

## Innenraumschadstoffe

Immer mehr Menschen klagen an ihrem Arbeitsplatz oder in ihren Wohnräumen über gesundheitliche Beschwerden, deren Ursache meist nicht bekannt ist. Die Beeinträchtigungen reichen hierbei von der einfachen Geruchsbelästigung bis zur gesundheitlichen Gefährdung. Oftmals stellen Einrichtungsgegenstände oder Baumaterialien die Ursache hierfür dar.

### Wie kommt es dazu?

In den 70-iger Jahren war eine Trendabkehr von den klassischen Baumaterialien zu neuartigen Baustoffen zu erkennen. Dies hatte finanzielle Ursachen: Zum einen wurden wegen steigenden Grundstückspreisen vermehrt Hochhäuser errichtet, zum anderen wurde mit besseren Abdichtungen und Isolierungen Energie gespart. Beide Bauweisen brachten neuartige Baumaterialien bzw. ein geändertes Wohnverhalten mit sich. Viele dieser neuartigen Baumaterialien wurden nicht oder nur unzureichend auf ihre gesundheitlichen Auswirkungen untersucht. Weiterhin ergab sich aus falsch verstandenem Energiesparen eine verringerte Lüftung und damit die Gefahr der Schadstoffanreicherung im Innenraum.

### Was sind das für Schadstoffe ?

Die Palette der problematischen Inhaltstoffe älterer Baumaterialien ist breit: Sie reicht von **Formaldehyd** in Möbeln und Spanplatten, **Pentachlorphenol** und **Lindan** in **Holzschutzmitteln**, **Asbest** und **polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen** (PAK's) in einer Vielzahl von Materialien bis zu **polychlorierten Biphenylen** (PCB) in Dichtungsmassen und Farben.

**Dioxine** und **Furane** können dann entstehen, wenn Vorläufersubstanzen wie **PCB** oder **PCP** bereits vorhanden sind.

Auch polychlorierte **Naphthaline** (z.B. als Holzschutz) sind mittlerweile ein Thema geworden.

Weiterhin können neue Einrichtungsgegenstände oder Baumaterialien zu Beschwerden führen: **Flüchtige organische Verbindungen** (VOC) in Farben, Klebern und Möbeln können bei unsachgemäßem Einsatz in erhöhtem Maß ausgasen.

Neben diesen chemischen Schadstoffen können auch mikrobiologische Parameter in Innenräumen zu Erkrankungen führen: **Schimmelpilze** können bei baulichen Mängeln oder falschem Wohnverhalten die Gesundheit der Bewohner beeinträchtigen.

Eine Erläuterung der fettgedruckten Begriffe finden Sie weiter unten im Dokument.

### Überprüft das Gesundheitsamt auch Schulen und KITA's ?

Seit 1990 überprüft das Gesundheitsamt städtische Gebäude, wobei vorrangig Schulen und Kindertagesstätten untersucht werden.

### Kann ich meine Wohnung überprüfen lassen ?

Hierzu stehen Ihnen private Umweltinstitute zur Verfügung, die Begehungen und Messungen durchführen.

Selbstverständlich stehen wir Ihnen auch beratend zur Verfügung. Für weitere Informationen können Sie sich an Ihre Ansprechpartner im Gesundheitsamt unter den Telefonnummern 0221-221-24753, 0221-221-22938 und 0221-221-24876 wenden.

## **Vorgehensweise des Gesundheitsamtes bei städtischen Gebäuden, vor allem Schulen und Kindertagesstätten:**

Durch den Fund PCB-haltiger Dichtungsmassen 1989 in einer Kölner Gesamtschule zeichnete sich eine neue Problematik für den Bereich Innenraumschadstoffe in städtischen Hochbauten ab. Nachdem für die Asbestuntersuchungen Flächen deckend externe Institute beauftragt wurden, entschied sich der Rat der Stadt Köln für ein internes Untersuchungsprogramm durch die Stadtverwaltung.

Mit Beschluss vom 01.02.1990 beauftragte der Rat der Stadt Köln daraufhin das Gesundheitsamt mit einem Programm zur „Untersuchung und Sanierung für offen verwendete polychlorierte Biphenyle (PCB) und andere Innenraumschadstoffe“ in städtischen Gebäuden (Beschluss- Nr. 565/90).

Diese Vorgehensweise ermöglicht Rat und Verwaltung eine Übersicht über die gesundheitlichen Belastungen in städt. Liegenschaften (und solchen mit vergleichbarer Nutzung). Hieraus sollen Konzepte und Prioritäten für zukünftiges Handeln im übergreifenden Zusammenhang, insbesondere im Hinblick auf öffentliche Sanierungen hergeleitet werden.

Für die Begehungen aller städt. Liegenschaften wurde vorab eine Prioritätenliste erstellt.

Hierbei wurden die Kriterien Nutzung der Gebäude sowie Konstruktion und Baujahr berücksichtigt.

Es wird nach folgenden Prioritäten untersucht:

### **1. Priorität**

In der 1. Priorität wurden besonders größere Schulgebäude (Gesamtschulen, Schulzentren) untersucht. Für die Bauten, die bis 1975 in Fertigbauweise errichtet wurden, bestand eine besonders hohe Wahrscheinlichkeit, mit PCB-belasteten Materialien ausgestattet zu sein.

### **2. Priorität**

In der 2. Priorität werden alle anderen Schulen, Kindertagesstätten (KiTas) und Kinderheime untersucht. Hierbei ergibt sich die Reihenfolge dadurch, dass die Untersuchungen bezirksweise durchgeführt werden. Lediglich Gebäude, für die ein besonderer Verdacht auf Schadstoffe besteht, bzw. bei denen es vorab zu Beschwerden der Nutzer kommt und bei denen bauunterhaltende Maßnahmen anstehen, werden vorgezogen.

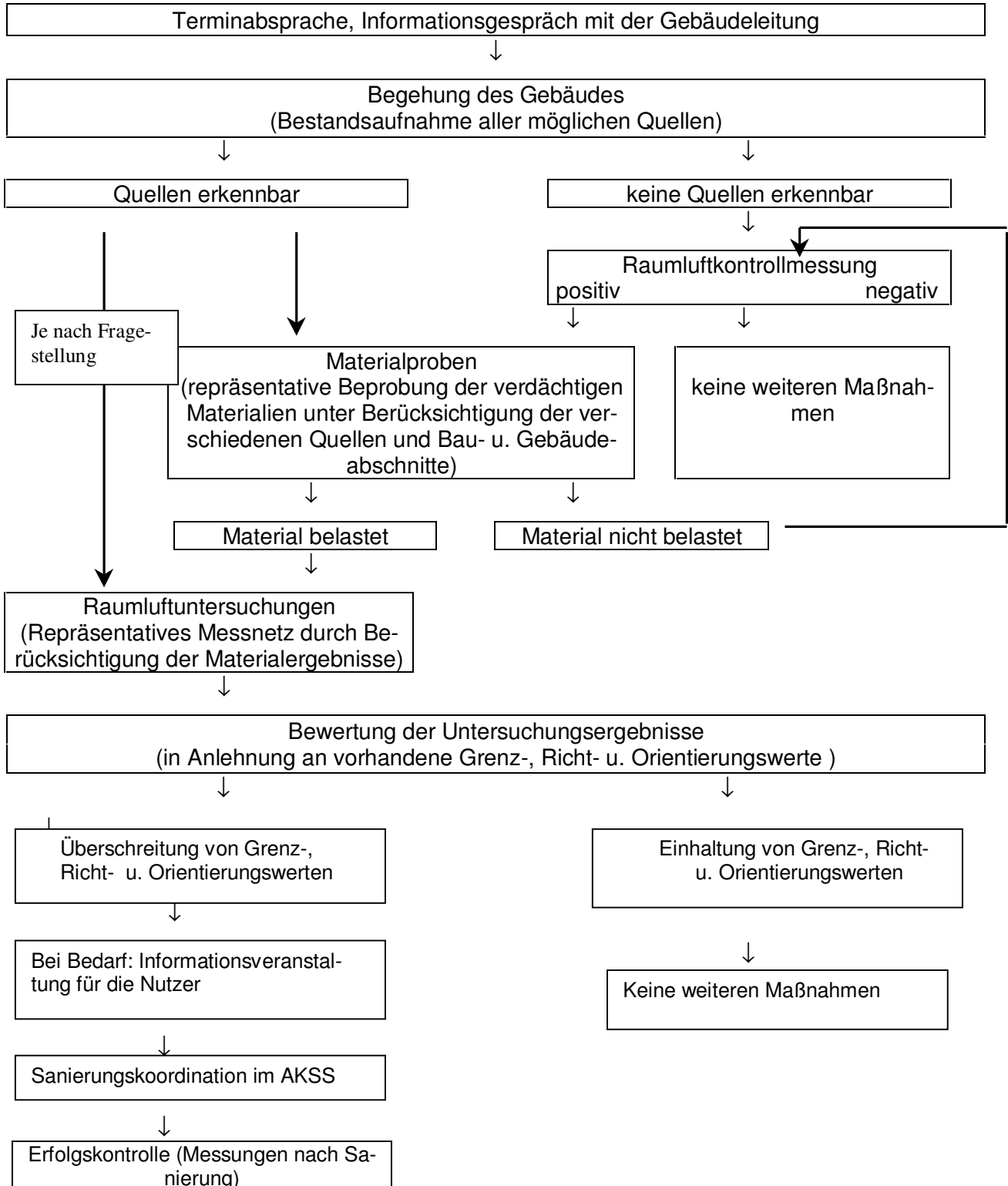
### **3. Priorität**

In dieser Prioritätsstufe sollen alle restlichen Verwaltungsgebäude untersucht werden. Der Ablauf dieser Untersuchung entspricht dem der 2. Priorität.

Werden alle drei Prioritäten zusammengefasst, müssen ca. 1200 städtische Gebäude durch das Gesundheitsamt auf polychlorierte Biphenyle und andere Innenraumschadstoffe untersucht werden.

### Schematischer Ablaufplan

Die Vorgehensweise bei der Überprüfung der Belastung von Innenräumen durch mögliche Schadstoffquellen ist im folgenden Schema dargestellt:



## Sanierung

### Sanierungskonzept

Zur Erarbeitung einer Sanierungskonzeption werden die Ergebnisse der Schadstoffuntersuchung betroffener Gebäude in einem regelmäßig tagenden Arbeitskreis durch das Gesundheitsamt erörtert. Mitglieder dieses ämterübergreifenden Arbeitskreises „Schadstoffe“ (AKSS) sind:

- das Gesundheitsamt (als Fachamt für die gesundheitliche Bewertung)
- das Amt für Gebäudewirtschaft (als Eigentümer des betroffenen Gebäudes und Sanierungsdurchführer)
- der jeweilige Träger des betroffenen Gebäudes (z.B. für Schulen das Schulverwaltungsamt)

Die Aufgaben dieses AKSS bestehen darin, die Sanierungsmaßnahmen in einem zeitlich orientierten Prioritätenkatalog (siehe unten) einzuordnen und die Art und den Umfang der anstehenden Sanierungen festzulegen. Die erarbeiteten Sanierungskonzepte werden beurteilt. Nach Abschluss der Sanierungsarbeiten wird über das Sanierungsergebnis beraten und abschließend bewertet.

Abhängig von der gesundheitlichen Bewertung der Schadstofffunde werden die Sanierungsobjekte in einen Prioritätenkatalog eingeteilt. Ausgeschlossen hiervon sind Sachverhalte, die Maßnahmen zur unmittelbaren Gefahrenabwehr notwendig machen, wenn gesundheitliche Schäden auch kurzfristig nicht auszuschließen sind. Hier sind Sofortmaßnahmen wie Sperrung des Gebäudes und/oder Nutzungseinschränkungen unmittelbar vorzunehmen.

Die Sanierungsprioritäten lauten wie folgt:

- **Priorität I (unverzögliche Sanierung erforderlich; drei bis sechs Monate)**  
Hierzu zählen alle Maßnahmen, bei denen aus gesundheitlichen Gründen eine vermeidbare Belastung unter dem Gesichtspunkt der Fürsorge nicht vertretbar erscheint. Hierzu gehören alle Sanierungsmaßnahmen, die kurzfristig eine deutliche Besserung der Belastungssituation erzielen können, wie z.B. verändertes Lüftungsverhalten, Behebung grober Baumängel sowie die Herstellung eines angemessenen Raumklimas, Ausbau der Primäremittenten und ähnliches.
- **Priorität II (kurzfristige Sanierung; 12 Monate)**  
Einordnung von Sanierungsmaßnahmen, die aufgrund eines gesundheitlichen oder bauhygienischen Mangels aus Gründen der Gesundheitsvorsorge eine kurzfristige Handlungsperspektive erfordern.
- **Priorität III (mittelfristige Sanierung; drei bis fünf Jahre)**  
Einordnung von Sanierungsmaßnahmen, die aufgrund von gesundheitlichen und bauhygienischen Mängeln im Sinne einer Gesundheitsvorsorge ein gezieltes Handeln in einem überschaubaren Zeitraum (drei bis fünf Jahre) erfordern.
- **Priorität IV (langfristige Sanierung, im Rahmen von bauunterhaltenden Maßnahmen)**  
Für gesundheitliche und bauhygienische Mängel, bei denen kein unmittelbarer Handlungsbedarf zum Zeitpunkt der Erhebung zu erkennen ist, jedoch im Hinblick auf eine weitreichende Gesundheitsvorsorge vermeidbare Mängel nicht hingenommen werden sollten, sind Sanierungsmaßnahmen im Rahmen von Instandhaltungsarbeiten bzw. Generalinstandsetzungen vorzusehen.

Nach Festlegung dieser Prioritäten wird ein Untersuchungsbericht zur jeweiligen Schadstoffbegehung des Gebäudes gefertigt, welcher neben den Schadstofffunden auch die zeitliche Umset-

zung der Sanierung beinhaltet. Dieser Bericht geht, um eine offene Informationspolitik zu gewährleisten, direkt den Nutzern der betroffenen Gebäude zu:

- die Nutzer (Leitung der Einrichtung)
- Gesamtpersonalrat
- Arbeitsmedizinischer Dienst
- Kinder-, Jugend- u. Schulärztlicher Dienst
- Gebäudewirtschaft (Objektbetreuer, Abt. Strategie )
- Jugendamt
- zuständiges Bürgeramt

In besonderen Fällen werden externe Gutachter zur Sanierungsbegleitung bzw. -überwachung mit eingeschaltet.

### **Mittelbereitstellung**

Im Rahmen des Haushaltsplanes des Gesundheitsamtes werden im Kapitel „PCB in Hochbauten“ planmäßig Mittel zur Verfügung gestellt. Sie dienen ausschließlich zur Deckung der Kosten für Materialuntersuchungen und Raumlufmessungen.

Für die Asbestsanierung wurden seit Anfang der 80 er Jahre ca. 125 Mio. Euro aufgebracht, für Sanierungen von mit PCB und anderen Schadstoffen belasteten Gebäuden ca. 25 Mio. Euro.

### **Kontrolle des Sanierungserfolges**

Nach durchgeführter Sanierung eines schadstoffbelasteten Gebäudes werden die Ergebnisse im AKSS erörtert. In der Regel wird hierbei das Gesundheitsamt mit Raumlufmessungen zur Erfolgskontrolle beauftragt.

### **Resümee**

Die vom Gesundheitsamt durchgeführten Untersuchungen beziehen alle bekannten Innenraum-schadstoffe ein, wobei überwiegend systematisch auftretende Mängel im Bereich Bau und Ausstattungsmaterialien erfasst werden.

Mit Fortschreiten des Gebäudeuntersuchungsprogramms wurden neue Probleme - teils durch eigene Erfahrungen, teils durch externe Informationen - erkannt. So wurden im Laufe der Zeit neben PCB-haltigen Dichtungsmassen bestimmte Akustikdeckenplatten als relevante PCB-Quellen identifiziert. Diese Art der Verwendung war zu Beginn des städtischen Untersuchungsprogramms - auch in Fachkreisen - nicht bekannt. Erst als hohe Raumlufbelastungen mit PCB in Kölner Schulen auf keine der bis dahin bekannten Quellen zurückgeführt werden konnten, ergaben detaillierte Untersuchungen, dass die betreffenden Deckenplatten für die Belastung verantwortlich waren.

Gleichermaßen wurden im Verlauf der Untersuchungen neue Erkenntnisse zu weiteren Schadstoffen (z.B. PAK, PCN) gewonnen.

Neben neuen Schadstoffen, sowie bisher unbekanntem Anwendungen gängiger Schadstoffe, verursachen altersbedingte Verschlechterungen der Bausubstanz im zunehmenden Maße hygienische Probleme. Hier liegt der Schwerpunkt ganz eindeutig bei baulich bedingten Feuchteschäden, die in sog. demontablen Einheiten (Pavillons) ungleich häufiger auftreten als in Massivbauten. In der Folge kommt es immer wieder zu Beschwerden der Nutzer insbesondere über Geruchsbelästigungen und Schimmelpilz. Dies führt dazu, dass Gebäude, die bei einer ersten Besichtigung keine diesbezüglichen Auffälligkeiten aufwiesen, nach mehreren Jahren erneut überprüft werden müssen, um die nunmehr auftretende Mängel gesundheitlich zu bewerten. Oftmals sind in diesen Fällen umfangreiche Untersuchungen erforderlich, mit zum Teil mehreren Ortsterminen.

Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl von Ursachen für Befindlichkeitsstörungen in Innenräumen. Stellvertretend seien hier genannt:

- Umbaumaßnahmen

- Renovierungen
- Lüftungs- und Klimaanlage
- Schädlingsbekämpfung
- Brände (Geruch, Ruß, Schadstoffe)

Die vorstehend genannten Probleme können jederzeit auftreten. Deshalb muss in vielen Fällen das ursprüngliche Schadstoffgutachten im Verlauf der Zeit ergänzt bzw. fortgeschrieben werden.

Zusammenfassend bleibt festzustellen, dass ein solches Gebäudeuntersuchungsprogramm durch neue Erkenntnisse und Entwicklungen sowie Veränderungen an den Gebäuden selbst stetigen Wandlungen und Anpassungen unterworfen ist. Diese in den letzten Jahren beobachtete Tendenz wird sich zukünftig fortsetzen.

### **Polychlorierte Biphenyle (PCB)**

Polychlorierte Biphenyle (PCB) sind synthetische Stoffgemische, welche vergleichbare technische Eigenschaften wie natürliche Öle, Fette und Wachse aufweisen. Das Gemisch besteht aus theoretisch 209 ähnlich strukturierten Einzelverbindungen (Kongenere), die sich durch die Anordnung und Anzahl der Chloratome am Biphenylring unterscheiden. Ihre großen technischen Vorzüge gegenüber früher eingesetzten Stoffen liegen u.a. in deren schwerer Entflammbarkeit und der großen Beständigkeit gegen Verrottung. Letzteres führt zu einer sehr langen Persistenz dieser Stoffe in der Biosphäre und letztendlich zu deren Anreicherung in der Nahrungskette und damit auch im Menschen. Die starke Anreicherungstendenz im Fettgewebe und toxikologische Bedenken, die bis heute nicht als abschließend bewertet werden können, führten 1978 zu einem Verbot des Neueinsatzes von PCB in offenen Anwendungen und 1989 praktisch zum Verbot der Anwendung in jeder Form.

Aufgrund ihres guten Isolationsvermögens, der Schwerentflammbarkeit sowie der Eigenschaft Kunststoffe weich zu machen, wurden PCB in der BRD bis 1982 großtechnisch hergestellt. Hierbei sind verschieden hoch chlorierte Gemische zu unterscheiden z.B. das Handelsprodukt Clophen A30 mit einem durchschnittlichen Chlorgehalt von 41% oder das Clophen A 60 mit einem Chlorgehalt von 59 - 60 %.

Eingesetzt wurde es in folgenden Bereichen:

#### 1.) in sog. "offenen Systemen"

- Schneid- und Bohröl bei der Metallbearbeitung
- Öle für Gasturbinen und Vakuumpumpen
- Schmieröl
- feuerhemmendes Imprägniermittel in der Elektroindustrie
- Weichmacher in Kunststoffen und Lacken
- Zusatz in Kitten, Wachsen, Klebstoffen und Asphalt
- Trägersubstanz von Insektiziden
- Zusatz in Textilien
- Zusatz in Druckfarben, Kopierpapier und kohlepapierfreiem Durchschreibepapier

#### 2.) in sog. "geschlossenen Systemen"

- Isolier- und Kühlflüssigkeit in Transformatoren
- Dielektrikum in Kondensatoren
- Hydrauliköl im Untertagebau
- Wärmeaustauschanlagen

Für die Innenraumhygiene sind vor allen Dingen die Primärquellen relevant: Hier wurde zur Verbesserung von Produkteigenschaften gezielt PCB zugesetzt. Aber auch Sekundärquellen (Bauteile, die PCB aus der Raumluft aufgenommen haben und dieses – an der Oberfläche angelagert – nach und nach wieder abgeben) können zu nennenswerten Raumluftbelastungen beitragen.

Nachdem 1989 PCB-haltige Dichtungsmassen als Ursache für erhöhte Raumluftkonzentrationen gefunden wurden, sind mittlerweile die Primärquellen recht gut erforscht. Es handelt sich hierbei um:

1.) PCB-haltige Dichtungsmassen für:

- Gebäudetrennfugen
- Bewegungsfugen zwischen Betonfertigteilelementen
- Anschlussfugen (Fenster, Tüorzargen)
- Fugen im Sanitärbereich

Dies sind Baumaterialien, die bis zu 60 Gew% PCB enthalten können. PCB-haltige Fugenmassen wurden in der Zeit von 1955 bis 1972 umfangreich eingesetzt. Ein Einsatz nach 1975 kann sicher ausgeschlossen werden.

2.) Akustik-Deckenplatten

In der Zeit vor 1972 bis 1975 wurde PCB, als Weichmacher der offenporigen Akustikfarbe, einem bestimmten Typus von Deckenplatten zugesetzt. Hier wurden vor allem höherchlorierte Produkte (Clophen A 60) verwendet.

3.) Betonflächen, kontaminiert durch PCB-Beton-Schalöle

4.) Holzflächen, die mit PCB-haltiger Farbe und Lasuren gestrichen sind

5.) Leckagen in PCB-haltigen Kondensatoren/Transformatoren

PCB-haltige Kondensatoren lassen sich über bestimmte Kürzel identifizieren, so weisen die Beschriftungen CD, CI, CP, A 30, A 40, Chlordiphenyl und Clophen auf PCB hin. Buchstabenkombinationen wie MP, MKP, MPP, MKV, LK oder LP deuten auf PCB-freie Kondensatoren hin.

6.) Dekoputze, die PCB als Weichmacher enthalten.

Die Vielzahl und Verschiedenartigkeit der genannten Primärquellen führt dazu, dass eine Bewertung eines Gebäudes in Bezug auf eine mögliche PCB-Belastung nur durch eine umfangreiche Untersuchung erfolgen kann.

Durch die zeitliche Eingrenzung des Einsatzes PCB-haltiger Materialien kommen besonders Bauwerke aus den Jahren 1960 bis 1975 für eine PCB-Belastung in Frage. Bei älteren Gebäuden müssen jedoch Umbaumaßnahmen (neue Fenster, abgehangene Decken usw.) berücksichtigt werden. Nach derzeitigem Kenntnisstand sind nach 1975 keine PCB-haltigen Fugenmassen mehr verwendet worden. Das Gleiche gilt für Akustikdeckenplatten deren Anstrich PCB enthält.

Mit PCB-haltigen Kondensatoren ist in Gebäuden, die nach 1984 errichtet wurden, nicht mehr zu rechnen. Bereits vorhandene wurden von den bauunterhaltenden Stellen entfernt und gegen PCB-freie Bauteile ausgetauscht. Das Gleiche erfolgte in der Regel auch mit PCB-verunreinigten dazugehörigen Lampenschalen.

Die Begehung muss eine repräsentative Erfassung und Beprobung der verdächtigen Materialien gewährleisten. Hierzu sollten die verschiedenen Bauabschnitte, Gewerke und Materialien berücksichtigt werden.

Zunächst werden Materialproben gezogen. Werden hohe PCB-Materialgehalte festgestellt, schließen sich Raumluftmessungen an. Diese sollten in Räumen stattfinden in denen bereits Materialproben entnommen wurden, um so Korrelationen zwischen der Materialbelastung und der Raumluft herstellen zu können. Nach den derzeitigen Erfahrungen ist bei Dichtungsmassen erst ab einer Konzentration von 0,1 Gew% PCB mit einem Einfluss auf die Raumluft zu rechnen. Hohe Raumlufkonzentrationen sind erfahrungsgemäß ab 1 Gew% zu erwarten.

Die Materialproben werden im Labor homogenisiert und nach DIN 51527, Teil 1 aufgearbeitet. Mittels GC/ECD werden die sechs DIN-Kongenerere (BS-Nr. 28, 52, 101, 153, 138, 180) bestimmt. Der Gesamtgehalt wird näherungsweise durch Multiplikation der Summe der sechs DIN-Kongenerere mit 5 bestimmt (LAGA-Empfehlung). Das Ergebnis wird in mg/kg bzw. Gewichtsprozent PCB angegeben.

PCB-Konzentrationen im Material	Maßnahmen
< 0,1 Gew%	Keine Raumluftmessung; ggfs.Vorsorgemessung
0,1 – 1 Gew%	Raumluftmessung abhängig von der Menge bzw. dem Verbauungsort der Massen sowie von der Kongener-Verteilung (Clophen A 30, A 40 $\cong$ leichtflüchtige PCB)
> 1 Gew%	Raumluftmessung

Für die Raumluftmessung werden solche Räume gewählt, in denen hohe Materialkonzentrationen festgestellt wurden. Eine repräsentative Auswahl muss gewährleistet sein. Die Untersuchung der Raumluft auf PCB erfolgt unter Berücksichtigung der PCB-Richtlinie für NRW. Die Probenahme erfolgt mit einem Kleinfltergerät gem. DIN 2463 (Sammelrate: ca. 3 m<sup>3</sup>/h) über drei Stunden. Die angesaugte Luft wird über ein Sorptionssystem bestehend aus Glasfaserfilter und vorgereinigtem Polyurethanschaum geleitet.

Die Untersuchung der Schäume erfolgt durch Extraktion und Aufarbeitung in Anlehnung an die DIN 51527, Teil 1. Die Konzentrationsbestimmung gleicht dem Verfahren der Materialproben.

Bei der Bewertung sollte auch die Temperaturabhängigkeit der PCB-Emissionen berücksichtigt werden. So können in den Sommermonaten (bei direkter Anstrahlung einer Quelle) PCB-Konzentrationen erreicht werden, die um den Faktor 3 - 4 höher liegen als bei niedrigen Außentemperaturen.

### Gesundheitliche Bewertung – PCB

Die Aufnahme von PCB durch den Menschen kann sowohl oral, als auch über die Atemluft und die Haut erfolgen. Mengemäßig spielt dabei die Aufnahme über die Nahrung die entscheidende Rolle (besonders fetthaltige tierische Produkte). Je nach Chlorierungsgrad und der Stellung der Chloratome im Molekül des PCB-Kongeners erfolgt der Abbau von PCB über die Leber unterschiedlich schnell. So werden niederchlorierte PCB, wie sie in der Raumluft typischerweise



vorkommen, schon nach wenigen Stunden abgebaut und mit dem Urin ausgeschieden. Von Bedeutung bei der Beurteilung der PCB ist jedoch, dass sie sich durch ihre ausgeprägte lipophile Eigenschaft im Körperfett ablagern und dort verbleiben bis sie wieder mobilisiert werden (z.B. Stress, Fasten). PCB können die Plazentaschranke überwinden und auf den Föten übertragen werden. In der Muttermilch treten sie in Konzentrationen von 0,2 - 0,3 mg/kg Milchfett auf, wobei eine deutliche Abnahme seit den 80er Jahren zu verzeichnen ist (zwischen 1980 und 1990 um 50 %).

Äkute toxische Wirkungen sind beim Menschen nur aus Unglücksfällen bekannt geworden. Dabei wurden neben einer typischen Hauterscheinung (Chlorakne) besonders Lidschwellungen und Erbrechen sowie Durchfälle beobachtet. Bei chronischer Exposition mit hohen Dosen PCB wie bei den Unglücksfällen in Japan und Taiwan 1968 und 1979 zeigten sich neben den bereits beschriebenen Symptomen ungewöhnliche Erschöpfung, Schwindel, Haarausfall, Bronchitis, Neuropathien, Leberschäden, Störungen des Immunsystems und Hautpigmentierungen. Die PCB-Aufnahme erfolgte hier ausschließlich mit der Nahrung (kontaminiertes Reisöl).

Ähnliche Erscheinungen wurden auch bei beruflicher Exposition mit PCB über lange Zeiträume beobachtet (Kondensatorfabriken). Hier steht die Aufnahme über die Haut im Vordergrund. Die ermittelten Atemluftkonzentrationen lagen zwischen 0,07 und 11,0 mg PCB/m<sup>3</sup> (= 70 - 11.000 µg = 70.000 - 11.000.000 ng).

Neben den genannten toxischen Effekten zeigt PCB eine Frucht schädigende Wirkung und wurde deshalb in die Liste der Krebs erzeugenden Arbeitsstoffe Kategorie III/3B (...Anhaltspunkte für eine Krebs erzeugende Wirkung liegen vor..) eingestuft.

Auf der Grundlage von toxikologischen Untersuchungen an Versuchstieren wurde eine täglich duldbare Dosis (TDI) von 1 µg PCB/kg Körpergewicht beim Menschen ermittelt. Auf dieser Grundlage wurden im Sinne eines vorbeugenden Gesundheitsschutzes vom ehemaligen Bundesgesundheitsamt unter Beteiligung externer Fachleute und des Gesundheitsamtes der Stadt Köln Handlungsrichtlinien entwickelt, die abhängig von der Raumluftkonzentration bei PCB-Belastungen in Innenräumen zur Anwendung empfohlen werden. Sie fanden in der PCB-Richtlinie NRW ihren Niederschlag und sagen aus:

- Raumluftkonzentrationen unter **300 ng PCB/m<sup>3</sup> Luft** sind als langfristig tolerabel anzusehen (**Vorsorgewert**).
- Bei Raumluftkonzentrationen zwischen 300 und 3000 ng PCB/m<sup>3</sup> Luft ist die Quelle aufzuspüren und unter Beachtung der Verhältnismäßigkeit mittelfristig zu beseitigen. Zwischenzeitlich ist durch regelmäßiges Lüften sowie gründliche Reinigung und Entstaubung der Räume eine Verminderung der PCB-Konzentrationen anzustreben. Da die PCB-Konzentration in der Raumluft stark von jahreszeitlichen Temperaturschwankungen abhängt, darf bei sorgfältiger Sanierung der Messwert 300 ng PCB/m<sup>3</sup> Luft zeitlich befristet überschritten werden. Nach einem Zeitraum von maximal zwei Jahren nach Abschluss der Sanierung sollte die Raumluft bei sommerlichen Witterungsbedingungen (Außen- und Innentemperatur ≥ 23 °C) den Vorsorgewert 300 ng/m<sup>3</sup> unterschreiten.
- Der Zielwert liegt bei **weniger als 300 ng PCB/m<sup>3</sup> Luft (Sanierungszielwert)**.
- Bei Raumluftkonzentrationen **oberhalb von 3000 ng PCB/m<sup>3</sup> Luft** sind akute Gesundheitsgefahren nicht auszuschließen (**Interventionswert** für Sofortmaßnahmen).

## Formaldehyd

Formaldehyd ist eine der wichtigsten organischen Verbindungen der chemischen Industrie. Die Palette der Produkte, die auf der Grundlage von Formaldehyd hergestellt werden, ist sehr vielfältig. Dazu zählen:

- Kleb- und Schaumstoffe ebenso wie Farbstoffe
- Medikamente
- Konservierungs- und Pilzbekämpfungsmittel.

Für den Innenraumbereich sind vor allem:

- Spanplatten
- sog. Ortschäume zur Wärmedämmung

als mögliche Quellen bekannt. Beiden gemeinsam ist, dass sie sog. Aminoplaste enthalten. 48 % des produzierten Formaldehyds werden für die Herstellung von Aminoplasten genutzt. Dazu wird der Formaldehyd mit Harnstoff-, Melamin-, Urethanen u.a. zu Formaldehyd-Harzen umgesetzt, die dann als Kunstharze in Form von Pulver oder als Lösung an weiter verarbeitende Betriebe geliefert werden. Rund 70 % davon werden als Leimharz (Klebstoffe) für die Herstellung von Spanplatten verwendet. Hauptsächlich die billigeren Harnstoff-Formaldehyd-Harze kamen hier zum Einsatz. Sie haben indes einen gravierenden Nachteil: Aus dem fertigen Produkt kann der Formaldehyd noch jahrelang ausdünsten. Die Folge kann eine übermäßige Belastung der Innenraumluft mit dem ausgasenden Formaldehyd sein.

Die sog. Ortschäume, die im Zeichen der Energieeinsparung zur Wärmeisolation von Häusern, insbesondere Dachgeschossen, verwendet wurden, stellen eine weitere Formaldehyd-Quelle dar. Ortschäume heißen sie deshalb, weil diese Kunststoffdichtmassen an Ort und Stelle aufgeschäumt werden. Anders als Spanplatten oder aus Spanplatten gefertigte Möbel lassen sie sich kaum wieder entfernen. In den Ortschäumen waren bis vor einigen Jahren die wenig stabilen Harnstoff-Formaldehyd-Harze enthalten. Aminoplast-Ortschäume werden heute kaum noch eingesetzt. Sie sind durch Polyurethan-Schäume ersetzt worden. Dennoch können alte Aminoplast-Schäume, die vor Jahren eingebaut wurden, zu Belastungen der Raumluft mit Formaldehyd führen.

Zusammenfassend gibt es folgende wesentliche Quellen von Formaldehyd in Innenräumen:

Zusammenfassend gibt es folgende wesentliche Quellen von Formaldehyd in Innenräumen:

- Spanplatten, z.B. in Möbeln
- Aminoplast-Ortschäume
- sonstige Bauprodukte mit Formaldehyd-haltigen Klebern wie z.B. Kunststoffbeläge und bestimmte Parkettversiegelungen
- Teppiche, Vorhänge
- Lacke, Anstriche, Holzschutzmittel

Dazu kommen Belastungen durch den Nutzer:

- Zigarettenrauch
- offene Feuerstellen, insbesondere Gasherde
- Desinfektions- und Sterilisationsmittel

Bei einer repräsentativen Begehung werden die möglichen Formaldehyd-Quellen im Gebäude aufgenommen. Anschließende Raumluftmessungen ermitteln die Belastung der Raumluft mit Formaldehyd, die Angabe erfolgt in ppm (parts per Million).

Da das Emissionsverhalten von Formaldehyd haltigen Werkstoffen sowohl von der relativen Luftfeuchte als auch von der Temperatur des Materials abhängt, kann die Formaldehydkonzentration je nach Witterungsverhältnissen erheblichen Schwankungen unterworfen sein (Faktor 5 - 10).

### **Gesundheitliche Bewertung – Formaldehyd**

Formaldehyd kann durch den Atemtrakt, über die Haut und oral aufgenommen werden. 95 % - 100 % des eingeatmeten Formaldehyds werden vom Körper resorbiert und zum größten Teil bereits in der Lunge abgebaut. Die Eliminationshalbwertszeit von Formaldehyd im menschlichen Organismus beträgt nur 1 - 1,5 Minuten, so dass eine rasche Ausscheidung über den Urin erfolgt.

Formaldehyd ist von seinem Wirkungscharakter her ein starkes Reizgas, wobei besonders die Augenschleimhaut, die oberen Atemwege und die Lunge betroffen sein können.

Bei chronischer Exposition mit hohen Dosen können Kehlkopfentzündungen, Bronchopneumonien, Lungenödeme und Schleimhautnekrosen auftreten. Bei chronischer Exposition mit niedrigen Dosen werden vor allem Hautreizungen, Konzentrationsschwäche, Augenbrennen, Müdigkeit, Schleimhautreizungen und Übelkeit beobachtet.

Formaldehyd ist darüber hinaus allergen und kann zu Kontaktdermatitis führen. Er hat in hohen Konzentrationen mutagene Eigenschaften und ist in der Liste der Krebs erzeugenden Arbeitsstoffe in die Kategorie III/4 („Stoffe mit krebserzeugender Wirkung, bei denen genotoxische Effekte keine oder nur eine untergeordnete Rolle spielen“) eingestuft.

Zur Begrenzung von Formaldehyd in der Innraumluft hat das ehemalige Bundesgesundheitsamt einen **Richtwert** von **0,1 ppm Formaldehyd/m<sup>3</sup> Luft** festgelegt, der jedoch nicht toxikologisch begründet ist. Er beruht auf der Ausscheidung des Abbauproduktes Ameisensäure im Urin.

In Abhängigkeit von der Höhe der Überschreitung dieses Wertes und deren Häufigkeit und Dauer sowie von örtlichen raumklimatischen Bedingungen wird eine Sanierung durchgeführt.

Für Räume deren gemessene Formaldehydkonzentration unterhalb des Richtwertes liegt, wird eine regelmäßige und gründliche Lüftung empfohlen. Es ist nicht auszuschließen, dass bei extremen klimatischen Bedingungen (hohe Temperaturen bzw. hohe relative Feuchte) eine temporäre Überschreitung des Wertes erfolgen kann, insbesondere wenn es sich um Pavillonbauten handelt und ungünstige raumklimatische Verhältnisse vorhanden sind.

## Holzschutzmittel

Holzschutzmittel dienen grundsätzlich dazu, offenporige Hölzer, die einer erhöhten Feuchtigkeitsbelastung ausgesetzt sind, vor der Gefahr der Verrottung zu schützen. In der Vergangenheit wurden lasierte Holzoberflächen meist auch in Innenräumen mit Holzschutzmitteln behandelt, ohne dass im jeweiligen Einzelfall die technische Notwendigkeit dies erfordert hätte. Im Vordergrund der eingesetzten Chemikalien steht der Stoff Pentachlorphenol (PCP). PCP wurde als fungizider Wirkstoff verwendet und großzügig als Schutz- und Dekorationsanstrich im Heimwerker- und Baubereich eingesetzt. Lindan wurde in Holzschutzmitteln vielfach zusammen mit PCP eingesetzt. PCP wirkt gegen Pilze, Lindan gegen Insekten. Aufgrund der gesundheitlichen Auswirkungen von PCP und Lindan wurde 1987 in der Gefahrstoffverordnung die Verwendung von PCP als Holzschutzmittelwirkstoff eingeschränkt. 1989 folgte die PCP-Verbotsverordnung.

Bei der repräsentativen Begehung eines Gebäudes werden die Fundstellen eventuell belasteter Hölzer aufgenommen. Das weitere Untersuchungsschema beinhaltet mehrere Stufen, die Material- und Raumlufuntersuchungen vorsehen.

### 1. Stufe

Liegt der Faktor für das Verhältnis Holzfläche ( $m^2$ ) zu Raumvolumen ( $m^3$ )  $> 0,2$  erfolgt eine Materialbeprobung der Holzfläche. Bei schlecht zugänglichen Verbauungen z.B. Turnhallendecken wird direkt eine Raumlufuntersuchung durchgeführt.

Wenn das Verhältnis von Holzfläche zu Raumvolumen  $< 0,2$  ist, wird in aller Regel auf eine Beprobung verzichtet.

### 2. Stufe

Die entnommene Materialprobe wird auf ihren Gehalt von PCP und Lindan untersucht. Nach der PCP-Richtlinie für NRW (Fassung Oktober 1996) werden Hölzer mit Materialgehalten von  $> 50$  mg PCP oder Lindan/kg Holz als belastete Hölzer eingestuft. Hier erfolgt im Anschluss eine Untersuchung der Raumluf auf Pentachlorphenol und Lindan. Gleichzeitig wird eine Messung auf Dioxine durchgeführt, da Dioxine als Verunreinigung in Holzschutzmitteln enthalten sein können.

## Gesundheitliche Bewertung – PCP

PCP wird oral, über den Atemtrakt oder die Haut aufgenommen. Dabei spielt die Aufnahme mit der Nahrung in der normalen Bevölkerung die entscheidende Rolle. Besonders über Milch, Milchprodukte, Fisch, Brot und Getreide, Schokolade, Früchte und Gemüse wurden in den 70er und 80er Jahren zwischen 10 und 20  $\mu\text{g}$  PCP täglich aufgenommen. Heute ist mit erheblich geringeren Werten zu rechnen. So kann man heute die derzeitige „unvermeidbare“ tägliche Belastung mit deutlich unter 10  $\mu\text{g}$  PCP annehmen.

Da die biologische Halbwertszeit von PCP relativ kurz ist (ca. 20 Tage) und keine starke Tendenz zur Speicherung in Organen und im Fettgewebe besteht, wird der überwiegende Teil des aufgenommenen PCP unverändert und rasch mit dem Urin (80 %) oder dem Stuhl ausgeschieden. Nur sehr geringe Mengen überschreiten die Plazentaschranke, eine nennenswerte Anreicherung in der Muttermilch erfolgt nicht.

Vom Wirkungscharakter her greift PCP in den Energiestoffwechsel der Zelle ein und führt zu einem erhöhten Sauerstoffbedarf. Die akute PCP-Vergiftung – bei Unglücksfällen in der Industrie beobachtet – führt zur Hyperthermie, Blutdruckanstieg, Kopfschmerzen, Apathie, Haut- und Schleimhautreizung, Taubheitsgefühl, Übelkeit und Erbrechen sowie akuten Leberparenchymschäden. Die chronische Exposition im Niedrigdosisbereich wird auch oft als „Holzschutzmittelsyndrom“ bezeichnet. Dieses ist gekennzeichnet durch erhöhte Infektanfälligkeit, Hautausschläge, Gleichgewichtsstörungen, Schlaflosigkeit, Müdigkeit, Nachtschweiß, Leistungs- und Konzentrationsschwäche, Nervenschmerzen, Muskel- und Gelenkschmerzen, Appetitlosigkeit, Gewichtsabnahme, Übelkeit, Durchfall, Erbrechen, Haarausfall und Kopfschmerzen. Bisher ist es nicht gelungen, einen ursächlichen Zusammenhang zwischen diesen Beschwerden und der Exposition mit PCP nachzuweisen. Dies wird auch dadurch erschwert, da PCP häufig stark mit anderen chlorhaltigen Verbindungen verunreinigt ist, zu denen auch Dioxine und Furane gehören können. PCP wurde in die Liste der Krebs erzeugenden Arbeitsstoffe eingereiht, die als Krebs erzeugend für den Menschen anzusehen sind, weil durch hinreichende Ergebnisse aus Langzeit-Tierversuchen oder Hinweise aus Tierversuchen und epidemiologischen Untersuchungen davon auszugehen ist, dass sie einen nennenswerten Beitrag zum Krebsrisiko leisten (Kategorie III 2).

Aufgrund der bekannten und zum Teil vermuteten toxischen Wirkungen wurde mehrfach der Versuch unternommen, entsprechende Grenz-, Richt- und Vorsorgewerte u.a. für Lebensmittel, Trinkwasser und Arbeitsplätze festzulegen. Für die Innenraumluft wurden vom ehemaligen Bundesgesundheitsamt **1 µg PCP/m<sup>3</sup> als Vorsorgewert und 0,1 µg PCP/m<sup>3</sup> als Sanierungszielwert** festgelegt.

Die PCP-Richtlinie für NRW in der Fassung vom Oktober 1996 hat prinzipiell diese Werte übernommen und kommt zu folgender Bewertung der Innenraumkonzentrationen von PCP:

1. In Aufenthaltsräumen ist von einer möglichen Gefährdung auszugehen, wenn die im Jahresmittel zu erwartenden Raumluftkonzentrationen über 1 µg PCP/m<sup>3</sup> Luft liegen.
2. Bei Wohnungen oder bei anderen Räumen, in denen sich Personen über einen längeren Zeitraum regelmäßig mehr als acht Stunden (täglich) aufhalten und in denen nahrungsbedingt auch Expositionen über Staub und Lebensmittel etc. zu erwarten sind, wie z.B. in Kindertagesstätten oder Heimen, ist jedoch eine gesundheitliche Gefährdung schon dann möglich, wenn die im Jahresmittel zu erwartende Raumluftkonzentration unter 1 µg PCP/m<sup>3</sup> Luft, aber über 0,1 µg PCP/m<sup>3</sup> Luft liegt und gleichzeitig im Blut eine PCP-Belastung von mehr als 70 µg PCP/Liter oder im Urin eine PCP-Belastung von mehr als 40 µg PCP/Liter vorliegt.

In der Praxis wird von der Verwaltung so verfahren, dass bei Überschreiten des Wertes von 1 µg PCP/m<sup>3</sup> ein unverzügliches Handeln erfolgt. Bei Werten zwischen 0,1 µg und 1,0 µg PCP/m<sup>3</sup> wird grundsätzlich eine gleichzeitige Dioxinmessung durchgeführt. Liegen hier die Werte über 0,5 pg TE PCDD/F/m<sup>3</sup> wird ein unverzügliches Handeln (3-6 Monate) veranlasst, liegen sie unter diesem Wert, wird eine mittelfristige Sanierung (3-5 Jahre) durchgeführt.

### **Gesundheitliche Bewertung – Lindan**

Der Mensch nimmt Lindan zu über 90 % mit der Nahrung auf, wobei eine fast vollständige Resorption über den Magen-Darm-Trakt erfolgt. Die Resorptionsquote bei inhalativer Aufnahme hingegen liegt nur bei ca. 50 %. Auch eine dermale Resorption ist möglich, diese ist jedoch noch wesentlich geringer. Die Lindan-Aufnahme des Menschen nimmt kontinuierlich ab: von 50 ng/kg (1970) auf 3 ng/kg Körpergewicht (1980). Sie liegt heute deutlich unter 1 ng/kg Körpergewicht.

Die biologische Halbwertszeit von Lindan beträgt bei chronischer Exposition ca. 10 Tage. Wegen seiner guten Fettlöslichkeit verteilt sich Lindan vor allem im Fettgewebe und in fettreichen Organen. So finden sich in Muttermilch 0,02 mg Lindan/kg Milchfett. Der überwiegende Teil des Lindans wird in der Leber abgebaut und über den Urin ausgeschieden. Nur ein kleiner Teil wird unverändert über den Darm ausgeschieden.

Die Symptomatik bei einer akuten Vergiftung mit hohen Dosen ist dadurch gekennzeichnet, dass einer Phase der Übererregbarkeit des Nervensystems, gekennzeichnet durch Kopfschmerz, Übelkeit, Erbrechen, Schwindel, Tremor und Ataxie, eine Phase klonisch-tonischer Krämpfe mit anschließender Lähmung folgt. Auch Koliken, Durchfälle und Stomatitis wurden beobachtet.

Bei chronischer Exposition mit niedrigen Dosen werden neurotoxische Effekte kaum beobachtet. Vielmehr kommt es – zumindest im Tierversuch – zu einer Vergrößerung der Leber. Ebenfalls im Tierversuch wurde eine Wirkung als Tumorpromotor festgestellt. Gesicherte Erfahrungen beim Menschen im Niedrigdosisbereich, wie er in Innenräumen zu erwarten ist, liegen nicht vor.

Aus Vorsorgegründen wurde vom damaligen Bundesgesundheitsamt eine **Vorsorgewert** von **1,0 µg Lindan/m<sup>3</sup>** in der Innenraumluft empfohlen.

Ebenso wie der Vorsorgewert von PCP ist dieser Wert weniger toxikologisch begründet, sondern hat sich zur Heranziehung bei der Beurteilung von Sanierungsmaßnahmen unter Vorsorgeaspekten praktisch bewährt.

## **Polychlorierte Dibenzofurane und –dioxine (PCDD/F)**

Zu den polychlorierten Dibenzodioxinen (PCDD) und Dibenzofuranen (PCDF) gehören insgesamt 210 Einzelverbindungen, darunter 75 PCDD und 135 PCDF. Für den Innenraumbereich stellen sie als Verunreinigung von Holzschutzmitteln und polychlorierten Biphenylen (PCB) eine Emissionsquelle dar.

Ihre Messung wird durch das in Punkt 3.3 erläuterte Schema zu Holzschutzmitteluntersuchungen und bei hohen PCB-Innenraumluftbelastungen notwendig.

### **Gesundheitliche Bewertung – Polychlorierte Dibenzofurane und –dioxine (PCDD/F)**

Mit einer extrem hohen akuten Toxizität, gekennzeichnet durch eine minimale tödliche Dosis von 1 µg/kg Körpergewicht, gehört das Tetrachlor Dibenzodioxin (TCDD), das als „Seveso-Gift“ bekanntester Vertreter dieser Stoffgruppe, zu den toxischsten Stoffen überhaupt. Auf der Basis dieses TCDD wird durch sog. internationale Toxizitätsäquivalenzfaktoren (I-TEF) die Giftigkeit der anderen Vertreter dieser Gruppe umgerechnet und somit eine einheitliche Bewertung erzielt, die in Toxizitätsäquivalenten (TE) ausgedrückt wird.

Toxische Wirkungen von Dioxinen betreffen vor allem die Haut, die Leber, das Nervensystem und das Immunsystem. Darüber hinaus sind Dioxine zumindest im Tierversuch, embryotoxisch und teratogen und sind als Krebs erzeugende Arbeitsstoffe in die Kategorie III/4 (Stoffe mit Krebs erzeugender Wirkung, bei denen genotoxische Effekte keine oder nur eine untergeordnete Rolle spielen) eingeordnet. Die Aufnahme erfolgt sowohl oral als auch inhalativ und über die Haut, wobei die Aufnahme über Nahrungsmittel (tierische Fette) die weitaus größte Rolle spielt.

Akute Vergiftungen sind gekennzeichnet durch Schwindel, Übelkeit, Erbrechen, Chlorakne, Augenbrennen, Ödeme. Bei chronischer Exposition kommen eine Schädigung der Leber, Störungen des Fett- und Porphyrinstoffwechsels, periphere Neuropathien und neurologische Störungen wie Übererregbarkeit, Kopfschmerzen und Schlaflosigkeit hinzu. Gleichzeitig werden Störungen des Immunsystems registriert, die zu einer Schwächung der körpereigenen Abwehrkräfte führen.

Die gesundheitliche Bewertung von Dioxinen ist weder in der BRD noch international einheitlich und ist z.T. von Extremen gekennzeichnet. Nach Einschätzung des ehemaligen Bundesgesundheitsamtes ist bei einer täglichen Aufnahme von 1 - 10 pg TE Dioxin/kg Körpergewicht nicht mit nachteiligen gesundheitlichen Effekten zu rechnen. Ein Grenz- oder Richtwert für die Innenraumluft liegt nicht vor.

Im Zusammenhang mit der „Holzschutzmittelbelastung Kölner Kindertagesstätten“ Ende der 80er Jahre wurde nach Durchführung eines speziellen Expertenhearings durch Ratsbeschluss im Jahre 1988 für die Stadt Köln ein **Interventionswert von 0,5 pg TE PCDD/F/m<sup>3</sup> Luft** in Innenräumen festgelegt. Das entspricht etwa einer täglichen Aufnahme von 0,2 pg TE PCDD/F/kg Körpergewicht über die Atemluft und befindet sich deshalb mit großer Wahrscheinlichkeit auf der „sicheren“ Seite, d.h. im Vorsorgebereich.

## **Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)**

Unter PAK versteht man eine Gruppe polycyclischer aromatischer Kohlenwasserstoffe, die durch Pyrolyse (trockene Destillation, Verkokung) von Holz, Kohle, Heizöl, Tabak und anderen Stoffen entstehen. Sie kommen vor allem in Steinkohlenteer, Pech, Bitumen, Pyrolyseölen, Carbolineum, Tabakrauch und vielem mehr vor. Speziell Carbolineum, so genannte Steinkohleteeröle, wurden eine Zeit lang als konservierender Anstrich für Eisenbahnschwellen und Telegrafmasten verwendet.

Im Innenraumbereich wurde besonders in Werkstätten (-räumen) und Kunsträumen sog. Kopfholzböden in Teerkleber eingelegt, bzw. mit Carbolineum imprägniert. In der Vergangenheit wurden in einigen Schulen solche Böden bei der Begehung festgestellt. Erst seit kurzem ist bekannt, dass auch Parkettböden mit Teerklebern verarbeitet wurden.

Um eine Belastung der Raumluft mit toxikologisch relevanten PAK z.B. Benz(a)pyren zu erfassen, wurden Raumluftmessungen auf PAK durchgeführt. Da es sich bei PAK um eine Vielzahl von Verbindungen handelt, theoretisch sind 1000 Verbindungen möglich, wird für die Analytik die sogenannte EPA-Liste verwendet (EPA: Environmental Protection Agency; amerikanische Umweltbehörde), die die relevanten Verbindungen berücksichtigt.

Wie Messungen ergeben haben, wird die Geruchsbelästigung in den mit Kopfholzböden ausgelegten Räumen durch inhalationstoxikologisch in diesem Umfang nicht relevante PAK hervorgerufen, die hier in erhöhtem Maße in der Raumluft nachgewiesen wurden. Für die toxikologisch relevanten PAK konnte keine erhöhte bzw. eine vernachlässigbar kleine Erhöhung der Raumluftkonzentration festgestellt werden. Aufgrund starker Geruchsbelästigung und unter dem Gesichtspunkt des vorbeugenden Gesundheitsschutzes sollte der PAK-haltige Boden jedoch im Rahmen von bauunterhaltenden Maßnahmen (langfristig) entfernt werden. Eine fachgerechte Entsorgung muss gewährleistet werden.

## **Gesundheitliche Bewertung – PAK**

Die Gruppe der PAK besteht aus über 100 Einzelverbindungen mit erheblich unterschiedlicher toxischer Relevanz, die eine gesundheitliche Bewertung als Stoffgruppe erschwert. Die toxische Wirkung dieser Substanzen ist gekennzeichnet durch die Krebs erzeugende Wirkung einer Reihe von Vertretern aus dieser Stoffgruppe, die deshalb auch in die MAK-Wert Liste in die Kategorie III/2 (Stoffe, die als Krebs erzeugend für den Menschen anzusehen sind.) bzw. in die Kategorie III/1 (Stoffe, die beim Menschen Krebs erzeugen) aufgenommen wurden.

Eine Aufnahme der PAK kann sowohl oral, als auch inhalativ und über die Haut erfolgen. Wegen ihrer außerordentlich geringen Flüchtigkeit sind sie an entsprechende Partikel (Staub, Ruß, Pollen) gebunden. Die orale Aufnahme über Nahrungsmittel (z.B. Räucherprodukte) spielt dabei die größte Rolle. Bei der inhalativen Aufnahme dominiert das Rauchen mit weitem Abstand vor anderen Emissionsquellen (Kerzenflammen, Autoabgase, Verbrennungsprodukte). Grenz- bzw. Richtwerte für PAK in Innenräumen existieren nicht.

Wie bereits erwähnt, kommt in Kindereinrichtungen die Emission von PAK überwiegend aus sog. Kopfholzböden in Betracht. Die hierbei durchgeführten Messungen der PAK-Gemische haben ergeben, dass die toxikologisch bedenklichen Vertreter der PAK nur eine untergeordnete Rolle spielen, so dass aus inhalationstoxischen Gründen keine gesundheitlichen Probleme zu besorgen sind. Da die Emission der PAK jedoch mit erheblichen Geruchsproblemen verbunden ist, sollte der PAK-haltige Fußboden im Zuge von bauunterhaltenden Maßnahmen oder beim Auftreten von geruchsbedingten Befindlichkeitsstörungen entfernt werden.



## **Polychlorierte Naphthaline (PCN)**

Polychlorierte Naphthaline können als synthetisch hergestellte Produkte in die Umwelt gelangen. Durch die Verwendung von mit Holzschutzmitteln imprägnierten Span- und Furnierplatten kann es zu Innenraumbelastungen mit Monochlornaphthalin und anderen Chlornaphthalinen kommen. Im Innenraum wurden die mit Basileum SP 70 behandelten Platten bevorzugt als Fußbodenplatten in Raumzellen (Containern) und im Rahmen der Pavillonbauweise (Zenkerbauten), aber auch als Wand- und Deckenplatten eingesetzt. Basileum SP 70 wurde in einer ungefähren Konzentration von 1 %, bezogen auf das Plattengewicht, zugesetzt. Es enthält neben 80 % technischem Monochlornaphthalin noch Di-, Trichlornaphthalin sowie Naphthalin. Aus den verwendeten Platten können die PCN durch Ausgasen, vor allem bei schlecht hinterlüfteten Platten, in die Raumluft gelangen. Die Konzentration der chlorierten Naphthaline in der Raumluft ist stark von Feuchtigkeitsschäden, welche z.B. auf Konstruktionsfehler zurückzuführen sind, abhängig. Durch Verwitterung von feuchten Spanplatten kommt es zu einer verstärkten Freisetzung von Chlornaphthalinen, deren Konzentration dann um den Faktor 5 - 10 höher liegen kann als bei trockenen Räumen mit fachgerechter Hinterlüftung der Platten.

Bei der Begehung können Pavillons, die mit Basileum SP 70 behandelten Platten versehen sind, meist über einen bestimmten Geruch wahrgenommen und identifiziert werden. Hierbei handelt es sich um einen süßlich muffigen Geruch, der an den Geruch von Mottenkugeln erinnert. Anschließende Raumluftuntersuchungen auf PCN, hierbei werden 13 Einzelverbindungen untersucht, geben Auskunft über eine Belastung der Innenraumluft mit dieser Stoffgruppe.

### **Gesundheitliche Bewertung – PCN**

PCN wirken entweder exogen über die Haut oder sie werden inhalativ bzw. über den Verdauungstrakt resorbiert. Bereits nach zwei Stunden werden über 80 % der aufgenommenen PCN metabolisiert und vom Körper ausgeschieden. Die toxische Wirkung ist abhängig vom Chlorierungsgrad, d.h. sie nimmt bei höherer Chlorierung deutlich zu. Gleichzeitig nimmt jedoch der Dampfdruck ab. Das führt dazu, dass sich die höher chlorierten, toxischen PCN nur in geringem Maße in der Raumluft befinden.

Typische toxische Wirkungen von PCN sind Chlorakne, Kopfschmerzen, Verdauungsbeschwerden, Gewichtsverlust, Haarausfall und Brennen der Augenschleimhäute. Bei längerer Exposition können auch Gelbsucht und Leberschäden bis zur Leberatrophie auftreten. Das im technischen PCN bis zu 5 % vorhandene Naphthalin ist in die Gruppe der Krebs erzeugenden Arbeitsstoffe in III/3B (aus In-Vitro und aus Tierversuchen liegen Anhaltspunkte für eine Krebs erzeugende Wirkung vor“) eingestuft.

Neben den o.g. toxisch bedingten Symptomen ist bei der Beurteilung von PCN deren ausgesprochene Geruchskomponente zu beachten. Ein Geruchsschwellenwert kann bei 5 - 10 µg PCN/m<sup>3</sup> angenommen werden, wobei individuell erhebliche Unterschiede auftreten können.

Eine gesundheitliche Bewertung wurde mehrfach mit extrem unterschiedlichen Ergebnissen vorgenommen. So errechnete das ehemalige Bundesgesundheitsamt auf der Grundlage des damals gültigen MAK-Wertes (Maximal zulässige Arbeitsplatzkonzentration) von 5,0 mg Trichlornaphthalin/m<sup>3</sup> Luft eine Innenraumluft-Konzentration von 200 µg Mono- bzw. Dichlornaphthalin/m<sup>3</sup> Luft, „bis zu der mit hoher Wahrscheinlichkeit Schäden der Gesundheit nicht angenommen werden können“. Dieser Empfehlungswert ist ausdrücklich nicht als maximal tolerierbare Innenraumluftkonzentration anzusehen.

Andere Bewertungen gehen ebenfalls von dem MAK-Wert für Trichlornaphthalin (5,0 mg/m<sup>3</sup> Luft) aus und kommen je nach Größe der eingebauten Sicherheitsfaktoren zu tolerierbaren Raumluftkonzentrationen von 5 - 10 µg Monochlornaphthalin/m<sup>3</sup> Luft oder gar von 0,3 - 3,0 µg MCN/m<sup>3</sup>.

Beide Bewertungen betonen jedoch ausdrücklich, dass bei der Beurteilung der Notwendigkeit von Sanierungsmaßnahmen in besonderem Maße die erheblichen Geruchsbelästigungen berücksichtigt werden müssen. Offensichtlich ist die PCN-Problematik in Innenräumen weniger eine toxikologische als eine Geruchsproblematik. So führt das ehemalige Bundesgesundheitsamt zur Interpretation seines Empfehlungswertes aus: „Empfindliche Personen reagieren auf intensive Gerüche mit Kopfschmerzen, Übelkeit, Appetitlosigkeit, Schlafstörungen. Das Bundesgesundheitsamt ist der Auffassung, dass die beschriebenen Symptome bei intensiver Ausprägung ohne Zweifel einen Krankheitswert und damit mehr als Befindlichkeitsstörungen darstellen können. Wir sind daher der Auffassung, dass insbesondere bei Kindergärten Überlegungen zu einer Sanierung anzustellen sind, wenn zwischen erhöhten PCN-Gehalten der Innenraumluft und den oben beschriebenen gesundheitlichen Störungen eine Beziehung hergestellt werden kann.“

Das bedeutet, dass seitens der Verwaltung neben der Feststellung der Konzentration von PCN in der Raumluft zur Begründung eines Handlungsbedarfes zusätzlich die Geruchssituation eingeschätzt und damit in Zusammenhang stehende gesundheitliche Beschwerden der Nutzer berücksichtigt werden. Da das Auftreten von PCN-Belastungen in vielen Fällen mit Baumängeln bzw. Schäden einhergeht (Feuchtigkeit, Schimmel), findet dies bei der Festlegung eines Handlungsbedarfes ebenfalls Berücksichtigung.

Auf diesen Grundlagen wird von der Verwaltung in jedem Einzelfall über eine Sanierungsnotwendigkeit entschieden. Die Sanierung erfolgt zur Gewährleistung eines vorbeugenden Gesundheitsschutzes für die Betroffenen. Sanierungsziel ist die Absenkung der Raumluftbelastung unter 5 µg PCN/m<sup>3</sup> Luft.

## **Flüchtige organische Verbindungen - Volatile Organic Compounds (VOC)**

Unter der Abkürzung VOC für flüchtige organische Verbindungen versteht man eine Vielzahl von Substanzen, die aus verschiedensten Materialien ausgasen und die Raumluft belasten können. Die Palette der in Frage kommenden Materialien ist groß, so zählen z. B. Putze, Farben, Lacke, Fußbodenbeläge oder Kunststoffbeschichtungen von Einrichtungsgegenständen zu den möglichen Emissionsquellen. Insbesondere neuartige Baustoffe, aber auch die große Anzahl von Haushalts- und Hobbyprodukten setzen komplexe Gemische von chemischen Verbindungen in die Raumluft frei.

Die Untersuchung der Raumluft ist grundsätzlich sinnvoll, wenn gesundheitliche Beschwerden oder Geruchsbelästigungen in Räumen bestehen, und deren Herkunft von Betroffenen nicht ermittelt werden kann. Hier empfiehlt sich eine Übersichtsmessung zur Charakterisierung der flüchtigen organischen Substanzen in der Raumluft.

### **Gesundheitliche Bewertung – VOC**

Wie bereits betont, handelt es sich bei den flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) je nach Definition um eine Vielzahl chemisch und toxikologisch unterschiedlicher Substanzen, die nur eines gemeinsam haben, nämlich einen niedrigen Dampfdruck, wodurch sie in gasförmigem Zustand in der Luft nachweisbar sind.

Sicher scheint zu sein, dass die VOC mitverantwortlich für das Auftreten von Befindlichkeitsstörungen und Gesundheitsbeschwerden in Innenräumen sind. Die Symptome reichen dabei von Augen- und Schleimhautreizungen, über Hautausschläge, Kopfschmerzen, Ermüdungserscheinungen, bis zur Erschöpfung sowie Konzentrationsstörungen und Störung der Gedächtnisleistungen. Auch erhebliche Geruchsbelästigungen und Geschmackswahrnehmungen werden beobachtet.

Aus den genannten Gründen ist eine toxikologisch begründete Bewertung der Gruppe der VOC nicht möglich.

Zur Beurteilung eines Handlungsbedarfes werden nicht einzelne Zahlenwerte sondern Konzentrationsbereiche angegeben. Danach ist in Räumen mit VOC-Konzentrationen zwischen 10 und 25 mg/m<sup>3</sup> ein Aufenthalt allenfalls vorübergehend täglich zumutbar (derartige Konzentrationen können im Falle von Renovierungen vorkommen). In Räumen, die für einen längerfristigen Aufenthalt bestimmt sind, sollte auf Dauer ein VOC-Wert im Bereich von 1-3 mg/m<sup>3</sup> nicht überschritten werden. Ziel sollte es sein, in Innenräumen im langzeitigen Mittel eine VOC-Konzentration von 0,2 – 0,3 mg/m<sup>3</sup> zu erreichen bzw. nach Möglichkeit sogar zu unterschreiten.

Für einzelne Stoffe aus der Gruppe der VOC liegen Beurteilungswerte vor (z.B. Benzol). Sollte es hier zur Überschreitung dieser Werte kommen, sind Entscheidungen zur Sanierung auf dieser Grundlage zu treffen.

## Schimmelpilze

Schimmelpilze, die nahezu überall in der Natur vorkommen, benötigen, um sich großflächig ausbreiten zu können, Nährstoffe und Wasser d.h. Feuchtigkeit. Sie sind dabei so anspruchslos, dass sie sich ohne weiteres auf dauernd feuchten Tapeten und durchfeuchtetem Mauerwerk ausbreiten können. Defekte Regenrinnen, Rohre und undichte Dächer sowie schadhafter Verputz und zerstörte Ver fugungen sind häufig für das Eindringen von Regenwasser in die Bausubstanz verantwortlich. Im Kellerbereich bietet oft aufsteigende Feuchtigkeit in den Wänden eine Grundlage für ein Schimmelpilzwachstum. Bei schlecht isolierter Bausubstanz entstehen durch höhere Wärmedurchlässigkeit der Außenwände sog. Wärmebrücken. Dies sind Bereiche (wie z.B. Rolladenkästen, oft aber auch die ganze Fassade), in denen die Wandtemperatur so niedrig ist, dass sich die Feuchtigkeit aus der Raumluft dort niederschlägt.

Mit einem Baustoff-Feuchtmessgerät können Feuchtgehalte an der Wandoberfläche und im Mauerwerk messtechnisch erfasst werden. Dies kann zur Ursachenfindung bei einem auftretenden Schimmelpilzwachstum hilfreich sein. Um sog. Wärmebrücken zu lokalisieren, wird ein kontaktloses Infrarotthermometer eingesetzt. Hierbei werden die Temperaturprofile der Außen- und Innenwände aufgezeichnet.

Bei einem Schimmelpilzbefall sollte neben dem Pilz immer auch die Ursache lokalisiert und beseitigt werden.

## Gesundheitliche Bewertung – Schimmelpilze

Obwohl heute ca. 100.000 Schimmelpilzarten weltweit bekannt sind, reduziert sich ihre mögliche gesundheitsschädigende Wirkung auf drei typische Effekte:

- Infektion durch lokalen oder systemischen Befall des Organismus,
- toxische Effekte durch Bildung von Mykotoxinen,
- allergisierende Wirkung durch Inhalation von Schimmelpilzsporen.

Zu Infektionen beim Menschen sind in unseren Breiten nur wenige Schimmelpilzarten in der Lage (z.B. verschiedene Aspergillusarten). Voraussetzung für das Angehen einer Infektion ist jedoch eine extrem geschwächte Immunitätslage des Menschen, hervorgerufen durch bösartige Erkrankungen (Leukämie, Malignome), gezielte Immundepression im Zusammenhang mit Transplantationen, Therapie mit Zytostatika bei Krebs oder hochdosierten Corticoiden. Daraus geht hervor, dass diese Wirkungsweise in öffentlichen Gebäuden eine untergeordnete Rolle spielt.

Zur Bildung von Mykotoxinen sind ebenfalls nur wenige Schimmelpilzarten befähigt. Im Gegensatz zu der sonstigen Anspruchslosigkeit der Pilze für ihr Wachstum und ihre Vermehrung ist zur Bildung von Mykotoxinen eine energetisch sehr aufwändige Biosynthese notwendig, die ein hohes Nährstoffangebot voraussetzt. Ein solches Angebot ist in Innenräumen in der Regel nicht vorhanden, so dass eine Toxinbildung nur ausnahmsweise und in geringen Mengen erfolgen kann. Deshalb befallen Toxinbildner besonders bestimmte Nahrungsmittel (z.B. Nüsse, Getreide), um ihren enormen Energiebedarf decken zu können. Daraus folgt, dass toxische Effekte von Schimmelpilzen im Normalfall über die orale Aufnahme erfolgen und – zumindest in unseren Breiten – inhalationstoxikologisch keine Rolle spielen

Anders verhält es sich mit den möglichen allergisierenden Wirkungen von Schimmelpilzen. Hier können prinzipiell alle Schimmelpilzarten bei entsprechend dafür disponierten Personen zu einer

Allergie vor allem der oberen Luftwege führen, wenn es zur Inhalation von genügend Schimmelpilzallergenen (Sporen) kommt. Besonders große Mengen an Schimmelpilzsporen, die sich im Übrigen immer und praktisch überall in der Luft befinden und über Tausende Kilometer transportiert werden können, gelangen während der Vermehrungsphase in die (Raum-) Luft, erkennbar daran, dass der Schimmelpilz flächenhaft sichtbar (oder versteckt) aufwächst. In der Praxis jedoch ist der Schimmelpilz als Auslöser raumluftbedingter Allergien, wie z.B. dem Asthma bronchiale, vergleichsweise von untergeordneter Bedeutung, da hierbei die Hausstaubmilben und Tierhaare eine dominierende Rolle spielen.

Ein Grenzwert für Schimmelpilzsporen in der Raumluft ist nicht festgelegt.

Dessen ungeachtet fordert die Wissenschaft jedoch, dass ein Schimmelpilzbefall in Räumen, die zum ständigen Aufenthalt von Menschen vorgesehen sind, nicht zu dulden ist. Zeigt sich hier ein flächenhafter Aufwuchs oder wird ein versteckter Befall nachgewiesen, sind geeignete Sanierungsmaßnahmen, die in aller Regel auf die Beseitigung der Ursache von Schimmelpilzbefall gerichtet sind, zu ergreifen.

## **Asbest**

Unter Asbest versteht man eine Gruppe natürlich vorkommender kristalliner Silikate, die in faserig ausgeprägten Bündeln auftreten. Aufgrund der technischen Eigenschaften von Asbest:

- chemische Beständigkeit
- Unbrennbarkeit
- Isoliervermögen
- Verspinnbarkeit
- Verrottungsfestigkeit
- mechanische Festigkeit
- gute Einbindefähigkeit in anorganische und organische Bindemittel

wurde das Material in einer Vielzahl von Produkten verarbeitet. Hierbei entfallen über 90 % der Weltproduktion auf den Chrysotil-Asbest, auch Serpentin-asbest oder Weißasbest genannt. Der Rest verteilt sich auf die Asbestarten Krokydolith (Blauasbest) und Amosit.

Die Anwendungen lassen sich in folgende zwei Bereiche zuordnen:

- Verstärkung (Kunststoffe und mineralische Produkte)
- Dämmung (Brandschutz, Schallschutz, Hitze- und Feuchtigkeitsschutz)

Die verwendeten Baustoffe werden in sog. „schwach gebundene Asbestprodukte“ und „Asbestzementprodukte“ unterteilt. Die Verwendung schwach gebundener Asbestprodukte, insbesondere im Bauwesen, wurde 1982 verboten. Aufgrund der genannten technischen Eigenschaften ist jedoch fast in jedem größeren Gebäude, das vor 1982 errichtet wurde, mit Asbestprodukten zu rechnen.

Um die Sanierungsdringlichkeit bei schwach gebundenen Asbestprodukten in städtischen Hochbauten festzulegen, wurden alle Schulen und Kindertagesstätten durch externe Institute gemäß Asbest-Richtlinie begangen und bewertet. Die Bewertung erfolgt über einen Punktekatalog, dessen Auswertung die Dringlichkeitsstufen I, II oder III für die Sanierung ergibt:

Dringlichkeitsstufe I:  $\geq 80$  Punkte: Die Sanierung ist unverzüglich erforderlich. Es sind unverzüglich Sanierungsmaßnahmen einzuleiten. Ist dies nicht möglich, müssen vorläufige Sicherungsmaßnahmen durchgeführt werden. Mit der endgültigen Sanierung muss jedoch spätestens nach drei Jahren begonnen werden.

Dringlichkeitsstufe II: 70 - 79 Punkte: Die Sanierung ist mittelfristig erforderlich. In Abständen von höchstens zwei Jahren erfolgt eine Neubewertung. Es ist dann jeweils nach dem Ergebnis der Neubewertung zu verfahren.

Dringlichkeitsstufe III:  $< 70$  Punkte: Die Sanierung ist langfristig erforderlich. In Abständen von höchstens fünf Jahren erfolgt eine Neubewertung. Es ist dann jeweils nach dem Ergebnis der Neubewertung zu verfahren.

## **Gesundheitliche Bewertung – Asbest**

Mit der Atemluft aufgenommene Asbestfasern können beim Menschen grundsätzlich zwei Effekte hervorrufen:

- die Erzeugung von Narbengewebe („fibrogener Effekt“)
- die Erzeugung von Krebsgewebe („kanzerogener Effekt“).

Dabei ist die Wirkung von Asbest vor allem von der „Geometrie“ der Asbestfaser (Länge, Querschnitt) abhängig, die dafür verantwortlich ist, dass der Asbest eingeatmet und in das Gewebe eingelagert werden kann. Aufgrund dieser Eigenschaften ist z.B. Blauasbest wesentlich kritischer als Weißasbest zu bewerten.

Hervorgerufen durch die „fibrogenen“ bzw. „kanzerogenen“ Effekte kann es beim Menschen zu folgenden Erkrankungen kommen:

### 1. Asbestose

Sie ist eine langsam fortschreitende chronische Bindegewebsvermehrung (Fibrose) der Lunge (Staublunge) bzw. des Rippenfelles und führt zu erheblicher Beeinträchtigung der Atemfunktion. Ihr Schweregrad ist abhängig von der inhalierten Staubmenge und wird im Zusammenhang mit hoher beruflicher Exposition („Asbestarbeitsplätze“) beobachtet.

### 2. Bronchialkarzinom (Lungenkrebs)

Es ist die häufigste Krebsform des Mannes in den Industrieländern und wird u.a. durch Asbestfasern hervorgerufen. Besonders kritisch ist die gleichzeitige Inhalation von Tabakrauch, die das Risiko an Lungenkrebs zu erkranken, deutlich erhöht. Die Latenzzeit, d.h. die Zeit, die zwischen Aufnahme des kanzerogenen Stoffes und dem Auftreten von Krebsgewebe vergeht, beträgt mindestens 10 bis 15 Jahre.

### 3. Pleuramesotheliom

Es ist eine seltene Krebsform, die sich offenbar nur bei Exposition mit Asbestfasern entwickelt und meist am Rippenfell und Bauchfell lokalisiert ist. Wegen der langen Zeit, die die Fasern beim Durchwandern der Lunge benötigen, beträgt die Latenzzeit mindestens 20 bis 30 Jahre.

Nach heutigen Erkenntnissen können Gesundheitsgefahren in Innenräumen nur von schwach gebundenen Asbestprodukten ausgehen, da dort die Fasern mit dem Bindemittel keine beständige Matrix bilden und schon durch geringe äußere Einwirkungen in die Luft freigesetzt werden können. Von Asbestzementprodukten gehen zwar in eingebautem Zustand in der Regel keine Gesundheitsgefahren aus, bei unsachgemäßem Umgang mit solchen Produkten können jedoch durch mechanische Einwirkungen wie z.B. Zerschlagen, Bohren, Sägen oder mechanischen Abrieb große Asbestfasermengen freigesetzt werden und somit konkrete Gesundheitsgefahren auftreten.

Diesen Gegebenheiten trägt die bereits erwähnte „Asbestrichtlinie“ (Richtlinie für die Bewertung und Sanierung schwach gebundener Asbestprodukte in Gebäuden“ vom 02.08.1989) Rechnung. Hier sind die Kriterien für und die Art und Weise des Eingreifens durch die zuständige Behörde geregelt. Dabei begründet nur der Sachverhalt einer Punktbewertung > 80 Punkte eine konkrete Gefahr im Sinne des Baurechtes (§ 3 Bauordnung), was eine sofortige Sanierung oder vorläufige Maßnahmen zur Gefahrenabwehr bedeutet. Konkret festgelegte Zeitvorgaben für eine Wiederbegehung bzw. Wiederbewertung sollen garantieren, dass ein konkreter Gefahrentatbestand rechtzeitig erkannt wird, um die notwendigen Abwehrmaßnahmen einzuleiten. Nach den Kriterien dieser Asbestrichtlinie wird bei der Verwaltung gehandelt.