldehyd handelt es sich im Sinne der Gefahrstoffverordnung um eine Anforderung, die von den in den Verkehr zu bringenden Holzwerkstoffen erfüllt sein muß. Eine Festlegung eines "hygienischen Grenzwertes" für Innenräume ist damit nicht vollzogen, weil es insbesondere im privaten Wohnbereich keine Handhabe gibt, bei Überschreitungen dieses Wertes öffentlich einzugreifen. Den Nutzern der Innenräume bleibt es somit selbst überlassen, dafür zu sorgen, daß der gesundheitlich zuträgliche Konzentrationswert nicht überschritten wird. Es würde auch dem Prinzip der freien Gestaltung des Wohnbereiches widersprechen, z. B. durch die Begrenzung der Zahl von Möbelstücken ("Beladung"!) oder durch die Aktivitäten (z. B. Tabakrauch als Formaldehydquelle) im Privatbereich Vorschriften in Form von "Auflagen" in der eigenen Wohnung wirksam werden zu lassen und diese zu überwachen, solange andere Personen hierdurch nicht beeinträchtigt werden.

Vielfach führt die sensorische Wahrnehmung von Formaldehyd aus Bauteilen, Einrichtungs- oder Ausstattungsgegenständen dazu, Konzentrationsmessungen dieses Stoffes in der Innenraumluft durchführen zu lassen. In Fällen, in denen Bauteile oder Möbel die Ursache für die Formaldehydbelastung sind, kann oft durch gezielte Messungen (z. B. Raum unter realen Nutzungsbedingungen, leerer Raum, Abdeckung einzelner Raumboflächen mit "gasdichten" Folien) die maßgebliche Quelle ermittelt werden. Ein wichtiges Kriterium bei diesen Messungen sind die Raumklimabedingungen (Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Luftwechsel) einschließlich der "Vorgeschichte" der Lüftungsmaßnahmen. Hierzu sei kurz erwähnt, daß die Formaldehydkonzentration bei konstanter Beladung mit steigender Temperatur, steigender relativer Luftfeuchtigkeit und geringer werdendem Luftwechsel zunimmt und umgekehrt. Für Schulen, Kindergärten und Wohnungen wurden vom Bundesgesundheitsamt Raumklimabedingungen und ihre Bedeutung für die Bestimmung von Formaldehydkonzentrationen angegeben. Aus den Ergebnissen der dort skizzierten Messungen und Umrechnungen können Entscheidungen über die zu treffenden Maßnahmen (z. B. Eliminierung von Quellen, Änderung des Raumklimas) hergeleitet werden (s. Anhang D).

6.2.3.2 UF-Ortschaum

Harnstoff-Formaldehydharz-Ortschaum ist ein an der Anwendungsstelle hergestellter Schaumkunststoff, der in transportablen Schäumeinrichtungen geschäumt und über Schlauchleitungen in die zu dämmenden Teile des Bauwerks eingebracht wird, wo er aushärtet. Der Schaum wird durch Vermischen einer wässrigen Harnstoff-Formaldehydharz-Lösung und einer durch Druckluft aufgeschäumten wässrigen Tensid-Lösung hergestellt und mittels Katalysatoren auf Phosphorbasis gehärtet. Es besteht die Gefahr, daß nach dem Austrocknen des Schaumes geringe oder gar erhebliche Mengen Formaldehyd an die Umgebungsluft abgegeben werden und schließlich auch über die angrenzenden Bauteile in die Luft von Aufenthaltsräumen gelangen. Untersuchungen [Wegner 1984] in einem Prüfraum an sach- und fachgerecht hergestelltem "unverkleidetem" Ortschaum haben ergeben, daß selbst nach einer Dauer von über einem Jahr unter den üblichen Prüfbedingungen (Luftwechsel $n = 1 \text{ h}^{-1}$, Beladung: 1 m^2 Plattenoberfläche / 1 m^3 Raumvolumen) die Formaldehydkonzentration über 1 ppm (!) lag. Deshalb muß gefolgert werden, daß zur Vermeidung von Belästigungen oder gar gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch Formaldehydfreisetzungen, die an den Ortschaum und die Aufenthaltsbereiche angrenzenden Bauteilschichten langfristig einen ausreichend hohen Widerstand gegen das Durchdringen von Formaldehyd haben müssen. In Analogie zur ETB-Richtlinie für Spanplatten wurde im April 1985 die ETB-Richtlinie zur Begrenzung der Formaldehydemission in die Raumluft bei Verwendung von Harnstoff-Formaldehydharz-Ortschaum herausgegeben. Diese Richtlinie legt im wesentlichen Emissionsklassen für UF-Ortschaum fest und stellt Anforderungen an "Bekleidungen" im Sinne eines ausreichend hohen Widerstandes gegen den Durchgang von Formaldehyd (diffusionsäquivalente Luftschichtdicke) in Richtung zum Aufenthaltsraum.

Da die sichere Erfüllung dieser Anforderung insbesondere bei Gebäuden mit zweischaligem Mauerwerk (Alterung, Rißbildung) nicht immer gegeben sein dürfte, muß eine Anwendung von UF-Ortschaum zur Wärmedämmung als "mit großen Gefahren verbunden" bezeichnet werden.

6.3 Holzschutzmittel

6.3.1 Eigenschaften von Holz, Holzschutz

Holz ist der natürliche Baustoff schlechthin, der auch in der Natur als tragfähiges und dabei relativ leichtes Konstruktionsmaterial erscheint. In der Natur findet allerdings ein Recycling statt, d. h. abgestorbenes Holz wird von Insekten, Pilzen und Mikroorganismen mechanisch und chemisch zu neuen Nährstoffen für das Pflanzenwachstum abgebaut. Dieser in der Natur an sich sinnvolle Vorgang ist bei verbautem Holz unerwünscht und muß verhindert bzw. hinausgeschoben werden.

Es gibt zwei Arten von Holzschutz, den konstruktiven und den chemischen Holzschutz. Der konstruktive Holzschutz besteht darin, das Holz so zu verbauen, daß es entweder stets trocken bleibt oder aber möglichst rasch wieder trocknen kann, wenn es feucht geworden ist. Bei einer Holzfeuchtigkeit von unter 20 Masse-% findet ein Neubefall durch pflanzliche Schädlinge nicht statt. Wird der konstruktive Holzschutz vernachlässigt, muß der chemische im Übermaß erfolgen.

Tropenholz wird natürlicherweise bei höheren Temperaturen und Luftfechtigkeiten abgebaut als in unseren Breiten üblich. Tropenholz ist daher wesentlich witterungsbeständiger als einheimische Holzarten. Ungeachtet der beim Abbau erfolgenden Zerstörung des tropischen Regenwaldes ist Tropenholz ein ausgesprochen gut geeigneter Baustoff für Außentüren und Fenster, bei dem auf chemischen Holzschutz verzichtet werden kann.

Auch bei einheimischen Holzarten ist die Gefährdung unterschiedlich. Als besonders gefährdet gelten die Nadelhölzer. Laubholz soll Stoffe enthalten, die z. B. für die Larven des Hausbocks giftig sind. Eichenholz ist besonders widerstandsfähig, auch gegen Pilze, und kann in Gebäuden Jahrhunderte überdauern.

Nach der Gefährdung durch Nässe und Witterung wird das Bauholz in 5 Gefährdungsklassen eingeteilt. In Tab. 6.1 sind die Gefährdungsklassen und der jeweils erforderliche Holzschutz aufgeführt.

0	- innen verbautes Holz, ständig trocken, keine Gefährdung durch Insekten - kein Holzschutz erforderlich
1	- innen verbautes Holz, ständig trocken, Gefährdung durch Insekten - insektenvorbeugend
2	- Holz, das weder dem Erdkontakt noch direkt der Witterung oder Auswaschung ausgesetzt ist, vorübergehende Befeuchtung möglich - insektenvorbeugend, pilzwidrig
3	- Holz, der Witterung oder Kondensation ausgesetzt, aber nicht in Erdkontakt - insektenvorbeugend, pilzwidrig, witterungsbeständig
4	- Holz in dauerndem Erdkontakt oder ständiger starker Befeuchtung ausgesetzt - insektenvorbeugend, pilzwidrig, witterungsbeständig, moderfäulewidrig

Tab. 6.1: Gefährdungsklassen von Holz nach DIN 68800 Teil 3 [1990] mit erforderlicher Holzschutzbehandlung

6.3.2 Arten von Holzschutzmitteln

Es gibt drei Arten von Schutzmitteln:

- wasserlösliche Salze
- Teerölpräparate
- lösemittelhaltige Präparate

Wasserlösliche Schutzmittel können auswaschbar oder nicht auswaschbar (fixierend) sein. Zu den auswaschbaren gehören Silikofluoride (SF), Hydrogenfluoride (HF) und Borsalze (B). Zu den nicht auswaschbaren, fixierenden Salzen gehören Alkalifluoride/Alkalichromate (CF), Alkalifluoride/ Alkalichromate/Arsenate (CFA) und Kombinationen der schon genannten mit Kupfersalzen. Aus fluorhaltigen Mitteln kann - verursacht durch Hydrolyse - Fluorwasserstoff emittiert werden [Becker, Berghoff 1963].

Teerölpräparate werden aus Steinkohlenteer hergestellt. Sie wurden im Freien hauptsächlich für Eisenbahnschwellen, Leitungsmasten oder Holzzäune verwendet. Durch die Teerölverordnung vom 27.5.91 ist die Verwendung von Teerölpräparaten wegen ihres Gehalts an krebserzeugenden Verbindungen, insbesondere Benzo(a)pyren, weitgehend eingeschränkt und im Innenraum völlig

verboten. Teerölpräparate und damit behandelte Hölzer sind dem privaten Endverbraucher nicht mehr zugänglich.

Lösemittelhaltige Präparate sind Lösungen organischer Fungizide und Insektizide in organischen Lösemitteln. Es gibt sie bindemittelfrei, bindemittelhaltig (Grundierungen), bindemittel- und pigmenthaltig (Lasuren) und - mit höherer Insektizidkonzentration - zur Bekämpfung eines bereits eingetretenen Insektenbefalls.

Die organischen Insektizide haben im Gegensatz zu den Schutzsalzen noch merkliche Dampfdrücke und können daher durch Ausgasung aus den behandelten Flächen zur Schadstoffbelastung im Innenraum beitragen. Im Gegensatz zu vielen anderen Innenraum-schadstoffen handelt es sich hierbei aber um eindeutige Gifte, deren Anwendungszweck eben ihre Giftwirkung ist. Im Vergleich mit z. B. den Antibiotika, die toxisch auf Bakterien wirken, sind die biochemischen Unterschiede zwischen tierischen Holzschädlingen und Mensch geringer als zwischen Mensch und Bakterium. Das Erreichen von selektiver Toxizität ist daher ungleich schwieriger als bei den Antibiotika, so daß bei allen Holzschutzwirkstoffen auch mit erheblichem toxischen Potential für den Menschen zu rechnen ist.

Einige Stoffe, deren holzschützende Wirkung unbestritten ist, wurden nach langjähriger Verwendung inzwischen teils vollkommen in Herstellung, Inverkehrbringen und Anwendung verboten ("PCP" Pentachlophenol), teils wird die Verwendung nicht mehr empfohlen (Lindan).

6.3.3 Prüfzeichen und RAL-Gütezeichen

Für Holzbauteile und Bauteile aus Holzwerkstoffen, die tragenden oder aussteifenden Zwecken in baulichen Anlagen dienen (z. B. Dachstühle etc.), wird von der Bauaufsicht ein vorbeugender Holzschutz - chemischer oder bautechnischer Art - durch dafür geeignete Mittel gefordert. Die Brauchbarkeit von Holzschutzmitteln wird durch ein Prüfzeichen nachgewiesen, das das Institut für Bautechnik durch einen Prüfbescheid zuteilt. Dazu muß der Hersteller den Wirksamkeitsnachweis, daß bei ordnungsgemäßer Anwendung die holzschützende Wirkung erreicht werden kann, und den Unbedenklichkeitsnachweis, daß gegen die vorgesehene Verwendungsart bei bestimmungsgemäßem Gebrauch keine gesundheitlichen und keine ökotoxischen Bedenken bestehen, erbringen. Die dafür erforderliche gesundheitliche Bewertung der

Holzschutzmittel führt das Bundesgesundheitsamt im Auftrag des Deutschen Instituts für Bautechnik durch. Mit der Erteilung des Prüfzeichens wird der Hersteller zur Überwachung seines Produktes verpflichtet.

Für die Mittel, die nicht durch die Prüfzeichenpflicht erfaßt sind, bietet die Gütegemeinschaft Holzschutzmittel e. V., Karlstr. 21, 60329 Frankfurt/Main, das RAL-Gütezeichen Holzschutzmittel an. Die gesundheitliche Bewertung dieser Mittel erfolgt im Rahmen des Verfahrens durch das Bundesgesundheitsamt, die Überwachung durch von der Gütegemeinschaft Holzschutzmittel beauftragte Prüfstellen. Neben den Mitteln zum vorbeugenden Schutz bewertet die Gütegemeinschaft Holzschutzmittel auch Mittel zur Bekämpfung eines vorliegenden Insektenbefalls und Mittel zur Bekämpfung von Hausschwamm.

6.3.4 Emissionen

Von den Schutzsalzen sind - von zwei Ausnahmen abgesehen - keine gasförmigen Emissionen zu erwarten. Eine Ausnahme ist die Emission von Fluorwasserstoff aus fluoridhaltigen Schutzsalzen. Fluorwasserstoff entsteht durch Zersetzung oder Hydrolyse. Becker und Berghoff [1963] berichten von ausführlichen Messungen zur Fluorwasserstoffemission, allerdings eher unter dem Aspekt der Dauerhaftigkeit der Schutzwirkung als unter dem der Raumluftqualität. Tatsächlich geht die Konzentration fluoridhaltiger Salze im Holz aufgrund der Fluorwasserstoffemission allmählich zurück. Dies gilt nicht nur für leicht hydrolysierbare bzw. spaltbare Salze wie Ammoniumfluorid oder Kaliumhydrogenfluorid, sondern auch für Monofluoride und Silicofluoride. Bei den Hydrogenfluoriden geht der Fluorgehalt des behandelten Holzes bereits nach Tagen bis Wochen erheblich zurück (bei Ammoniumhydrogenfluorid auf unter 40 % des Anfangsgehaltes), sinkt dann aber im Verlauf mehrerer Jahre nur noch langsam weiter ab (bei Ammoniumhydrogenfluorid ca 3 % des Anfangsgehaltes im Jahr). Entsprechend ist die Luftbelastung nur kurze Zeit hoch und geht dann stark zurück. Immerhin kann die Fluorwasserstoffkonzentration in der Luft so groß werden, daß der Fluorwasserstoff an seiner glasätzenden Wirkung erkennbar wird.

Die analytischen Methoden von Becker und Berghoff [1963] beschränkten sich auf die Fluorbestimmung in den Holzproben. Luftkonzentrationen wurden nicht bestimmt. Aus den relativen Angaben über die Fluoridkonzentration und den tatsächlich in das Holz eingebrachten Mengen kann die Luftkonzentration grob

geschätzt werden. Bei einer eingebrachten Menge in der Größenordnung von 100 g/m^2 Kaliumhydrogenfluorid ($M = 77,1 \text{ g/mol}$), einem Fluorverlust von 50 % in 4 Wochen, einer angenommenen Beladung von $0,5 \text{ m}^2/\text{m}^3$ und einem Luftwechsel von 1 /h errechnet sich eine Fluorwasserstoffkonzentration von 19 mg/m^3 .

Die andere Ausnahme ist die Emission von Arsenwasserstoff (Arsin) aus arsenhaltigen Schutzsalzen [Härtlein, Kruse 1986]. Arsenhaltige Schutzsalze erhalten inzwischen kein neues Prüfzeichen mehr. Arsin kann sich aus Arsenverbindungen bei Gegenwart bestimmter Schimmelpilze und von Wasser oder Säure bilden.

Bei den lösemittelhaltigen Schutzmitteln sind es die Wirkstoffe selbst, die ausgasen. Petrowitz [1986] untersuchte die Ausgasung von Lindan, Endosulfan, Pentachlorphenol und Dichlofluanid aus Kiefern- und Fichtenholz über einen Zeitraum von 120 Tagen. Die Wirkstoffe wurden in einem handelsüblichen Lösemittel (Shellsol AB) zu einem Modell-Holzschutzmittel gelöst. Die erhaltenen Emissionsdaten wurden auf die Beladung $0,2 \text{ m}^2/\text{m}^3$ und den Luftwechsel 1 /h umgerechnet. Die niedrigsten Konzentrationen zeigte Endosulfan mit relativ geringer Zeitabhängigkeit. Im Mittel betragen die Konzentrationen $1,8 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ bei Kiefern- und $4,0 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ bei Fichtenholz. Die anderen Wirkstoffe zeigten ein deutliches Abklingen. Bei Dichlofluanid war der Unterschied zwischen den Holzarten gering, Die Konzentration betrug anfangs etwa $8 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ und am Ende der Meßperiode $3,5 \text{ } \mu\text{g/m}^3$. Lindan klang von anfangs $10 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ auf $3 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ (Kiefer) bzw. von anfangs $13 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ auf $6 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ (Fichte) ab. Versuche mit zwei handelsüblichen Schutzmitteln ergaben etwa gleiche bis etwas niedrigere Werte. Auf alle Fälle wird aber der vom Bundesgesundheitsamt definierte Richtwert für Lindan von $1 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ [Bundesgesundheitsamt 1993] bis zu einer Versuchsdauer von 120 Tagen noch weit überschritten.

Härtlein und Kruse [1986] zitierten eine Veröffentlichung von Palar und Gebefügi [1978], nach der auch in unbehandelten Gegenständen bei einem langen Aufenthalt in einer belasteten Atmosphäre durch Sorption merkliche Wirkstoffkonzentrationen entstanden. In einem Vorhangsstoff, der ein Jahr pentachlorphenolhaltiger Luft ausgesetzt war, wurden 5 mg/kg PCP gefunden, und in jeweils 6 Jahre ausgesetzten Tapeten bzw. Polsterstoffen waren 14 mg/kg bzw. 11 mg/kg PCP enthalten.

Bei einer Untersuchung über Wirkstoffkonzentrationen im häuslichen Bereich [Krause 1982] wurden PCP-Konzentrationen bis zu $25 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ mit einem Median von $5 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ gefunden. Zwischen den

Schutzbehandlungen und dem Zeitpunkt der Messungen lagen Zeitspannen von einem halben bis zu 9 Jahren. In Wohnungen, in denen keine Holzschutzmittel verarbeitet worden waren, lagen die PCP-Konzentrationen im allgemeinen unter der Nachweisgrenze von $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Zimmerli [1982] machte Untersuchungen zum Mechanismus der Ausgasungen von Holzschutzmittelwirkstoffen. Er kam zu dem Ergebnis, daß der Diffusionswiderstand im Anstrichfilm in der Regel gegenüber dem Diffusionswiderstand in der unbewegten Luftschicht direkt über dem Anstrichfilm zu vernachlässigen ist. Als Diffusionskoeffizient der Wirkstoffe in Luft wird $0,05 \text{ cm}^2/\text{s}$ als plausibler Wert angesehen. Es wird herausgestellt, daß bei großflächiger Anwendung die Wirkstoffkonzentrationen in der Luft von Räumen mit geringen Luftwechselraten größenordnungsmäßig die Gleichgewichtskonzentration erreichen muß.

Laufende Untersuchung	Spätere Untersuchung
Dichlofluanid	Carbendazim
Furmecyclox	Cu-HDO
Iodpropinylbutylcarbammat (IPBC)	TBTO/TBTN
Lindan	Tridemorph
Permethrin	Xyligen Al
Propiconazol	
Tebuconazol	

Tab. 6.2: Holzschutzmittelwirkstoffe, die in einem Forschungsvorhaben über Emissionen von Holzschutzmittelwirkstoffen aus behandelten Hölzern derzeit im Bundesgesundheitsamt bearbeitet werden bzw. noch bearbeitet werden sollen

Im Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes wird derzeit ein Forschungsvorhaben über Emissionen von Holzschutzmittelwirkstoffen aus behandelten Hölzern in Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Materialforschung und prüfung (BAM) durchgeführt. Ein Grund für diese Untersuchungen ist, daß in zunehmendem Maße Recycling-Holz zur Herstellung von Holzwerkstoffen verwendet wird und daß dadurch die Gefahr eines unbeabsichtigten Stoffeintrags in Wohnräume erfolgen kann. Tab. 6.2 zeigt die Wirkstoffe, die derzeit bearbeitet werden bzw. die noch später bearbeitet werden sollen.

6.3.6 Schlußfolgerungen

Holzschutzmittel sind ein Bereich innerhalb der Baustoffe, der bereits relativ gut geregelt ist. Für den Bereich statischer Holzbauteile besteht Prüfzeichenpflicht, für nichttragende Hölzer werden Mittel mit dem RAL-Gütesiegel angeboten. In beiden Fällen ist sowohl der Wirksamkeitsnachweis als auch der Unbedenklichkeitsnachweis zu erbringen, letzterer unter Mitwirkung des Bundesgesundheitsamtes.

In diesem Zusammenhang sollte noch einmal betont werden, daß Holzschutzmittel nur dort angewendet werden sollten, wo sie wirklich notwendig sind, eine Forderung, die die Ad-hoc-Kommission des Bundesgesundheitsamtes "Holzschutzmittel (PCP) - Wohnräume" bereits 1981 gestellt hat [Abschlußbericht HSM (PCP)]. Hiernach sollte jede unnötige Belastung der Bevölkerung mit biologisch wirksamen Chemikalien vermieden werden, eine Aussage, die als Konsequenz hat, daß für Holzbauteile in Innenräumen in der Regel kein Schutz erforderlich ist. (Gefährdungsklasse 0). Wenn wirklich eine Notwendigkeit zur Behandlung bestehen sollte, darf die Beladung der behandelten Flächen nicht größer als $0,2 \text{ m}^2/\text{m}^3$ sein. Jede Behandlung sollte nach dem Motto erfolgen: sowenig wie möglich, soviel wie nötig.

Fungizide haben im (trockenen) Wohnraum nichts zu suchen, auch nicht in Wandfarben. Pilzwachstum (Schimmel) an den Wänden hat stets Ursachen in der Baukonstruktion oder in mangelhaftem Lüften und Heizen. Hier sollten die Ursachen beseitigt und nicht die Symptome durch Einbringen von Giften in den Innenraum bekämpft werden.

6.4 Textile Bodenbeläge (Teppichböden)

Teppichböden gehören zu einem Bereich innerhalb der Baumaterialien, der von erheblicher Bedeutung für die Innenluftqualität ist und für den einige Informationen über emittierte Stoffe verfügbar sind. Dies liegt zum einen daran, daß die sich seit längerer Zeit häufenden Klagen über Geruchsbelästigungen Anstoß zu Untersuchungen über die Emissionen von Teppichböden gegeben haben, zum anderen daran, daß das Deutsche Teppichforschungsinstitut in Aachen Reklamationen, darunter auch solche über störende Gerüche, bearbeitet und eine Vielzahl von Erfahrungen gesammelt hat. Im übrigen ist Teppichboden ein Material der In-

nenausstattung, das mit so großen Oberflächen wie bei Tapeten und Anstrichfilmen, aber mit größerer Dicke in den Innenraum gebracht wird, daß die ausgasende Masse größer ist und die Emissionen länger anhalten können. In Fällen, in denen neue Teppichböden ohne sonstige Renovierung verlegt wurden, gibt es im allgemeinen keinerlei Zweifel an der Quelle der neu aufgetretenen Emissionen.

6.4.1 Herstellung

In der Bundesrepublik Deutschland werden Teppichböden hauptsächlich (zu über 70 %) im Tufting-Verfahren hergestellt. Das Polmaterial aus Polyamid, Wolle oder Polypropylen wird in ein Gewebe aus Polypropylen oder Polyester eingenadelt und mit einem Vor- bzw. Verfestigungsstrich versehen. Schließlich wird ein Rücken als Schaumrücken oder textiler Zweitrücken aufgebracht. Die am meisten verwendete Rückenbeschichtung ist eine Schaumbeschichtung mit einem Styrol-Butadien-Latex.

6.4.2 Rezepturen

Tabelle 6.3 zeigt zwei Beispiele für Rezepturen von schwerentflammbaren Teppichböden, die dem IfBt zur Erteilung eines Prüfzeichens eingereicht wurden. Charakteristisch für derartige Rezepturen ist folgendes:

- Es werden nur sehr allgemeine Angaben über Inhaltsstoffe gemacht, z. T. wird nur die Funktion eines Zusatzes angegeben ("Entschäumer", "Antistatikum").
- Es werden Bezeichnungen verwendet, die eine Vielzahl von Einzelstoffen umfassen ("Syntheselatex").
- Es werden grundsätzlich keine Angaben über Nebenbestandteile und Verunreinigungen gemacht (z. B. Restmonomergehalt in Polymeren).
- Nur an einigen Stellen werden klar identifizierbare chemische Substanzen angegeben (z. B. "Aluminiumhydroxid"). In keinem Fall handelt es sich dabei um flüchtige Stoffe, die zur Innenraumluftbelastung beitragen könnten.

Teppichboden zur freien Verlegung	
Beschichtung	55 % Ethen-Vinylchlorid-Copolymer 1 % Entschäumer 2 % Carboxymethylcellulose 8 % Antimonoxid 34 % Aluminiumhydroxid
Rücken	70 % Polyester 30 % Polypropylen
Oberfläche	100 % Polyamid
Teppichboden, schwerentflammbar	
Pol	100 % Polyamid
Träger	100 % Polypropylen-Vlies
Zweit Rücken	Polypropylen-Gitter
Beschichtung	Syntheselatex auf Basis Styrol-Butadien
Beschichtung: 600 g/m ²	Vorstrich aus 32 % Syntheselatex 65 % Füllstoff (Kreide) 3 % Antistatikum
500 g/m ²	Klebebeschichtung aus 55 % Syntheselatex 43 % Füllstoff (Kreide) 2 % Antistatikum

Tab. 6.3: Beispiele für Rezepturen von schwerentflammbaren Teppichböden

Trotz der für die Beurteilung möglicher Emissionen völlig unzureichenden Angaben stehen derartige Rezepturen unter hoher Vertraulichkeit und stecken z. T. in gesonderten, ursprünglich versiegelten Kuverts.

Ein in diesem Zusammenhang wichtiger Gesichtspunkt bei Teppichböden wurde in einem Vortrag vor der Gesundheitstechnischen Gesellschaft in Berlin besprochen [Schröder 1991]. Die Stoffe, die den typischen "Neugeruch" von Teppichböden erzeugen, sind 4-Phenylcyclohexen und 4-Vinylcyclohexen. Es handelt sich hierbei um Zwischen- und Nebenprodukte, die in den für die Rückenbeschichtung verwendeten Latizes enthalten sind. 4-Phenylcyclohexen wird aus Butadien und Styrol im Sinne einer Diels-Alder-Reaktion gebildet und polymerisiert weiter zum künstlichen Kautschuk. 4-Vinylcyclohexen bildet sich durch Reaktion zweier Butadien-Moleküle miteinander, wenn das Butadien vor der Latexherstellung noch zu lange gelagert wird.

Während der Aushärtung der Rückenbeschichtung im Produktionsverlauf polymerisieren diese beiden Stoffe. Kleine Restmengen gasen vollständig aus, so daß die fertige Rückenbeschichtung praktisch frei von diesen Stoffen ist. Für das Problem, ob von dem fertigen Teppich starke Geruchsbelästigungen ausgehen, ist entscheidend, ob durch intensive Belüftung des Teppichbodens während der Aushärtung des Latex verhindert werden kann, daß die beiden Stoffe an den Textilfasern adsorbiert werden. Der "Neugeruch" der Teppichböden entsteht im wesentlichen durch allmähliche Desorption der an die Fasern gebundenen Substanzen. Allerdings kann außerdem durch zu rasches Aufwickeln des Teppichs bei der Herstellung bewirkt werden, daß die Ausgasung aus dem Latex unvollständig bleibt, so daß zusätzlich auch aus dem Rücken noch eine Emission erfolgen kann.

In allen Fällen sind die Rezepturen jedoch stets gleich und geben keinen Aufschluß über die zu erwartenden Emissionen. Diese sind lediglich von den während der Produktion herrschenden Betriebsbedingungen abhängig. Die Schadstoffemission kann von Charge zu Charge schwanken und muß daher durch eine Messung überprüft werden.

6.4.3 Gemessene Emissionen

6.4.3.1 Emissionen des Belagmaterials

Einen Hinweis auf mögliche Emissionen des fertigen Teppichbodens im Wohnraum kann man aus der Untersuchung der Abluft bei der Produktion von Teppichböden erhalten. Das Deutsche Teppichforschungsinstitut hat Messungen dieser Art an einigen Produktionsstätten durchgeführt [Schröder 1990].

In der Abluft einer Schaumbeschichtungsanlage wurden gefunden:

Toluol, o-, m- und p-Xylol, Ethylbenzol, Styrol, Cumol, Propylbenzol, Ethyltoluol, 4-Phenylcyclohexen, Vinylcyclohexen, alkylierte Cyclohexene, Ethylhexanol, Dicycloterpinol, Menthenol, Ethylthiocyanat, Benzylthiocyanat, aliphatische Kohlenwasserstoffe, Benzaldehyd, L-Limonen, C₁₂H₂₄, Pinan

Die Konzentrationen reichten von ca. 0,02 bis zu über 2 mg/m³.

In der Abluft einer Kaschierungsanlage wurden gefunden:

o-, m- und p-Xylol, Ethylbenzol, Styrol, Cumol, Propylbenzol, Tetramethylbenzol, Ethyltoluol, 4-Phenylcyclohexen, Vinylcyclohexen, Ethylhexanol, Cyclohexanol, Siloxane, alkylierte Cyclohexane, aliphatische Kohlenwasserstoffe, C₁₂H₂₄, Benzaldehyd

Die Konzentrationen reichten hier von 0,06 bis zu über 2 mg/m³.

Bei der Untersuchung eines Teppichbodens mit der dynamischen Headspace-Analyse wurde als Hauptkomponente in der Gasphase 4-Phenylcyclohexen mit 30 % der Gesamtemission gefunden [Seifert, Ullrich, Nagel 1989]. Weitere wichtige Emissionen im Bereich von 5-7 % waren Styrol, n-Dodekan, n-Undekan und 1,2,4-Trime-thylbenzol neben etlichen anderen, die unter 5 % lagen. Es wurde - allerdings an einer kleinen Probe, bei der die Schnittkanten einen übermäßigen Anteil hatten - eine Gesamtemissionsrate von 30 µg/m² h bei 24 °C abgeschätzt.

Von den gleichen Autoren wurde an einem neuen Stück Teppichboden in einer 1 m³-Kammer bei einer Beladung von 0,64 m²/m³ und einem Luftwechsel von 0,6 /h eine Abklingkurve für 4-Phenylcyclohexen aufgenommen. Es wurde eine maximale Konzentration von ca. 140 µg/m³ bis zum 6. Tag gefunden. Das Abklingen erfolgte zunächst mit einer Halbwertszeit von etwa 10 Tagen, später betrug die Halbwertszeit mehr als 20 Tage. Der Konzentrationswert von 20 µg/m³ wurde nach etwa 50 Tagen erreicht.

Bei Feldmessungen an frisch verklebten Teppichböden wurde als stärkste Emission Toluol gefunden (2000 µg/m³ bei einem 3 Tage alten und 300 µg/m³ bei einem 4 Wochen alten Teppichboden). Toluol und das in beiden Fällen mit etwa 20 µg/m³ gemessene Xylol stammten offenbar aus dem Kleber. Als Emissionen des Belagmaterials wurden 4-Phenylcyclohexen, Styrol und 2-Ethylhexanol festgestellt mit Konzentrationen im Bereich von 20-40 µg/m³ bei dem 3 Tage alten und 10-20 µg/m³ bei dem 4 Wochen alten Belag [Seifert, Ullrich, Nagel 1989].

Hodgson, Wooley und Daisey [1992] untersuchten 4 verschiedene Teppichböden, von denen sie sich Proben direkt von der Herstellungsanlage beschafften, in einer 4 l- und in einer 20 m³-Kammer bei Raumtemperatur. Zusätzlich führten sie Feldmessungen in einem Haus mit frisch verlegtem Teppichboden durch.

Emissionsraten in $\mu\text{g}/\text{m}^2 \text{ h}$ nach	24 h	168 h
Probe 1a: Styrol-Butadien-Zweitücken		
Styrol	25	2
4-Phenylcyclohexen	85	64
Probe 1b: Styrol-Butadien-Zweitücken		
Styrol	35	4
4-Phenylcyclohexen	65	48
4-Vinylcyclohexen	7	1
Probe 2: Polyurethan-Zweitücken		
1-Butanol	25	7
Dipropylenglykolmethylether (3 Isomere)	26	14
1,2-Dichlorbenzol	10	2
2,6-Di-tert-butyl-4-methylphenol	214	173
Probe 3: PVC-Zweitücken		
Formaldehyd	57	18
Acetaldehyd	27	5
Vinylacetat	853	103
2,2,4-Trimethylpentan	60	21
1,2-Propandiol	690	193
2-Ethyl-1-hexanol	58	23
Probe 4: Styrol-Butadien-Zweitücken		
Styrol	260	16
4-Phenylcyclohexen	82	50
4-Vinylcyclohexen	24	3

Tabelle 6.4: Emissionsraten in $\mu\text{g}/\text{m}^2 \text{ h}$ von vier Teppichproben nach 24 h und nach 168 h (7 Tage) [Hodgson, Wooley und Daisey 1992]

Als Emissionen wurden insgesamt 34 Substanzen gefunden, von denen der überwiegende Teil sicher identifiziert werden konnte. Von einigen konnte nur die Gruppenzugehörigkeit festgestellt werden ("Alkane"). Hauptemissionen der Proben mit Zweitücken aus Butadien-Styrol-Latex (BSR, "Butadien-Styrol-Rubber") waren Styrol und 4-Phenylcyclohexen, Hauptemissionen der Probe mit PVC-Zweitücken waren Vinylacetat, 2,2,4-Trimethylpentan und 1,2-Propandiol und der Probe mit Polyurethan-Zweitücken 2,6-Di-tert-butyl-4-methylphenol (BHT, "Butylhydroxytoluol"). Tabelle 6.4 zeigt die Emissionsraten der wichtigsten Emissionen. Auffällig ist hier das unterschiedlich rasche Abklingen der einzelnen Substanzen. Während sich z. B. bei den Proben mit

Zweitücken aus Butadien-Styrol-Latex die Emissionsrate von Styrol innerhalb einer Woche auf ein Zehntel oder weniger vermindert, sinkt die Emission von 4-Phenylcyclohexen nur auf 60-75 %. Dadurch ist 4-Phenylcyclohexen nach wenigen Tagen die wesentliche Emission, die den z. T. langanhaltenden Geruch neuer Teppichböden und die Beschwerden darüber bedingt.

Zur Abschätzung von Raumluftkonzentrationen kann eine Raumhöhe von 3 m angenommen werden, woraus sich eine Beladung von $0,33 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ergibt. Wenn weiterhin der Luftwechsel zu 1 /h angenommen wird, so hat nach der Gleichung

$$c_{\text{st}} = e \frac{a}{n}$$

mit c_{st} stationäre Konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, e Emissionsrate in $\mu\text{g}/\text{m}^2 \text{ h}$, a Beladung in m^2/m^3 und n Luftwechsel in 1/h (vgl. dazu auch Kap. 2) eine Emissionsrate von $100 \mu\text{g}/\text{m}^2 \text{ h}$ eine stationäre Konzentration von $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$, bei niedrigeren Räumen und/oder geringerem Luftwechsel (dichte Fenster) entsprechend mehr, zur Folge. 4-Phenylcyclohexen ist daher in einer Größenordnung von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 2,6-Di-tert-butyl-4-methylphenol von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zu erwarten.

Bei Vergleichsmessungen in einem Haus mit frisch verlegtem Teppichboden mit einem Zweitücken aus Butadien-Styrol-Latex wurden für Styrol ähnliche Emissionsraten wie in den Kammerversuchen gefunden, für 4-Phenylcyclohexen dagegen deutlich größere. Hier scheint das Abklingen langsamer zu verlaufen. Erst nach 4-7 Wochen lagen die Emissionsraten von 4-Phenylcyclohexen mit $30-60 \mu\text{g}/\text{m}^2 \text{ h}$ in dem Bereich, der in den Kammerversuchen bereits nach einer Woche erreicht war [Hodgson, Wooley und Daisey 1992].

6.4.3.2 Emissionen beim Verkleben von textilen Bodenbelägen

Das Verkleben textiler Bodenbeläge mit der Unterlage ist nach der losen Verlegung die zweithäufigste Verlegungsart [Schröder 1990]. Insbesondere im Bürobereich findet meist eine Verklebung statt, da eine feste Verbindung mit der Unterlage die Haltbarkeit von Teppichböden gegenüber starken Belastungen wie z. B. durch die Rollen von Bürostühlen wesentlich erhöht. Dafür muß während und nach der Verklebung im Gegensatz zu den anderen möglichen Verlegearten

- lose Verlegung,
- Fixieren mit einem Haftvlies bzw. -gitter oder
- Spannen

mit z. T. erheblichen Schadstoffemissionen gerechnet werden.

Bei Verwendung von lösemittelarmen wasserverdünnbaren Dispersionsklebern ist die Schadstoffemission geringer, aber auch Dispersionskleber können noch bis zu 5 % organischer Lösemittel enthalten. Demgegenüber enthalten "lösemittelhaltige" Kleber 10 - 20 % Lösemittel.

Seifert, Ullrich und Nagel [1989] untersuchten unverarbeitete Fußbodenkleber auf Wasserbasis und andere Hilfsprodukte zur Teppichverlegung mit der dynamischen Headspace-Analyse. Sie fanden beim Kleber I in der Gasphase als Hauptbestandteile m-Xylol, Ethylbenzol und o-Xylol, als Nebenbestandteile Toluol und Methylacetat, beim Kleber II als Hauptbestandteil Toluol, als Nebenbestandteil Ethylacetat. Bei einer Grundierung fanden sie als Hauptbestandteil Toluol, daneben 2-Chlor-1,3-butadien, Styrol, 1,2,4-Trimethylbenzol und 1-Methyl-4-(1-methylethyl)benzol. Bei einem Füller wurden als Hauptbestandteil in der Gasphase Methylmethacrylat, daneben wenig 4-Methyl-2-pentanon gefunden.

Messungen zum Emissions-Zeit-Verhalten von verarbeiteten Teppichklebern wurden sowohl mit Prüfkammern als auch in realen Räumen durchgeführt:

Schröder [1990] fand in einem 500 l-Prüfraum (22 °C, 50 % relativer Feuchtigkeit, Luftwechsel 1/h) bei lösemittelhaltigen Klebstoffen nach 1-2 h maximale Konzentrationen von 400-900 mg/m³, die mit einer Halbwertszeit von 2-3 h abklingen (Ethylacetat, Methanol, Toluol, Benzin, letzter Meßpunkt nach 28 h). Bei Verwendung eines Dispersionsklebstoffs wurde die maximale Konzentration von 450 mg/m³ nach 2 h erreicht, die Halbwertszeit für das Abklingen betrug 4-5 h (Toluol). Beim Luftwechsel 5/h wurden etwa um den Faktor 5 niedrigere Maxima bei nicht wesentlich veränderter Halbwertszeit beobachtet. Die Konstruktions- und Materialdaten des für die Versuche verwendeten Teppichbodens haben kaum einen Einfluß auf das Emissionsverhalten.

Seifert und Ullrich [1987] fanden bei Messungen in einem realen Wohnraum nach der Verklebung eines Teppichbodens mit einem lösemittelhaltigen Kleber eine maximale Toluolkonzentration um 30

mg/m³, die in den ersten 50 Tagen mit einer Halbwertszeit von 10 Tagen entsprechend einer Exponentialfunktion abklang. Nach 50 Tagen wurde das Abklingen allmählich langsamer. Als die Messungen nach etwa 110 Tagen abgebrochen wurden, lag die Toluolkonzentration mit ca. 110 µg/m³ noch deutlich über dem Niveau vor der Verklebung (80-90 µg/m³).

Das im realen Wohnraum gegenüber dem Prüfraum deutlich verlangsamte Abklingen der Raumluftkonzentration ist offenbar auf Ad- und Desorptionseffekte an den inneren Oberflächen des Raums und an Einrichtungsgegenständen zurückzuführen. Es ist daher empfehlenswert, während und nach der Verklebung besonders gründlich zu lüften, damit die Adsorption möglichst gering bleibt, im übrigen aber lösemittelfreie bzw. -arme Dispersionskleber zu verwenden. Der beste Weg wäre - soweit möglich -, auf ein Verkleben ganz zu verzichten.

6.4.4 Schlußfolgerungen

In der Regel erfolgt die Beanstandung eines Teppichbodens durch den Verbraucher aufgrund des Geruchs, gelegentlich auch aufgrund von Reizerscheinungen im Nasenrachenraum. Trotz der bei der Identifizierung von Gerüchen bestehenden Probleme

- geruchsbildende Komponenten können derart geruchsintensiv sein, daß ihre Konzentration in der Luft trotz eines deutlich wahrnehmbaren Geruchs unterhalb der analytischen Nachweisgrenze liegt,
- durch Überlagerung mehrerer Substanzen entstehen Geruchseindrücke, von denen aus sich nicht auf die Einzelsubstanzen schließen läßt,

lassen sich die typischen Neugerüche von Teppichböden hauptsächlich auf die Komponenten 4-Phenylcyclohexen und 4-Vinylcyclohexen zurückführen. Von den gefundenen Konzentrationen gehen aber nach gegenwärtigem Kenntnisstand keine direkten Gesundheitsgefahren aus. Die Industrie sollte versuchen, Wege zu finden, auch die Geruchsbelastung zu verringern oder besser ganz zu vermeiden.

Gesundheitsbeeinträchtigungen durch Teppichböden wurden in Einzelfällen als Folge eines Pentachlorphenolgehalts beobachtet. Es handelte sich um Produkte eines einzigen Herstellers, die innerhalb eines Monats hergestellt worden waren. Die Untersu-

chungen ergaben, daß offenbar zur Bekämpfung eines bereits erfolgten Mikrobenbefalls Pentachlorphenol dem Schaumrücken zugesetzt worden war [Schröder 1990]. Dies ist ein Einzelfall, der sich - insbesondere nach der Pentachlorphenol-Verbotsverordnung von 1989 in dieser Form nicht wiederholen dürfte, zeigt aber auch, daß in der Produktion leicht einmal aus aktuellen Anlässen vom üblichen Verfahren in einer später häufig nicht mehr ohne weiteres nachvollziehbaren Weise abgewichen werden kann.

Die im Regelfall bei Wollteppichen vorgenommene "Eulanisierung" besteht aus einer Behandlung mit Sulfonamiden bzw. Pyrethroiden/Permethrin. Sie dient dem Schutz vor Motten- und Käferbefall. Eine Freisetzung dieser Substanzen in die Raumluft kann sicherlich nicht ganz ausgeschlossen werden, ist jedoch im Hinblick auf den Nutzeffekt dieser Ausrüstung als vertretbar anzusehen: Nach Gerüchen ist der Befall der Teppichböden durch Motten oder Käfer als zweithäufigste Ursache für Reklamationen anzusehen [Schröder, mündliche Mitteilung 1993].

Die Gemeinschaft Umweltfreundlicher Teppichboden e.V., GUT, verfolgt das Ziel, die Verwendung emissionsarmer und umweltfreundlicher Produkte zu fördern. Sie berät hierzu Hersteller und vergibt ein Gütesiegel. Eine solche eigenverantwortliche Produktverbesserung von seiten der Industrie wird als günstiger angesehen, als der Eingriff durch staatliche Maßnahmen. Ein derartiges Verfahren sollte auch beispielhaft für die Hersteller anderer Produkte sein.

6.5 Polyvinylchlorid (PVC)

6.5.1 Herstellung und Vorkommen im Baubereich

PVC wird in zwei Formen hergestellt: als weichmacherfreies Hart-PVC und als weichmacherhaltiges Weich-PVC. Hart-PVC wird im Baubereich verwendet in Form von Fensterrahmen, Rohren, Dachrinnen und sonstigen Profilen. Weich-PVC wird in Form von Fußbodenbelägen, Tapeten und Kabelisolierungen verwendet.

PVC wird durch Polymerisierung von Vinylchlorid (VCM "Vinylchlorid monomer") hergestellt, das als eindeutig beim Menschen krebserzeugend (MAK III A1) eingestuft ist. Im Gegensatz zu früher gelingt es inzwischen sehr gut, das Rohpolymer vom Restmonomer zu befreien. Das Restmonomer fällt bei der Entmonomerisierung in einem sehr großen Abluftvolumen an, das nur

schwer zu reinigen ist. Auch wenn die Abluft z. T. als Verbrennungsluft genutzt wird, gelangen noch erhebliche Mengen Vinylchlorid in die Atmosphäre, für 1988 werden 300 t geschätzt [Tötsch, Gaensslen 1990].

Dem Roh-PVC wird eine Reihe von Hilfsstoffen eingearbeitet wie Stabilisatoren, Farbmittel, Weichmacher (für Weich-PVC), Schlagzähigkeitsverbesserer, Gleitmittel, Füllstoffe, Flammschwerer, Antistatika und Treibmittel (für geschäumtes PVC). Als Stabilisatoren werden im Baubereich vorzugsweise Bleiverbindungen (Kabelisolierungen, Rohre), daneben Barium-Cadmium- (Fensterprofile) und Barium-Zink-Verbindungen (Fußbodenbeläge) eingesetzt. Als Weichmacher für Weich-PVC wird hauptsächlich Di-(2-ethylhexyl)-phthalat (DEHP, DOP "Dioktylphthalat"), daneben Dibutyl-, Diisooktyl-, Diisononyl- und Diisodekylphthalat verwendet, außerdem noch Ester aliphatischer Dicarbonsäuren wie Adipin-, Sebazin- oder Azelainsäure und Phosphorsäureester [Tötsch, Gaensslen 1990; Lohrer, Plehn 1987].

6.5.2 Emissionen

Als spezifische Emissionen können Vinylchlorid (VCM) und Weichmacher, vor allem Phthalate, erwartet werden. Tatsächlich wird hauptsächlich über Stoffe berichtet, die eher als Lösemittelreste aus dem Produktionsvorgang angesehen werden müssen.

Mølhavé u. a. [1982, zitiert nach Schriever, Marutzky 1991] fanden als Emissionen eines PVC-Fußbodenbelags n-Dekan, p-Xylol, m-Xylol, Toluol und Ethylbenzol, bei einem anderen PVC-Belag waren es n-Oktan, Aceton, n-Nonan, 2-Butanon, ein nicht genauer identifiziertes verzweigtes Dekan, Ethylmethylcyclohexan, n-Dekan, ein verzweigtes Oktan, n-Dodekan, n-Undekan, p-Xylol, m-Xylol, Isopropylbenzol, o-Xylol, n-Propylbenzol, 4 weitere C₃-Benzole, ein C₄-Benzol, Methylstyrol und n-Pentylbenzol.

Bei der Untersuchung von Vinyl-Tapeten fanden die gleichen Autoren beispielsweise n-Hexan, n-Nonan, n-Dekan, Toluol, m-Xylol, 1,3,5-Trimethylbenzol und 1,2,4-Trimethylbenzol oder bei einer anderen Probe n-Nonan, ein nicht näher identifiziertes Oktanon, Alkane, n-Dekan, 1-Dekan, m-Xylol, C₃-Benzole, 1,3,5-Trimethylbenzol, 1,2,4-Trimethylbenzol und 1,3-Diethylbenzol.

Bei Untersuchung von 24 Vinyltapeten auf Vinylchlorid - nicht als Emission, sondern als Inhaltsstoff - konnte bei einer Nachweisgrenze von 0,2 mg/kg Tapete (25-50 µg/m²) kein Vinylchlorid

gefunden werden. Phthalate wurden bei der Untersuchung von Vinyltapeten in einer 1 m³-Glaskammer bei 23 bzw. 30 °C, 45 % relativer Luftfeuchtigkeit, einer Beladung von 1 m²/m³ und einem Luftwechsel von 0,5 /h bei einer Nachweisgrenze von 1 µg/m³ für Dioktylphthalat nicht gefunden [Schriever u. a. 1991].

6.5.3 Diskussion der gegen die Verwendung von PVC vorgebrachten Argumente

Die Verwendung von PVC ist teilweise geächtet worden, und es gibt Bauvorhaben, insbesondere Renovierungen und Modernisierungen von Altbauten, in denen großer Wert darauf gelegt wird, so wenig PVC wie möglich zu verwenden. Von der Stadt Bielefeld veranlaßt fand 1987 ein Hearing statt, als dessen Ergebnis der Bielefelder Rat den Beschluß gefaßt hat: "Die Verwendung von PVC- (Polyvinylchlorid)-haltigen Baumaterialien im substituierbaren Bereich ist einzuschränken. Die Ausschreibungen sind entsprechend abzufassen." Das Land Berlin hat in seinen "Richtlinien über die Förderung der Modernisierung und Instandsetzung von Wohngebäuden" (ModInstRL 90) die finanzielle Förderung von Bauprojekten, in denen Fenster- und Türprofile aus PVC, Fußbodenbeläge, Tapeten und Kleinbauteile aus PVC und Grund-, Sammel- und Falleitungen für Abwasser aus PVC verwendet werden sollen, grundsätzlich ausgeschlossen.

Die Bedenken gegen PVC sind im wesentlichen folgende:

- PVC bildet im Brandfall HCl und Dioxine, möglicherweise können auch Schwermetalle freigesetzt werden.
- Zur Herstellung von PVC wird aus anorganischem Chlor (z. B. NaCl) organisches Chlor, das die Bildung chlorierter Dibenzodioxine ermöglicht.
- PVC ist umweltproblematisch bei der Herstellung und Entsorgung. Ein Recycling findet noch nicht in nennenswertem Ausmaß statt.
- PVC erhöht die Korrosionsbelastung von Müllverbrennungsanlagen durch HCl-Bildung und belastet die Abluft durch HCl und Dioxine.
- PVC kann auf Deponien Schwermetalle ins Grundwasser freisetzen (Stabilisatoren).

Diesen Argumenten gegen PVC kann folgendes entgegengehalten werden:

- Im Brandfall kommt es auch ohne die Anwesenheit von PVC durch Verschwelung organischen Materials unter Sauerstoffmangel zur Bildung von PAH-beladenem Ruß. PAHs ("polycyclic aromatic hydrocarbons", polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe), sind krebserzeugend, ihr bekanntester Vertreter ist Benzo-a-pyren. Daher ist zur Wiederbewohnbarmachung von ausgebrannten Räumen ohnehin stets eine Brandreinigung erforderlich.
- Für die sich noch im brennenden Gebäude befindlichen Personen dürfte CO eine größere Gefahr darstellen als HCl oder Dioxine. Im Gegenteil könnte sogar argumentiert werden, daß die Reizwirkung von HCl eher vor der Gefahr durch die Brandgase warnt als das geruchlose CO.
- PVC ist bezüglich der Emissionen in die Innenraumluft - unter Ausklammerung der Umweltproblematik - nicht bedenklicher als andere Kunststoffe.

6.5.4 Schlußfolgerungen

Es wird keine direkte Gefährdung der Bewohner durch die Nutzung von Bauprodukten aus PVC gesehen, jedoch können die umweltbezogenen Argumente gegen PVC nicht von der Hand gewiesen werden. Bezüglich der Probleme von Sanierungen nach Bränden wird auf die "BGA-Empfehlungen zur Reinigung von Gebäuden nach Bränden" [1990] verwiesen.

6.6 Farben und Lacke

Farben und Lacke gehören zusammen mit Tapeten und Fußbodenbelägen zu den Materialien, die großflächig im Innenraum angewandt werden. Darüber hinaus werden in Farben und Lacken - soweit sie vor Ort verarbeitet werden - ähnlich wie bei Fußbodenklebern große Mengen Lösemittel mit dem ausschließlichen Ziel der Verdunstung in den Innenraum eingebracht, wodurch sich neben der Primärquelle durch Adsorption auch Sekundärquellen bilden können.

6.6.1 Inhaltsstoffe

Lacke dienen zur Erzeugung glänzender oder seidenmatter Beschichtungen z. B. auf Türen und Fenstern, Heizkörpern und Möbeln. Farben dienen zum Anstrich von mineralischen Untergründen wie Putz oder Beton oder zum Anstrich von Rauhfaser tapeten. Der Oberbegriff für Lacke und Farben ist "Beschichtungsstoff" (DIN 55945).

Unabhängig von seiner Art und speziellen Anwendung ist ein Beschichtungsstoff grundsätzlich zusammengesetzt aus

- Bindemittel (Filmbildner)
- Pigmenten, Füllstoffen
- Additiven bzw. Hilfsstoffen und
- Lösemitteln.

Das Bindemittel ist der Grundbestandteil eines Beschichtungsstoffes. Es härtet entweder physikalisch durch Verdunstung des Lösemittels oder chemisch durch Vernetzung aus. In der Regel sind Bindemittel modifizierte natürliche oder vollsynthetische Polymere. Das eigentliche Bindemittel selbst ist wegen seiner Molekülgröße nicht flüchtig, es kann allerdings zu Emissionen von nicht umgesetzten Restmonomeren oder von Abspaltungsprodukten aus dem Polymer kommen.

Pigmente und Füllstoffe sind feste, in der Regel anorganische Bestandteile, die dem fertigen Film Farbe und Volumen geben. Spachtelmassen sind Beschichtungsstoffe mit sehr hohem Füllstoffgehalt. Gasförmige Emissionen aus Pigmenten und Füllstoffen sind nicht zu erwarten. Pigmente könnten lediglich die Ursache für bedenkliche Auslaugungen oder Abriebe sein, z. B. bei Kinderspielzeug oder Bedarfsgegenständen.

Additive sind Weichmacher, Tenside (Dispergierhilfen, Emulgatoren), Verdickungsmittel, Schaumverhinderer, Biocide, Trockensubstanzen, Hautverhinderer, Verlaufmittel und Stabilisatoren. Aus dem Bereich dieser Stoffe sind Emissionen denkbar. Die Weichmacher nehmen noch eine Sonderstellung ein, da es sich hier häufig auch um nichtflüchtige Polymere handelt. So enthalten Lacke auf Cellulosenitrat-Basis ("Nitrocellulose", NC) Alkydharze zur Weichmachung. Zum Teil werden auch weichmachende Zusätze bereits bei der Herstellung des Bindemittels einpolymerisiert ("innere Weichmacher").

Die Hauptquelle für Emissionen von Beschichtungsstoffen sind die Lösemittel. Hier wird eine Vielzahl von Stoffen eingesetzt, deren wesentliche Aufgabe das Verdampfen nach dem Auftragen der Beschichtung ist. Goldschmidt u. a. [1984] führen unter den Gruppenbezeichnungen

- aliphatische Kohlenwasserstoffe und Gemische
- cycloaliphatische Kohlenwasserstoffe
- Terpenkohlenwasserstoffgemische
- aromatische Kohlenwasserstoffe und Gemische
- Chlorkohlenwasserstoffe
- Alkohole
- Glykolether
- Ester
- Ketone und
- sonstige

insgesamt 101 Lösemittel auf, von denen allerdings 24 Gemische oder Gruppenbezeichnungen sind. Von den 77 Einzelstoffen haben 46 einen MAK-Wert, 31 sind nicht in der MAK-Liste geführt.

Schriever und Marutzky [1991] geben nach Karsten [1987] eine Liste in ähnlicher Gliederung mit 203 Lackrohstoffen mit Emissionspotential, d. h. mit endlichem Dampfdruck, an, wovon 133 (nach Abzug der Mehrfachnennungen 127) Lösemittel sind, von denen wiederum 68 keinen MAK-Wert haben. Die Stoffe ohne MAK-Werte gehören überwiegend zu Alkoholen und Glykolethern.

Chlorhaltige Lösemittel, wie sie zum Teil noch bei Goldschmidt [1984] und Karsten [1987] angegeben sind, werden jetzt offenbar nicht mehr verwendet.

Zu den Farben und Lacken gehören lösemittelhaltige Lacke, wasserverdünnbare Lacke und wasserverdünnbare Dispersionsfarben. Lösemittelhaltige Lacke haben Lösemittelgehalte bis über 50 %, wasserverdünnbare Lacke im Bereich von 7-8 % und Dispersionsfarben von 2 % [Dube, Sonneborn 1986, Wahlberg 1992]. Die begrüßenswerte Verminderung des Lösemittelgehalts in wasserverdünnbaren Lacken und Dispersionsfarben zugunsten von Wasser bedingt allerdings, daß in diesen Produkten

- bestimmte Lösemittel aus dem Bereich der Glykolether und -ester mit relativ hohen Siedepunkten (Propylenglykol, Hexylenglykol, Butylglykol, Butyldiglykol und "Texanol": 2,2,4-Trimethyl-1,3-pentandiolmonoisobutytrat),

- Additive wie Ammoniak oder flüchtige Amine (Triethylamin) und
- Fungizide als Topfkonservierer zum Schutz der wässrigen Phase (z. B. "Kathon": Gemisch aus Chlormethylisothiazolinon und Methylisothiazolinon)

eingesetzt werden [Wahlberg 1992]. Derartige Stoffe sind in den lösemittelhaltigen Lacken nicht enthalten.

6.6.2 Emissionen

Die wesentlichen, bisher festgestellten Emissionen von Lackfilmen sind zum einen Lösemittelreste, die in dem ausgehärteten Film noch zurückgeblieben sind, zum anderen aliphatische Aldehyde und aliphatische Monocarbonsäuren.

Aldehyde bilden sich bei der durch Luftsauerstoff verursachten oxidativen Spaltung von in Alkydharzen eingebundenen Fettsäuren [Wexler 1964]. Alkydharze bilden das Bindemittel in den Kunstharzlacken, sind aber auch anderen Lacktypen, vor allem Lacken auf Cellulosenitratbasis (NC-Lacke), hauptsächlich zum Zweck der Weichmachung zugesetzt. Alkydharze werden z. B. für Heizkörperlackierungen verwandt, da sie bis zu 120 °C temperaturbeständig hergestellt werden können. Die Monocarbonsäuren entstehen offenbar aus den Aldehyden durch Weiteroxidation an der Luft.

Aldehyde und Carbonsäuren machen wohl im wesentlichen den charakteristischen Geruch frischer, aber schon getrockneter Beschichtungen aus Alkydharzen aus.

Ullrich u. a. [1982] haben Emissionen von Heizkörperlacken gemessen. Es wurden abgekratzte Lacksplitter mit der dynamischen Headspace-Methode untersucht. Es wurde eine homologe Reihe von Aldehyden vom Propanal bis zum Nonanal gefunden, wobei die größten Konzentrationen beim Hexanal auftraten. Daneben wurden auch Carbonsäuren nachgewiesen, wobei wiederum Hexansäure die höchste Konzentration aufwies. Bei einer relativ frischen Lackprobe wurden zusätzlich die Lösemittel 1-Butanol und Isobutanol gefunden. Zum Vergleich wurde auch ein für Heizkörperlackierungen ungeeigneter Wasserlack untersucht, bei dem weder Aldehyde noch Carbonsäuren nachgewiesen werden konnten.

Ullrich u. a. [1982] untersuchten auch die Emissionen eines Heizkörperlackes in einer 1 m³-Prüfkammer. Ein kleiner Elektro-

Radiator wurde lackiert und drei Tage nach der Lackierung in den Prüfraum mit einem Luftwechsel von zunächst 0,15 /h gebracht. Im Lauf der Untersuchung wurden die Bedingungen geändert: es wurde 1.Heizstufe eingeschaltet, dann der Luftwechsel von 0,15 auf 0,6 /h erhöht, dann die 2.Heizstufe eingeschaltet und schließlich der Luftwechsel wieder auf 0,15 /h verringert. Bei den Aldehyden wurden die jeweils höchsten Konzentrationen für Pentanal und Hexanal am Anfang (Hexanal 5,0 mg/m³), für Butanal und Heptanal bis Nonanal nach dem Einschalten der 1.Stufe (Nonanal 3,3 mg/m³) und für Propanal nach der Verringerung des Luftwechsels (0,72 mg/m³) gefunden. Der Summenwert über alle Aldehyde erreichte sein Maximum mit 12 mg/m³ nach dem Einschalten der 1.Stufe. Bei den Carbonsäuren wurde nur Hexansäure über die gesamte Versuchsdauer verfolgt, ihr Maximum von 160 mg/m³ trat nach dem Einschalten der 1.Stufe auf.

Eine Umrechnung der Konzentrationswerte vom 52.Tag auf einen realen Raum von 50 m³ ergab 48 µg/m³ für Hexansäure und 2 µg/m³ für Hexanal. Bei Feldmessungen in Räumen, in denen infolge einer Heizkörperlackierung Beschwerden geäußert wurden, sind vergleichbare, eher etwas höhere Werte gefunden worden, die im Fall der Hexansäure die Geruchsschwelle von 30 µg/m³ deutlich überschritten.

Andere, von Schriever und Marutzky [1991] zitierte Veröffentlichungen befassen sich mit Lösemittlemissionen. Schriever und Marutzky [1990] verfolgten das Abklingen der Lösemittelkonzentration in der Luft zweier Räume, deren Holzfußboden mit einer Zweikomponenten-Polyurethan-Versiegelung behandelt worden war. In einem Raum mit einem geringen Luftwechsel um 0,2 /h wurden unmittelbar nach der Versiegelung Konzentrationen der Hauptlösemittel n-Butylacetat und Isobutylacetat bis zu 2000 mg/m³ beobachtet. Auch nach 495 Tagen lagen die Konzentrationen mit 0,094 bzw. 0,02 mg/m³ noch geringfügig höher als vor der Versiegelung. Die anderen Lösemittel Ethylacetat, n-Butanol, Toluol und Xylol hatten ihr Ausgangsniveau nach etwa einem halben Jahr wieder erreicht. Im anderen Raum mit einem höheren Luftwechsel von 0,65 /h lagen die Konzentrationen der Butylacetate am 10.Tag um den Faktor 25 niedriger und klangen im Verlauf von drei Monaten etwa um den Faktor 10 weiter ab. Im gleichen Zeitbereich war auch im ersten Raum eine Konzentrationsabnahme um etwa den Faktor 10 festzustellen, aber auf wesentlich höherem Niveau.

In einem Forschungsvorhaben am Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes wurden Emissionen von

Lackfilmen gemessen [Fischer, Böhm 1992]. Es handelte sich hierbei zwar eigentlich um Möbellacke, doch dürften die Ergebnisse auch in Bezug auf Bauprodukte relevant sein, zumal derartige Lacke auch zur industriellen Beschichtung von Innentüren verwendet werden (UV-härtende Lacke, Polyurethanlacke).

Ein Zweikomponenten-Polyurethanlack wurde nach Herstellervorschrift auf Glas- und Holzwerkstoffproben (MDF: "Medium Density Fiberboard") zweifach als Grund- und Decklack aufgetragen und getrocknet. Die Emissionen des Lackfilms nach dem Trocknen wurden in 20 l-Prüfkammern beim Luftwechsel 1 /h und der Beladung $5,4 \text{ m}^2/\text{m}^3$ über 50 Tage verfolgt. Diese Beladung war im Hinblick auf große Möbelstücke wie Schrankwände gewählt worden, bei denen überwiegend beide Seiten der Holzwerkstoffplatten in Kontakt mit der Raumluft stehen. Für Lackierungen an Bauprodukten (Türen, Holzfußböden und sonstige Holzverkleidungen) wäre eher ein Wert von $0,33 \text{ m}^2/\text{m}^3$ angemessen gewesen, das entspricht der Fläche des Fußbodens in einem 3 m hohen Raum. Im etwa gleichen Verhältnis wären dann auch die Raumluftkonzentrationen kleiner.

Gefunden wurden Toluol, Ethylbenzol, Xylol, Ethylacetat, Butylacetat, 1-Methoxy-2-propylacetat und 2-Methoxy-1-propylacetat (Verunreinigung von 1-Methoxy-2-propylacetat). Die Konzentrationen in der Prüfkammerluft betragen am 1.Tag nach der Lackierung bei den Holzwerkstoffproben zwischen $20 \text{ mg}/\text{m}^3$ (o-Xylol) und $1000 \text{ mg}/\text{m}^3$ (1-Methoxy-2-propylacetat). Das Abklingen erfolgte zunächst mit Halbwertszeiten von 0,8 bis 2 Tagen. Später wurden die Halbwertszeiten größer und erreichten nach 5-6 Wochen Werte von 14 bis 26 Tagen. Nach 50 Tagen lagen die Konzentrationen um etwa 3 Größenordnungen niedriger und betragen zwischen $10 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ (p-Xylol) und $40 \text{ mg}/\text{m}^3$, wobei der größte Teil des Konzentrationsabfalls innerhalb der ersten 10-15 Tage erfolgte. Die Ester klangen deutlich langsamer ab als die Aromaten, so daß sich der Anteil der Ester an den Gesamtemissionen im Laufe der 50 Tage vergrößerte.

Bei den auf Glas lackierten Proben lagen die Konzentrationen aller Lösemittel gleichermaßen um den Faktor 100 niedriger als bei den Holzwerkstoffproben. Das Abklingen erfolgte allerdings langsamer, so daß die Konzentrationen nach 50 Tagen nur noch um etwa eine Größenordnung niedriger waren. Dies zeigt, daß für die Beurteilung von Lösemittlemissionen aus Lackfilmen die Art des Trägermaterials durchaus von Einfluß ist.

Aus den Abklingkurven ergab sich, daß der 20.Tag nach der Lackierung ein dafür geeigneter Zeitpunkt ist, die Emissionen ver-

schiedener Lacke zu vergleichen, da hier das erste raschere Abklingen - sozusagen das "Nachtrocknen" - abgeschlossen ist. Untersucht wurden je ein NC-Lack, PUR-Lack, UV-UP-Lack, UV-UA-Lack und je ein WA-Lack von zwei Herstellern, dazu noch zwei Naturlacke eines dritten Herstellers (NC: Nitrocellulose, besser Cellulosenitrat, PUR: Polyurethan, UV-UP: UV-härtender ungesättigter Polyesterlack, UV-UA: UV-härtender ungesättigter Acryllack, WA: wasserverdünnter Lack). Alle Lacke wurden bei den Herstellern lackiert und getrocknet. Die Tab. 6.5 und 6.6 zeigen die am 20.Tag nach der Lackierung gemessenen Konzentrationswerte. Die Summen aller Konzentrationen - ausgenommen Formaldehyd - lagen im Bereich von 1,2 mg/m³ bis 19,2 mg/m³ mit einem Median von 3,1 mg/m³, wobei die Werte der Lacke des einen Herstellers - den Wasserlack ausgenommen - stets niedriger lagen als bei den Lacken des anderen Herstellers. Dies ist ein Hinweis darauf, daß offenbar die Trocknungsbedingungen für die späteren Emissionen entscheidender sind als die Art des Bindemittels. Die beiden Naturlacke lagen mit 6,2 mg/m³ bzw. 12,8 mg/m³ eher im mittleren bis oberen Teil des durch die anderen Lacke gesetzten Bereichs. Unterschiede bestanden im Spektrum der emittierten Substanzen. Die Naturlacke emittierten nur Terpene, Ketone und Aldehyde, der eine Naturlack dazu noch größere Mengen Ethanol. Die Konzentrationen von Hexanal lagen etwa gleich hoch wie bei den NC-Lacken und damit deutlich höher als bei den anderen Lacktypen.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde auch die Emission von Isocyanaten aus Polyurethanlack untersucht. Die Luftproben wurden in unmittelbarer Nähe der lackierten Plattenoberflächen gezogen. Kurz nach der Lackierung (0-2 Tage) wurde HDI (Hexan-1,6-diisocyanat) in einer Konzentration von 1800 ng/m³ gefunden, die im Verlauf von 2 Wochen auf nur noch 5 ng/m³ abklang. Die Konzentrationen des im Lack hauptsächlich enthaltenen Isocyanats (Biuret des HDI) und die eines weiteren Präpolymers (Isocyanurat des HDI) lagen auch schon unmittelbar nach der Lackierung unter der Nachweisgrenze von 1 ng/m³. Offenbar sind die Präpolymere wegen ihrer höheren Molmasse zu wenig flüchtig, um nachweisbare Konzentrationen in der Luft entstehen zu lassen.

6.6.3 Schlußfolgerungen

Am auffälligsten bei den Beschichtungsstoffen ist die große Vielfalt der zur Verwendung kommenden Lösemittel, insbesondere

Lacknummer	3	4	5	6	7	8
Lacktyp	NC	NC	PUR	PUR	UV-UP	UV-UP
Aromaten:						
Toluol	105	75	120	230	9	18
Ethylbenzol	17		63		3	9
m+p-Xylol	15	1	323		4	23
o-Xylol						
Styrol					1180	703
1,2,4-Trimethylbenzol		1		67		10
Terpene:						
a-Pinen						
b-Pinen						
a-Terpinen						
g-Terpinen						
Limonen						
Ester:						
Methylacetat	375				6510	
Ethylacetat	2020	161	475	171	11000	18
Isopropylacetat				480		
n-Butylacetat	22	290	1250	1980	42	54
i-Butylacetat	113	124		311	18	27
2-Butoxyethylacetat			188			
1-Methoxy-2-propylacetat	35	17	5360			
2-Methoxy-1-propylacetat			176			
Methylbenzoat						156
Ketone:						
Aceton	8,3	143		53,4	22,8	18,4
Methylethylketon			1580	9,9	4,3	11,3
4-Methyl-2-pentanon			837			
4-Heptanon						
Cyclohexanon						
Methylpyrrolidon						
Aldehyde:						
Formaldehyd	548	410	317	334	324	319
Acetaldehyd	19,9	7,6	13,1	4,7	25,7	9,6
Propanal						
Pentanal	3,2	2,7		2,6	1,7	6
Hexanal	49,3	24,3	7,6	2,7	6,7	4,6
Heptanal						
Octanal	1,9					
Nonanal	7	3,2		1,4	1,7	
Crotonaldehyd	9,5				8,9	
Benzaldehyd	5,9	2,7	9,7	1,8	8,5	13,2
Alkohole:						
Ethanol	2350	235		79	316	94
i-Propanol		618		54		
n-Butanol	161	51		64	33	21
i-Butanol	1230	162		112		27
Ethylidiglykol						

Tab. 6.5: Kammerluftkonzentrationen in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ am 20. Tag nach der Lackierung, 23 °C, Beladung $5 \text{ m}^2/\text{m}^3$, Luftwechsel 1 /h

Lacknummer	9	10	11	12	13	14
Lacktyp	UV-UA	UV-UA	WA	WA	Natur	Natur
Aromaten:						
Toluol	6	8	6	23		
Ethylbenzol			11			
m+p-Xylol	11		26	1		
o-Xylol						
Styrol						
1,2,4-Trimethylbenzol				1		
Terpene:						
a-Pinen					4100	160
b-Pinen					1200	400
a-Terpinen					50	40
g-Terpinen					5	5
Limonen					1000	4300
Ester:						
Methylacetat	75					
Ethylacetat	243	17	30	10		
Isopropylacetat						
n-Butylacetat	1050	1050	14	21		
i-Butylacetat	67	40				
2-Butoxyethylacetat			1300			
1-Methoxy-2-propylacetat			35			
2-Methoxy-1-propylacetat						
Methylbenzoat						
Ketone:						
Aceton	14,3	39,3	13	22	90,6	659
Methylethylketon			11		2,1	56,1
4-Methyl-2-pentanon	80,8	4,6				
4-Heptanon						15
Cyclohexanon	522					
Methylpyrrolidon				225		
Aldehyde:						
Formaldehyd	334	327	378	354	344	308
Acetaldehyd	6,8	4,5	6,2	10,2	49,5	98
Propanal					10,4	40,1
Pentanal			0,8	3,3	4,7	22,4
Hexanal	4,3	3,9	12,4	21,8	29,7	58,4
Heptanal						13
Octanal			0,6		9	23,9
Nonanal		1,4	3,9	6,4	3,7	9,8
Crotonaldehyd	6,4					
Benzaldehyd	126	45,3	4,8	2,3	3,8	5,1
Alkohole:						
Ethanol		74		49	5940	
i-Propanol						
n-Butanol	506	56	462	10		
i-Butanol	58		58	14		
Ethylidiglykol				3030		

Tab. 6.6: Kammerluftkonzentrationen in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ am 20. Tag nach der Lackierung, 23 °C, Beladung $5 \text{ m}^2/\text{m}^3$, Luftwechsel 1 /h

solcher ohne MAK-Wert. Hier sollte entweder die Zahl der zu verwendenden Lösemittel drastisch eingeschränkt oder es müßten mehr toxikologische Daten zur Verfügung gestellt werden, so daß eine möglichst vollständige gesundheitliche Beurteilung vorgenommen werden kann.

Stoffe mit MAK-Wert wurden gründlich toxikologisch untersucht und beurteilt. Auch wenn sich aus MAK-Werten nur sehr bedingt oder gar nicht Wohnraumrichtwerte ableiten lassen, zeigt die Existenz eines MAK-Werts jedoch das Vorliegen ausreichender Kenntnisse über diesen Stoff an. Dem Prinzip folgend, daß im Falle unzureichender Kenntnisse stets der "worst case", der ungünstigste Fall, anzunehmen ist, sollten zumindest im Bereich der Lösemittel grundsätzlich keine Stoffe ohne MAK-Wert mehr eingesetzt werden. Natürlich sollte darauf geachtet werden, Stoffe mit großen MAK-Werten einzusetzen.

Bisher wurde meist so verfahren, daß bei Bekanntwerden von toxischen Wirkungen eines Stoffes auf einen neuen Stoff ausgewichen wurde, über den toxikologisch noch nichts oder noch zu wenig bekannt war. Häufig mußten dann diese "Ersatzstoffe" später selbst wieder ersetzt werden.

Auch Lösemittel, die nicht als Gemische, sondern als Einzelstoffe bezeichnet werden, sind meist "technische" Produkte, deren Reinheit für ihren Anwendungszweck ausreichend ist, die aber häufig herstellungsbedingte Beimengungen (z. B. Isobutanol und Butylacetat in Isobutylacetat) haben, wenn es sich nicht sogar um Isomere gemische (z. B. 1-Methoxy-2-propylacetat und 2-Methoxy-1-propylacetat) handelt. Für die Beimengungen sollten toxikologische Daten in gleicher Qualität wie für den Hauptbestandteil vorliegen. Entsprechendes sollte auch für die Einzelkomponenten von Gemischen gelten.

Die Tendenz, neben den wasserverdünnbaren, lösemittelarmen Dispersionsfarben vermehrt auch wasserverdünnbare, lösemittelarme Lacke einzusetzen, ist grundsätzlich als positiv anzusehen. Allerdings sollte die Problematik der in wasserverdünnbaren, lösemittelarmen Farben und Lacken offenbar erforderlichen Glykolether bzw. -ester und anderer Additive nicht unterschätzt werden [Wahlberg 1992].

Die späteren Emissionen hängen nicht nur von der Rezeptur der Beschichtungsstoffe, sondern auch von der Durchführung der Arbeiten ab. Daher sollte bei Beschichtungsarbeiten folgendes beachtet werden:

Bei industriellen Beschichtungen sollte die Trocknung bzw. Härtung über den stapelfähigen Zustand hinaus fortgesetzt werden, auch wenn dies höheren Energie- und Zeitaufwand erfordert. Bei der Verarbeitung auf der Baustelle sollte eine möglichst gründliche Trocknung bei hohem Luftwechsel ermöglicht werden. In beiden Fällen gilt diese Empfehlung ganz besonders auch für die unteren Schichten bei Mehrfachbeschichtungen.

7. Diskussion und Ausblick

7.1 Ansätze

Bei der Bearbeitung des Forschungsvorhabens traten erhebliche Schwierigkeiten auf, die in dieser Intensität vor dem Beginn nicht zu erkennen waren. Zum einen wechselte nach einer Laufzeit von einem Jahr der Bearbeiter, was eine erhebliche Diskontinuität verursachte. Dies wurde noch verstärkt dadurch, daß dem ersten Bearbeiter Zweifel an der zunächst vorgenommenen Bearbeitungsweise gekommen waren und er bei der Übergabe des Projektes für einen ganz anderen Arbeitsansatz plädierte.

Zum anderen bestand gegenüber den Ergebnissen des Vorhabens eine große Erwartungshaltung, die in keinem Verhältnis dazu stand, was sich als tatsächlich möglich erwiesen hat. Auch die selbstgestellten Ansprüche waren ursprünglich sehr hoch. Die Projektbeschreibung im Projektantrag mußte den Eindruck einer weitgehenden oder sogar vollständigen Lösung des Problems der Innenraumluft-Schadstoffe erwecken - jedenfalls soweit diese ihren Ursprung in Baustoffen haben und man von den anderen Schadstoffquellen im Innenraum wie Möbeln und Haushaltschemikalien absieht - bis hin zum Vorschlagen von Orientierungswerten für die Innenraumluft. An diesen Aufgaben arbeitet aber seit Jahren eine Vielzahl von Wissenschaftlern, ohne daß eine endgültige Lösung in Sicht wäre.

Die Innenraumlufthygiene-Kommission des BGA (IRK) erwartete detaillierte Rezepturen und Stofflisten, und das Institut für Bautechnik wünschte sich eine Art "Rote Liste" von im Innenraum unerwünschten Substanzen, die als Entscheidungshilfe bei der Zulassung neuer Baustoffe benutzt werden könnte.

Es bestand der Wunsch und die Hoffnung, über die Stofflisten Schadstoffe identifizieren zu können, die noch nicht in die

breite Diskussion geraten sind. Damit sollte ermöglicht werden, auf mögliche Schadstoffe rechtzeitig zu reagieren, bevor sie in großem Umfang verbreitet worden sind, statt wie bisher meist auf eingetretene Schadensfälle mit der Diskussion von Sanierungsvorschlägen zu antworten (Asbest, Formaldehyd, PCP, PCB). Die Baustoffgliederung wurde in der Hoffnung aufgestellt, eine systematische Bearbeitung aller Baustoffe mit diesem Ziel durchführen zu können.

Bei der Durchführung zeigte sich aber die Schwierigkeit, brauchbares Datenmaterial zu erhalten. Dies führte dazu, daß die systematisch vollständige Bearbeitung verlassen werden mußte und Schwerpunkte gesetzt wurden. Diese Schwerpunkte wurden aber nach den bisher vorliegenden Erkenntnissen und Einschätzungen gesetzt, wodurch die Möglichkeiten, "neue" Schadstoffe zu identifizieren, sehr gering wurden.

Für die Bearbeitung des Themas wurden drei grundsätzliche Ansätze gesehen:

- 1) Sammeln von Rezepturen, Erstellen von Stofflisten - der sogenannte produktorientierte Ansatz
- 2) eine Literaturstudie über gemessene Emissionen und Emissionsraten
- 3) Fallstudien, Arbeitsmedizin - der sogenannte symptomorientierte Ansatz

Der erste Weg - das Sammeln von Rezepturen - wurde vor allem von der IRK als der wichtigste angesehen. Es bestanden aber hier folgende Probleme, die zum Teil schon dargelegt wurden:

- Für die konsequente Durchführung des produktorientierten Ansatzes wäre ein riesiger Arbeitsaufwand erforderlich, da es nicht nur in der Regel für jeden Baustoff mehrere Hersteller gibt, sondern auch jeder Hersteller mehrere ähnliche Produkte anbietet. Am Beispiel von Nivellier- und Ausgleichsmassen einerseits und von Grundierungen und Vergütungen andererseits wurde gezeigt, daß es für praktisch den gleichen Anwendungszweck schon von einem Hersteller eine Vielzahl von Produkten mit geringfügig voneinander abweichenden Gebrauchseigenschaften gibt.
- Die Beschaffung geeigneter Rezepturen stößt auf große Probleme, da für eine sinnvolle Weiterbearbeitung eine Auf-

schlüsselung bis auf chemische Einzelstoffe erforderlich ist, in die auch Nebenbestandteile und Verunreinigungen mit eingeschlossen sind. Derartige Daten sind von den Herstellern aber praktisch nicht erhältlich. Hierauf wird unten noch weiter eingegangen.

- Weiterhin müßte aus Rezepturangaben auf die Raumluftkonzentrationen geschlossen werden ("Dosis venenum facit"). Dies ist sowohl qualitativ als auch quantitativ sehr problematisch. Qualitativ können nur die Stoffe erfaßt werden, die auch tatsächlich in den Rezepturen stehen. Zur quantitativen Abschätzung wurden in Kap.3 einige Gedanken geäußert, allerdings ist die praktische Umsetzbarkeit fraglich.
- Eine Bewertung ist häufig nicht möglich, da toxikologische Daten nicht ausreichend vorhanden sind (vgl. Kap. 7.4). Der Weg über Rezepturen ist nur für solche Stoffe gangbar, die bereits als problematisch erkannt und bearbeitet worden sind. Die naheliegende Idee eines Screenings auf möglicherweise bedenkliche, aber noch nicht diskutierte Stoffe bleibt wegen Mangels an Daten erfolglos. Die Anlage des Forschungsvorhabens "Erfassung und Bewertung von Schadstoffen in der Raumluft" [Fischer, Böhm 1992], das sich vorwiegend mit Möbeln und Möbelwerkstoffen beschäftigte, war hier wegweisend, da hier - ausgehend von Rezepturen - Stofflisten und Analysendaten erhalten wurden und dann dazu auch toxikologische Untersuchungen durchgeführt werden sollten.

Zusammenfassend muß festgestellt werden, daß die Kette "Baustoffe - Rezepturen - Inhaltsstoffe - weitere Inhaltsstoffe (Nebenprodukte, Verunreinigungen, Reaktionsprodukte) - Emissionsverhalten - Toxikologie - Regelungen" mehrfach und an entscheidenden Stellen unterbrochen und lückenhaft ist.

Der zweite Weg, eine Literaturstudie über gemessene Emissionen und Emissionsraten, wurde zwischenzeitlich vom Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI) in Braunschweig beschritten und abgeschlossen [Schriever, Marutzky 1991]. Es ergaben sich großenteils unspezifische Emissionen, das Ergebnis wirkt unbefriedigend, obwohl ein recht breiter Rahmen abgesteckt wurde, der Analysemethoden, Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, Normen und Hinweise auf weiteren Forschungsbedarf einschließt.

Zur Bearbeitung des dritten, des symptomorientierten Ansatzes wurde eine Literaturrecherche auf Baustoff-Emissionen, die sich im Bereich der Arbeitsmedizin als schädlich erwiesen haben,

durchgeführt. Eine Recherche mit den Suchbegriffen "Baustoff", "Baumaterial", "building material", "construction material" in logischer "und"-Verknüpfung mit einem Suchprofil toxikologischer Termini in den Datenbanken

SOMED,
EMBASE PLUS,
MEDLINE,
SCISEARCH,
FORIS,
SOLIS und
TOXALL

ergaben nach Entfernung von Mehrfachnennungen ca. 200 Zitate. Die daraus gewonnenen "Hinweise" auf kritische Schadstoffemissionen betrafen allerdings im wesentlichen Asbest, Radon und Formaldehyd, also genau die Schadstoffe, die auch in der letzten Zeit am intensivsten diskutiert worden sind.

Asbest wie auch Pentachlorphenol (PCP) und polychlorierte Biphenyle (PCB) wurden bewußt nicht bearbeitet, da hier inzwischen entsprechende Regelungen vorliegen, so daß diese Stoffe nicht mehr verwendet werden und daher ausschließlich noch als Altlasten auftreten.

In Fallstudien kann oft keine sichere Kausalität zwischen den einer bestimmten Quelle und den Raumluftkonzentrationen einerseits und den Raumluftkonzentrationen und den Gesundheitsbeeinträchtigungen andererseits festgestellt werden (z. B. Seifert, Ullrich [1987]), da hierfür auch statistische Aussagen erforderlich wären.

Letztlich wurden zur Erstellung des vorliegenden Berichts mehrere andere Berichte und eine Reihe entsprechender Veröffentlichungen ausgewertet. Dabei konnte naturgemäß nur Material über bereits bekannte und diskutierte Emissionen verwendet werden.

7.2 Klassifizierung von Emissionen

Emissionen aus Baustoffen können in mehrfacher Hinsicht klassifiziert werden:

- nach ihrer Zuordnung zum Quellenmaterial als spezifisch/unspezifisch bzw. typisch/untypisch

- nach ihrer Herkunft im Quellenmaterial:
 - Rezepturbestandteile (z. B. Holzschutzmittelwirkstoffe, Weichmacher)
 - Verunreinigungen (Restmonomere in Kunststoffen, Lösemittelreste von der Herstellung)
 - Abbauprodukte (Formaldehyd in Harnstoffharz, Hexanal aus Alkydharzen)
 - Adsorbate (Sekundärquelle)

Eine Mittelstellung nehmen Lösemittel in Beschichtungsstoffen ein, die im Beschichtungsstoff Rezepturbestandteil, in der fertigen Beschichtung Verunreinigungen sind.

Eine "spezifische" Emission ermöglicht den Schluß vom Emissionsmuster auf das Quellenmaterial, sie kommt nur aus einem oder aus wenigen Materialien und ist für das Material charakteristisch. Gute Beispiele dafür sind Vinylchlorid aus PVC oder 4-Phenylcyclohexen aus Butadien-Styrol-Latex (Teppichböden).

Leider zeigt es sich, daß spezifische Emissionen eher selten sind. Daher rühren auch die Schwierigkeiten, für festgestellte Raumluftverunreinigungen die Quellen ausfindig zu machen. Toluol wird von unzähligen Materialien emittiert und kann zwar für ein einzelnes Material typisch sein, ist aber unspezifisch. Adsorbate, durch die ein Material zur Sekundärquelle werden kann, sind immer unspezifisch. Überhaupt sind die meisten Emissionen im Bereich der VOCs Lösemittel, von denen Reste aus der Herstellung im Material zurückgeblieben sind.

"Typische" Emissionen lassen sich aus der Kenntnis des Produkts heraus erschließen. Sie erfolgen regelmäßig aus einem bestimmten Material, z. B. Formaldehyd aus mit Formaldehyd-Harnstoffharz verleimten Spanplatten. Typische Emissionen können, müssen aber nicht spezifisch sein.

Unspezifische Emissionen sollten minimiert werden. Dies ist zu erreichen durch strikte Einsparung von Lösemitteln bei der Herstellung von Baustoffen bzw. ihre möglichst vollständige Entfernung aus dem fertigen Produkt. Dazu gehört auch die Intensivierung der Trocknung bei industriellen Lackierungen.

Die Ausgasung von Rezepturbestandteilen kann nicht verhindert werden. Man könnte höchstens versuchen, durch eine Beschichtung den Diffusionswiderstand an der Oberfläche zu vergrößern und damit die Emissionsrate zu senken. Sonst bleibt nur, den fraglichen Stoff durch einen weniger flüchtigen bzw. weniger toxischen zu ersetzen.

Ausgasende Verunreinigungen sollten aus dem Baustoff entfernt oder - wenn möglich - von vornherein vermieden werden. Abbauprodukte lassen sich wie die Verunreinigungen nicht ohne Zusatzinformationen aus der Rezeptur erschließen. Die Emissionsraten können durch Beschichtungen gesenkt werden, wie es bei Spanplatten praktiziert wird (E2-Platten werden durch Beschichtungen zu E1-Platten). Zum Teil werden den Produkten Antioxidantien zugefügt (z. B. BHT "Butylhydroxytoluol" 2,6-Di-tert-butyl-4-methylphenol). Vor dem Einbringen weiterer Chemikalien sollte geprüft werden, ob der Stoff, an dem der Abbau erfolgt, nicht ersetzt werden kann.

Im Falle unspezifischer Emissionen von Materialien mit großen Oberflächen, z. B. Mineralfasermatten, kann der Baustoff auch durch Adsorption eine Sekundärquelle geworden sein. Im Bereich der industriellen Produktion sollte eine Adsorption von Fremdstoffen vermieden werden. So sollte die Adsorption von 4-Phenylcyclohexen, das bei der Erwärmung aus Butadien-Styrol-Latex freigesetzt wird, an den Polfasern des Teppichbodens verhindert werden [Schröder 1991].

Im fertig eingerichteten Gebäude ist die Adsorption ein gängiger Vorgang. Teppichböden, die einige Wochen ausgelegt waren, emittierten etliche Stoffe, die im Neuzustand nicht festzustellen waren, darunter auch Formaldehyd [Schröder 1991]. In PCB-belasteten Gebäuden kommt es regelmäßig durch Adsorption zur Bildung von Sekundärquellen. Dadurch wird die Sanierung sehr aufwendig, da nicht nur die Primärquellen entfernt, sondern auch die Sekundärquellen entfernt oder wenigstens versiegelt werden müssen.

7.3 Beschaffung von Rezepturen

Für die Zielsetzung eines Screenings auf bisher nicht diskutierte Emissionen wäre das Sammeln von Rezepturen und das Zusammenstellen von Stofflisten erforderlich gewesen. Hierfür waren allerdings kaum brauchbare Daten zu bekommen.

In entsprechender Literatur finden sich lediglich sehr allgemeine Angaben, die nur selten chemische Einzelstoffe erkennen lassen [z. B. Rose, Kur 1986]. Von den Herstellern waren praktisch keine ausreichend detaillierten Informationen über Inhaltsstoffe zu erhalten. Dies hat im wesentlichen folgende Gründe:

- Es steht weniger die Befürchtung im Vordergrund, eine technisch bewährte Rezeptur müßte wegen gesundheitlicher Bedenken neu konzipiert werden, als vielmehr die Sorge, andere Firmen könnten mit Hilfe dieser Informationen ein gleichwertiges Produkt billiger herstellen und vertreiben. Dies gilt auch und besonders für die Hersteller von Vorprodukten, so daß der Hersteller eines Endprodukts meist selbst nicht weiß, was genau in den Vorprodukten und damit auch in seinem eigenen Endprodukt tatsächlich enthalten ist.
- Rezepturen werden teilweise bewußt unscharf gehalten, damit innerhalb der Rezeptur ein Spielraum für Veränderungen bleibt. Feste Rezepturen werden als hinderlich für schnelle Reaktionen auf Veränderungen der Marktlage empfunden.
- Viele der emittierten Stoffe sind offenbar Reaktions- oder Zersetzungsprodukte. Solche Stoffe werden in der Regel nicht in Rezepturen zu finden sein.
- Selbst Rezepturen, die unter strenger Vertraulichkeit stehen, sind unergiebig, weil Verunreinigungen und chemische Nebenprodukte nicht aufgeführt werden.
- In Einzelfällen, wenn ein konkretes Problem bei einem bestimmten Produkt besteht, wird es in der Regel möglich sein, Informationen erhalten. Werden dagegen Informationen über die gesamte Produktpalette eines Herstellers erbeten, um diese auch noch in Form eines Berichtes veröffentlichen zu können, ist kein Entgegenkommen zu erwarten, zumal auch anonyme Rezepturen, also solche ohne Angabe des Herstellers, für Unternehmen der gleichen Branche durchaus nützlich sein können. Größere Resonanz ist nur zu erhalten, wenn auch ein Angebot gemacht werden kann, z. B. die Durchführung von Emissionsmessungen an den Produkten.

Der Mangel an konkreten Informationen ist derart groß, daß man bei der Kontaktaufnahme zwecks Informationsbeschaffung stets zuerst selbst nach Ergebnissen gefragt wird und meist mehr mitgeteilt werden muß, als dann in Erfahrung gebracht werden kann.

So hat der Bearbeiter an einem zweitägigen Seminar über ökologische Gesichtspunkte bei der Baustoffauswahl im Zentrum für Bau- und Erhaltungstechniken (ZEBET) teilgenommen, dessen Fazit es war, daß es keine zugänglichen Informationen über Inhaltsstoffe gibt. In dem Seminar stellte sich übrigens heraus, daß die Ansicht weit verbreitet ist, das BGA habe Kenntnis über

alle Inhaltsstoffe und man könne beim BGA diese Informationen erhalten.

Tatsächlich gibt es beim BGA eine Arbeitsgruppe zur Bearbeitung der Anmeldungen nach dem Chemikaliengesetz (ChemG). Die dort vorliegenden Daten, mit deren Hilfe die Vergiftungszentralen informiert und beraten werden sollen, sind aber keineswegs BGA-öffentlich. Es wurde lediglich eine gewisse Bereitschaft geäußert, in Einzelfällen zu helfen, nicht aber in großem Umfang. Außerdem hätten die Informationen vertraulich bleiben müssen, da die Befürchtung bestand, daß die Weitergabe von Rezepturen als Argument für die spätere Verweigerung von Informationen seitens der Industrie dienen könnte. Dies mußte respektiert werden.

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens über Heimwerkerlacke und -farben wurde unter Beteiligung des Industrieverbands "Lacke und Farben" ein Fragebogen über Rezepturen und Inhaltsstoffe entworfen und an Hersteller verschickt. Trotz der Abstimmung mit dem Industrieverband kam praktisch kein Rücklauf [Sonneborn 1992].

Bei der Arbeitsgemeinschaft der Bau-Berufsgenossenschaften wurde ein sogenanntes Gefahrstoff-Informationssystem erstellt ("GISBAU": Gefahrstoff-Informationssystem der Bau-Berufsgenossenschaften). Dies enthält in Form einer Datenbank für Personal-Computer Informationen aus den Sicherheitsdatenblättern von Bauprodukten. Für einzelne Produkte können diese Informationen auf dem Bildschirm dargestellt und auch ausgedruckt werden. Damit werden z. B. Handwerksbetriebe in die Lage versetzt, unter den Gesichtspunkten der Gefahren bei der Verarbeitung und den Problemen der Entsorgung zwischen verschiedenen Produkten auszuwählen und die ausgedruckten Sicherheitshinweise den verarbeitenden Mitarbeitern mitzugeben. Exakte, vollständig aufgeschlüsselte Rezepturen fehlen aber ebenso wie Hinweise auf Gesundheitsgefahren für die Bewohner und Nutzer der Räume, in denen die Produkte verarbeitet worden sind. Nach Auskunft eines Mitarbeiters würden solche Informationen auch an die Arbeitsgemeinschaft der Bau-Berufsgenossenschaften von den Herstellern nicht herausgegeben.

Als Resonanz auf die Probleme, genaue und vollständige Informationen über Rezepturen und Inhaltsstoffe zu erhalten, wurde von der Innenraumlufthygiene-Kommission des BGA eine Empfehlung an die Hersteller ausgearbeitet, ihre Rezepturen offenzulegen und toxikologische Daten über die Inhaltsstoffe bereitzuhalten.

Diese Empfehlung wurde inzwischen im Namen des Bundesgesundheitsamtes, der Bundesanstalt für Arbeitsmedizin, der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und des Umweltbundesamtes veröffentlicht [Bundesgesundhbl. 2/1993 (1993), 76] und ist im Anhang D wiedergegeben. Es bleibt allerdings abzuwarten, welche Wirkung dieser Aufruf zeigen wird.

Bei kritischer Betrachtung reicht diese Empfehlung jedoch noch nicht aus! Der Verbraucherschutz gebietet eine Transparenz der Inhaltsstoffe und möglichen Emissionen in einem Maße, das mit den traditionsgemäß von der Industrie behaupteten Rechten auf Schutz ihrer Produktionsgeheimnisse unvereinbar ist. Fortschritte in der Absenkung der Emissionen von Baustoffen werden nur zu erreichen sein, wenn die Industrie hier ihre Einstellung grundsätzlich ändert.

7.4 Toxikologische Bewertung

Bewertung besteht aus der Ermittlung der Belastung (Dosis) und dem Vergleich mit einer (bekannten!) Dosis-Wirkung-Beziehung. Bereits die Ermittlung der Belastung ist in vielen Bereichen nicht möglich gewesen, da entsprechende Daten fehlen. Im Bereich der Dosis-Wirkung-Beziehungen besteht für den Innenraum das zusätzliche Problem der Wechselwirkungen, d. h. die Möglichkeit überadditiver Wirkungsverstärkungen mehrerer Wirkstoffe, da im Innenraum eine Vielzahl von Einzelstoffen nebeneinander vorkommt [z. B. Krause u. a. 1987]. In der toxikologischen Bewertung im Bereich der Arbeitsmedizin (MAK-Werte) müssen Wechselwirkungen nicht berücksichtigt werden, da die Belastung am Arbeitsplatz in der Regel nur durch einen einzigen Schadstoff erfolgt. In der Diskussion über Richtwerte für die Innenraumluft werden neuerdings eher Summenwerte (z. B. TVOC "Total Volatile Organic Compounds", Summe aller flüchtigen organischen Verbindungen) anstelle von Werten für Einzelsubstanzen erwogen, weil dadurch erstens der Meßaufwand verringert wird und zweitens das Problem unbekannter Dosis-Wirkung-Beziehungen und Wechselwirkungen nicht gelöst, aber handhabbar gemacht wird. Die Anzahl der im Innenraum vorkommenden Substanzen ist so groß, daß systematische Informationen über Wirkungen, aber auch über Wechselwirkungen nicht zu erhalten sind. Andererseits liegt hier auch der Ansatzpunkt zur Kritik, denn alle Substanzen werden so - ungeachtet ihres toxischen Potentials und ihrer Wechselwirkungen - gleich bewertet. Zur Zeit ist als Richtwert ein Summenwert von $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für alle flüchtigen organischen Verbindungen in der Diskussion.

In einigen Fällen wurden MAK-Werte als fundierte toxikologische Bewertung auch auf den Innenraum übertragen. Die für

- größere Aufenthaltsdauer und fehlende Erholungsphasen,
- anderes Kollektiv (Kinder, Greise, Kranke) und
- Belastung mit Stoffgemischen

angesetzten Abschlagsfaktoren lagen zwischen 20 und 1000.

Viele der beim BGA eingehenden Beschwerden lassen sich auf Anwendungs- bzw. Verarbeitungsfehler zurückführen, d. h., es wird ein im speziellen Fall ungeeignetes Produkt angewendet (z. B. formaldehydharzhaltige Versiegelungen auf Belägen von kühlen und feuchten Kellerfußböden) bzw. das Produkt wird fehlerhaft verarbeitet (z. B. ungenügendes Ablüften von lösemittelhaltigen Teppichklebern). Produkte, die regelmäßig auch bei korrekter Anwendung und Verarbeitung zu Beanstandungen führen, dürften sehr rasch wieder vom Markt verschwinden.

Erfahrungsgemäß schützen selbst ausführliche Anweisungen oder auffällige Warnungen auf den Gebinden nicht vor fehlerhaften Anwendungen, sowohl im gewerblichen als auch im Heimwerkerbereich.

In einer Studie der U.S. National Academy of Science aus den Jahren 1980 bis 1984 wurde der Versuch unternommen, eine Bewertung gesundheitsgefährdender Effekte von Umweltchemikalien anhand von Literaturdaten vorzunehmen [Upton 1986]. Zu diesem Zweck wurden aus einer Gesamtzahl von 53.500 Chemikalien aus 7 verschiedenen Anwendungsbereichen 100 Stoffe proportional zu ihrem Marktanteil ausgewählt.

Für diese 100 Stoffe wurden daraufhin exemplarisch sämtliche verfügbaren toxikologischen Informationen aus Veröffentlichungen, Literatur- und Faktendatenbanken, Anfragen bei Firmen und Behörden etc. so vollständig wie möglich ermittelt und hinsichtlich Art, Menge und Qualität der Daten kritisch bewertet. Ziel dieser Studie war es, zu überprüfen, inwieweit diese so gewonnenen Informationen eine Risikobewertung erlauben. In Abb. 7.1 ist das Ergebnis dieser Studie dargestellt. Wie daraus hervorgeht, ist nur für einen sehr kleinen Anteil der betrachteten Stoffe eine komplette Abschätzung einer möglichen gesundheitlichen Gefährdung möglich.

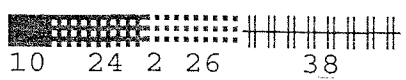
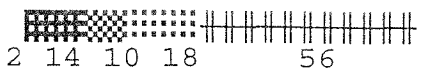
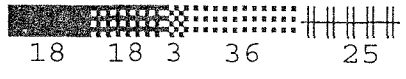
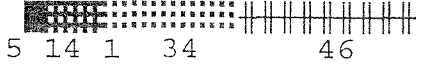
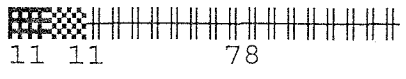
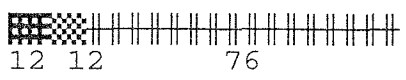
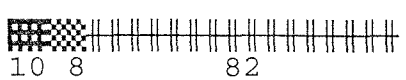

Anwendungsbereich	Anzahl der Stoffe	Angaben zur Möglichkeit der Risikobewertung in %		
Pestizide	3350	 10 24 2 26 38		
Kosmetik-Inhaltsstoffe	3410	 2 14 10 18 56		
Arzneimittel	1815	 18 18 3 36 25		
Nahrungsmittelzusätze	8627	 5 14 1 34 46		
Industriechemikalien: Produktionsmenge > 500 t/Jahr	12860	 11 11 78		
Industriechemikalien: Produktionsmenge < 500 t/Jahr	13911	 12 12 76		
Industriechemikalien: Produktionsmenge gering oder unbekannt	21752	 10 8 82		
				
vollständige Bewertung gesundheit- licher Risiken möglich	teilweise Bewertung gesundheit- licher Risiken möglich	einige toxikolo- gische Informa- tionen vorhanden	kaum toxikolo- gische Informa- tionen vorhanden	keine toxikolo- gische Informa- tionen vorhanden

Abb. 7.1: Vollständigkeit toxikologischer Informationen [Upton 1986]

7.5 Vergleich zwischen Baustoffemissionen und Feldmessungen

Tab. 7.1 zeigt eine Liste von Emissionen von Bauprodukten und ihre nachgewiesenen bzw. möglichen Quellen nach Tucker [1988]. Tab. 7.2 zeigt dagegen eine Liste der bei einer Meßreihe an 500 Haushalten vorwiegend gefundenen und quantitativ bestimmten Stoffe. Obwohl sehr viele der genannten Stoffe in beiden Listen aufgeführt sind, liegt doch das Schwergewicht deutlich anders. Z. T. läßt sich dies mit meßtechnischen Problemen erklären. So sind Formaldehyd, Dichlormethan, Essigsäure, Diethylamin und

Dibutylphthalat aus jeweils speziellen Gründen mit der verwendeten Analysenmethode nicht analysierbar. Formaldehyd wurde übrigens parallel mit einer anderen Methode bestimmt.

Es zeigt sich, daß das Spektrum der von Bauprodukten emittierten Stoffe überwiegend im Bereich der polaren Stoffe wie Alkohole, Ketone, Ester, Aldehyde liegt, während die Hauptverunreinigungen der Innenraumluft mehr im Bereich der unpolaren Stoffe wie Alkane, Isoalkane und Cycloalkane liegen.

Eine weitere Diskrepanz zwischen den beiden Listen entsteht noch durch Benzol. Benzol, das als eindeutig beim Menschen krebserzeugend eingestuft ist (MAK III A1), wird schon seit Jahren in Deutschland nicht mehr als Lösemittel eingesetzt,

Innenluftschadstoffe und ihre Quellen

(Eingeklammerte Quellen sind potentielle Quellen)

Formaldehyd	Dekorationsstoffe, Sperrholz, Spanplatten, Teppich, Holzverkleidung, Harnstoff-Formaldehyd-Schaum, Fußbodenbelag, Tapeten, Dichtungsmassen, Fußbodenversiegelungen, Klebstoffe, Faserplatten, Linoleum, Gipsplatten
Dichlormethan	Abbeizer
Tetrachlormethan	Entfettungsmittel
Trichlorethen	(Lösemittel für Farben und Lacke)
Essigsäure	(Gummi, Harze, Dichtmassen)
Ethanol	Faserplatten (Lösemittel)
Propanol	Spanplatten (Gummi, Schellack)
Aceton	Lösemittel für Lacke
Ethylacetat	Linoleum (Lösemittel für Farben und Lacke)
Diethylamin	(Harze, Farben, Gummi)
n-Butylacetat, i-Butylacetat	Lacke
n-Butanol, i-Butanol	Linoleum, Lacke
2-Butanon	Fußboden/Wandbedeckung, Faserplatten, Dichtungsmassen, Spanplatten (synthetische Harze)
2-Ethoxyethanol	Farben, Lacke
Propylacetat	(Kunststoffe)
n-Hexan	Spanplatten, Gipsplatten, Isolierschaum, Fußbodenbelag, Tapeten

Tab. 7.1 (1...Teil): Emissionen von Bauprodukten [nach Tucker 1988]

Innenluftschadstoffe und ihre Quellen (Fortsetzung)

(Eingeklammerte Quellen sind potentielle Quellen)

Cyclohexan	(Lacke, Harze, Anstrichentferner)
Hexanal	Polyurethan-Holzlack
3-Methyl-2-pentanon	Fußbodenbelag
2-Methylpentan	Spanplatten, Gipsplatten, Isolierschaum, Fußbodenbelag, Tapeten
Benzol	Klebstoffe, Anstrichentferner, Spanplatten
Chlorbenzol	(Lösemittel für Farben)
2-Ethoxyethylacetat	Lacke, Farben
Toluol	Klebstoffe, Umleimer, Tapeten, Fußbodenbelag, Vinyltapeten, Dichtmassen, Farben, Spanplatten, Linoleum
Heptan	Fußbodenbelag, Fußbodenversiegelung
Benzaldehyd	Faserplatten, Spanplatten
Ethylbenzol	Fußboden/Wandbedeckung, Isolierschaum, Spanplatten, Dichtungsmassen, Faserplatten, Klebstoffe, Fußbodenlack, Entfettungsmittel
Styrol	Isolierschaum, Faserplatten
Xylol (alle Isomere)	Klebstoffe, Tapeten, Dichtungsmassen, Fußbodenbelag, Fußbodenlack, Entfettungsmittel
Nonan	Tapeten, Dichtungsmassen, Fußbodenbelag, Klebstoffe, Fußbodenversiegelung
Chinolin	(Farbstoffe, Harze)
Isochinolin	(Farbstoffe, Gummi)
1,2,3-Trimethylbenzol	Fußboden/Wandbedeckung
1,2,4-Trimethylbenzol	Fußboden/Wandbedeckung, Linoleum, Dichtungsmassen, Vinyltapeten, Fußbodenversiegelung, Spanplatten
1,3,5-Trimethylbenzol	Dichtungsmassen, Fußboden/Wandbedeckung
Propylbenzol	Klebstoffe, Fußboden/Wandbedeckung, Spanplatten, Farben, Dichtungsmassen, Isolierschaum
Butylbenzol	(Lösemittel)
Limonen	Farben, Klebstoffe, Spanplatten
a-Pinen	Faserplatten, Gipsplatten, Klebstoffe, Spanplatten
Undecan	Tapeten, Gipsplatten, Fußboden/Wandbedeckung, Spanplatten, Fußbodenversiegelung, Farben, Anstrichentferner
Dodecan	Fußbodenversiegelung, Fußboden/Wandbedeckung
Phenylcyclohexen	Teppichboden
Dibutylphthalat	Kunststoffe

Tab. 7.1 (2. Teil): Emissionen von Bauprodukten [nach Tucker 1988]

Flüchtige organische Verbindungen im Umwelt-Survey

n-Alkane:

n-Hexan
n-Heptan
n-Octan
n-Nonan
n-Dekan
n-Undekan
n-Dodekan
n-Tridekan

i-Alkane (C6-C9)

Isohexane
Isoheptane
Isooctane
Isononane

Cycloalkane/Alkene:

Methylcyclopentan
Cyclohexan
Methylcyclohexan

Aromaten:

Benzol
Toluol
Ethylbenzol
m+p-Xylol
o-Xylol
Iso- und n-Propylbenzol
Styrol
1-Ethyl-2-methylbenzol
1-Ethyl-(3+4)-methylbenzol
1,2,3-Trimethylbenzol
1,2,4-Trimethylbenzol
1,3,5-Trimethylbenzol
Naphthalin

Chlorierte KW:

1,1,1-Trichlorethan
Trichlorethen
Tetrachlorethen
1,4-Dichlorbenzol

Terpene:

Alpha-Pinen
Beta-Pinen
Alpha-Terpinen
Limonen

Carbonylverbindungen:

Ethylacetat
n-Butylacetat
i-Butylacetat
Methylethylketon
4-Methyl-2-pentanon
Hexanal

Alkohole:

n-Butanol
i-Butanol
i-Amylalkohol
2-Ethylhexanol

Tab. 7.2: Stoffe, die im Rahmen des Umwelt-Surveys in einem Meßprogramm in 500 bundesdeutschen Haushalten im Jahre 1986 vorrangig gefunden und quantitativ bestimmt wurden [Krause u. a. 1987]

zumal es relativ problemlos durch das weit weniger bedenkliche Toluol substituiert werden kann. Benzol müßte daher - zumindest

was den deutschen Raum betrifft - nicht mehr auf einer Liste möglicher Emissionen stehen.

Tatsächlich wird aber Benzol im Innenraum gefunden. Nach einem einfachen Bewertungsschema von Fischer, das eine Relativbewertung, also die Erstellung einer Rangliste von emittierenden Produkten oder von emittierten Stoffen ermöglichen soll *), sind Benzol und Formaldehyd zusammen die mit Abstand bedenklichsten Substanzen im Innenraum. Ca. 95 % des Gesamtemissionsindex der Innenraumluft sind auf Formaldehyd zurückzuführen, knapp 3 % auf Benzol. Den verbleibenden Rest von 1-3 % teilen sich alle anderen gefundenen Stoffe [Fischer, Böhm 1992 mit Werten von Krause u. a. 1987].

Das im Wohnraum gefundene Benzol stammt wahrscheinlich größtenteils aus Motorenbenzin, teils direkt aus abgestellten Fahrzeugen z. B. in Tiefgaragen, teils indirekt durch Gegenstände wie Lappen oder Decken, die abwechselnd im Fahrzeug und in der Wohnung aufbewahrt werden.

Die Diskrepanz zwischen der Liste der Baustoffemissionen und der Liste der Innenraumluftschadstoffe ist offenbar nur dadurch zu erklären, daß Baustoffe - abgesehen von Formaldehyd-Emissionen - nicht zu den Hauptschadstoffquellen für die Innenraumluft zählen, wenngleich auch immer wieder Geruchsbelästigungen von Wand- und Bodenbelägen moniert werden.

7.6 Ausblick - zweckmäßiges Vorgehen zur Weiterbearbeitung des Baustoffthemas

Der entscheidende Punkt ist, daß zukünftig zusammen mit einer Produktrecherche Emissionsmessungen durchgeführt werden sollten, da dadurch einige der aufgetretenen Schwierigkeiten überwunden werden können:

*) Der Emissionsindex eines Einzelstoffs ist das 1000-fache des Quotienten aus gemessener Konzentration und MAK-Wert bzw. eines anderen toxikologisch ähnlich gut begründeten Grenzwertes. Der Emissionsindex eines Produkts ist die Summe der Emissionsindices der emittierten Stoffe. Der Faktor 1000 hat dabei nur den Sinn, die Emissionsindices in den Bereich "normaler" Zahlen zu bringen [Fischer, Böhm 1992].

- 1) Es können Stoffe gefunden werden, die von der Rezeptur her nicht erwartet worden sind,
- 2) der Kontakt mit den Herstellern besteht nicht nur einseitig aus Informationswünschen, sondern es können den Herstellern im Gegenzug für das Überlassen von Rezepturen Emissionsdaten angeboten und dadurch deren Interesse an einer Mitarbeit verstärkt werden,
- 3) es kann mit den Herstellern in einen Dialog getreten werden zur Aufklärung der Herkunft unerwarteter Emissionen, und
- 4) Emissionsraten und Luftkonzentrationen können gemessen statt geschätzt werden.

In dieser Form könnten Baustoffe gruppenweise durchgearbeitet werden, wobei - bei entsprechender Zusammenarbeit - auch von den Herstellern Hinweise auf Verbindungen oder Verbindungsgruppen kommen könnten, die außerhalb des jeweiligen analytischen Spektrums liegen, so daß sich Messung und Recherche gegenseitig ergänzen. Ein derartiges Vorgehen war z. B. im sogenannten Möbelprojekt erfolgreich [Fischer, Böhm 1992], an dem sich drei Hersteller von Möbellacken beteiligt haben und Materialproben und Rezepturen zur Verfügung gestellt haben.

Da harte Reglementierungen und Grenzwerte leicht dazu verleiten, den gesetzten Spielraum auch auszunutzen, sollte eher das Problembewußtsein der Hersteller geweckt werden, und die Hersteller sollten dazu ermuntert werden, selbständig die Emissionen ihrer Produkte zu kontrollieren und zu minimieren. Dazu müssen allerdings die Meßmethoden zur Verfügung stehen, mit denen das Emissionsverhalten möglichst einfach und kostengünstig bestimmt werden kann, so daß die Hersteller solche Messungen entweder selbst durchführen oder z. B. von den Materialprüfungsämtern durchführen lassen können.

Im Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes ist es vorgesehen, ein Forschungsvorhaben durchzuführen, in dem Methoden zur Erfassung und Bewertung von Emissionen aus Baustoffen entwickelt und getestet werden. Diese Methoden können dann den Herstellern zur Überprüfung und Verbesserung ihrer Produkte an die Hand gegeben werden.

8. Literatur

Abschlußbericht der Ad-hoc-Kommission des Bundesgesundheitsamtes: "Holzschutzmittel (PCP) - Wohnräume" in "Aktuelle Fragen der Umwelthygiene", 52, 1981, Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Gustav Fischer Verl. Stuttg.

Becker, G.; Berghoff, W.

Die Fluorwasserstoff-Abgabe anorganischer Fluor-Verbindungen aus Holz

Holz Roh- Werkstoff 21 (1963), 346

BGA-Empfehlungen zur Reinigung von Gebäuden nach Bränden
Bundesgesundhbl. 1/1990, 32

Bundesgesundheitsamt

Bewertung der Luftqualität in Innenräumen

Bundesgesundhbl. 3/93 (1993), 117

Bundesministerium für Jugend, Familie und Gesundheit BMJFG
(Hrgs.)

Formaldehyd - Gemeinsamer Bericht des Bundesgesundheitsamtes, der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und des Umweltbundesamtes
Schriftenreihe des BmJFG, Band 148, Verlag W. Kohlhammer GmbH, Stuttgart, Berlin, Köln, Mainz 1984

Der Bundesminister des Innern

"Die Strahlenexposition von außen in der Bundesrepublik Deutschland durch natürliche radioaktive Stoffe im Freien und in Wohnungen", 1977

Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrgs.), Manuskript: Institut für Strahlenhygiene des Bundesamtes für Strahlenschutz "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung, Jahresbericht 1990"

Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG

Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen und Biologische Arbeitsstofftoleranzwerte 1989

VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim 1989

Deutscher Baukatalog 90

Architekten- und Bautechniker-Handbuch der Zeitschrift DETAIL
21. Ausgabe, Institut für internationale Architektur-Dokumentation, München 1990

Dube, R.; Sonneborn, M.

Lacke und Farben - Zusammensetzung und Verwendung im Heimwerkerbereich

Max-von-Pettenkofer-Heft 3/1986, Bundesgesundheitsamt, Berlin 1986

Exner, M.

Gelsenkirchen, persönliche Mitteilung 1992

Fischer, M.

Zur Kanzerogenität von Glas- und Mineralwollfasern

Bundesgesundhbl. 10 (1991), 456

Fischer, M.; Böhm, E.

Erfassung und Bewertung von Schadstoffen in der Raumluft - Abschlußbericht

Institut für Wasser-Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes, Berlin; Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, Karlsruhe 1992

Goldschmidt, A.; Hantschke, B.; Knappe, E.; Vock, G.-F.

Glasurit-Handbuch Lacke und Farben

11. Auflage, Curt R. Vincentz Verlag, Hannover 1984

Grandjean, E.

"Wohnphysiologie, Grundlagen gesunden Wohnens"

Verlag für Architektur Artemis, Zürich 1973

Härtlein, U.; Kruse, H.

Raumluftbelastung durch Wirkstoffe aus behandeltem Holz

Schriftenreihe der Untersuchungsstelle für Umwelttoxikologie des Landes Schleswig-Holstein, Heft 13, Kiel 1986

Hodgson, A. T.; Wooley, J. D.; Daisey, J. M.

"Emissions of volatile organic compounds from new carpets measured in a large-scale environmental chamber"

1992 zur Veröffentlichung eingereicht

IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans

Man-made Mineral Fibres and Radon

Vol. 43, Lyon 1988

- Ju, C.; Spengler, J. D.
Room-to-Room Variations in Concentration of Respirable Particles in Residences
Environmental Science & Technology, Vol.15, 5, (1981)
- Karsten
Lackrohstoff-Tabellen
8. Auflage, Curt R. Vincentz Verlag, Hannover 1987
- Knoblauch, H.
Baustoffkenntnis (begründet von W. Scholz)
10. Auflage, Werner Verlag, Düsseldorf 1984
- Krause, C.
Wirkstoffe von Holzschutzmitteln im häuslichen Bereich
in: Aurand, K., Seifert, B., Wegner, J. (Hrsg.)
Luftqualität in Innenräumen
Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1982
- Krause, C.; Englert, N.
Zur gesundheitlichen Bewertung pentachlorphenolhaltiger Holzschutzmittel in Wohnräumen
Holz als Roh- und Werkstoff 38 (1980), 429-432
- Krause, C.; Mailahn, W.; Nagel, R.; Schulz, C.; Seifert, B.; Ullrich, D.
Occurrence of volatile organic compounds in the air of 500 homes in the Federal Republic of Germany
Proc. 4th Int. Conf. Indoor Air Quality and Climate, Berlin 1987
- Lohrer, W.; Plehn, W.
Umweltbelastung durch PVC
Staub - Reinhalt. Luft 47 (1987), 190
- Mølhav, L.; Andersen, I.; Lundquist, G. R.; Nielsen, P. A.; Nielsen, O.
Afgasning fra Byggematerialer - forekomst og hygiejnisk vurdering
SBI-Rapport 137, Statens Byggeforskningsinstitut 1982
- Muhle
Untersuchungen zur Biopersistenz künstlicher Mineralfasern
EWS Report Januar 93, Fraunhofer-Institut für Toxikologie und Aerosolforschung, Hannover 1993

ÖNORM S 5200 (Vornorm)

Österreichisches Normungsinstitut, Wien 1988

Palar, H.; Gebefügi, I.

Vorkommen und Verhalten von Pentachlorphenol in geschlossenen Räumen

in: Aurand, K. (Hrsg.)

Organische Verunreinigungen in der Umwelt

Berlin 1978

Pappi, I.; Stürmer, H.-D.

"Umwelt-Verträglichkeit von Baustoffen"

Siftung Verbraucherinstitut, Berlin 1992

Petrowitz, H.-J.

Zur Abgabe von Holzschutzmittel-Wirkstoffen aus behandeltem Holz an die Raumluft

Holz Roh- Werkstoff 44 (1986), 341

Pickrell, J. A.; Mokler, B. V.; Griffis, L. C.; Hobbs, C. H.

Formaldehyde release rate coefficients from selected consumer products

Environ. Sci. Technol. 17 (1983), 753

Piltz, H.; Härig, S.; Schulz, W.

"Technologie der Baustoffe"

8. Auflage, Dr. Lüdecke-Verlagsgesellschaft, Haslach 1985

Rat von Sachverständigen für Umweltfragen

Sondergutachten "Luftverunreinigungen in Innenräumen"

Mai 1987, Drucksache des Deutschen Bundestages 11/613

Rose, W.-D. (Begr.); Kur, F. (Hrsg.)

Wohngifte

Eichborn Verlag, Frankfurt am Main 1986

Schleswig-Holstein, Bauabteilung VI 4 des Finanzministeriums

Toxische Emissionen von Baustoffen in Innenräumen - Materiallisten für den Innenraumbereich nach Leistungsbereichen (StLB) zusammengestellt

Mai 1989

Schlüter, G.

Unveröffentlichte Messungen 1989

Scholz, W.

"Baustoffkenntnis"

12. Auflage, Werner-Verlag, Düsseldorf 1991

Schriever, E.; Fuhrmann, F.; Marutzky, R.

Schadstoffemission aus Tapeten

Wilhelm-Klauditz-Institut, Braunschweig 1991

Schriever, E.; Marutzky, R.

VOC-Emissions of Coated Parqueted Floors

Proc. 5th Int. Conf. Indoor Air Quality and Climate, Toronto
1990

Schriever, E.; Marutzky, R.

"Geruchs- und Schadstoffbelastung durch Baustoffe in Innenräumen"

WKI-Bericht Nr. 24, Wilhelm-Klauditz-Institut,
Braunschweig 1991

Schröder, E.

"Emissionen während der Herstellung, Verarbeitung und Nutzung
textiler Bodenbeläge unter besonderer Berücksichtigung wohnme-
dizinischer Aspekte und der Umweltverträglichkeit"

Deutsches Teppichforschungsinstitut, Aachen 1990

Schröder, E.

Vortrag vor der Gesundheitstechnischen Gesellschaft
am 14.3.1991 in Berlin

Seifert, B.; Ullrich, D.; Nagel, R.

Volatile organic compounds from carpeting
in: Man and his Ecosystem

Proceedings of the 8th World Clean Air Congress, Den Haag 1989
(Brasser, L.A.; Mulder, W.C.; Hrsg.)

Elsevier Science Publishers, Amsterdam 1989

Seifert, B.; Fischer, M.

Richtwerte für die Innenraumluft

in: Grenzwerte und Risikobetrachtungen in der Umwelthygiene
(Jander, K.; Lahmann, E.; Hrsg.)

Schriftenreihe WaBoLu, Nr. 76, S. 127-143,
Gustav Fischer Verlag, Stuttgart/New York 1988

Seifert, B.; Ullrich, D.

"Methodologies for evaluating sources of volatile organic chemicals (VOC) in homes"

Atmospheric Environ. 21 (1987), 395

Sonneborn, M.

Persönliche Mitteilung, Bundesgesundheitsamt 1992

Tiesler, H.

"Untersuchungen zur Innenraumbelastung durch faserförmige Feinstäube aus Mineralwolle-Erzeugnissen"

Abschlußbericht (Entwurf), Bockenheim 1992

Tötsch, W.; Gaensslen, H.

Polyvinylchlorid - Zur Umweltrelevanz eines Standardkunststoffes

Verlag TÜV Rheinland, Köln 1990

Tucker, W.G.

Emissions of air pollutants from indoor materials: an emerging design consideration"

Proc. 5th Canadian Building and Construction Congress, Montreal 1988

Ullrich, D.; Nagel, R.; Seifert, B.

Einfluß von Lackanstrichen auf die Innenluftqualität am Beispiel von Heizkörperlacken

in: Aurand, K., Seifert, B., Wegner, J. (Hrsg.)

Luftqualität in Innenräumen

Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1982

Upton, A.C.

Availability of toxicological data on existing chemicals.

In: Proceedings from the Internat. Seminar "Chemicals testing and animal welfare", published by the National Chemicals Inspectorate, P.O. Box 1384, Solna (Sweden), 1986, 21-43.

van der Wal, J. F.; Moons, A. M. M.; Steenlage, R.

Thermal insulation as source of air pollution

Proc. 4th Intern. Conf. on Indoor Air Quality and Climate, Vol. 1, 79, Berlin 1987

Wahlberg, K.

Water Paints a Health Hazard?

Newsletter of the National Board of Occupational Safety and Health Sweden 3/1992, 1

Wegner, J.
Schadstoffanfall, Lüftung in Wohnungen, freie Lüftung
Ges.-Ing. 105 (1984), H. 3, 117-123

Wexler, H.
Polymerization of drying oils
Chemical Reviews 64 (1964), 591

World Health Organization WHO
Air quality guidelines for Europe
WHO Regional Publications, European Series No. 23, 1987.

Zimmerli, B.
"Modellversuche zum Übergang von Schadstoffen aus Anstrichen in
die Luft", in "Luftqualität in Innenräumen", Hrgb. K.Aurand,
B.Seifert, J.Wegner, Schriftenreihe des WaBoLu-Vereins Nr. 53,
Gustav Fischer Verlag, Stuttgart/New York 1982

Anhang A

Baustoffgliederung

1. Betonbau
2. Mauerwerksbau
3. Holzbau
4. Metallbau
5. Fenster und Glas
6. Kunststoffbau / Dichtungsmassen
7. Dächer
8. Wärmedämmung/Feuchtigkeitsschutz/Schalldämmung
9. Klebstoffe
10. Fußbodenaufbau
11. Wände und Decken
12. Anstrichmittel

1. Betonbau

1.1 Zement

- Portlandzement PZ
- Eisenportlandzement EPZ
- Hochofenzement HOZ
- Traßzement TrZ

1.2 Zuschläge

1.2.1 aus natürlichem Gestein

- Flußkiessand
- Grubenkiessand
- vulkanisches Gestein (Bims, Tuff, Traß)

1.2.2 "künstliche" Zuschläge

- Hochofenschlacken
- Steinkohlenaschen, -schlacken, -granulate
- Sinterbims
- gebrannte tonhaltige Zuschläge (Blähton)
- organische Zuschläge (z.B. Holzwolle, Polystyrolkugeln)

1.3 Betonzusatzstoffe

- Flugasche, Gesteinsmehle

1.4 Betonzusatzmittel

- Betonverflüssiger, Betondichtungsmittel, Einpreßhilfen, Stabilisierer
- Luftporenbildner, Erstarrungsverzögerer, Erstarrungsbeschleuniger

1.5 Hilfsstoffe

- Schalöle, Auswaschhilfen

2. Mauerwerksbau

2.1 Mauersteine

2.1.1 Mauerziegel

2.1.1.1 Lehm/Ton ohne Zusätze

2.1.1.2 Lehm/Ton mit Zusätzen

Magerungsmittel

porenbildende Stoffe

2.1.2 Kalksandsteine (Kalk und quarzhaltige Zuschläge)

2.1.3 Hüttensteine (granulierte Hochofenschlacken, Zement)

2.1.4 Betonsteine (Hohlblocksteine, Vollsteine)

2.1.5 Gasbeton

2.1.5.1 Zement, Zuschläge (s. Betonbau)

2.1.5.2 gasbildende Zusätze

Aluminiumpulver

2.2 Mörtel

2.2.1 Mauermörtel

2.2.1.1 Baukalk

Luftkalk/Wasserkalk

hydraulischer Kalk

hochhydraulischer Kalk

2.2.1.2 Putz- und Mauerbinder

hydraulische Zusatzstoffe (Puzzolane)

natürliche Puzzolane (Traß)

künstliche Puzzolane

granulierte Hochofenschlacken

Steinkohlenflugaschen

2.2.1.3 Zement ì

2.2.1.4 Sand °

2.2.1.5 Zuschläge û s. Betonbau

2.2.1.6 Zusatzmittel °

2.2.1.7 Zusatzstoffe ì

2.2.2 Putzmörtel

2.2.2.1 Kalkputz

2.2.2.2 Zementputz

2.2.2.3 Polystyrol Wärmedämmputz

2.2.2.4 Blähperlite/Vermiculite/Dämmputze

2.2.2.5 Kunstharzputze

3. Holzbau

3.1 Holz

3.1.1 Bauschnittholz (Kanthölzer, Bretter, Bohlen)

3.1.2 Baurundholz

3.2 Holzwerkstoffe (s. auch 6.2.2)

3.2.1 Sperrholz

Furnierholz

Stab- und Stäbchensperrholz

- 3.2.2 Schichtholz
- 3.2.3 Spanplatten
 - Flachpreßplatten
 - Strangpreßplatten
 - mineralisch gebundene Spanplatten
- 3.2.4 Holzfaserplatten
 - poröse Holzfaserplatten
 - Bitumen-Holzfasernplatten
 - mittelharte und harte Holzfasernplatten
- 3.3 Holzschutzmittel
 - 3.3.1 Schutzöle
 - Steinkohlenteeröle
 - lösungsmittelhaltige Präparate
 - 3.3.2 Schutzsalze
 - 3.3.2.1 auswaschbar
 - z.B. Silicofluoride, Hydrogenfluoride, Bor-Salze
 - 3.3.2.2 fixierend
 - z.B. Chrom-Fluorid-Gemische
 - 3.3.2.3 witterungbeständige, hochfixierende Salze
 - z.B. Chrom-Fluor-Arsen-Basis

4. Metallbau

- 4.1 Eisenwerkstoffe
 - Gußeisen, Stahl
- 4.2 Nichteisen-Werkstoffe (NE-Metalle)
 - Aluminium, Kupfer, Zink, Blei, Zinn, Chrom, Nickel
- 4.3 Korrosionsschutz
 - 4.3.1 Vorbehandlungsmittel
 - 4.3.1.1 Strahlmittel
 - 4.3.1.2 Beizmittel
 - 4.3.1.3 Reinigungs- und Entfettungsmittel
 - 4.3.2 Beschichtungen
 - 4.3.2.1 organisch
 - Bindemittel
 - Alkydharze
 - Bitumen
 - Steinkohlenteerpech
 - Pigmentierung
 - Mennige
 - Zinkchromat
 - 4.3.2.2 anorganische
 - Emaillie
 - 4.3.2.3 metallische Überzüge
 - Feuerverzinkung, Galvanisieren

5. Fenster und Glas

5.1 Rahmen

5.1.1 Holz

Nadelholz

Eiche/Buche

5.1.2 Kunststoff

Polyvinylchlorid

Polyurethan

5.1.2 Metall

Aluminium, Stahl

5.2 Glas

5.2.1 maschinengezogenes Flachglas

5.2.2 gegossenes und gewalztes Flachglas

Isolierglas, Sicherheitsglas

5.2.3 Preßglas

Glasbausteine, Betongläser

5.2.4 Kunststoffgläser (s. Kunststoffbau)

PMMA Polymethylmethacrylat (Acrylglas)

PC Polycarbonat

5.3 Dichtstoffe

5.3.1 Glaserkitt

5.3.2 Kunststoffdichtstoffe

5.3.3 Kunststoffdichtungsbänder und -profile

5.4 Fensterzubehör

5.4.1 Kunststoffrolläden

5.4.2 Rolladenkästen

6. Kunststoffbau / Dichtungsmassen

6.1 abgewandelte Naturstoffe (halbsynthetische Kunststoffe)

6.1.1 Zelluloseabkömmlinge

Zellulose-Acetat (Bau- und Möbelbeschläge)

Zellulose-Acetobutyrat/Zellulose-Propionat

(Lichtkuppeln)

Zellglas (Folien)

6.2 vollsynthetische Kunststoffe

6.2.1 thermoplastische Kunststoffe (Plastomere)

6.2.1.1 Polymerisationskunststoffe

PE = Polyethylen weich/hart

PP = Polypropylen

PIB = Polyisobutylen

PVC = Polyvinylchlorid weich/hart

PVAC = Polyvinylacetat

PVP = Polyvinylpropionat

PS = Polystyrol

SAN = Styrol-Acrylnitril-Copolymere

ABS = Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymere

PMMA = Polymethylmethacrylat (Acrylglas)

PTFE = Polytetrafluorethylen

6.2.2 Duroplastische Kunststoffe (Duromere)

6.2.2.1 Polykondensationsharze

PA = Polyamide

PF = Phenol-Formaldehyd-Harze (Phenoplaste)

UF = Harnstoff-Formaldehyd-Harze (Aminoplaste)

MF = Melamin-Formaldehyd-Harze

UP = ungesättigte Polyester

GUP = glasfaserverstärkte ungesättigte Polyester

EP = Epoxidharze

6.2.2.2 Polyadditionsprodukte (Polyaddukte)

PUR = Polyurethane (Kleber, Lacke, etc.)

6.2.3 Elastomere (Elaste)

6.2.3.1 Naturkautschuk

6.2.3.2 synthetischer Kautschuk

SB/SBR = Styrol-Butadien-Kautschuk

CR = Chloropren-Kautschuk

NBR = Nitrilkautschuk

SR = Polysulfid-Kautschuk

Butyl-Kautschuk

6.2.4 Kunststoffe auf Siliciumbasis (Silikone)

SI = Silikon-Kautschuk

7. Dächer

7.1 Dacheindeckungen

Ziegel, Beton, Faserzement, Schiefer, Holzschindel,
Bitumendachschindel, Stroh, Rohr, Metall-Dachdeckung

7.2 Zubehöre

Firstkappen, Dunstrohre, Antennendurchgänge, Regenrinne,
Fallrohre

7.3 Dachabdichtungen

7.3.1 Bitumenbahnen

7.3.1.1 Dachbahnen

(mit Rohfilzeinlagen/Glasvlieseinlagen)

7.3.1.2 Dachdichtungsbahnen

(mit Einlagen aus Jute/Glasgewebe)

7.3.1.3 Bitumen-Schweißbahnen

7.3.2 Kunststoffdachbahnen

7.3.2.1 Dachbahnen aus PVC (weich)

7.3.2.2 Dachbahnen aus Polyisobutylen

7.3.2.3 Dachbahnen aus Ethylencopolymerisat (ECB)

7.3.3 Dachbeschichtungen

7.3.3.1 Bitumen (s. 8.5)

7.3.3.2 Kunstharzbasis

7.3.4 Fugendichtungsmassen

- 7.3.4.1 Vergußmassen
 - Bitumen (s. 8.5), Elastomere (s. 6.2.3),
Silikone (s. 6.2.4)
- 7.2.4.2 Dichtungs- und Abdeckprofile
 - PVC (s. 6.2.1.1), CR (s. 6.2.3.1), EPDM

8. Wärmedämmung/Feuchtigkeitsschutz/Schalldämmung

8.1 vorgefertigte Platten

- 8.1.1 Kunststoffe (s. 6.2)
 - 8.1.1.1 Polystyrol-Hartschaum
 - Partikelschaum (XPS)
 - Extruderschaum (EPS)
 - 8.1.1.2 Polyurethan-Hartschaum
 - 8.1.1.3 Phenolharz-Hartschaum
 - 8.1.2 Faserhaltige Platten
 - 8.1.2.1 anorganische Fasern
 - mineralische Faserdämmstoffe
(Phenol-Formaldehydharze als Bindemittel)
Glaswolle, Steinwolle, Schlackenwolle
 - 8.1.2.2 organische Fasern
 - Kokos, Sisal, Stroh, Flachs, Schilfrohr,
Seegrass, Jute
 - 8.1.3 Holzwolle
 - 8.1.3.1 Holzwolle-Leichtbauplatten
 - mit mineralischen Bindemitteln
(z.B. Zement oder Gips)
 - 8.1.3.2 Holzfaserplatten
 - mit Bitumen bei porösen Platten oder durch
Kunstharzzugabe bei harten Platten als
Bindemittel
 - 8.1.4 Kork
 - 8.1.4.1 Backkork-Dämmplatten
 - (korkeigene Harze als Bindemittel)
 - 8.1.4.2 künstlich gebundene Korkplatten
 - 8.1.5 Schaumglas (Verlegung mit Heißbitumen)
 - 8.1.6 Verbundbaustoffe
 - 8.1.6.1 Mehrschichtleichtbauplatten
 - 8.1.6.2 Gipskartonverbundplatten
- ### 8.2 vor Ort hergestellt
- 8.2.1 Schüttungen
 - 8.2.1.1 Sägemehl
 - 8.2.1.2 Korkschrot
 - 8.2.1.3 Zellulosedämmstoff
 - 8.2.1.4 mineralische Dämmstoffe
 - Blähperlite
 - Blähglimmer

Blähton
Mineralfasern

8.2.2 Ortschäume

8.2.2.1 PUR (Polyurethan-Ortschaum)

8.2.2.2 UF (Harnstoff-Formaldehyd-Ortschaum)

8.3 Isolierpapiere und -pappen

8.3.1 Bitumenpapier

8.3.2 Rohfilzpappen

8.3.3 Wellpappen

8.4 Abdichtungsbahnen

8.4.1 Alufolie

8.4.2 Glasvlies-Bitumendachbahnen

8.4.3 Bitumen-Schweißbahnen

8.4.4 Kunststoffbahnen

PVC-P = Polyvinylchlorid weich

PEC = Chloriertes Polyethylen

PETB = Polyethylenterephthalat

EPDM = Ethylen-Propylen-Teerpolymer-Kautschuk

ECB = Ethylencopolymerisatbitumen

PIB = Polyisobutylen

8.5 Bitumen

8.5.1 Asphaltmatrix

(Sand und Füller mit 16-22% Bitumengehalt)

8.5.2 Bitumenkaltanstriche (leichtflüchtige Lösungsmittel)

8.5.3 Bitumenheißanstriche

8.5.3 Bitumenemulsionen

8.6 Teer (Steinkohlenteer)

8.6.1 Heißteere

8.6.2 Kaltteere (ca. 15% Lösungsmittel)

8.6.3 Teeremulsionen

9. Klebstoffe

9.1 physikalisch abbindend

9.1.1 Leime und Kleister

(flüchtige Lösungsmittel - vorwiegend Wasser)

9.1.1.1 Tierische Klebstoffe

Casein, Glutin

9.1.1.2 Pflanzliche Klebstoffe

Stärke, Dextrin

9.1.1.3 Synthetische Klebstoffe

Polyvinylalkohol, Polyacrylsäurederivate

9.1.2 Lösungsmittelklebstoffe

(flüchtige organische Lösungsmittel)

9.1.2.1 Polychlorbutadien (Polychloropren)

9.1.2.2 Polyvinylverbindungen

9.1.2.3 Polyurethane

- 9.1.2.4 Polyacrylate, Polyester
- 9.1.3 Dispersionsklebstoffe
 - (flüchtiges Dispergiermittel - vorwiegend Wasser)
 - 9.1.3.1 Natur- und Synthesekautschuk
 - 9.1.3.2 polymere Verbindungen des Vinylacetats
 - 9.1.3.3 Polyurethane
 - 9.1.3.4 Polyacrylate
 - 9.1.3.5 Ethylen-Vinylacetate
- 9.1.4 Lösungsmittelfreie Klebstoffe (Schmelzklebstoffe)
 - 9.1.4.1 Ethylen-Vinylacetate (Polymere)
 - 9.1.4.2 Polyamide
 - 9.1.4.3 Polyurethane

9.2 chemisch abbindend (Reaktionsklebstoffe)

- 9.2.1 Polymerisationsklebstoffe
 - 9.2.1.1 ungesättigte Polyester
 - 9.2.1.2 Methacrylsäure- u. Acrylsäureester
 - 9.2.1.3 Cyanacrylsäureester
 - 9.2.1.4 Dimethylacrylsäureester
- 9.2.2 Polyadditionsklebstoffe
 - 9.2.2.1 Epoxidharzklebstoffe
 - 9.2.2.2 Polyurethan-Klebstoffe
- 9.2.3 Polykondensationsklebstoffe
 - 9.2.3.1 Aminoplaste
 - Harnstoff - Formaldehyd
 - Melamin - Formaldehyd
 - 9.2.3.2 Phenoplaste
 - Phenol - Formaldehyd
 - 9.2.3.3 Silikone

10. Fußböden

- 10.1 Unterboden
 - 10.1.1 Verlegeplatten
 - 10.1.1.1 Holzspanplatten (z.B. V 20 / V 100 / V 100 G)
 - Flachpreßplatten
 - Strangpreßplatten
 - mineralisch gebundene Spanplatten
 - 10.1.2 Dämmungen (s. 8.1 bzw. 8.2)
 - 10.1.2.1 Trittschalldämmung/Wärmedämmung
- 10.2 Bodenbeschichtungen
 - 10.2.1 Estriche
 - 10.2.1.1 Anhydritestrich
 - 10.2.1.2 Magnesiaestrich
 - 10.2.1.3 Schwefelestrich
 - 10.2.1.4 Zementestrich

- Zuschläge (s. Zement 1.2)
- Zusatzmittel (s. auch Zement 1.4)
- Luftporenbildner
- Kunststoffdispersionen
- 10.2.1.5 Hartstoffestrich
 - Naturgesteine, Schlacken, Metalle,
Korund/Siliciumkarbid
- 10.2.1.6 Gußasphaltestrich
- 10.2.2 Kunstharzbeschichtungen
 - 10.2.2.1 Epoxidharzbasis EP
 - 10.2.2.2 Polyurethanharzbasis PUR
 - 10.2.2.3 ungesättigte Polyesterharzbasis UP
 - 10.2.2.4 Methacrylatharzbasis MMA
- 10.3 Bodenbeläge
 - 10.3.1 Beton- und Betonwerkstein-Böden
 - 10.3.1.1 Marmorplatten
 - 10.3.1.2 Hartbetonbeläge
 - 10.3.1.3 Terrazzo
 - 10.3.2 Asphaltplatten
 - 10.3.2.1 Hochdruck-Asphaltplatten
 - 10.3.2.2 Homogen-Asphaltplatten
 - 10.3.3 keramische Bodenbeläge
 - Bodenfliesen
 - Spaltplatten
 - Klinker
 - Ziegel
 - 10.3.3.1 Kleber und Fugenmaterial
 - Mörtelbettverfahren (Dickbett)
 - Klebermörtel (Dünnbett)
 - Fliesenkleber
 - Fugenmörtel
 - 10.3.4 organische Bodenbeläge
 - 10.3.4.1 Holz
 - mechanisch befestigt
 - Parkett-Dielen
 - geklebt
 - Parkettstäbe
 - Parkettfertigelemente
 - Holzpflaster
 - 10.3.4.2 Versiegelung von Parkett und Holzfußböden
(s. 13.)
 - 10.3.4.3 Kunststoff- und Gummibeläge
 - homogene PVC-Beläge
 - PVC-Verbundbeläge
 - mit Synthefaser-Vlies als Träger

- mit Kork/Filz als Träger
- mit Unterschicht aus PVC-Schaumstoff
- Bodenbeläge aus Synthese-Kautschuk
- 10.3.4.4 Linoleumbeläge
 - Korklinoleum, Linoleum-Verbundbelag
- 10.3.4.5 Korkbeläge
 - Korkparkett auf Trägerschicht
- 10.3.4.6 textile Fußbodenbeläge
 - Naturfasern
 - Schurwolle, Tierhaare, pflanzliche Fasern, Jute, Kokos
 - Chemiefasern
 - Zellulosefasern
 - Viskosefasern, Zellwolle
 - synthetische Fasern
 - Polyamid
 - Nylon, Perlon
 - Polyacryl
 - Dralon, Acrylon
 - Polyester
 - Diolen, Trevira
 - Polypropylen

10.3.3 Fußbodenkleber (s. 9.)

11. Wände und Decken

11.1 leichte Trennwände

11.1.1 Mauerwerksbau (s. 2.1)

11.1.2 Bauplatten (s. auch 8.1)

Faserzementplatten

Silikatfiberplatten

Gasbetonplatten

Gipskartonplatten

Holzwoleleichtbauplatten

Holzfaserplatten

Spanplatten

kunsthartzgebunden

zementgebunden

Sperrholz

Fertigtrennwände aus beschichteten Spanplatten

11.1.3 bewegliche Trennwände

11.1.3.1 Falt- und Harmonikawände

Holz

PVC

mit Kunstlederbespannung

11.1.3.2 Schiebewände

- 11.2 Wand- und Deckenputze (s. Mörtel 2.2.1)
 - 11.2.1 Gipsputze
 - 11.2.2 Kalkgipsputze
 - 11.2.3 Kalkzementputze
 - 11.2.4 Kunstharzputze
- 11.3 Holz (s. 3.1)
 - 11.3.1 Edelholzpaneele
 - 11.3.2 kunststoffbeschichtete Paneele
 - 11.3.3 Paneele aus Sperrholz
 - 11.3.4 Profilhölzer
- 11.4 Metall
 - 11.4.1 Kupfer und Kupferlegierungen
 - 11.4.2 Flächenverkleidungen aus Edelstahl
 - 11.4.3 Alu-Verkleidungen
- 11.5 Kunststoff (s. Kunststoffbau 6.2.1.1)
 - 11.5.1 Hart-PVC z.B. in Paneelenform
- 11.6 Keramik (s. 5.2)
 - 11.6.1 Fliesen
 - 11.6.2 keramische Großplatten
- 11.7 Tapeten und aufzuklebende tapetenähnliche Stoffe
 - 11.7.1 Tapeten
 - 11.7.1.1 Papiertapeten
 - Rauhfaser, Prägedruck, Tiefdruck
 - 11.7.1.2 Werkstofftapeten
 - Holztapeten
 - Korktapeten
 - Textiltapeten
 - Metalltapeten
 - Grastapeten
 - Ledertapeten
 - 11.7.1.3 Kunststofftapeten
 - Vinyltapeten
 - PVC
 - Profil-/Schaumtapeten
 - PVC, PUR
 - 11.7.2 Untergrundvorbereitung für Tapeten
 - 11.7.2.1 Alufolie
 - 11.7.2.2 Rollen/Streichmakulatur
 - 11.7.3 Tapeten-Klebstoffe (s. 9.1)
 - 11.7.2 Spannstoffe aus Textilien
 - 11.7.2.1 Leinen
 - 11.7.2.2 Bast

12. Anstrichmittel

12.1 Farbmittel

12.1.1 lösliche Farbstoffe

12.1.1.1 natürliche Stoffe

12.1.1.2 synthetische Stoffe

12.1.2 unlösliche Pigmente

12.1.2.1 anorganische Pigmente

12.1.2.2 organische Pigmente

tierische oder pflanzliche Stoffe

synthetische Farbstoffe

12.2 Bindemittel

12.2.1 wasserverdünnbare Bindemittel

12.2.1.1 gelöschter Kalk

Kalkanstriche

12.2.1.2 Normzement

Zementanstriche

12.2.1.3 Wasserglas

Ein- bzw. Zwei-Komponenten-Silikatanstriche

12.2.1.4 pflanzliche Leime

Leimfarben

12.2.1.5 Kasein

Kalk-Kaseinanstriche

Alkali-Kalkanstriche

12.2.1.6 Dispersionen

Naturharzdispersionsfarben

Kunststoffdispersionsfarben

PVAC Polyvinylacetate

Homopolymere, Co- und Terpolymere

PVP Polyvinylpropionate

Polyacrylate

PMMA Polymethylmethacrylat

Styrolacrylate

WE wasseremulgierbare Lacksysteme

wäßrige Acrylat-Dispensionslacke

wäßrige Polyurethan-Dispensionslacke

12.2.2 Lösungsmittelverdünnbare Bindemittel

12.2.2.1 Ölfarben

12.2.2.2 Lacke

durch Luftoxidation trocknende Lacke

NC Nitrocelluloselacke

Alkydharzlacke

Öllacke

physikalisch trocknende Lacke

Polymerisatharzlacke

Polyvinylchlorid-, Polyvinylacetat-,

Polyacrylatlacke

Chlorkautschuklacke
Spirituslacke
chemisch härtende Reaktionslacke
Phenolharz-, Harnstoffharz- und
Melaminharzlacke
SH säurehärtende Lacke
EP Epoxidharzlacke
PUR Polyurethanlacke
UP ungesättigte Polyesterlacke

12.3 Lösungsmittel

12.3.1 Aliphaten

Testbenzin/Terpentinölersatz
Cyclohexan

12.3.2 Aromaten

Toluol
Xylol
Solvent Naphtha
Styrol

12.3.3 Alkohole

Methanol
Ethanol
Propanol
Butanol
Glykole

12.3.4 Ketone

Aceton
Methylethylketon
Methylisobutylketon
Cyclohexanon

12.3.5 Ester

Methylacetat
Ethylacetat
Butylacetat

12.3.6 sonstige

Methylpyrrolidon
Terpentinöl

Anhang B

Stoffe und Materialien im Bereich 10 (Fußbodenaufbau)

- 10.1 Unterboden
- 10.1.1 Verlegeplatten
- 10.1.1.1 Holzspanplatten (z.B. V 20; V 100; V 100 G etc.)
Flachpreßplatten (DIN 68763)
Strangpreßplatten (DIN 68764)

Herstellungs- bzw. Verarbeitungshinweise / Angaben zu Inhaltsstoffen:

Die Verlegeplatten können Harnstoff-Formaldehydharze (UF), Phenol-Formaldehydharze (PF), Melamin-Harnstoff-Formaldehydharze (MUF), oder "polymeres" Diphenylmethandiisocyanat (PMDI oder I) als Bindemittel alleine bzw. in Kombinations- oder Mischharzverleimungen enthalten.

Mineralisch gebundene Spanplatten werden entweder mit Zement oder Magnesiabinder als Bindemittel im Flachpreßverfahren hergestellt.

- 10.1.2 Dämmungen (s. 8.1 bzw. 8.2)
- 10.1.2.1 Trittschalldämmung/Wärmedämmung

Herstellungs- bzw. Verarbeitungshinweise / Angaben zu Inhaltsstoffen:

Verwendet werden Platten aus extrudiertem Polystyrol-Hartschaum, gepreßten Polyesterfasern, künstlichen Mineralfasern, Holzwolle-Leichtbauplatten, PUR gebundene Gummigranulatmatten etc.

- 10.2 Bodenbeschichtungen
- 10.2.1 Estriche (DIN 18560)

Herstellungs- bzw. Verarbeitungshinweise / Angaben zu Inhaltsstoffen:

Bei Fließestrichen Zugabe von Verflüssigungsmitteln (meist aufgebaut auf der Basis von ligninsulfosauren Salzen oder in Verbindung mit Polymeren (z.B. auf Melaminharzbasis, Naphthaleinsulfonate, Alkylphenolglykolether).

- 10.2.1.1 Anhydritestrich

Herstellungs- bzw. Verarbeitungshinweise / Angaben zu Inhaltsstoffen:

Zugabe von Anregern zur Reaktionsbeschleunigung
Kalkhydrat; Zement; Salze (meist K_2SO_4 , Na_2SO_4);
Zugabe von Verflüssigungsmitteln (s.o.)

10.2.1.2 Magnesiaestrich (DIN 272)

Herstellungs- bzw. Verarbeitungshinweise / Angaben zu Inhaltsstoffen:

Kann als Füllstoff (Zuschläge) anorganische (Sand, Bims, Korund etc.) oder organische Stoffe (Sägespäne, Weichholzfasern, Kork, Polystyrolkugeln etc.) enthalten

In der Regel werden Farbpigmente zum Einfärben zugegeben.

10.2.1.3 Zementestrich

Herstellungs- bzw. Verarbeitungshinweise / Angaben zu Inhaltsstoffen:

Erhöhte Radioaktivität durch Zuschläge möglich (Hochofenschlacke, Traß etc.)

Zusatzmittel:

Herstellungs- bzw. Verarbeitungshinweise / Angaben zu Inhaltsstoffen:

Luftporenbildner (Polyglykoether, Alkylarylsulfonate) Kunststoffzusätze (Kunstharze auf der Basis Polyvinylacetat, Polyvinylpropionat, Butadien-Styrol oder Acrylsäureester)

10.2.1.4 Hartstoffestrich (DIN 18560)

Zuschläge: Naturgesteine, Schlacken, Metalle, Korund/Siliciumkarbid

10.2.1.5 Gußasphaltestrich

Herstellungs- bzw. Verarbeitungshinweise / Angaben zu Inhaltsstoffen:

Enthält Bitumen; d.h. je nach Herkunft unterschiedlich hohe Anteile potentiell karzinogener Stoffe wie z.B. PAH's, aliphatische Epoxide etc.

10.2.2 Kunstharzbeschichtungen

10.2.2.1 Epoxidharz-Basis EP

Herstellungs- bzw. Verarbeitungshinweise / Angaben zu Inhaltsstoffen:

Herstellung aus Polyphenolen und Epichlorhydrin; Zugabe von Lösungsmitteln zur Verarbeitung der festen Harze.

10.2.2.2 Polyurethanharz-Basis PUR

Herstellungs- bzw. Verarbeitungshinweise / Angaben zu Inhaltsstoffen:

Herstellung durch Polyaddition von Di-/Triisocyanaten und OH-Gruppen enthaltenden Molekülen

10.2.2.3 ungesättigte Polyesterharze-Basis UP

Herstellungs- bzw. Verarbeitungshinweise / Angaben zu Inhaltsstoffen:

Herstellung aus Dicarbonsäuren und zweiwertigen Alkoholen; Lösungsmittel Styrol; Zugabe eines Härter (z.B. ein Peroxid) und eines Beschleunigers (z.B. Kobaltnaphthenat)

10.2.2.4 Methacrylatharz-Basis MMA

Herstellungs- bzw. Verarbeitungshinweise / Angaben zu Inhaltsstoffen:

Ester der ungesättigten Acrylsäure

10.3 Bodenbeläge

10.3.1 Beton-und Betonwerkstein-Böden

10.3.1.1 Marmorplatten

10.3.1.2 Hartbetonbeläge (keine Emissionen zu erwarten)

10.3.1.3 Terrazzo

10.3.2 Asphaltplatten

10.3.2.1 Hochdruck-Asphaltplatten

Herstellungs- bzw. Verarbeitungshinweise / Angaben zu Inhaltsstoffen:

Hochdruck-Asphaltplatten können bis zu 10 % Bitumen als Bindemittel enthalten (DIN 1995). Bitumen (MAK III B) enthält - je nach Herkunft - unterschiedlich hohe Anteile potentiell karzinogener Stoffe wie z.B. PAH's, aliphat. Epoxide etc.

10.3.2.2 Homogen-Asphaltplatten

Herstellungs- bzw. Verarbeitungshinweise / Angaben zu Inhaltsstoffen:

Homogen-Asphaltplatten können bis zu 10 % Steinkohlenteer-Weichpech als Bindemittel enthalten (DIN 52138). Steinkohlenteerpech (MAK IIIA 1) hat gegenüber Bitumen einen wesentlich höheren PAH-Anteil.

10.3.3 Keramische Bodenbeläge

Bodenfliesen

Spaltplatten

Klinker

Ziegel

keine Emissionen zu erwarten

10.3.3.1 Kleber und Fugenmaterial
Mörtelbettverfahren (Dickbett)
Klebermörtel (Dünnbett)

Herstellungs- bzw. Verarbeitungshinweise / Angaben
zu Inhaltsstoffen:

Kunststoffzusätze von ca. 2 %; Polyvinylacetatbasis,
Epoxidharzbasis etc. (je nach Anwendungsgebiet).

Fliesenkleber

Herstellungs- bzw. Verarbeitungshinweise / Angaben
zu Inhaltsstoffen:

Verwendet werden meist wäßrige Polyvinylacetat- oder
Acrylatdispersionen (2-6 % Lösungsmittelanteil)

Fugenmörtel

Herstellungs- bzw. Verarbeitungshinweise / Angaben
zu Inhaltsstoffen:

Zur Anwendung kommen sowohl hydraulisch härtende Fu-
genmörtel als auch Kunstharzmörtel z.B. 2-Komponenten
Epoxidharzmörtel; Farbzusätze

10.3.4 organische Bodenbeläge

10.3.4.1 Holz

mechanisch befestigt (z.B. Parkett-Dielen)

Herstellungs- bzw. Verarbeitungshinweise / Angaben
zu Inhaltsstoffen:

Mögliche Schadstoffabgabe hängt vom Oberflächenschutz
ab.

geklebt DIN 281

(z.B. Parkettstäbe; Parkettfertigelemente; Holzpfla-
ster)

Herstellungs- bzw. Verarbeitungshinweise / Angaben
zu Inhaltsstoffen:

Zur Anwendung kommen hauptsächlich Ethylen-Vinylace-
tat- (EVA) und Polyvinylacetat (PVAC) Klebstoffe.

10.3.4.2 Versiegelung von Parkett/Holzfußböden

Herstellungs- bzw. Verarbeitungshinweise / Angaben
zu Inhaltsstoffen:

Verwendet werden meist wasserlösliche Lacksysteme.
Vernetzer/Härter können Aziridin (Ethylenimin) enthal-
ten (MAK III A 2 Stoff).

10.3.4.3 Kunststoff- und Gummibeläge
homogene PVC-Beläge

Herstellungs- bzw. Verarbeitungshinweise / Angaben
zu Inhaltsstoffen:

Grundstoff Vinylchlorid (MAK III A 1); 20 - 40 %
Weichmachergehalt z.B. DEHP, DBP; Pigmente; Stabilisa-
toren

PVC-Verbundbeläge mit Synthefaser-Vlies als Träger
mit Kork/Filz als Träger mit Unterschicht aus PVC-
Schaumstoff

Bodenbeläge aus Synthese-Kautschuk

Herstellungs- bzw. Verarbeitungshinweise / Angaben
zu Inhaltsstoffen:

Butadien-Natrium (BuNa); Farbpigmente

10.3.4.4 Linoleumbeläge
(z.B. Korklinoleum, Linoleum-Verbundbelag)

Herstellungs- bzw. Verarbeitungshinweise / Angaben
zu Inhaltsstoffen:

Kork/Korkment; oxid. Leinöl und Harze; Trägerschicht
(meist Jutegewebe)

10.3.4.5 Korkbeläge (z.B. Korkparkett auf Trägerschicht)

Herstellungs- bzw. Verarbeitungshinweise / Angaben
zu Inhaltsstoffen:

Mögliche Schadstoffabgabe hängt vom Oberflächenschutz
ab.

10.3.4.6 Textile Fußbodenbeläge

Herstellungs- bzw. Verarbeitungshinweise / Angaben
zu Inhaltsstoffen:

Rückenbeschichtungen hauptsächlich aus Styrol-Buta-
dien-Latex, PVC oder PUR, Geruchsbelästigungen durch
4-Phenylcyclohexen Imprägnierungen ?

Naturfasern

Schurwolle, Tierhaare, Pflanzliche Fasern, Jute, Kokos

Chemiefasern

Zellulosefasern (Viskosefasern, Zellwolle)

synthetische Fasern

Herstellungs- bzw. Verarbeitungshinweise / Angaben
zu Inhaltsstoffen:

Polyamide (PA 6.6 Nylon, PA 6 Perlon)
Polyacrylate (Polyacrylnitril PAN = Dralon, Acrylon)
Polyester (Polyethylenterephthalat PETP = Diolen, Trevira)
Polypropylen PP

10.3.3 Fußbodenkleber

Herstellungs- bzw. Verarbeitungshinweise / Angaben
zu Inhaltsstoffen:

Zur Anwendung kommen hauptsächlich lösungsmittelarme
bzw. -freie Dispersionsklebstoffe; bei stark belasteten
Bereichen (Treppen) auch Lösungsmittelklebstoffe
auf der Basis von Chloroprenkautschuk CR (= Polychloropren;
Ausgangsstoff ist Chlorbutadien = Chloropren)

Anhang C

Produktblätter

Liste der Produktblätter

1.3	Betonzusatzstoffe: Steinkohlenflugasche
8.1.1.1	Polystyrol-Hartschaum
8.1.2.1	Mineralische Faserdämmstoffe
8.2.2.1	Polyurethan-Ortschaum/Montageschaum
8.2.2.2	Harnstoff-Formaldehyd-Ortschaum
10.2.1.6	Gußasphaltestrich
10.3.2.1	Hochdruck-Asphaltplatten
10.3.2.2	Homogen-Asphaltplatten
10.3.4.3	PVC-Fußbodenbelag
10.3.4.4	Linoleum-Fußbodenbelag
10.3.4.6	Textile Fußbodenbeläge
12.3	Lösemittel

I Baustoffsystematik: 1.3 (Betonzusatzstoffe)

II Bezeichnung: Steinkohlenflugasche FA
(EFA-Füller, Elektro-Filter-Abzug)

Flugaschezement FAZ enthält 15-30 Masse% Steinkohlenflugasche.

III Bestandteile

SiO₂ 50%
Al₂O₃ 30%
Fe₂O₃
CaO
MgO

IV Nachgewiesene Emissionen

Ammoniak [7664-41-7]

V Weitere mögliche Emissionen

VI Bewertung

Bei Zusatz von Steinkohlenflugasche zum Beton kann der Zementanteil verringert werden, da Steinkohlenflugasche selbst bindende Eigenschaften hat. Der Ammoniakgehalt rührt her vom Ammoniakzusatz zu den Rauchgasen zum Zweck der Entstickung.

Es liegen keine Daten zur Abschätzung einer Raumluftkonzentration von Ammoniak vor.

Ammoniak: [7764-41-7]

Außenluftkonz.: 4-5 µg m⁻³ ländlich
20 µg m⁻³ städtisch

MAK: 50 ppm

MIK: 2 mg/m³ über 1/2 Std.

1 mg/m³ über 24 Std.

0,5 mg/m³ über 1 Jahr

LOEL Mensch 35 mg/m³

IW2 0,7 mg/m³ (Faktor 10 und Zusatzfaktor 5)

IW1 wegen der Wirkungsart nicht sinnvoll.

Literatur

Dr.Efes, IfBt, persönliche Mitteilung

I Baustoffsystematik: 8.1.1.1

II Bezeichnung: Polystyrol-Hartschaum

- a) Partikelschaum (expandiertes Polystyrol EPS, "Styropor")
- b) Extruderschaum (XPS)

III Bestandteile

- a) EPS
Polystyrol, z.T. Copolymerisat mit Acrylnitril
Flammschutzmittel (z.B. Hexabromcyclododekan, Pentabrom-phenylallylether)
Treibmittel 4-7 % (Pentan, auch Butan oder Propan)
- b) XPS
Polystyrol
Treibmittel (teilchlorierte Kohlenwasserstoffe)
Flammschutzmittel

IV Nachgewiesene Emissionen

- a) EPS: Styrol [100-42-5]
Treibmittel (i-Pentan, n-Pentan)
- b) XPS: Dichlordifluormethan
Trichlorfluormethan
- c) ohne Zuordnung
n-Hexan
Styrol
Ethylbenzol
Alkylbenzole (1-3 C-Atome in der Seitenkette)
Benzaldehyd
Methylstyrol
tert-Butanol
2-Butanon
i-Heptan bis i-Nonan

V Weitere mögliche Emissionen

- a) EPS
Acrylnitril [107-13-1]
Treibmittel Butan, Propan
Flammschutzmittel (?)
- b) XPS
Styrol [100-42-5]
Treibmittel
Flammschutzmittel (?)

VI Bewertung

Styrol [100-42-5]: MAK 20 ppm (85 mg m⁻³); WHO87 800 µg m⁻³ (24 h, Wirkungen außer Cancerogenität und Geruch/Belästigung), 70 µg m⁻³ (0,5 h, Geruch/Belästigung)

Acrylnitril [107-13-1]: MAK IIIA2, TRK 3 ppm (7 mg m⁻³)

n-Pentan [109-66-0], iso-Pentan [78-78-4], tert-Pentan [463-82-1]: MAK 1000 ppm (2950 µg m⁻³)

n-Butan [106-97-8], iso-Butan [75-28-5]: MAK 1000 ppm (2350 mg m⁻³)

n-Propan [74-98-6]: MAK 1000 ppm (1800 mg m⁻³)

Literatur

Sonntag, H.-G., Hingst, V.
Fachhygienisches Gutachten zur Frage der Emission von Styrol aus Polystyrol-Hartschaum
nach DIN 18164 (Schaumkunststoffe als Dämmstoffe im Bauwesen), Hygiene-Institut der
Universität Heidelberg, 1984

Moriske, H.J., Rüden, H.
Ges.-Ing. 109 (1988), 224

I Baustoffsystematik: 8.1.2.1

II Bezeichnung: Mineralische Faserdämmstoffe

auch: Glaswolle, Steinwolle, Rockwool, Schlackenwolle

KMF (künstliche Mineralfasern), MMMF (Man Made Mineral Fibers)

III Bestandteile

Mineralfasern

Phenol-Formaldehyd-Kunstharz

IV Nachgewiesene Emissionen

Mineralfasern

div. VOC's (bei erhöhter Temperatur),

z.B. 2,6-Di-tert-butyl-4-methylphenol [128-37-0]

V Weitere mögliche Emissionen

VI Bewertung

Künstliche Mineralfasern ($\phi < 1 \mu\text{m}$): MAK IIIB

I Baustoffsystematik: 8.2.2.1

II Bezeichnung: Polyurethan-Ortschaum / Montageschaum auf Isocyanatbasis

III Bestandteile

Diphenylmethan-4,4-diisocyanat (MDI) [101-68-8]
Treibmittel (FCKW oder andere)

IV Nachgewiesene Emissionen

V Weitere mögliche Emissionen

Diphenylmethan-4,4-diisocyanat (während der Verarbeitung)
keine Hinweise auf MDI-Emissionen nach der Aushärtung
Treibmittel

VI Bewertung

Diphenylmethan-4,4-diisocyanat [101-68-8]:
MAK 0,01 ppm (0,1 mg m⁻³)
Gefahr der Sensibilisierung mit allergischen Reaktionen (Ausschlag, Juckreiz, Asthma) beim wiederholten Kontakt

Literatur

Dietemann-Molard, A., Kopperschmitt-Kubler, M.C., Meyer, P.D., Tomb, R. und Pauli, G.
The Lancet 338 (1991), 953

I Baustoffsystematik: 8.2.2.2

II Bezeichnung: Harnstoff-Formaldehyd-Ortschaum

III Bestandteile

Harnstoff-Formaldehyd-Harz
Treibmittel (FCKW oder andere)

IV Nachgewiesene Emissionen
Formaldehyd

V Weitere mögliche Emissionen

VI Bewertung

Formaldehyd:
MAK 0,5 ppm (0,6 mg m⁻³)
Innenraumluf-Richtwert des BGA 0,1 ppm (0,12 mg m⁻³)

I Baustoffsystematik: 10.2.1.6

II Bezeichnung: Gußasphaltestrich

III Bestandteile

Steinmehl
Sand
Splitt
Bitumen (7-10 Masse%)

Enthält Bitumen; d.h. je nach Herkunft unterschiedlich hohe Anteile potentiell karzinogener Stoffe wie z.B. PAH's, aliphatische Epoxide etc.

IV Nachgewiesene Emissionen

V Weitere mögliche Emissionen: PAH's

Gußasphaltestrich ist bisher nicht auf Ausgasungen untersucht. Er gilt wegen seiner Geschmack- und Geruchlosigkeit als besonders für Lagerräume für hochwertige Lebensmittel geeignet [1]. In Räumen, in denen Hochdruck-Asphaltplatten verlegt waren, die ähnlich wie Gußasphaltestrich zusammengesetzt sind, wurden gegenüber der Außenluft nur wenig erhöhte PAH-Konzentrationen gefunden [2].

VI Bewertung

Literatur

- 1 Scholz
"Baustoffkenntnis"
Werner-Verlag, Düsseldorf, 1991
- 2 Luther, M., Moriske, H.-J.
"Raumlufbelastung mit polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen 'PAH' bei Verwendung von Asphalt-Fußbodenplatten", FU Berlin, Fachbereich Natur- und Sozialwissenschaftliche Grundlagenmedizin und Medizinische Ökologie, Institut für Hygiene, 1990

I Baustoffsystematik: 10.3.2.1

II Bezeichnung: Hochdruck-Asphaltplatten

III Bestandteile

Naturasphalt
Technischer Asphalt
Bindemittel 8-10 Masse% Bitumen

Hochdruck-Asphaltplatten können bis zu 10 % Bitumen als Bindemittel enthalten (DIN 1995). Bitumen (MAK III B) enthält - je nach Herkunft - unterschiedlich hohe Anteile potentiell karzinogener Stoffe wie z.B. PAH's, aliphat. Epoxide etc.

IV Nachgewiesene Emissionen

V Weitere mögliche Emissionen: PAH's

In Räumen, in denen Hochdruck-Asphaltplatten verlegt waren, wurden gegenüber der Außenluft nur wenig erhöhte PAH-Konzentrationen gefunden.

VI Bewertung

Literatur

Luther, M., Moriske, H.-J.
"Raumlufbelastung mit polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen 'PAH' bei Verwendung von Asphalt-Fußbodenplatten". FU Berlin, Fachbereich Natur- und Sozialwissenschaftliche Grundlagenmedizin und Medizinische Ökologie, Institut für Hygiene, 1990

I Baustoffsystematik: 10.3.2.2

II Bezeichnung: Homogen-Asphaltplatten

III Bestandteile

Naturasphalt
Technischer Asphalt
Bindemittel Steinkohlenteerweichpech

Homogen-Asphaltplatten können bis zu 10 % Steinkohlenteer-Weichpech als Bindemittel enthalten (DIN 52138). Steinkohlenteerpech (MAK IIIA 1) hat gegenüber Bitumen einen wesentlich höheren PAH-Anteil.

IV Nachgewiesene Emissionen: PAH's

V Weitere mögliche Emissionen

VI Bewertung

Asphaltplatten mit Steinkohlenteerweichpech werden inzwischen in Deutschland nicht mehr hergestellt.

Literatur

Luther, M., Moriske, H.-J.
"Raumlufbelastung mit polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen 'PAH' bei Verwendung von Asphalt-Fußbodenplatten". FU Berlin, Fachbereich Natur- und Sozialwissenschaftliche Grundlagenmedizin und Medizinische Ökologie, Institut für Hygiene, 1990

I Baustoffsystematik: 10.3.4.3

II Bezeichnung: PVC-Fußbodenbelag

III Bestandteile

PCV

Weichmacher

Dibutylphthalat (DBP)

Diethylhexylphthalat (DEHP)

Pigmente

Stabilisatoren

IV Nachgewiesene Emissionen

V Weitere mögliche Emissionen

Dibutylphthalat [84-74-2]

Diethylhexylphthalat [117-81-7]

Vinylchlorid [75-01-4] (Restmonomer)

VI Bewertung

Im Brandfall Bildung polychlorierter Dibenzodioxine (darunter auch 2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin), was eine aufwendige Dekontamination erforderlich macht. Allerdings ist auch bei Abwesenheit von Chlor am Brandherd eine entsprechende Reinigung erforderlich, da beim Brand chlorfreier organischer Substanzen an Ruß gebundene polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH) gebildet werden können.

I Baustoffsystematik: 10.3.4.4

II Bezeichnung: Linoleum-Fußbodenbelag

III Bestandteile

Bindemittel: Leinöl
Standöl
Harze
Füllstoffe: Korkmehl
Holzmehl
Steinmehl
Trägermaterial: Jutegewebe

IV Nachgewiesene Emissionen

Charakteristischer Neugeruch

V Weitere mögliche Emissionen

Abbauprodukte der ungesättigten Fettsäuren des Leinöls (überwiegend Linolensäure),
hauptsächlich
Hexanal [66-25-1], daneben auch
Pentanal [110-62-3] und andere Aldehyde

VI Bewertung

I Baustoffsystematik: 10.3.4.6

II Bezeichnung: Textile Fußbodenbeläge

III Bestandteile

Rückenbeschichtungen
hauptsächlich aus Styrol-Butadien-Latex, PVC oder PUR

Naturfasern
Schurwolle, Tierhaare, pflanzliche Fasern, Jute, Kokos

Chemiefasern
Zellulosefasern (Viskosefasern, Zellwolle)

synthetische Fasern
Polyamide (PA 6.6 Nylon, PA 6 Perlon)
Polyacrylate (Polyacrylnitril PAN = Dralon, Acrylon)
Polyester (Polyethylenterephthalat PETP = Diolen, Trevira)
Polypropylen PP

IV Nachgewiesene Emissionen

4-Phenylcyclohexen []
4-Vinylcyclohexen [100-40-3]
Styrol [100-42-5]
n-Dodekan [112-40-3]
n-Undekan [1120-21-4]
1,2,4-Trimethylbenzol [95-63-6]
4-Methylethylbenzol [622-96-8]
2-Ethylhexanol [104-76-7]
n-Propylbenzol [103-65-1]
PCP (Einzelfälle) [87-86-5]

V Weitere mögliche Emissionen

VI Bewertung

Styrol [100-42-5]: MAK 20 ppm (85 mg m⁻³); WHO87,800 µg m⁻³ (24 h, Wirkungen außer Cancerogenität und Geruch/Belästigung), 70 µg m⁻³ (0,5 h, Geruch/Belästigung)

PCP [87-86-5]: MAK IIIA2

Literatur

Seifert, B., Ullrich, D., Nagel, R.
"Volatile Organic Compounds from Carpeting"
Proceedings of the 8th World Clean Air Congress 1989, Vol.1, S.253. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1989

Schröder, E.
"Emissionen während der Herstellung, Verarbeitung und Nutzung textiler Bodenbeläge mit besonderer Berücksichtigung wohn-medizinischer Aspekte und der Umweltverträglichkeit",
Deutsches Teppichforschungsinstitut, Aachen, 1990

I Baustoffsystematik: 12.3

II Bezeichnung: Lösemittel

Grenz- und Richtwerte für die meistverwendeten Lösemittel (MAK maximale Arbeitsplatzkonzentration, KZW Kurzzeitwert, LZW Langzeitwert):

Lösemittel	CAS-Nummer	MAK-Wert		Innenraumrichtwert mg/m ³
		ppm	mg/m ³	
Aliphaten:				
Testbenzin *				
Terpentinersatz *				
Cyclohexan	110-82-7	300	1050	
Aromaten:				
Toluol	108-88-3	100	380	8 [WHO], 7 (KZW), 1 (LZW)
Ethylbenzol	100-41-4	100	440	
Xylo (alle Isomere)	1330-20-7	100	440	8 (KZW)
Solvent Naphtha				
Styrol	100-42-5	20	85	0.8 [WHO]
Alkohole:				
Methanol	67-56-1	200	260	
Ethanol	64-17-5	1000	1900	
iso-Propanol	67-63-0	400	980	
Butanol (alle Isomere)		100	300	
Ketone:				
Aceton	67-64-1	1000	2400	
2-Butanon (Methylethylketon)	78-30-3	200	590	
4-Methyl-2-pentanon (Methylisobutylketon)	108-10-1	100	400	
Cyclohexanon	108-94-1	50	200	
Ester:				
Methylacetat	79-20-9	200	610	
Ethylacetat	141-78-6	400	1400	
Butylacetat (alle Isomere)		200	950	
Glykol-Verbindungen:				
2-Methoxyethanol	109-86-4	5	15	
2-Methoxyethylacetat	110-49-6	5	20	
2-Ethoxyethanol	110-80-5	20	75	
2-Ethoxyethylacetat	111-15-9	20	110	
2-Butoxyethanol	111-76-2	20	100	
2-Butoxyethylacetat	112-07-2	20	135	
1-Methoxy-2-Propanol	107-98-2	100	375	
2-Methoxy-1-Propanol	1589-47-5	20	75	
2-Methoxy-1-Propylacetat	70657-70-4	20	110	
sonstige:				
Methylpyrrolidon	872-50-4	100	400	
Terpentinöl *	8006-64-2	100	560	

* Für Gemische werden wegen der möglichen Variabilität keine oder nur vorläufige MAK-Werte festgelegt.

Keiner der aufgeführten Stoffe bzw. Stoffgemische gehört zu der Gruppe der als krebserzeugend oder als dafür im Verdacht stehend eingestuft Stoffe.

Lösemittel sind keine Bauprodukte im engeren Sinn, sondern Hilfsstoffe für die Produktion bzw. Verarbeitung von Bauprodukten. Die Art des Lösemittels ist erst entscheidend in Zusammenhang mit seiner Emissionsrate aus dem Produkt bzw. seiner Raumluftkonzentration. Wenn Lösemittel nicht im fertigen Produkt zurückbleiben oder jedenfalls nicht aus ihm ausgasen, ist aus raumlufthygienischer Sicht nichts gegen ihre Verwendung in der Produktion einzuwenden.

Halogenhaltige Lösemittel werden - vor allem aus Gründen des Arbeitsschutzes und wegen der TA-Luft - in Beschichtungsstoffen praktisch nicht mehr verwendet.

Literatur

Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen und biologische Arbeitsstofftoleranzwerte
DFG, VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim 1990

Schlipkötter, H.-W.
Gutachten über die Wirkung umweltrelevanter Schadstoffe der Außenluft zur Ableitung von Immissionsgrenzwerten
Medizinisches Institut für Umwelthygiene, Düsseldorf 1990/1991

WHO (World Health Organization)
Air quality guidelines for Europe
WHO Regional Publications, European Series No. 23, 1987.

Anhang D

Wiedergabe wichtiger Veröffentlichungen

Zu Kapitel 6.1.3.2

VDI/DIN-Kolloquium "Faserförmige Stäube" 6.-9. September 1993
in Fulda
"Krebsgefährdung durch künstliche Mineralfasern am Arbeitsplatz
und in der Umwelt"
1. Gemeinsame Stellungnahme einer Arbeitsgruppe aus BGA, BAU
und UBA

Zu Kapitel 6.1.5

"Asbesthaltige Nachtstromspeicheröfen - Stellungnahme zur
Sanierung und Entsorgung"
Bundesgesundhbl. 5/91, S. 198

Zu Kapitel 6.2.3.1.2

Kommission Innenraumlufthygiene des Bundesgesundheitsamtes:
"Raumklimabedingungen in Schulen, Kindergärten und Wohnungen
und ihre Bedeutung für die Bestimmung von Formaldehydkonzentra-
tionen"
Bundesgesundhbl. 2/93, S. 76 - 78

Zu Kapitel 7.3

Kommission Innenraumlufthygiene des Bundesgesundheitsamtes:
"Kontrolle von Schadstoffemissionen aus Baumaterialien und an-
deren im Innenraumbereich eingesetzten Produkten"
Gemeinsame Empfehlung des Bundesgesundheitsamtes, der Bundesan-
stalt für Arbeitsmedizin, der Bundesanstalt für Arbeitsschutz
und des Umweltbundesamtes
Bundesgesundhbl. 2/93, S. 76

VDI/DIN-Kolloquium "Faserförmige Stäube" 6.-9. September 1993 in Fulda

Krebsgefährdung durch künstliche Mineralfasern am Arbeitsplatz und in der Umwelt

1. Gemeinsame Stellungnahme einer Arbeitsgruppe aus BGA, BAU und UBA

Kanzerogenes Potential

Die Gesamtheit der zu faserförmigen Stäuben vorliegenden zahlreichen Befunde zeigt, daß das kanzerogene Potential von Fasern in Inhalationsexperimenten nicht immer mit ausreichender Sensitivität entdeckt werden kann. Einer der Gründe könnte sein, daß im Inhalationsexperiment wirksame Faserfraktionen nicht in ausreichender Menge in die Lunge gelangen.

Obwohl der Wirkmechanismus der kanzerogenen Fasern nicht bekannt ist, sprechen die Befunde insgesamt für die Schlußfolgerung, daß die für die Kanzerogenese entscheidenden Vorgänge im Lungengewebe und im Serosagewebe analog ablaufen. Es gibt bisher weder ein Beispiel noch eine biologisch plausible Begründung dafür, daß bestimmte Fasertypen nur das Potential besitzen, bei einer der beiden Gewebearten (Serosa oder Lunge) den Mechanismus zur Tumorbildung in Gang zu setzen, bei der anderen jedoch prinzipiell nicht, falls sie unter den Expositionsbedingungen des Menschen an beide Gewebe gelangen können. Bisher gibt es außerdem keine belastbaren Befunde für die Hypothese, daß das kanzerogene Potential hinreichend langer, dünner und beständiger Fasern durch zusätzliche Eigenschaften gänzlich aufgehoben werden könnte. Aufgrund verschiedener Charakteristika eines Fasertyps, wie Fasergeometrie oder Beständigkeit, können allerdings erhebliche Unterschiede in der Potenz verschiedener Faserarten und verschiedener Faserpräparationen des gleichen Typs auftreten, die für die Praxis bedeutsam sind. Für die Einstufung als Kanzerogen ist jedoch allein das kanzerogene Potential maßgebend.

Bei kritischer und zusammenfassender Würdigung der derzeit vorliegenden Inhalationsexperimente und der Serosatests kommt man zu folgenden Aussagen über das kanzerogene Potential der derzeit verwendeten relativ beständigen, faserförmigen Produkte für den Menschen. (Die Bezeichnung der im Handel befindlichen Mineralwollen erfolgt nach chemisch-technischen und nicht nach toxikologischen Gesichtspunkten. Trotz gleicher Produktbezeichnung können deutliche Potenzunterschiede vorliegen).

- Keramikfasern: Eindeutig kanzerogen nach Inhalation in mehreren Spezies, sowohl Lungentumoren wie Mesotheliome und Fibrosen.
- Glaswollfasern: Positiv im Serosatest, im Inhalationstest mit drei Dosierungen nur marginal positiv (Lungentumoren), keine Mesotheliome oder Fibrosen. Es bestehen hinreichende Anhaltspunkte zu der begründeten

Annahme, daß die Exposition eines Menschen gegenüber Glaswollfasern Krebs erzeugen kann.

- Steinwollen: Positiv im Serosatest, von der Kanzerogenität für den Menschen ist im eben genannten Sinne auszugehen.
- Schlackenwollen: Ausreichende Daten liegen nicht vor, krebsverdächtig i. S. von Anhang 1.1.3.2 der GefStoffV.
- Glasmikrofasern: Positiv im Serosatest und nach intratrachealer Instillation. Es bestehen hinreichende Anhaltspunkte zu der begründeten Annahme, daß die Exposition eines Menschen gegenüber Glasmikrofasern Krebs erzeugen kann.

Risikoabschätzung

Um bei wesentlichen Risikounterschieden zwischen den verschiedenen Faserstäuben mit jeweils angemessenen Maßnahmen reagieren zu können, müssen zunächst Risikoabschätzungen durchgeführt werden.

Entschließt man sich, das Krebsrisiko des Menschen aufgrund eines Tierversuches zu quantifizieren, so setzt man voraus, daß der biologische Wirkungsmechanismus - in diesem Falle der Mineralfasern - bei Mensch und Tier im wesentlichen der gleiche ist. Dennoch können Unterschiede in der Empfindlichkeit oder in der Toxikokinetik vorliegen, die nach Möglichkeit berücksichtigt werden müssen. Da für Asbest sowohl epidemiologische Befunde am Menschen als auch experimentelle Befunde an der Ratte vorliegen, kann das epidemiologisch ermittelte Asbest-Risiko zur "Eichung" der Rattenbefunde verwendet werden, so daß die bei der Ratte festgestellten Risiken mit gewissen, allerdings nur näherungsweise bestimmbar Faktoren auf den Menschen umgerechnet werden können.

Danach übertrifft die kanzerogene Potenz der experimentell geprüften, arbeitsplatztypisch langen Keramikfasern diejenige von i.d.R. kürzeren Asbestfasern, während bei anderen Fasertypen, z. B. den Glaswollfasern üblicher Beständigkeit, auch unter konservativen Annahmen von einer höchstens gleichen, wahrscheinlich aber geringeren Potenz ausgegangen werden kann. Bei der Risikoquantifizierung besteht weiter dringender Forschungsbedarf.

Exposition

Arbeitsplätze

Eine Belastung mit künstlichen Mineralfasern findet vor allem an Arbeitsplätzen statt, wo diese Fasern hergestellt sowie weiterverarbeitet werden oder wo Produkte aus künstlichen Mineralfasern, wie z. B. Dämmstoffe, eingesetzt bzw. ausgebaut werden. Eine Übersicht über die dabei auftretenden Belastungen der Luft am Arbeitsplatz mit kritischen Fasern enthält die Tab. 1 nach Angaben der BAU.

<u>Glas- und Steinwollerzeugnisse</u>	<u>F/m³</u>
Herstellung von Glaswollen	10.000 - 50.000
Verarbeitung als Dämmstoffe im Hoch- und Tiefbau	65.000 - 1,1 Mio.
Herstellung von Spezialwollen	1 Mio. - 2 Mio.
Abriß alter Ofenisolierungen aus thermisch belasteter Steinwolle	bis zu 2,5 Mio.
Spritzisolation mit Steinwolle	bis zu 4 Mio.
Einblasen von loser Mineralwolle in enge Räume	bis zu 8 Mio.
<u>Keramikwollen</u>	<u>F/m³</u>
Herstellung und Konfektionierung	300.000 - 1 Mio.
Ofenisolierung mit Keramikwoll- erzeugnissen	380.000 - 2,5 Mio.*
Herstellung von Siliciumcarbid	110.000 - 2,7 Mio.
Abriß thermisch belasteter Ofenisolierungen	bis zu 23,5 Mio.*
* Es wurden alle Fasern gezählt, hiervon wiesen ca. 40 % Durchmesser unter 1 µm auf.	
<u>Faserverstärkte Werkstoffe</u>	<u>lungengängige Fasern</u>
Fräsen glasfaserverstärkter Epoxidharze	nicht nachweisbar ⁺
Fräsen aramidverstärkter Epoxidharze	mehrere Mio. ⁺
+ Faserabgabe je Meter Schnittlänge	

Tab. 1: Belastungen der Luft mit kritischen Fasern am Arbeitsplatz

Belastung im Innenraum

Mineralwolle-Dämmstoffe bilden aufgrund ihrer weitverbreiteten Verwendung im Bauwesen die Gruppe mineralfaserhaltiger Produkte, mit der die Normalbevölkerung am ehesten in Kontakt kommt.

Unverkleidet eingebaute Mineralwollerzeugnisse, z. B. zum Schallschutz auf abgehängten Decken, haben wegen ihres direkten Kontaktes zum Innenraum das höchste Potential der Feinstaubabgabe. Derartige Räume wurden in einer kürzlich abgeschlossenen Meßkampagne schwerpunktmäßig unter normalen Nutzungsbedingungen und bei simulierten Ausbesserungsarbeiten untersucht.

Da die Luft sowohl außen wie in Innenräumen normalerweise eine Vielzahl anorganischer Fasern der kritischen Dimensionen ($D \leq 3 \mu\text{m}$, $L \geq 5 \mu\text{m}$, $L:D > 3$) enthält, wurde bei diesen Messungen zwischen "Produkt"-fasern (aus dem jeweils eingebauten Dämmstoff), Gipsfasern und "sonstigen anorganischen Fasern" unbekannter Herkunft unterschieden, wobei auch die letzteren

einen Anteil künstlicher Mineralfasern enthalten. Die wichtigsten Ergebnisse sind in der Tab. 2 zusammengefaßt.

<u>Gesamtübersicht über alle</u>	x ¹⁾	x ₈₄ ²⁾	Anteil Meßwerte unter NWG ³⁾
<u>Innenraum-Meßwerte</u>			
<u>Faserzahlkonzentrationen</u>	F/m ³	F/m ³	%
<u>Durchmesser unter 1 µm:</u>			
<u>Produktfasern</u>	122	284	66
Gipsfasern	363	788	20
Sonst. anorganische Fasern	498	1204	12
<u>Durchmesser unter 2 µm:</u>			
<u>Produktfasern</u>	476	1188	33
Gipsfasern	1258	2880	2
Sonst. anorganische Fasern	2178	5217	1
<u>Durchmesser unter 3 µm:</u>			
<u>Produktfasern</u>	572	1390	22
Gipsfasern	1393	3165	1
Sonst. anorganische Fasern	2612	6280	0

1) x = Arithmetischer Mittelwert

2) x₈₄ = 84 % aller Meßwerte liegen unter diesem Wert

3) NWG = Nachweisgrenze (ca. 100 F/m³), diese Meßwerte wurden jeweils mit der halben NWG rechnerisch berücksichtigt

Tab. 2: Vorkommen kritischer Fasern im Innenraum, nach einer von UBA, BGA und IfBt koordinierten Untersuchung

Von besonderem Interesse ist die Diskussion der Meßwerte, die deutlich über den Durchschnittswerten liegen ($x > x_{84}$).

Wie die vorläufige Auswertung zeigt, lassen sich diese Meßwerte bestimmten Situationen zuordnen. Besonders auffällig waren dabei in einem Bürogebäude ein Gebäudeteil mit "weichem" Bodenbelag aus textilem Nadelfilz-Teppichboden und ein bezugsfertiger Neubau, in dem noch Restarbeiten mit Mineralwolle-Erzeugnissen ausgeführt wurden.

In diesen beiden Objekten sind 62 % der Produktfaser-Meßwerte gegenüber dem Durchschnitt deutlich erhöht, während nur 29 % (Bürogebäude) bzw. 5 % (Neubau) der Meßwerte sonstiger anorganischer Fasern in diese Kategorie einzuordnen sind.

Die vorliegende Zusammenstellung der Meßergebnisse in Gebäuden läßt folgende Aussagen zu:

Die Konzentration kritischer Produktfasern ist bei Verwendung von Mineralwolle-Erzeugnissen in Gebäuden durch Faserfreisetzung **in der Nutzungsphase**

- in der Regel **nicht erhöht**, wenn ordnungsgemäß durchgeführte Wärmedämmungen vorliegen (Dämmstoff an der Außenwand; zweischaliges Mauerwerk mit innenliegender Dämmschicht; Anwendung im Innenraum bzw. Dachbereich hinter einer dichten Verkleidung, z. B. aus Gipskarton, aus Dampfsperre und Holzpaneel oder vergleichbare Konstruktionen),
- in der Regel **mäßig erhöht**, wenn die Mineralwolle-Erzeugnisse so eingebaut sind, daß sie im Luftaustausch mit dem Innenraum stehen. Dieser Fall liegt vornehmlich bei abgehängten Decken ohne einen funktionsfähigen Rieselschutz vor.
- **im Einzelfall deutlich erhöht**, bis zu einigen tausend Fasern je m³, und zwar **ständig** bei bautechnischen Mängeln bzw. Konstruktionen, die nicht dem Stand der Technik entsprechen, oder **vorübergehend** bei baulichen Eingriffen an Bauteilen, die Mineralwolle-Produkte enthalten.

Empfehlungen

Für den Arbeitsplatz wird eine Überprüfung der geltenden TRK-Werte empfohlen; dies erscheint angesichts der ausgeprägten kanzerogenen Potenz von Keramikfasern im Tierversuch und den hohen Faserkonzentrationen an entsprechenden Arbeitsplätzen für diese Faserart besonders dringend. Generell sollten außerdem Substitutionspotentiale ausgeschöpft werden, soweit toxikologisch geprüfte Ersatzstoffe verfügbar sind.

Bei Neuprodukten sollten folgende Ziele angestrebt werden:

- Verringerung des atembaren Faseranteils in den Produkten;
- Verringerung der Biobeständigkeit der Mineralwolle-Fasern in den Produkten;
- Entwicklung eines realitätsnahen Tests zum Verstaubungsverhalten der Produkte mit dem Ziel einer Kennzeichnung staubarmer Produkte;
- produktbezogene Aufklärung zur Minderung der Faserfreisetzung für Architekten, Handwerker und Heimwerker;
- Verbesserung der konstruktiven Maßnahmen zur Vermeidung der Faserbelastung in Innenräumen.

Bei den eingebauten Mineralwollprodukten dürfte die öffentliche Einschätzung der hier vorgelegten Innenraumergebnisse durch den Vergleich mit Asbest bestimmt werden. Im Gegensatz zu vielen Fachleuten neigt der Laie dazu, das Krebsrisiko durch bisher übliche Dämmstoff-Fasern zu überschätzen, weil er die Ergebnisse aus mathematischer Risikoabschätzung nicht mit anderen Risiken, die wir akzeptieren oder annehmen müssen, in Beziehung setzen kann. Er interpretiert das große Volumen an Dämmstoffmaterial, das zur Wärmeisolierung eines Hauses notwendig ist, unbewußt aber fälschlicherweise mit einem relativ hohen Krebsrisiko und wird deshalb mitunter von großer Angst geplagt.

Aus folgenden Gründen ist das faktische Risiko durch Dämmstofffasern jedoch geringer als durch Asbestfasern:

- Mineralfaserdämmstoffe entwickeln weniger Feinstaub als vergleichbare Asbestmaterialien. Dies zeigt sich sowohl am Arbeitsplatz, wo ein faserbedingtes Krebsrisiko in der Dämmstoffindustrie nicht nachgewiesen werden konnte, während es in der ehemaligen Asbestindustrie klar auf der Hand liegt, als auch bei sorgfältigen Untersuchungen im Innenraum.
- Die bei Asbest beobachtete Längsspaltung der Fasern, die ihre Gefährlichkeit erhöht, ist bei den hier diskutierten künstlichen Mineralfasern nicht zu befürchten.

Von "Rausreiß- und Entsorgungsaktionen" der bereits eingebauten Materialien ist daher in der Regel dringend abzuraten. Eine Sanierung dürfte nur in Fällen sinnvoll sein, wo ungünstige Umstände zusammenkommen, da die Produktfasern normalerweise nur einen kleinen Teil der Gesamtbelastung ausmachen und der Anteil der besonders kritischen dünnen Fasern ($D \leq 1 \mu\text{m}$) weniger als 10% beträgt. Die Erarbeitung entsprechender Empfehlungen hat bereits begonnen.

Ausblick

Die Arbeitsgruppe wird die hier in Fulda diskutierten Ergebnisse auswerten. Die drei Bundesoberbehörden beabsichtigen, noch in diesem Jahr gemeinsam eine Sachverständigenanhörung zum Thema "Künstliche Mineralfasern" durchzuführen. Die so gewonnenen Daten berücksichtigend werden die Bundesoberbehörden den zuständigen Bundesressorts einen abgestimmten Bericht vorlegen, der eine abschließende Bewertung sowie Maßnahmenvorschläge enthalten wird.

Asbesthaltige Nachtstromspeicheröfen

Stellungnahme zur Sanierung und Entsorgung

Asbest ist in den vergangenen Jahrzehnten insbesondere wegen seiner Hitzebeständigkeit in zahlreichen Produkten verarbeitet worden. Bis einschließlich 1976 wurden mehrere Baureihen von Nachtstromspeicheröfen mit asbesthaltigen Dämmstoffen ausgerüstet und in den Handel gebracht. Hierbei handelt es sich insbesondere um die bodenseitige Isolierung (Kernsteinträgerisolation), die zu rund fünf bis sechs Prozent aus Asbest bestand. Die den Nachtstromspeicheröfen durchströmende Luft kann bei diesen Geräten feine Fasern aus den asbesthaltigen Teilen mitreißen, die zu einer Belastung der Raumluft führen.

Welche Geräte enthalten Asbest?

Ob es sich im Einzelfall um einen asbestfreien oder asbesthaltigen Gerätetyp handelt, kann nur von dem jeweiligen Hersteller oder dem Zentralverband der Elektrotechnischen Industrie, Postfach 70 09 69, in 6000 Frankfurt/Main 70, beantwortet werden. Nach 1976 in den Handel gebrachte Nachtstromspeicheröfen enthalten kein Asbest mehr im Luftstrom.

Wann besteht Sanierungsbedarf?

Eine scharfe Grenze für eine aus gesundheitlichen Gründen noch tolerierbare Asbestfaserkonzentration in der Atemluft kann mit wissenschaftlicher Exaktheit nicht gezogen werden, weil es im Prinzip keinen Schwellenwert für krebs-erregende Substanzen gibt. Das Bundesgesundheitsamt empfiehlt daher generell aus Gründen des vorbeugenden Gesundheitsschutzes, auch schwach asbestemittierende Altgeräte aus dem Innenraum zu entfernen, um eine potentielle zusätzliche Gefahr zu vermeiden. Zusätzlich deshalb, weil es eine »Nullwert«-Situation, wegen des natürlichen Vorkommens und der vielfachen Verwendung von Asbest, praktisch nicht gibt. Asbestfasern finden sich in mehr oder weniger großer Konzentration überall in der Luft. Durch intensive Bemühungen der beteiligten Fachkreise und Behörden ist die Verwendung von Asbest immer stärker eingeschränkt und die Entwicklung von Ersatzlösungen vorangetrieben worden.

Risiken vermeiden – Sanierung nur fachgerecht

Voraussetzung für eine sinnvolle Sanierung ist immer, daß die vorher angenommene oder festgestellte Gefährdung durch die Sanierungsmaßnahmen nicht erst verursacht oder sogar vergrößert wird, die Arbeiten also nicht zu einer wesentlich höheren Asbestbelastung führen.

Das Bundesgesundheitsamt hat in Räumen mit Nachtstromspeicheröfen Messungen durchgeführt, um die Belastungshöhe der Raumluft mit Asbestfasern der kritischen Größe durch den Betrieb älterer asbesthaltiger Nachtstromspeicherheizungen zu ermitteln. Die Ergebnisse fielen überwiegend günstig aus, d. h., die Faserkonzentrationen lagen meist unter oder dicht über der Nachweisgrenze von 100 F/m^3 . Da jedoch nur ein Ausschnitt aller verwendeten Gerätetypen und dieser auch nicht unter allen denkbaren Nutzungsbedingungen untersucht werden konnte, sind die Ergebnisse der Meßreihe nicht für alle aufgestellten asbesthaltigen Geräte gültig.

Dagegen ergaben Messungen des BGA, die während einer Sanierung mit Ausbau und Demontage des Gerätes durchgeführt wurden, in einem als unbelastet geltenden Raum, bedingt durch die Demontage, einen Anstieg der Asbestfaserkonzentration auf das 100fache des Ausgangswertes. Dies zeigt, daß ein unsachgemäßer Abbau asbesthaltiger Geräte die Gefahr drastisch erhöhen kann. Die Dringlichkeit einer Sanierung sollte daher sorgfältig geprüft, die Sanierung selbst unbedingt fachgerecht durchgeführt werden.

Kriterien für die Sanierungs-Dringlichkeit

Für die Bewertung der Dringlichkeit einer Sanierung durch Sachverständige sind außer dem Gerätezustand die Nutzungshäufigkeit und -art der betroffenen Räume, ob es sich z. B. um Schlaf-/Wohnräume, Kindergärten und Schulen oder um Keller- und Lagerräume handelt, entscheidend. Grundsätzlich sind Kinder wegen der langen Entwicklungszeit einer Asbestschädigung hier besonders schutzbedürftig, ebenso Personen

mit chronisch obstruktiven oder restriktiven Atemwegserkrankungen.

Zur Zeit werden von den beteiligten Fachkreisen zur Vorgehensweise bei der Einschätzung der Sanierungsnotwendigkeit, der Entfernung der Öfen und der Entsorgung neue Verfahren entwickelt, erprobt und bewertet, die von diesen Kreisen in Kürze vorgestellt werden sollen. Das Bundesgesundheitsamt rät, dort, wo eine Entfernung des unzerlegten und versiegelten Gerätes mit anschließender fachgerechter Entsorgung nicht möglich ist, von einer Demontage oder Entfernung der Nachtstromspeicherheizgeräte zunächst abzusehen und diese neuen Informationen abzuwarten.

Grundlagen der Sanierung

Das BGA weist ausdrücklich darauf hin, daß bei den als notwendig erachteten Sanierungsmaßnahmen unbedingt die geltenden Richtlinien für die Bewertung und Sanierung schwach gebundener Asbestprodukte in Gebäuden (Asbest-Richtlinien), 1989, mit Erläuterungen vom Januar 1990, sowie die geltenden Arbeitsschutzvorschriften und Bestimmungen des Abfallrechtes vom Veranlassenden und dem durchführenden Betrieb zu beachten und anzuwenden sind. Zur Durchführung der Überprüfung und Sanierung asbesthaltiger Baustoffe in Innenräumen, wozu nach Ansicht des BGA Nachtstromspeicherheizgeräte gehören, ist nach der BauO der Gebäudeeigentümer bzw. bei öffentlichen Gebäuden die jeweils zuständige Behörde verpflichtet.

Ergänzend weist das BGA (im Einvernehmen mit dem UBA) darauf hin, daß es bei der Neuanschaffung von Heizgeräten zumal in größeren Wohneinheiten sinnvoll ist zu prüfen, ob auf Grund der lokalen Gegebenheiten die Anwendung eines anderen Heizsystems in Hinsicht auf eine höhere Energieausnutzung und die bessere Umweltverträglichkeit vorzuziehen ist.

Spezielle Probleme sollten mit dem Hersteller, dem örtlichen Elektrizitätsversorgungsunternehmen oder der zuständigen Orts- oder Landesbehörde geklärt werden.

Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des BGA, Corrensplatz 1, 1000 Berlin 33.

Kommission Innenraumlufthygiene des BGA

Kontrolle von Schadstoffemissionen aus Baumaterialien und anderen im Innenraumbereich eingesetzten Produkten

Gemeinsame Empfehlung des Bundesgesundheitsamtes, der Bundesanstalt für Arbeitsmedizin, der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und des Umweltbundesamtes

Die Qualität der Innenraumluft kann wesentlich durch Materialien und Produkte beeinträchtigt werden, die im Innenraumbereich staub- und gasförmige Substanzen emittieren. Spezielle Emissionen riefen in der Vergangenheit gesundheitliche Bedenken hervor, so daß zur Beseitigung der Ursachen erhebliche finanzielle Mittel eingesetzt werden mußten. Die bekanntesten Beispiele sind: Formaldehyd aus Spanplatten und Ortschäumen, Pentachlorphenol und andere Holzschutzmittel aus behandelten Holzteilen, Asbestfasern aus schwach gebundenen Asbestprodukten und polychlorierte Biphenyle aus Dichtmassen.

In vielen Fällen ist eine Zuordnung von gesundheitlichen Beschwerden und Gefahren zu Schadstoffen in der Raumluft praktisch nicht durchführbar, da die Informationen über die eingesetzten Materialien und Produkte nur dürftig sind oder gar vollständig fehlen. Speziell die Kommunen stehen oft vor erheblichen Problemen, z. B. bei der Beurteilung der Situation in Kindergärten, Schulen und Bürogebäuden, da die mit gesundheitlichen Fragen befaßten Institutionen ohne vollständige Informationen nur schwer Empfehlungen für Maßnahmen geben können.

Informationen über die stoffliche Zusammensetzung von Bauprodukten und die von ihnen abgegebenen Stoffe sind dringend erforderlich, damit die zuständigen nationalen Behörden eine sachgerechte ökologische und gesundheitliche Bewertung solcher Produkte durchführen können, wie sie nach der EG-Bauprodukten-Richtlinie zur Erfüllung der grundlegenden Anforderungen »Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz« vorgeschrieben ist.

Die oben genannten Bundesoberbehörden halten es daher nach Anhörung der Innenraumlufthygiene-Kommission beim Bundesgesundheitsamt für erforderlich, daß den für den Umwelt- und Gesundheitsschutz zuständigen Behörden alle Informationen über die Inhaltsstoffe von im Innenraum eingesetzten Materialien und Produkten einschließlich der verfügbaren toxikologischen Daten durch die Hersteller oder Vertreiber dieser Erzeugnisse im Bedarfsfall zugänglich gemacht werden.

Es sollte geprüft werden, ob eine Regelung getroffen werden kann, die vorsieht, daß die erforderlichen Informationen entweder den zuständigen Behörden direkt übermittelt werden oder in einer von den Herstellern und

Vertreibern zu finanzierenden Datenbank vorgehalten werden müssen.

Die Bundesoberbehörden appellieren auf der Grundlage des Votums der Innenraumlufthygiene-Kommission beim Bundesgesundheitsamt an die Hersteller bzw. Vertreiber von Produkten und Materialien, die im Innenraum eingesetzt werden, auf freiwilliger Basis

- die entsprechenden vollständigen Rezepturen zu sammeln, aufzubewahren und bei Bedarf den zuständigen Behörden offenzulegen,
- die relevanten toxikologischen Daten für die in ihren Erzeugnissen enthaltenen und in der Luft zu erwartenden Substanzen bereitzuhalten, insbesondere für solche, die nicht in der MAK-Werte-Liste aufgeführt sind,
- nachprüfbar Angaben darüber bereitzuhalten, auf welche Art ihre Erzeugnisse bei sachgerechter Anwendung die Innenraumluft belasten, und
- den gewerblichen und privaten Anwendern ihrer Erzeugnisse ausreichende Informationen anzubieten (Anwendungshinweise, Schulungen usw.).

Kommission Innenraumlufthygiene des BGA

Raumklimabedingungen in Schulen, Kindergärten und Wohnungen und ihre Bedeutung für die Bestimmung von Formaldehydkonzentrationen

Gestützt auf Beratungen in der Innenraumlufthygiene-Kommission nimmt das Bundesgesundheitsamt im folgenden zur Frage von Raumklimabedingungen und ihrer Bedeutung Stellung.

1 »Normativwerte« für das Raumklima

1.1 Allgemeines

Eine Beschreibung angemessener bauhygienischer und raumklimatischer Umgebungsbedingungen stützt sich insbesondere auf Angaben der Lufttemperatur t_L , der mittleren Strahlungsflächentemperatur t_U (u. U. sind Asymmetrien der Oberflächentemperaturen im Raum zu berücksichtigen), der relativen Luftfeuchtigkeit r , F und der Luftgeschwin-

digkeit v_L . Als weitere Einflußfaktoren sind zu nennen: der Luftwechsel (Luftvolumenstrom für einen Raum, bezogen auf das Raumvolumen) bzw. die Lüfrate (Luftvolumenstrom, bezogen auf Personen) und die verschiedenen Quellen von Luftschadstoffen. Für einige Raumarten werden in administrativen Regelungen, in DIN-Normen und auch in der Fachliteratur für die Raumklimakomponenten Richtwerte angegeben, die im allgemeinen als »Normativwerte« bezeichnet werden; dabei ist die Raumtemperatur der arithmetische Mittelwert von t_L und t_U .

1.2 Raumtemperatur in öffentlichen Gebäuden

In Gemeinschaftsräumen, wie in Schulen und Kindergärten, hat die Empfehlung oder gar

Festlegung von Raumklimawerten nicht nur die Aufgabe, gewisse Komfortbedingungen zu gewährleisten, sie hat vielmehr auch andere als gesundheitliche Aspekte zu berücksichtigen, u. a. um einen Leistungsabfall zu vermeiden. Da erhebliche Abweichungen des jeweils angetroffenen Raumklimas von solchen »Normativwerten« auftreten können, lassen sich Befindlichkeitsstörungen nicht immer ausschließen. Auch Fragen des Umweltschutzes (Energiekonservierung bzw. -einsparung) bekommen einen immer größeren Stellenwert.

In Tabelle 1 sind die vom Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau (BMBau) in den »Hinweisen für den Betrieb von Anlagen zur Beheizung und Wassererwärmung in öffentlichen Gebäuden« [1] for-

Tabelle 1: Raumtemperaturen in speziellen Gebäuden.

Raumart	Raumtemperatur AMEV 1986	Norm-Innentempe- ratur DIN 4701 T 2
Schulen, Hochschulen, Universitäten		
Allgemeine Unterrichtsräume/Hörsäle	20 °C (17–19 °C)*	20 °C
Lehrküchen (bei Nutzungsbeginn)	18 °C	18 °C
Lehrkräume (je nach Beanspruchung)	18 °C	15–20 °C
Verwaltungsräume (Büroräume)	20 °C (19 °C)	20 °C
Sportstätten/Gymnastikräume	17 °C	20 °C
Bühnen/Treppenhäuser	12 °C	15 °C
Wahllokale	15 °C	15 °C
Umkleieräume	22 °C	22 °C
Wasch- und Duschräume	22 °C	24 °C
Kindergärten und Jugendheime		
Aufenthaltsräume	20 °C (19 °C)	20 °C
Schlafräume	15–18 °C	
Wasch- und Duschräume	22 °C	
Küchen (bei Nutzungsbeginn)	18 °C	

Klammerwerte gelten jeweils für den Nutzungsbeginn

ulierten Vorstellungen über angemessene Raumtemperaturen in staatlichen und kommunalen Gebäuden für die Wintermonate (Heizbetrieb) und die nach DIN 4701 Teil 2 [2] empfohlenen Norm-Innentemperaturen aufgeführt.

Diese Temperaturen sollten aus allgemeinhygienischen Gründen durch einen korrekten Betrieb der Heizungsanlagen und regelmäßige Stoßlüftung eingehalten werden, zumal in Zusammenhang zwischen höheren Innenraumtemperaturen, die in der Regel höhere Schadstoffkonzentrationen zur Folge haben, und beeinträchtigter Leistungsfähigkeit, verbunden mit häufigen Befindlichkeitsstörungen gesehen wird. In den Sommermonaten sollten, vor allem in allgemeinen Unterrichtsräumen bzw. Kindergärten, Temperaturen von 27 °C längerfristig nicht überschritten werden. Dies ist z. B. durch effektiven Sonnenschutz und angemessene Lüftung erreichbar; vgl. auch DIN 1946 Teil 2 [3].

3. Raumtemperaturen im privaten Wohnbereich

In Räumen, insbesondere in Wohnräumen, können die Umgebungsbedingungen aufgrund unterschiedlicher Nutzungen und Behaglichkeitsvorstellungen in weiten Grenzen variieren. Unter Berücksichtigung der unter

Tabelle 2: Wohnphysiologisch optimale Temperaturbereiche für Wohnräume.

Raumart	Temperaturen lt. Grandjean [4]
Wohnzimmer	20–23 °C
Schlafzimmer	17–20 °C
Küche	18–20 °C
Bad	20–23 °C
WC	16–19 °C
Bur	18–20 °C

1.2 skizzierten Anforderungen sollte angestrebt werden, die von Grandjean [4] vorgeschlagenen Temperaturen einzuhalten; s. Tabelle 2. Ausnahmen sind zulässig. Um Energie zu sparen, sollten sich die Temperaturen in der Heizperiode möglichst an den unteren Werten orientieren.

1.4 Relative Luftfeuchtigkeit

Der Behaglichkeitsbereich für die relative Luftfeuchtigkeit in normalen Aufenthaltsräumen liegt – weitgehend unabhängig von der Lufttemperatur – zwischen 30 und 70 %. Gelegentliche Unterschreitungen sind noch vertretbar. Da die Formaldehydfreisetzung aus Holzwerkstoffen mit ansteigenden relativen Luftfeuchten zunimmt, sollten starke Wasserdampfquellen entweder ausgeschaltet werden oder die sich ergebenden Formaldehydkonzentrationen durch verstärkte Lüftungsmaßnahmen vermindert werden.

1.5 Geschwindigkeit der Luft; Luftwechsel

Die im Aufenthaltsbereich von Personen tolerierbare Geschwindigkeit der Luft ist von der Lufttemperatur und dem Turbulenzgrad der Strömung abhängig. Hohe Luftgeschwindigkeiten und der damit oft verbundene höhere Luftwechsel bewirken in aller Regel geringere Schadstoffkonzentrationen; aus Gründen der thermischen Behaglichkeit sind starker Luftbewegung jedoch Grenzen gesetzt. Im Mittel sollte bei 20 bis 24 °C die Luftbewegung etwa 0,15 m/s im Winter und 0,25 m/s im Sommer nicht überschreiten. In üblichen Wohnräumen sollte der Luftwechsel ca. 0,5 bis 1 h⁻¹ betragen.

1.6 Raumklima bei Leichtbauweise

In gewissen Gebäuden, die in Leichtbauweise ausgeführt wurden, ist es bei extremen Wetterlagen (Tropentage, kalte Winterperioden) nicht möglich, die oben genannten Temperatur- und Feuchtigkeitsbereiche einzuhalten

(hier wird häufig der Terminus »Barackenklima« verwendet). Aus hygienischer Sicht sind derartige Gebäude als Kindergärten, Schulen oder für die Einrichtung von Dauerarbeitsplätzen nicht geeignet. Der in derartigen Gebäuden oft angestrebte Ausgleich der baulich bedingten Raumklimamängel durch Raumlufttechnische Anlagen (RLT-Anlagen) stellt auf die Dauer aus hygienischer Sicht keine Lösung dar.

2 »Normativwerte« im Zusammenhang mit der Bewertung von Formaldehydkonzentrationen

Das Bundesgesundheitsamt hat bereits 1977 und 1984 [5, 6] als Richtwert für die Formaldehydkonzentration in der Innenraumluft einen Wert von 0,1 ppm genannt. Er gilt – wie der Begründungstext seinerzeit lautete – unter der Voraussetzung der Einhaltung der einschlägig geltenden Empfehlungen, Richtlinien und Normen im Bereich bauhygienischer Umgebungsbedingungen. Auch die Gefahrstoffverordnung vom 26. 8. 1986 (§ 9 Abs. 3, 4) in der Fassung vom 5. 6. 1991 fixiert diesen Wert, berücksichtigt als Quelle aber nur Holzwerkstoffe.

Wegen des Einflusses der Temperatur, der relativen Luftfeuchtigkeit und des Luftwechsels auf die Formaldehydbelastung in Innenräumen kann es sinnvoll sein, die unter verschiedenen Raumklimabedingungen gemessenen Konzentrationen auf »Normativwerte« umzurechnen. Nur auf diese Weise sind viele in der Vergangenheit bei unterschiedlichen Raumklimabedingungen bestimmte Formaldehydgehalte der Innenraumluft vergleichbar zu machen.

Die unter 1.2 genannten Gebäude sollten baulich so ausgestattet sein, daß die genannten Raumklimabedingungen eingehalten werden können. Ist jedoch, z. B. auf Grund klimatischer Bedingungen oder baulicher Gegebenheiten, davon auszugehen, daß die in der Tabelle 1 aufgeführten Raumtemperaturen häufiger über längere Zeit überschritten werden, so muß geprüft werden, wie weit formaldehydemittierende Baustoffe – selbst wenn sie die gesetzlich verankerten Produktanforderungen erfüllen – wegen ihrer stark von Temperatur und Luftfeuchte abhängigen Emission überhaupt eingesetzt werden können. Dies gilt insbesondere für Gemeinschaftsräume, wenn sich die oben angegebenen Temperaturen aus den genannten Gründen nicht einhalten lassen. Der vom Bundesgesundheitsamt 1977 empfohlene Richtwert von 0,1 ppm Formaldehyd darf auch unter solchen Bedingungen nicht überschritten werden. Es kann sich als nötig erweisen, auch Materialien aus den Räumen zu entfernen, die nach dem vom Bundesgesundheitsamt veröffentlichten »Prüfverfahren für Holzwerkstoffe« [7] (gemäß GefStoffV § 9, Abs. 3) erfolgreich geprüft wurden, wenn sie unter solchen ungünstigen, aber nicht vermeidbaren Raumklimabedingungen zu hohe Formaldehydemissionen aufweisen.

Liegen die Formaldehydkonzentrationen in einem Raum über 0,1 ppm, so kann dies – wie dargelegt – an den Raumklimabedingungen, aber auch an den Holzwerkstoffen liegen. Um diese Einflüsse zu quantifizieren, ist folgendermaßen vorzugehen:

Bei Raumklimaparametern im ungünstigen Bereich (z. B. höhere Temperatur, niedrigerer Luftwechsel) kann die zu erwartende Formaldehydkonzentration mit Hilfe der Andersen-Gleichung [8] errechnet werden, z. B. für die üblicherweise in dem Raum anzutreffenden raumklimatischen Bedingungen oder für bestimmte Bezugsbedingungen. Die Umrechnung kann Entscheidungen über die zu treffenden Maßnahmen erleichtern; das Ergebnis dieser Berechnungen gilt jedoch nur als Orientierung. Maßgeblich für die gesundheitliche Bewertung bleibt die gemessene und nicht die errechnete Bezugskonzentration.

Umgeformte Andersen-Gleichung:

$$c_B = c_M \frac{(0,143 H_B + 0,048) \cdot (0,08 T_B - 0,764) \cdot (1 + 0,304 n_M/a_M)}{(0,143 H_M + 0,048) \cdot (0,08 T_M - 0,764) \cdot (1 + 0,304 n_B/a_B)}$$

mit

c_B = Formaldehydgehalt der Luft für Bezugswerte (insbes. gemäß GefStoffV; Lufttemperatur 23 °C, relative Luftfeuchtigkeit 45 %, mittlerer Luftwechsel 1 je Std., Raumbeladung 1 m³/m³)

c_M = Formaldehydgehalt der Luft unter Meßbedingungen

H = absolute Luftfeuchte in g H₂O/kg trockener Luft bei Bezugs- (B) bzw. Meßbedingungen (M) im Bereich 5–13 g H₂O/kg Luft

T = Temperatur in °C bei Bezugs- (B) bzw. Meßbedingungen (M) im Bereich 17–32 °C

n = Luftwechsel je Stunde bei Bezugs- (B) bzw. Meßbedingungen (M) im Bereich 0,4–3 h⁻¹

a = Beladung des Raumes mit Spanplatten in m³/m³ Rauminhalt bei Bezugs- (B) bzw. Meßbedingungen (M)

Die in der Gleichung enthaltenen Parameter sollten aus Messungen bekannt sein. Die absolute Luftfeuchte H kann aus der relativen Luftfeuchtigkeit und der Lufttemperatur ermittelt werden, z. B. mit entsprechenden Tabellen, Diagrammen bzw. Nomogrammen [9].

Stimmen die Raumklimaparameter mit den Prüfungsbedingungen gemäß dem Prüfverfahren für Holzwerkstoffe [7] überein oder weichen sie in die günstige Richtung ab (z. B. tiefere Temperatur, höherer Luftwechsel), so ist jede Überschreitung des 0,1-ppm-Wertes durch eine zu hohe Beladung, einen ungeeigneten Werkstoff oder durch Emissionen aus anderen Quellen bedingt. In diesem Falle sind entsprechende Gegenmaßnahmen zu ergrei-

fen (z. B. eine geringere Beladung). Bei zu stark emittierenden Holzwerkstoffen kann auch eine Haftung des Lieferanten oder des Herstellers in Frage kommen.

Die bei Überschreiten des 0,1-ppm-Wertes (als Meß- oder ggf. als Rechenwert) erforderlichen Maßnahmen zur Formaldehydverminderung richten sich im Einzelfall nach der Höhe der Werte und nach den jeweiligen Gegebenheiten.

Werden für den privaten Wohnbereich permanent Innenraumtemperaturen bevorzugt, die über 23 °C liegen, so sollte zur sicheren Vermeidung von Formaldehydkonzentrationen über 0,1 ppm in der Innenraumluft die Verwendung formaldehydemittierender Materialien beschränkt werden (auf das Umweltzeichen für formaldehydarme Produkte aus Holz/Holzwerkstoffen RAL-UZ 38 wird hingewiesen, ein Umweltzeichen

dingungen gemessen werden. Anderenfalls sollte wie unter Ziffer 2 dargelegt vorgegangen werden.

Auf die Einhaltung der einschlägigen Vorschriften beim Messen von Formaldehyd wird hingewiesen, insbesondere auf die in Vorbereitung befindlichen Blätter 1 und 3 der VDI-Richtlinie 4300 [10]. Bis zum Vorliegen dieser Richtlinie sollte wie folgt verfahren werden: Vor jeder Formaldehydbestimmung ist erst intensiv zu lüften. Anschließend sind vor Beginn der Messung für ca. drei Stunden Fenster und Türen zu schließen.

4 Weitere Formaldehydquellen

Als Formaldehydquellen im Innenraum kommen neben Holzwerkstoffen auch weitere Produkte in Frage, für die bisher noch keine Emissionsgrenzen vorgeschrieben sind (z. B. Farben, Lacke, Kleber, Leime). Für derartige Produkte ist die in Abschnitt 2 genannte Gleichung nicht nutzbar. Die Emissionsdauer dieser Quellen ist jedoch meist im Vergleich zu derjenigen von Holzwerkstoffen deutlich geringer.

Literatur:

- [1] Hinweise für den Betrieb von Anlagen zur Beheizung und Wassererwärmung in öffentlichen Gebäuden (Heizbetrieb 86), aufgestellt und herausgegeben vom Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen (AMEV), Bonn 1986.
- [2] DIN 4701 Teil 2, Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden, Tabellen, Bilder, Algorithmen, März 1983.
- [3] DIN 1946 Teil 2, Raumlufttechnik, Gesundheitstechnische Anforderungen, Januar 1983. Neuausgabe in Vorbereitung.
- [4] Grandjean, E.: »Wohnphysiologie, Grundlagen gesunden Wohnens«. Verlag für Architektur Artemis Zürich, 1973.
- [5] Bewertungsmaßstab für Formaldehyd in der Raumluft. BGA-Pressedienst 19/77 vom 12. 10. 1977.
- [6] Formaldehyd. Gem. Bericht des BGA, der BAU u. des UBA, 1. 10. 1984.
- [7] Prüfverfahren für Holzwerkstoffe, Bundesgesundhbl. 34, 10 (1991) 488.
- [8] Andersen, I., Lundquist, G. R., u. Molhave, L.: »Indoor Air Pollution Due to Chipboard Used as a Construction Material«. Atmospheric Environment, Vol. 9 (1975) 1121–1127.
- [9] Recknagel/Sprenger/Hönman: »Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik«, 65. Aufl., Tab. 134-1 u. -2, R. Oldenbourg Verlag.
- [10] VDI 4300: Messen von Innenraumluftverunreinigungen, Blätter 1 und 3 (in Vorbereitung).

für emissionsarme Holzwerkstoffplatten befindet sich in Vorbereitung).

3 Meßbedingungen zur Bestimmung von Formaldehydkonzentrationen

In Innenräumen werden üblicherweise bei der Verwendung von Holzwerkstoffen andere Bedingungen vorherrschen, als sie in dem Prüfverfahren angegeben sind. Da höhere Temperaturen, höhere relative Luftfeuchten, höhere Beladungen und ein kleinerer Luftwechsel zu höheren Formaldehydkonzentrationen in der Raumluft führen (und umgekehrt), sollte* – sofern mittlere Raumklimabedingungen üblicherweise auch eingehalten werden – möglichst unter diesen mittleren Be-

T 2575

Hygienic Evaluation of Emissions from Construction Materials into Indoor Air

Final report on a research project
Sponsored by Deutsches Institut für Bautechnik
Ref.: IV 1-5-565/89

Rapporteur:
Klaus-Reinhard Brenske

Co-rapporteurs:
Uwe Kaiser and Jürgen Wegner

Institute for Water, Soil and Air Hygiene
Federal Health Office
D-14195 Berlin (Dahlem)

1993

Abstract

It had been the purpose of this project to record and evaluate emissions into indoor air from construction materials and construction components which included, in a broad sense, also materials for interior decoration such as wall-papers and floor coverings.

The materials were classified essentially into 12 groups. Literature on the individual materials was evaluated, e.g. formulations, prospectuses, publications and reports on other projects.

The members of the Advisory Committee of the Bundesgesundheitsamt (Federal Health Office) who could be won as experts to give advice during the project period had repeatedly recommended to collect formulations and to screen them for substances known to be critical but not yet discussed in this context. It had been the aim of such recommendation to avoid in the future what had been common in the past, i.e. that toxic emission from construction materials was recognized only at a time when the source material had already been used in construction on a large scale (e.g. formaldehyde, PCP, PCB). This objective could not be achieved because it had been impossible to obtain complete formulations suitable for the proposed evaluation. Even formulations communicated as highly confidential listed only basic components which hardly provided indications of a potential for toxic emissions. On the other hand, emissions which constitute a nuisance, may also arise from contaminants or by-products which of course cannot be found in formulations as e.g. the main component of the annoying smell of fresh textile floor coverings (4-phenylcyclohexene). For this reason, this Final Report has been essentially based on the evaluation of reports on other projects. Such approach, however, did not permit a consideration of new types of emission which had not yet been discussed. In the Report, also approaches to a theoretical estimation of emission rates based on the formulations have been discussed. A reasonable determination of emission rates, however, can be accomplished only by way of measurements.

As an essential consequence of the research project, a joint recommendation to manufacturers by the BGA¹, BAfAM², BAU³ and UBA⁴ has been prepared: manufacturers are asked to provide complete data on the ingredients of their products. It is envisaged to start a research project at the Institute for Water, Soil and Air Hygiene of the BGA, under which methods for the measurements of emissions by construction materials will be developed and corresponding measurements performed.

¹ Bundesgesundheitsamt - Federal Health Office

² Bundesanstalt für Arbeitsmedizin - Federal Institute for Occupational Medicine

³ Bundesanstalt für Arbeitsschutz - Federal Institute for Occupational Safety and Health

⁴ Umweltbundesamt - Federal Environmental Agency

T 2575

Evaluation hygiénique d'émissions de produits employés
en construction dans l'air intérieur

K.-R. Brenske*, U. Kaiser* et J. Wegner*

Résumé

Ce projet avait pour but le recensement et l'évaluation des émissions dans l'air intérieur de matériaux de construction et de produits employés en construction ainsi que, par extension, de matériaux servant à la décoration intérieure comme les papiers peints et les moquettes.

A cet effet, nous avons classé ces matériaux en 12 groupes et nous avons effectué des recherches dans la littérature scientifique sur ces différents matériaux. Nous avons dépouillé ainsi des formules de fabrication, des prospectus, des articles et des rapports d'autres projets.

Les membres de la Commission d'Hygiène de l'Air Intérieur de l'Office Fédéral de la Santé (BGA) qui ont bien voulu nous apporter leur concours en tant qu'experts consultants pour ce projet de recherche nous avaient recommandé plusieurs fois de rassembler des formules de fabrication et d'y rechercher les substances critiques qui n'avaient pas encore fait l'objet de discussions à ce propos jusqu'à présent. L'objectif poursuivi était d'éviter qu'à l'avenir, des émissions toxiques de matériaux de construction ne soient reconnues comme telles qu'après que leurs sources eussent déjà été employées en grande quantité dans la construction, comme cela fut souvent le cas dans le passé (par exemple, pour le formaldéhyde, le PCP et les BPC). Or, nous n'avons pas pu atteindre cet objectif étant donné que nous n'avons pas réussi à obtenir des formules complètes convenant à ce genre de dépouillement. Même les formules communiquées confidentiellement ne présentaient que les ingrédients de base et permettaient donc à peine de conclure à l'éventualité d'émissions toxiques. D'un autre côté, il se forme aussi des émissions gênantes à partir d'impuretés ou de sous-produits ne figurant naturellement pas dans les formules, comme par exemple, le composant principal de l'odeur désagréable des moquettes neuves (4-phénylcyclohexène). C'est pourquoi ce rapport de clôture s'appuie essentiellement sur le dépouillement de rapports d'autres projets. Mais de ce fait, il ne nous a pas été possible de recenser de nouvelles émissions qui n'avaient pas encore fait l'objet de discussions. De même, nous avons esquissé une estimation théorique des taux d'émissions sur la base des formules de fabrication. Mais, seules des mesures permettent d'établir raisonnablement des taux d'émissions.

* Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes, D - 14195 Berlin (Dahlem)
(Institut d'Hygiène de l'Eau, du Sol et de l'Air de l'Office Fédéral de la Santé)

Ce projet de recherche a eu pour conséquence essentielle la préparation d'une recommandation du BGA en collaboration avec le BAFAM*, le BAU** et le UBA*** destinée aux fabricants pour les inciter à donner la liste complète des ingrédients de leurs produits. A l'Institut d'Hygiène de l'Eau, du Sol et de l'Air de l'Office Fédéral de la Santé, il est prévu de réaliser un projet de recherche, au cours duquel on mettra au point des méthodes de mesure d'émissions sur des matériaux de construction en effectuant des mesures de cette sorte.

-
- * BAFAM : Bundesanstalt für Arbeitsmedizin (Institut fédéral de Médecine du Travail)
 - ** BAU : Bundesanstalt für Arbeitsschutz (Institut fédéral de Protection du Travail)
 - *** UBA : Umweltbundesamt (Agence fédérale de l'Environnement)