

# **Leitfaden**

## **für die Innenraumlufthygiene in Schulgebäuden**

erarbeitet von der  
Innenraumlufthygiene-Kommission  
des Umweltbundesamtes

Berlin, im Juni 2000

### Impressum:

Herausgeber und Redaktion:  
Umweltbundesamt  
Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes

Bismarckplatz 1  
14193 Berlin  
Tel.: 030 - 8903 - 0  
Fax: 030 - 8903 - 2285  
<http://www.umweltbundesamt.de>

Bearbeiter:  
Dr. Heinz-Jörn Moriske

Gesamtherstellung:  
KOMAG Berlin-Brandenburg

© 2000 Umweltbundesamt Berlin

Kapitel	Inhalt	Seiten
<b>Allgemeiner Teil</b>	<b>I Einführung, Zielsetzung</b>	<b>1</b>
	I-1 Ziele und Zielgruppen, Aufbau des Leitfadens	1
	I-2 Derzeitige Situation an deutschen Schulen	2
	I-3 Abgrenzung	4
	<b>II Begriffe und Regelungen</b>	<b>4</b>
	<b>III Weiterführende Literatur</b>	<b>6</b>
<b>Teil A Hygienische Anforderungen im praktischen Schulbetrieb</b>	<b>A-1 Allgemeine hygienische Anforderungen</b>	<b>7</b>
	<b>A-2 Reinigungsmaßnahmen</b>	<b>8</b>
	<b>A-3 Lüftungsanforderungen</b>	<b>9</b>
	<b>A-4 Kleine Baumaßnahmen und Renovierungen</b>	<b>11</b>
	<b>A-5 Werkstätten, Laborräume und Lehrküchen</b>	<b>13</b>
	<b>A-6 Kopierer, Druckgeräte und PC</b>	<b>15</b>
<b>Teil B Für den Schulbereich relevante Schadstoffe und Schadstoff- gruppen</b>	<b>B-1 Anorganische Gase</b>	<b>17</b>
	<b>B-2 Flüchtige organische Verbindungen („VOC“)</b>	<b>19</b>
	<b>B-3 Formaldehyd</b>	<b>23</b>
	<b>B-4 Schwerflüchtige organische Verbindungen („SVOC“)</b>	<b>24</b>
	<b>B-5 Staub</b>	<b>29</b>
	<b>B-6 Faserstäube</b>	<b>30</b>
	<b>B-7 Mikroorganismen, „MVOC“, natürliche Allergene</b>	<b>33</b>
	<b>B-8 Strahlenbelastungen (Radon)</b>	<b>36</b>
<b>Teil C Bauliche und raumklimatische Anforderungen</b>	<b>C-1 Bauliche Anforderungen, Ausstattung von Räumen</b>	<b>38</b>
	C-1.1 Rohbau	38
	C-1.2 Aus- und Umbau	40
	C-1.3 Raumausstattung	43
	<b>C-2 Gebäudeklima</b>	<b>44</b>
	C-2.1 Allgemeine physiologische Anforderungen	44
	C-2.2 Bautechnische Anforderungen	45
	C-2.3 Lüftungstechnik	47
<b>Teil D Vorgehensweisen in Beschwerdefällen</b>	<b>D-1 Grundsätzliche Vorgehensweisen</b>	<b>49</b>
	<b>D-2 Fallbeispiele</b>	<b>49</b>
	D-2.1 Mineralfasern aus abgehängter Deckenkonstruktion	50
	D-2.2 Deckenleuchtenkondensator	50
	D-2.3 Chlornaphthalin in Schulpavillons	51
D-2.4 Unbehagliches Raumklima in einem Schulzentrum	52	
<b>Teil E Sanierungsrichtlinien und -verfahren</b>	<b>E-1 Asbest</b>	<b>54</b>
	<b>E-2 Polychlorierte Biphenyle</b>	<b>54</b>
	<b>E-3 Pentachlorphenol</b>	<b>55</b>

## Inhalt

---

Kapitel	Inhalt	Seiten
<b>Anhänge</b>	<b>Anhang 1:</b> Presse-Information des Umweltbundesamtes Nr. 21/99 „Reinigung in Schulgebäuden nicht vernachlässigen“	<b>57</b>
	<b>Anhang 2:</b> Reinigungsplan in Schulen	<b>59</b>
	<b>Anhang 3:</b> Regeln für Sicherheit und Gesundheitsschutz beim Umgang mit Gefahrstoffen im Unterricht, GUV 19.16, Ausgabe 1998	<b>61</b>
	<b>Anhang 4:</b> Stichwortverzeichnis	<b>65</b>

## Allgemeiner Teil

### I Einführung, Zielsetzung

#### I-1 Ziele und Zielgruppen, Aufbau des Leitfadens

Der Schulbestand in Deutschland setzt sich im wesentlichen aus Gebäuden zusammen, die vor dem 2. Weltkrieg errichtet wurden. Der Anteil neuerer Gebäude ist vergleichsweise gering.

In den alten Bundesländern wurden im Zuge der allgemeinen Schulreformen in den 60er- und 70er-Jahren neue Schulzentren errichtet. Auf dem Gebiet der ehemaligen DDR wurden neue Schulen vor allem in den 70er- und 80er-Jahren gebaut.

Die in Schulgebäuden beobachteten Innenraumbelastungen sind auf verschiedene Ursachen zurückzuführen, wie zum Beispiel bauliche Mängel, Fehler in der Lüftungstechnik, unsachgemäßes Lüftungsverhalten oder die Verwendung bestimmter Bauprodukte, Einrichtungsgegenstände oder auch Reinigungsprodukte.

In den letzten Jahren wurde oft über eine gesunde und hygienisch verträgliche Innenraumluftqualität in Schulen diskutiert. Nicht zuletzt aus diesem Grunde wurden in den letzten Jahren einzelne Schulgebäude renoviert. In vielen Fällen waren und sind solche Maßnahmen aufgrund des Alters der Gebäude oder wegen des aus heutiger Sicht hygienisch nicht mehr zu verantwortenden Einsatzes bestimmter Bauprodukte (Beispiel: Asbest) gerechtfertigt, in manchen Fällen wurde allerdings aus übertriebener Vorsicht und Unsicherheit auch weit mehr als notwendig oder sinnvoll getan.

Der vorliegende Leitfaden soll auch zur Versachlichung der Diskussion beitragen und helfen, berechnete Sorgen von übertriebenen Ängsten zu trennen.

#### ***Was soll mit dem Leitfaden erreicht werden?***

**Der Leitfaden soll den Verantwortlichen und Nutzern von Schulen helfen, mögliche Innenraumluftprobleme zu erkennen, sie besser als bisher einschätzen zu können und bei Bedarf erste Minimierungsschritte bzw. Strategien zur Vermeidung von Innenraumluftbelastungen entwickeln zu können.**

Der Leitfaden bezieht sich primär auf Unterrichts- und Aufenthaltsräume in allgemein- und berufsbildenden Schulen, in denen Schüler regelmäßig unterrichtet werden. Er kann in Analogie auf andere Schularten übertragen werden. Spezielle technische Bereiche in Schulgebäuden (z.B. Lehrküchen, Hauswerkstätten, Laboratorien), für die andere gesetzliche Regelungen, z.B. die Gefahrstoffverordnung, gelten, werden nur ansatzweise behandelt. Auf bestehende und weiterführende Regelwerke wird hingewiesen. Für vorübergehend genutzte Schulersatzbauten (z.B. „Container“) gelten während der Nutzung prinzipiell die gleichen Anforderungen wie für sonstige Schulgebäude.

#### ***Welcher Personenkreis soll angesprochen werden?***

**Der Leitfaden wendet sich an Lehrer, Schüler und Eltern als direkt oder indirekt Betroffene auf der einen Seite, sowie an die Schulträger und die in Schulaufsichtsbehörden, Bauämtern, Gesundheits- und Umweltämtern für den Schulbereich verantwortlichen Personen auf der anderen Seite.**

**Der Leitfaden bietet auch Informationen für alle Berufsgruppen, die an der Planung, Errichtung, Renovierung oder Sanierung von Schulgebäuden beteiligt sind.**

Der Leitfaden ist folgendermaßen gegliedert:

Im *Allgemeinen Teil* werden die Ziele des Leitfadens und die Zielgruppen angesprochen. Es wird eine Übersicht über den Schulbestand sowie über die hauptsächlichsten Luftbelastungs- und Sanierungsprobleme gegeben, und es erfolgt eine Abgrenzung gegenüber Randbereichen, die nicht weiter angesprochen werden sollen. Zuletzt werden einzelne Begriffe erläutert und Hinweise auf weiterführende Literatur zum Thema „Innenraumlufthygiene“ gegeben.

Im *Teil A* werden hygienische Anforderungen im praktischen Schulbetrieb beschrieben. Zu den behandelten Themen gehören u.a. Reinigungsmaßnahmen, kleinere Bau- und Reparaturmaßnahmen, Lüftungsanforderungen, die Situation in Werkräumen, Laboratorien, Lehrküchen und der mögliche Einfluss beim Betrieb von elektronischen Bürogeräten auf die Innenraumluftqualität.

Im *Teil B* werden die für Schulräume relevanten physikalischen, biologischen und chemischen Stoffe und Stoffgruppen beschrieben. Dieser Teil soll die notwendigen Hintergrundinformationen zum besseren Verständnis der hygienischen Bedeutung einzelner Substanzen und Substanzgruppen liefern.

Im *Teil C* werden die baulichen und klimatischen Anforderungen an Schulgebäude beschrieben. Auch auf raumluftechnische Anlagen – soweit deren Einsatz für Schulgebäude überhaupt in Frage kommt – wird in diesem Teil eingegangen.

*Teil D* befasst sich mit Vorgehensweisen in Beschwerdefällen. Anhand von Fallbeispielen werden Empfehlungen hierzu gegeben.

*Teil E* des Leitfadens gibt Hinweise auf bestehende Sanierungsrichtlinien und -empfehlungen für einzelne Innenraumluftverunreinigungen.

Im *Anhang* finden sich eine Pressemitteilung und aktuelle Empfehlungen zu bestimmten hygienischen Problemen in Schulen.

**Muss man zum Verständnis den ganzen Inhalt des Leitfadens kennen?**

**Da nicht alle behandelten Themen für alle Leser gleichermaßen von Interesse sein werden, ist der Leitfaden in mehrere Teile und Abschnitte untergliedert, die in sich weitgehend abgeschlossen sind. Dabei ließ sich nicht vermeiden, dass manche Informationen in den verschiedenen Abschnitten wiederholt werden.**

**I-2 Derzeitige Situation an deutschen Schulen**

In den Ländern der Bundesrepublik Deutschland gab es im Jahre 1994 insgesamt ca. 43.000 allgemeinbildende und ca. 9.000 berufsbildende Schulen, in denen ca. 10 bzw. 2,5 Mio. Schülerinnen und Schüler unterrichtet wurden.

Zu den Hauptverursachern von Raumlufbelastungen in Schulgebäuden zählen Emissionen aus Baumaterialien, Einrichtungs- bzw. Ausstattungsgegenständen und aus Reinigungs- und Pflegemitteln. Nicht zu unterschätzen sind auch die von anwesenden Personen freigesetzten Stoffwechselprodukte (Kohlendioxid, Wasserdampf und Körpergerüche). Auch Ausgasen von Verbindungen aus Materialien beim Werkunterricht, Freisetzen von Gasen und Dämpfen beim Chemieunterricht und von Kochdünsten aus Lehrküchen sind möglich. Durch bauliche Mängel können Feuchtigkeitsschäden entstehen, die ebenso wie unhygienische Zustände vor allem in Sanitärbereichen, unzureichende Reinigungsmaßnahmen etc., zu mikrobiellen Raumlufbelastungen führen können.

Die Palette der tatsächlich oder möglicherweise auftretenden Stoffe ist mannigfaltig (vgl. Abschnitte B-2 und B-4). Zu den Verbindungen, die die Diskussion um gesundheitliche Beeinträchtigungen auch in Schulgebäuden in den letzten Jahren bestimmten und in Einzelfällen zu umfangreichen Sanierungsanstrengungen führten, zählen Formaldehyd, Asbest, polychlorierte Biphenyle (PCB) und Pentachlorphenol (PCP). Über ihr Vorkommen in Schulen und die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen wurden über Jahre hinweg leidenschaftliche Debatten geführt. Nicht immer ist es dabei zu rational nachvollziehbaren Bewertungen und Maßnahmen gekommen.

***Welche Beschwerden gesundheitlicher Art können beim Aufenthalt in Schulen auftreten?***

**Zu den Beschwerden, die von Schülern, Eltern und Lehrern vereinzelt im Zusammenhang mit dem Schulbesuch genannt werden, gehören allgemeine Befindlichkeitsstörungen wie Kopfschmerzen, Müdigkeit, mangelnde Konzentration und anderes mehr. Zusätzlich werden Symptome wie Reizungen der oberen Atemwege, Augenreizungen, chronischer Husten oder gar das Auftreten einer allergischen Erkrankung auch auf den Aufenthalt in Schulen zurückgeführt.**

Als Ursachen der angegebenen Symptome und Beschwerden werden mangelhafte raumklimatische Bedingungen, wie z. B. Pavillonbauten ohne ausreichenden Sonnenschutz bzw. unzureichende Wärmedämmung oder schlecht geführte Klimaanlage, Schadstoffemissionen aus Bauprodukten oder Möbeln sowie kurz zuvor abgeschlossene Renovierungs- bzw. Modernisierungsmaßnahmen genannt. In einzelnen Fällen bewirkten Maßnahmen, die die Beseitigung eines Schadstoffes zum Ziel hatten, neue

Schadstoffemissionen und in Folge neue Beschwerden.

In einzelnen Fällen wird von Eltern und Lehrern eine überdurchschnittliche Häufung von Krebserkrankungen unterschiedlichster Lokalisation mit Schadstoffemissionen aus Baumaterialien, Möbeln und Inventar in Schulen in Zusammenhang gebracht. Hierzu fehlt bisher jedoch jeder wissenschaftlich belegbare Beweis.

Der Renovierungsbedarf, d.h. der Umfang der Instandsetzung, Modernisierung und Erneuerung von Schulgebäuden, richtet sich nach dem jeweiligen tatsächlichen Zustand des Gebäudes – Altbauten und Neubauten sind davon gleichermaßen betroffen. Wegen der Inanspruchnahme bei der Nutzung von Schulgebäuden, insbesondere der Klassenräume, sind regelmäßige Instandhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen wichtig.

Der Renovierungsbedarf in Schulen resultiert oft auch aus einem bestimmten Verhalten der Schüler („Vandalismus“) sowie aus den jeweils vorgegebenen architektonischen Lösungen, letzteres vor allem für Gebäudeentwicklungen nach 1945. Anfang der 70er-Jahre, als in einigen Bundesländern aus pädagogischen Gründen neue Konzepte mit flexiblen Größen der Unterrichtseinheiten geplant und realisiert wurden, führte dies z.B. zu Räumen mit mobilen Wänden. Schalltechnische und lichttechnische Probleme waren die Folge, weil die erforderliche Schalldämmung und die ausreichende Versorgung der Klassenräume mit Tageslicht nicht gewährleistet werden konnten. Darüber hinaus planten und realisierten einige Architekten und Bauherren fensterarme und sogar fensterlose Unterrichtsräume, die bereits bei ihrer Fertigstellung Sanierungsobjekte darstellten, vor allem in sogenannten Mittelstufenzentren. Fenster und die Möglichkeit des Ausblicks ins Freie während des Unterrichts sind für ein „behagliches Unterrichtsklima“ unerlässlich.

In Einzelfällen wurden in der Vergangenheit raumluftechnische Anlagen (RLT-Anlagen) in Schulgebäuden installiert, um den fehlenden natürlichen Luftaustausch auf künstlichem Wege zu erreichen. Unsachgemäße Installation, Wartung und Pflege dieser Anlagen führten jedoch häufig zu Problemen. Die einwandfreie Funktion einer RLT-Anlage setzt korrekten Einbau, Zuverlässigkeit aller Steuerungselemente und regelmäßige Wartung und Kontrolle der Anlage voraus.

**Dürfen fensterlose Räume als Unterrichtsräume genutzt werden?**

**Fensterlose Räume, die nicht nur zum vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, sind nach den Bauordnungen der Länder als Daueraufenthaltsräume grundsätzlich unzulässig.**

**Raumluftechnische Anlagen (Klimanlagen), die die Lüftung in Räumen ohne Fenster ermöglichen sollen, sind aus diesem Grunde in aller Regel überflüssig.**

### I-3 Abgrenzung

Einige Hygieneprobleme von weitreichender Bedeutung können auch in Schulen auftreten, werden aber in diesem Leitfaden nicht weiter besprochen, da die Öffentlichkeit über sie bereits ausführlich und regelmäßig informiert wird (Tabakrauch) oder sie thematisch nicht dem Bereich der Innenraumlufthygiene zuzuordnen sind.

**Was wird in diesem Leitfaden nicht behandelt?**

- **Tabakrauch: Die gesundheitlich negativen Wirkungen des Tabakrauches sind allgemein bekannt. In Schulgebäuden und auf dem gesamten Schulgelände sollte deshalb Rauchverbot bestehen.**
- **Drogenmissbrauch, Verletzungsfahr durch Kanülen.**
- **Alkoholmissbrauch.**

## II Begriffe und Regelungen

Der erwachsene Mensch in den industrialisierten Ländern Europas hält sich durchschnittlich ca. 80–90 % des Tages in Innenräumen auf. Der überwiegende Teil davon wird in Wohnräumen zu Hause (ca. 5–60 %) verbracht, der Rest am Arbeitsplatz, in öffentlichen Verkehrsmitteln, Pkw, Wartehallen etc. Nur zu ca. 10–20 % des Tages halten wir uns im Außenluftbereich auf. Die prozentualen Anteile weichen je nach örtlicher Gegebenheit, Jahreszeit und individueller Lebenssituation voneinander ab.

Aus hygienischer Sicht gewinnt deshalb die Untersuchung und Verminderung von Innenraumlufverunreinigungen zunehmend an Bedeutung. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, den Begriff „Innenraum“ zu definieren.

In Anlehnung an die vom Rat von Sachverständigen für Umweltfragen erarbeitete, unter anderem in der VDI-Richtlinie 4300 Blatt 1 aufgegriffene Definition wird folgender Innenraumbegriff zugrunde gelegt:



**Was versteht man unter dem Begriff „Innenräume“?**

„Innenräume sind Wohnungen mit Wohn-, Schlaf-, Bastel-, Sport- und Kellerräumen, Küchen und Badezimmern; Arbeitsräume in Gebäuden, die im Hinblick auf gefährliche Stoffe (u.a. Luftschadstoffe) nicht dem Geltungsbereich der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) unterliegen (z.B. Büroräume, teilweise Verkaufsräume); öffentliche Gebäude (Bereiche in Krankenhäusern, Schulen, Kindergärten, Sporthallen, Bibliotheken, Gaststätten, Theatern, Kinos und anderen öffentlichen Veranstaltungsräumen) sowie das Innere von Kraftfahrzeugen und öffentlichen Verkehrsmitteln.“

Während für Arbeitsplätze, an denen mit Gefahrstoffen umgegangen wird, Grenz- und Richtwerte nach den Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) gelten, trifft dies für Innenräume im Sinne der oben genannten Definition nicht zu. Beispielsweise ist eine Formaldehydbelastung in der Luft eines Schulraumes, die durch Ausgasung aus spanplattenhaltigen Möbeln entsteht, unter dem Gesichtspunkt einer vergleichbaren Wohnraumbelastung zu betrachten; die maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK<sup>1</sup>) ist in diesem Fall nicht zur Bewertung heranzuziehen.

In speziellen Bereichen, wie Schullabors, gelten zum einen gefahrstoffrechtliche Bestimmungen, zum anderen kommen auch Richtlinien und Empfehlungen für sonstige Innenräume zur Anwendung. Werden beispielsweise bei Versuchen im Chemieunter-

richt Lösemittel freigesetzt und in die Raumluft emittiert, ergeben sich die maximal zulässigen Raumluftkonzentrationen aus der TRGS 900 („TRGS 900 – Grenzwerte in der Luft am Arbeitsplatz, „Luftgrenzwerte<sup>2)</sup>“). Zu den Luftgrenzwerten gehören in diesem Fall MAK- und TRK<sup>3)</sup>-Werte. Entweichen die Lösemitteldämpfe in andere Räume und Klassenzimmer, gelten dort keine MAK- und TRK-Werte mehr. Zur Beurteilung der ermittelten Lösemittelkonzentrationen sind statt dessen Konzentrationen, wie sie unter „normalen“ Wohnraumverhältnissen gemessen werden, heranzuziehen.

Von einer ad-hoc Arbeitsgruppe aus Mitgliedern der Innenraumlufthygiene-Kommission (IRK) des Umweltbundesamtes und der Arbeitsgemeinschaft der Obersten Gesundheitsbehörden der Länder (AOLG) werden für einzelne Stoffe Innenraumluft-Richtwerte auf der Grundlage eines 1996 veröffentlichten Basisschemas erarbeitet. Danach werden für Innenraumluftschadstoffe in der Regel zwei Richtwerte festgelegt. Richtwert II (RW II) wird hygienisch-toxikologisch unter Berücksichtigung auch empfindlich reagierender Personengruppen sowie von Kindern abgeleitet und stellt die Konzentration eines Stoffes dar, bei deren Erreichen bzw. Über-

<sup>1)</sup> MAK = Maximale Arbeitsplatzkonzentration (gemäß § 3 Abs. 5 der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV)) ist die Konzentration eines Stoffes in der Luft am Arbeitsplatz, bei der im allgemeinen die Gesundheit der Arbeitnehmer nicht beeinträchtigt wird.

<sup>2)</sup> Luftgrenzwerte nach TRGS 900 sind Schichtmittelwerte bei in der Regel achtstündiger Exposition und bei Einhaltung einer durchschnittlichen Wochenarbeitszeit von 40 Stunden. Expositionsspitzen während einer Schicht werden entsprechend mit Kurzzeitwerten beurteilt, die nach Höhe, Dauer, Häufigkeit und zeitlichem Abstand gegliedert sind. Luftgrenzwerte für gefährliche Arbeitsstoffe werden auf Vorschlag durch den Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) vom Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung rechtsverbindlich im Sinne der GefStoffV in der TRGS 900 bekanntgegeben.

<sup>3)</sup> TRK = Technische Richtkonzentration (gemäß § 3 Abs. 7 der GefStoffV und TRGS 102) ist die Konzentration eines Stoffes am Arbeitsplatz, die nach dem Stand der Technik erreicht werden kann. TRK werden für solche Stoffe aufgestellt, für die es aus grundsätzlichen Überlegungen nicht möglich ist, arbeitsmedizinisch-toxikologisch begründete Grenzwerte anzugeben (z.B. für krebserzeugende Stoffe).

schreiten unverzüglich Handlungsbedarf besteht, da diese Konzentration geeignet ist, insbesondere für empfindlich reagierende Personen bei Daueraufenthalt in den Räumen eine die Gesundheit zu gefährden. Der Handlungsbedarf ist als unverzüglicher Prüfbedarf zu verstehen, z.B. im Hinblick auf Sanierungsentscheidungen zur Verringerung der Exposition.

Richtwert I (RW I) wird unter Berücksichtigung eines konventionell festgelegten Sicherheitsfaktors (in der Regel von 10) aus RW II errechnet und kann als eine Art Sanierungszielwert dienen. Bei Unterschreiten von RW I ist im Rahmen einer Einzelstoffbetrachtung nach gegenwärtigem Kenntnisstand auch bei lebenslanger Exposition gegenüber dem betreffenden Stoff keine gesundheitliche Beeinträchtigung zu erwarten. Aus Vorsorgegründen besteht auch im Bereich zwischen RW I und RW II Handlungsbedarf.

Die nach dem Basisschema der IRK/AOLG-Gruppe abgeleiteten Richtwerte für Innenraumluftverunreinigungen sind im Sinne einer Einzelstoffbetrachtung zu sehen und geben keinen Hinweis auf mögliche synergistische Effekte beim Zusammenwirken verschiedener Komponenten. Die ad-hoc-Arbeitsgruppe beschäftigt sich jedoch auch damit, für die Summe von Verbindungen Richtwertvorschläge zu erarbeiten, und hat Wertebereiche für die Summe flüchtiger organischer Verbindungen (Total Volatile Organic Compounds = TVOC, vgl. Abschnitt B-2) angegeben.

### III Weiterführende Literatur

*Die folgende Zusammenstellung enthält Übersichtsliteratur, die dem Leser weitergehende Informationen zur Innenraumluft-hygiene liefert.*

*Beyer, A. und D. Eis (Hrsg.):* Praktische Umweltmedizin. Springer-Verlag, Heidelberg (1994)

*Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW):* Luftqualität in Schulhäusern, Forschungsprojekt „Effiziente Energienutzung in Schulen“, Forschungsprogramm „Rationelle Energienutzung in Gebäuden“, Bern (1992)

*Bundesverband der Unfallkassen e.V.:* Regeln für den Gesundheitsschutz beim Umgang mit Gefahrstoffen im Unterricht, GUV 19.16 (1998)

*Gundermann, K.-O., H. Rüden und H.-G. Sonntag (Hrsg.):* Lehrbuch der Hygiene. Gustav-Fischer-Verlag, Stuttgart (1991)

*Maroni, M., B. Seifert und T. Lindvall (Eds.):* Indoor air quality. A comprehensive reference book. Elsevier Science Publ., Amsterdam (1995)

*Moriske, H.-J. und E. Turowski (Hrsg.):* Handbuch für Bioklima und Lufthygiene. ecomed-Verlag, Landsberg (1998)

*Wichmann, H.-E., H.-W. Schlipköter und G. Fülgraff (Hrsg.):* Handbuch der Umweltmedizin. ecomed-Verlag, Landsberg (1992)

## Teil A: Hygienische Anforderungen im praktischen Schulbetrieb

### A-1 Allgemeine hygienische Anforderungen

Dieser Leitfaden bezieht sich, wie im *Allgemeinen Teil* angesprochen, primär auf luft-hygienische Fragen in Schulgebäuden. Im praktischen Schulbetrieb sind jedoch häufig Aspekte zu berücksichtigen, die über die Lufthygiene hinausgehen. Es wurde daher für sinnvoll erachtet, einige dieser weiterreichenden Aspekte an dieser Stelle aufzugreifen. Manches von dem, was im folgenden besprochen wird, mag zudem trivial erscheinen. Die Erfahrung zeigt aber, dass in der Realität oft auch als selbstverständlich erscheinende Forderungen nicht erfüllt sind.

Ebenso wie für andere Gebäude gilt auch für Schulen, dass bestimmte hygienische Grundanforderungen eingehalten werden müssen, damit der Aufenthalt im Gebäude aus gesundheitlicher Sicht problemlos möglich ist.

Zu den allgemeinen hygienischen Anforderungen gehört:

- Das Schulgelände und das Schulgebäude sollten im Hinblick auf Immissionsbelastungen aus der Umgebungsluft günstig gelegen sein, d.h. in klimatisch und umwelthygienisch günstiger Lage bei geringer Schadstoffbelastung, geringem Verkehrs- und Nachbarschaftslärm sowie gefahrlosem Schulweg für die Schüler.
- Die Unterrichtsräume sollten eine hinreichende Größe, sinnvolle Orientierung in Bezug auf die Himmelsrichtung und einen wirksamen Sonnenschutz haben.
- Die Beleuchtung durch Tageslicht und – in Ergänzung – durch künstliches Licht sollte gute Sehbedingungen schaffen. Die Raumtiefe sollte deshalb nicht mehr als das Zwei- bis Dreifache der Raumhöhe betragen. Das Reflexionsvermögen der Bauteilflächen sollte möglichst hoch sein.
- Fenster oder andere Lüftungsmöglichkeiten sollten es gestatten, durch natürliche Lüftung die Konzentration von Luftverunreinigungen, die aus dem Raum selbst stammen, zu vermindern; hierzu sollten die Fenster leicht zu öffnen sein (allerdings unter Berücksichtigung sicherheitstechnischer Aspekte bei jüngeren Kindern). In Räumen, in denen bestimmungsgemäß mit Schadstoffen gearbeitet wird, wie in Labor- und Bastelräumen, ist grundsätzlich eine mechanische Lüftung vorzusehen.
- Alle Innenbereiche des Schulgebäudes sollten eine ausreichende Heizung besitzen, wobei die Heizkörper möglichst mit nicht zu hohen Temperaturen betrieben und leicht zu reinigen sein sollten.
- Die Raumakustik sollte optimales Hören ermöglichen; unvermeidbare Lärmeinwirkungen von außen sollten durch wirksame Schallschutzmaßnahmen unterbunden werden.
- Die Möblierung und Ausstattung der Räume sollte emissionsarm sein.
- Nutzungsgerechte Kleiderablagen sollten so installiert werden, dass nasse Kleidung auslüften und trocknen kann.
- Eine ausreichende Anzahl von mit Waschbecken ausgestatteten Toiletten sollte für Schülerinnen und Schüler, Lehrerinnen und Lehrer vorhanden sein; die Anlagen müssen regelmäßig gereinigt und gewartet werden.
- Pausenhöfe bzw. Pausenhallen sollten in ausreichender Größe zur Verfügung stehen.
- Alle Räume des Gebäudes sollten leicht zu reinigen sein (vgl. Abschnitt A-2).

**Was ist im praktischen Schulbetrieb aus hygienischer Sicht vor allem zu beachten?**

**Eine gute Zugänglichkeit aller Räume und Bereiche, vor allem im Hinblick auf eine leichte Möglichkeit der Reinigung, und eine Ausstattung mit emissionsarmem Inventar sind die beste Voraussetzung für eine hygienisch unbedenkliche Situation in Schulen.**

## A-2 Reinigungsmaßnahmen

Reinigungsmaßnahmen müssen in Schulen aufgrund der intensiven Nutzung, auch durch empfindliche Nutzergruppen, regelmäßig und sorgfältig durchgeführt werden.

**Flure und Treppenhausbereiche** gehören neben Klassenzimmern und Unterrichtsräumen zu den am häufigsten genutzten Räumlichkeiten in einer Schule. Diese Bereiche verschmutzen daher schnell. Dementsprechend intensiv und regelmäßig – und zwar täglich – sollte auch die Reinigung erfolgen.

Aus hygienischer Sicht bietet feuchtes Wischen von Flur- und Treppenhausböden die beste Möglichkeit, die vielfältig eingetragenen Verunreinigungen zu beseitigen. Hartnäckiger Schmutz kann durch Zusatz von mineralischen Reinigungsprodukten zum Waschwasser (Scheuermilch) entfernt werden. Je nach Art und Beschaffenheit der zu reinigenden Flächen genügen entweder Tensidzusätze zum Waschwasser oder müssen spezielle Reiniger eingesetzt werden. Genauere Festlegungen hierzu sollten im jeweiligen Einzelfall nach Rücksprache mit den beauftragten Reinigungsbetrieben getroffen werden.

Nur in Ausnahmefällen wird es erforderlich sein, eine desinfizierende Reinigung bzw.

Flächendesinfektion der Flur- und Treppenhausböden durchzuführen. Dies kann beispielsweise bei vermehrt aufgetretenen meldepflichtigen Infektionskrankheiten in der Schule der Fall sein; dann veranlasst das zuständige Gesundheitsamt entsprechende Maßnahmen. Bei Kontamination mit Stuhl und Erbrochenem kann ebenfalls eine desinfizierende Reinigung erforderlich werden, die allerdings nur durch dafür eingewiesenes Personal und unter strikter Beachtung eines in der Schule vorhandenen Hygiene- und Reinigungsplanes durchgeführt werden sollte (siehe Anhang 1: Presseinformation des Umweltbundesamtes „Reinigung in Schulgebäuden nicht vernachlässigen“ sowie Anhang 2: „Reinigungsplan in Schulen“).

Mittel zur Flächendesinfektion enthalten häufig Aldehyde (früher wurde überwiegend Formaldehyd verwendet, in den letzten Jahren werden zunehmend auch andere Aldehyde, wie Glyoxal oder Glutardialdehyd, eingesetzt), Peressigsäure oder andere Wirkstoffe. Insbesondere bei unsachgemäßer Anwendung (zu hohe Dosierung der Wirkstoffe in den Gebrauchslösungen, unzureichende oder falsche Lüftungsmaßnahmen bei der Anwendung) können Wirkstoffreste durch Verdunsten in die Atemluft gelangen und zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen.

Um eine regelmäßige Feuchtreinigung von Fluren und Treppenhausbereichen in Schulen zu ermöglichen, ist es erforderlich, dass diese Bereiche mit entsprechenden Bodenbelägen ausgestattet sind. Die mancherorts in den letzten Jahren zu beobachtende Tendenz, Flure und Treppenhäuser auch in Schulen mit Teppichbodenbelägen auszustatten, ist aus hygienischer Sicht abzulehnen. Aus Teppichen lassen sich Schmutz, Erbrochenes und andere Verunreinigungen wesentlich schwerer entfernen als von glatten Bodenbelägen. Teppichböden werden bei starker Beanspruchung darüber hinaus schneller unansehnlich als glatte Beläge.

Für die Bodenausstattung und Reinigung von **Klassenzimmern** und **Unterrichtsräumen** gilt sinngemäß das gleiche wie für Flure und Treppenhausbereiche, wenn gleich im Regelfall die Intensität der Reinigungsmaßnahmen nicht mit der in Treppenhausbereichen und Fluren erforderlichen gleichzusetzen ist.

Von besonderer hygienischer Bedeutung in Schulgebäuden sind die **Sanitär- und Waschbereiche**. Hier sollte mindestens einmal am Tag eine gründliche Reinigung vorgenommen werden. Zweckmäßig ist dazu eine Raumausstattung mit Wand- und Bodenfliesen. Flächendesinfektionen können angebracht sein, wenn meldepflichtige übertragbare Krankheiten auftreten. Der Amtsarzt ordnet dann entsprechende Maßnahmen an. Reinigungsmaßnahmen unter Zusatz von Desinfektionsmitteln sind auch in Sanitärbereichen aus infektionsprophylaktischen Gründen nicht erforderlich, können jedoch bei Kontamination von Flächen mit Stuhl, Erbrochenem etc. angemessen sein.

In **Lehrküchen**, sofern vorhanden, sind die Vorgaben der Lebensmittelhygieneverordnung zu beachten.

#### ***Was und wie oft muss in Schulgebäuden gereinigt werden?***

**Für Sanitärbereiche wird eine Reinigung einmal am Tag für unverzichtbar gehalten; bei Bedarf soll häufiger gereinigt werden.**

**Der Gebrauch von Desinfektionsmittelzusätzen ist dabei nur in Sonderfällen vorzusehen. Ohne konkreten Anlass, d.h. nur um allgemein Infektionen vorzubeugen, ist eine desinfizierende Reinigung in keinem Bereich der Schule zu befürworten.**

**Sanitär- und Waschbereiche sollten so ausgestattet werden, dass Waschbe-**

**cken, nach Möglichkeit mit Kalt- und Warmwasseranschluss, in ausreichender Zahl vorhanden sind. Nahe bei den Waschbecken sollten vorzugsweise Seifenspender und Einmalhandtuchsysteme installiert sein.**

**Flure und Treppenhausbereiche sollten einmal täglich gereinigt werden.**

**In anderen Schulbereichen sind Reinigungsmaßnahmen nach Bedarf durchzuführen. Zu empfehlen ist dabei die Erstellung und Anwendung von Reinigungsplänen.**

### **A-3 Lüftungsanforderungen**

Vordringliche Aufgabe der Lüftung ist die Erneuerung der Raumluft durch Abführung gas- und staubförmiger Verunreinigungen bzw. der durch den Menschen produzierten Stoffwechselprodukte (Kohlendioxid, Wasserdampf, Gerüche) und die Zufuhr von Frischluft von außen. Hinzu kommen physiologische Anforderungen: Erzielung möglichst behaglicher Raumlufttemperatur und Luftfeuchtigkeit sowie Ausgleich von Wärmelasten, die u.a. durch vermehrte Sonneneinstrahlung entstehen.

Bei dem in Deutschland herrschenden Klima können Schulgebäude so geplant und gebaut werden, dass für Klassenräume eine natürliche bzw. „freie“ Lüftung über Fenster ausreicht.

Nur in Sonderfällen dürfte der Einsatz raumlufttechnischer Anlagen (RLT-Anlagen) nötig werden, z.B. für bestimmte Laboratorien, bei stark verunreinigter Außenluft oder bei außen herrschenden hohen Lärmpegeln, wenn andere Maßnahmen hier nicht zum Erfolg führen (vgl. auch Abschnitt C-2.3). RLT-Anlagen bedingen zumeist höhere Investitions-, Betriebs- und Wartungskosten.

Bei der Nutzung der Fensterlüftung oder anderer Lüftungsöffnungen in der Außenwand

ist es wichtig, die Einwirkung etwaiger hoher Schallpegel aus dem Außenbereich (z.B. Straßenverkehrslärm, Fluglärm) auf die Unterrichtsräume zu vermindern. Der Einsatz hochschalldämmender Lüftungsfenster oder schallgedämmter Lüftungskanäle kann hierzu erforderlich sein.

Um eine zu starke Erwärmung der Räume durch Sonnenlichteinstrahlung zu verhindern, sollten Fenster, feststehende Verglasung und ggf. Oberlichter nicht größer ausgeführt werden, als dies für eine einwandfreie (angemessene) Beleuchtung mit Tageslicht erforderlich ist. Eine Südorientierung der Klassenräume erfordert einen wirksamen außenliegenden festen oder beweglichen Sonnen- und Sonnenblendschutz, Ost-/Westlage einen beweglichen. Sonnenschutzvorrichtungen dürfen die Fensterlüftung nicht beeinträchtigen und sollten nicht das Einströmen von an der Außenwand erwärmter Luft begünstigen. Wenn sich alle Räume lediglich auf einer Seite des Flures befinden („einhüftige“ Bauweise), sollte die Möglichkeit für eine Querlüftung über den Flur vorhanden sein.

Ebenso wie dies für alle anderen Innenräume gilt, soll auch die Luft in Schulräumen so weit wie möglich frei von Luftverunreinigungen sein. Als möglicher Parameter und „Gradmesser“ der Luftqualität in Innenräumen, in denen sich Personen aufhalten, gilt seit langem das Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) (vgl. Abschnitt B-1).  $\text{CO}_2$  wird beim Ausatmen freigesetzt. Für Aufenthaltsräume existiert ein hygienischer Richtwert von 0,15 Vol.-%  $\text{CO}_2$ , der in der DIN 1946 Teil 2 festgelegt ist. Bei höheren Kohlendioxidgehalten ist mit Müdigkeit, Konzentrationsschwäche etc. zu rechnen. Höhere  $\text{CO}_2$ -Gehalte der Luft gehen außerdem häufig einher mit Belästigungen durch Körpergerüche.

Maßgebend für die Erneuerung der Luft in einem Raum ist die Luftwechselzahl. Diese ist der Quotient aus dem Zuluftvolumenstrom

in den Raum und dem Raumvolumen. Sie wird als dimensionslose Größe pro Zeiteinheit (meistens eine Stunde) definiert. Eine Luftwechselzahl von 1/h („Eins pro Stunde“) bedeutet z.B., dass (rechnerisch) das gesamte Raumluftvolumen eines Raumes innerhalb von einer Stunde vollständig ausgetauscht wird. Man unterscheidet zwischen Luftwechsel bei geschlossenen Fenstern („natürlicher“ Luftwechsel) und bei geöffneten Fenstern („freier“ Luftwechsel). Bei weit geöffneten Fenstern beträgt z.B. die (freie) Luftwechselzahl 10–20/h (vgl. Abschnitt B-1).

Die erforderliche Luftwechselzahl ist desto größer, je stärker die Belastung der Innenraumluf mit Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) und anderen Stoffen ist. In Klassenzimmern kann pro Schüler ein notwendiger Raumbedarf von etwa  $5 \text{ m}^3$  (ca.  $1,5 \text{ m}^2$  Grundfläche) angesetzt werden, um „angemessene Bewegungsfreiheit“ zu gewährleisten. Gemäß DIN 1946 Teil 2 ist dann ein etwa 3- bis 4-facher Luftwechsel pro Stunde erforderlich, um das beim Ausatmen produzierte Kohlendioxid aus der Raumluf in ausreichendem Maße abzuführen. Ein solcher Luftwechsel ist nicht mehr mit Fensterfugenlüftung (also mit natürlicher Lüftung bei geschlossenen Fenstern) zu erreichen, sondern dadurch, dass die Fenster regelmäßig (am besten in jeder Unterrichtspause), kurzzeitig und weit geöffnet werden („Stoßlüftung“ für circa 5–10 Minuten).

#### **Wie sollte gelüftet werden?**

**Grundsätzlich durch Fensterlüftung. Nur in Sonderfällen sind motorisch angetriebene (mechanische) Belüftungssysteme (RLT-Anlagen) sinnvoll. Wenn diese unumgänglich sind, muß aus hygienischer Sicht eine regelmäßige Wartung solcher Anlagen garantiert werden.**

**Am besten ist es, wenn die Unterrichtsräume mindestens in jeder**

**Pause durch Stoßlüftung gelüftet werden. Aus Gründen der Praktikabilität werden die Fenster dazu für die Dauer der Unterrichtspause weit geöffnet. Reicht eine Fensterlüftung nicht aus, um eine hygienisch einwandfreie Luftqualität auch während des Unterrichts zu schaffen bzw. aufrechtzuerhalten, sind andere Belüftungsmöglichkeiten einzubauen, die einen ausreichenden Luftaustausch auch bei geschlossenen Fenstern sicherstellen.**

#### **A-4 Kleine Baumaßnahmen und Renovierungen**

In der Vergangenheit wurden Beschwerden über mangelhafte Innenraumluftqualität in Schulen besonders häufig nach kleinen Baumaßnahmen, Instandhaltungen und Renovierungen gemeldet. In einigen Fällen konnte nach eingehender Begutachtung der Renovierungsmaßnahmen und weiteren Untersuchungen ein Zusammenhang mit den geäußerten Befindlichkeitsstörungen gezeigt werden. Oft wurden auch Mängel bei der Planung und Durchführung der Bau- und Renovierungsmaßnahmen offenkundig.

Im folgenden werden Hinweise zur sachgerechten Durchführung von kleinen Bau- und Renovierungsmaßnahmen gegeben, um vorhersehbare Probleme nach Möglichkeit zu vermeiden.

Vier Gesichtspunkte sind im Vorfeld von Bau- und Renovierungsmaßnahmen unter lufthygienischen Gesichtspunkten, d.h. um spätere Emissionen möglichst gering zu halten, zu beachten:

- *Materialauswahl,*
- *Materialmenge,*
- *Kontrolle der Ausführung/Verarbeitung,*
- *Koordinierung und Kontrolle des zeitlichen Ablaufs.*

Bei unüberlegter Auswahl der Produkte und Baumaterialien für Baumaßnahmen und Renovierungen kann die Luftqualität ganz entscheidend negativ beeinflusst werden. Das Ausmaß dieser nachteiligen Wirkungen hängt von der Art und Intensität sowie dem zeitlichen Verlauf der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen (vgl. Abschnitt B-2) ab. Besonders solche Materialien, die großflächig in den Räumen eingesetzt werden, wie Oberflächenbeschichtungen, Verklebungen, Bodenbeläge u.a., sind sorgfältig auszuwählen.

Farben, Lacke und Klebstoffe enthalten Lösemittel, flüchtige Bindemittelanteile und andere Hilfsstoffe, die in die Raumluft gelangen können. Allgemein gilt, dass die emittierte Menge mit der Größe der freien Produktfläche, der Konzentration im Produkt und dem Dampfdruck der freigesetzten Verbindung steigt.

Im Rahmen dieses Leitfadens kann allerdings keine Auflistung von hygienisch empfehlenswerten Bauprodukten und Raumausstattungsmaterialien gegeben werden, da der Markt eine unüberschaubare Anzahl von Produkten bereithält und regionale Unterschiede sowie zeitliche Änderungen aufweist (siehe auch Hinweise in den Abschnitten C-1.2 und C-1.3).

Produkte, die mit dem Umweltzeichen („Blauer Engel“) ausgezeichnet sind, weisen teilweise auch geringe Emissionen auf. Dies gilt insbesondere für Produkte, die als Bestandteil des Umweltzeichens den Zusatz: „weil emissionsarm“ oder „weil schadstoffarm“ enthalten. Leider werden in Sicherheitsdatenblättern oft keine ausreichenden Informationen hierzu gegeben. Deshalb sind Hersteller und Vertreiber von Baumaterialien, die dem Kundenwunsch nach weitergehenden Informationen entgegenkommen, zu bevorzugen.

**Was ist bei der Materialauswahl zu beachten?**

**Soweit möglich, sollte man sich über die Art und Menge von Produktinhaltsstoffen der für Bau- und Renovierungsarbeiten in Frage kommenden Materialien einen Überblick verschaffen. Informationen hierzu ergeben sich aus Technischen Merkblättern, evtl. auch Sicherheitsdatenblättern, Güte- und Prüfsiegeln (RAL, Umweltzeichen etc.) und Gefahrstoffdatenbanken. Auch Hersteller und Verbraucherschutzzentralen können gegebenenfalls weitere Hinweise liefern.**

Die geruchliche Wahrnehmbarkeit bestimmter chemischer Verbindungen ist ein weiteres wichtiges Kriterium, dem bei der Auswahl der Bauprodukte oder Ausstattungsmaterialien eine entscheidende Rolle zukommt. In sehr vielen Fällen sind es geruchliche Wahrnehmungen, die Beschwerden auslösen und Fragen nach der gesundheitlichen Unbedenklichkeit der eingesetzten Produkte und der durchgeführten Maßnahmen aufkommen lassen. Deshalb sollten Muster fraglicher Bauprodukte oder Ausstattungsmaterialien vor dem Einsatz auf Geruchseigenschaften geprüft werden. Speziell bei der Auswahl von Fußbodenbelägen ist wegen der großflächigen Verlegung eine sensorische Prüfung von Belag und Klebmaterial dringend anzuraten.

Die ausgewählten und eingesetzten Produkte und Materialien sollten nicht nur emissionsarm, sondern auch gebrauchstauglich und beständig sein. Jede Verlängerung der Nutzungsdauer schiebt eine erneute bauliche Maßnahme oder Renovierung mit möglichen Einbußen der Innenraumluftqualität hinaus. Wenn ein Material ausgewählt worden ist, sollte sichergestellt werden, dass die geprüfte Charge auch für die gesamte Bau- oder Renovierungsmaßnahme einge-

setzt wird. Wenn eine einheitliche Materialcharge für die gesamte Maßnahme nicht verfügbar ist, ist sicherzustellen, dass die vereinbarten Qualitätsmerkmale für alle ausgelieferten und eingesetzten Chargen gelten.

Viele Beschwerden und gesundheitliche Beeinträchtigungen in Schulen können auf Mängel bei der Durchführung von Bau- und Renovierungsmaßnahmen zurückgeführt werden. Deshalb ist eine sachgerechte Überwachung der Verarbeitung durch einen mit den Anforderungen der Innenraumhygiene vertrauten Bauleiter oder eine vergleichbare Fachkraft dringend anzuraten.

Beim schichtförmigen Aufbau von Fußböden und anderen großen Oberflächen ist darauf zu achten, dass die einzelnen Arbeitsgänge so ausgeführt werden, dass die eingesetzten Lösemittel und andere flüchtige Hilfsstoffe möglichst vollständig abdunsten, bevor die nächstfolgende Schicht aufgebracht wird. Besonders bei saugfähigen und großflächigen Produkten oder entsprechendem Untergrund muss dafür gesorgt werden (z.B. durch Aufbringen einer geeigneten Sperrschicht), dass keine oder nur geringe Mengen flüchtiger organischer Verbindungen – aus nachfolgenden Arbeitsschritten, bei späteren Reinigungsmaßnahmen etc. – aufgenommen werden. Eine Depotbildung der Stoffe in Zwischenschichten soll möglichst vermieden werden. Aus den gleichen Gründen ist auch darauf zu achten, dass Produkte mit flüchtigen Inhaltsstoffen nicht in größeren Mengen in Fugen, Risse und Hohlräume gelangen.

Die Emission flüchtiger Verbindungen aus Bauprodukten und Ausstattungsmaterialien kann zwar deutlich eingeschränkt, jedoch nicht vollständig vermieden werden. Daher ist die Innenraumluft unmittelbar nach Bau- und Renovierungsmaßnahmen fast immer mit zusätzlichen flüchtigen organischen Verbindungen belastet. Aus diesem Grund



muss dringend angeraten werden, vor der erneuten Raumnutzung eine gewisse Zeit zur Abdunstung restlicher flüchtiger Verbindungen einzuplanen. Bei Schulen bedeutet dies zum Beispiel, dass kleinere Baumaßnahmen und Renovierungen an den Beginn der Ferien gelegt werden sollten, damit vor der erneuten Nutzung bereits ein Großteil der Komponenten aus den Materialien abgedunstet ist. Eine besonders intensive Lüftung des gesamten Gebäudes (Querstrom-Dauerlüftung) sollte dabei selbstverständlich sein.

Wenn Warmwasserrohre und Heizkörper neu gestrichen worden sind, so ist dringend zu empfehlen, die Heizungsanlage nach Abtrocknung des Lackes kurzfristig in Betrieb zu nehmen, ohne dass sich dabei Personen im Raum aufhalten, und somit zu erreichen, dass Verbindungen, die erst bei erhöhter Temperatur in der Lackschicht entstehen und häufig zu unangenehmen Geruchs- und Reizerscheinungen führen, rechtzeitig vor der späteren Nutzungsphase soweit wie möglich aus der Lackschicht ausgegast sind.

**Was kann und sollte ein Bauleiter vor Ort aus hygienischer Sicht bei Renovierungsarbeiten überprüfen?**

- **Prüfen, ob bei den Arbeiten tatsächlich die ausgewählten Materialien eingesetzt werden. Gegebenenfalls muss überprüft werden, ob die angelieferten Chargen allen Qualitätsanforderungen (incl. Emissionsverhalten) genügen.**
- **Prüfen, ob die ausgewählten Materialien, falls bei der Materialauswahl so festgelegt, sachgerecht und zeitlich ausreichend abgelagert worden sind.**
- **Prüfen, ob die vom Produkthersteller gegebenen Arbeitsanweisungen und Ratschläge beachtet werden.**

- **Prüfen, ob beim Verlegen und Verkleben von Materialien auf ausreichende Lüftung und Abdunstungszeit geachtet wird.**

Nach Abschluss der Baumaßnahmen und Renovierungen sollte das gesamte Gebäude besonders intensiv gereinigt werden. Feuchtes Wischen und eine möglichst weitgehende Entfernung aller Staubablagerungen, die später eventuell als „Dauerdepot“ für bei der Renovierung emittierte schwerflüchtige organische Verbindungen wirken, sind dringend anzuraten.

### A-5 Werkstätten, Laborräume und Lehrküchen

Wie bereits in den Abschnitten I-1 und A-1 erwähnt wurde, zählen Werkstätten, Laborräume und Lehrküchen zu speziellen Unterrichtsräumen. Für solche Räume existieren weitreichende Regelungen, u.a. nach dem Gefahrstoff- und Lebensmittelrecht. Im folgenden wird deshalb nur kurz auf mögliche Belastungsquellen und bestehende Regelungen hingewiesen.

#### Werkstätten:

Lüftungsanforderungen für Werkstätten in Schulen sind in den „Regeln für Sicherheit und Gesundheitsschutz beim Umgang mit Gefahrstoffen im Unterricht“ (GUV 19.16, Ausg. Januar 1998, Ziff. 5.2) (siehe Anhang 3) festgelegt.

Danach werden unter anderem ausreichende Lüftungsmaßnahmen bei Arbeiten in technischen Fächern und im Kunstunterricht gefordert, wenn mit Gefahrstoffen umgegangen wird oder beim Unterricht gefährliche Stoffe in die Raumluft freigesetzt werden können.

Bei Schweißarbeiten z.B. sind in jedem Fall technische Lüftungsmaßnahmen erforder-

lich. Für die üblichen Lötarbeiten reicht im allgemeinen eine natürliche Raumlüftung aus.

Bei der Bearbeitung von Holz wird das gesundheitliche Risiko minimiert, wenn bei der maschinellen Bearbeitung von Holz staubarme Arbeitsbedingungen in den Werk- und Maschinenräumen vorliegen. Diese Bedingungen werden z.B. erreicht, wenn

- die tägliche Expositionszeit eine halbe Stunde pro Unterrichtstag unterschreitet und nur an wenigen Tagen im Jahr an den Holzbearbeitungsmaschinen gearbeitet wird,
- die tägliche Expositionszeit nicht mehr als eine Stunde pro Unterrichtstag beträgt und der Holzstaub bei Standardholzbearbeitungsmaschinen an der Entstehungsstelle abgesaugt wird,
- die tägliche Expositionszeit mehr als eine Stunde pro Unterrichtstag beträgt und die Holzbearbeitungsmaschinen mit Stauberfassungselementen und geprüften Entstaubern ausgerüstet sind.

Das Abblasen und Kehren führt zum Aufwirbeln abgelagerter Holzstäube und ist grundsätzlich nicht mehr zulässig.

#### **Laborräume:**

Für den naturwissenschaftlichen Unterricht gilt ebenfalls die GUV 19.16.

Zur Information ist im Anhang des Leitfadens das Inhaltsverzeichnis der GUV 19.16 sowie die „Allgemeine Betriebsanweisung für Schüler zum Umgang mit Gefahrstoffen im naturwissenschaftlichen Unterricht“ aufgenommen worden.

Räume für den naturwissenschaftlichen Unterricht, wie z.B. Chemieunterrichtsräume, müssen mindestens mit einem Abzug ausgestattet sein. Die Abzüge müssen gewährleisten, dass Gase, Dämpfe, Nebel, Rauche oder Stäube nicht in gefährlicher

Konzentration oder Menge aus dem Abzugsinneren in den Unterrichtsraum gelangen können. Im Abzugsinneren darf sich keine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre bilden. Personen müssen durch den geschlossenen Frontschieber geschützt sein, falls gefährliche Stoffe verspritzen oder Glas zersplittert.

Einschränkend gegenüber § 15 und 15a der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) ist an allen allgemeinbildenden Schulen der Umgang mit krebserzeugenden Stoffen der Kategorie 1 und 2 nicht erlaubt. Hiervon sind für Lehrexperimente einige krebserzeugende Stoffe ausgenommen (GUV 19.16 Tab.2). Versuche damit sind grundsätzlich unter dem Abzug durchzuführen.

#### **Lehrküchen:**

Für Küchen gilt ZH 1/37 (Oktober 1994) „Regeln für Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit in Küchen.“ Im Anwendungsbereich sind auch hauswirtschaftliche Lehrküchen genannt, allerdings sollen die Regeln „unter Berücksichtigung des Schulbetriebs sinngemäß“ angewendet werden. Danach muss während der Arbeitszeit „eine unter Berücksichtigung der Arbeitsverfahren und der körperlichen Beanspruchung der Arbeitnehmer gesundheitlich zuträgliche Atemluft und Raumtemperatur vorhanden sein.“

Für Einrichtungen, an denen vermehrt mit Wrasen und Kochdünsten zu rechnen ist, z.B. bei Kochkesseln, Kippbratpfannen, Friteusen, wird ein Dunstabzug gefordert. Differenzierte Aussagen zur Belüftung von Lehrküchen finden sich im Handbuch: „Sicherheit im Unterricht, Lernbereich Lebensmittel- und Textilverarbeitung“ des Bundesverbandes der Unfallversicherer der öffentlichen Hand (inzwischen Bundesverband der Unfallkassen) – GUV 57.1.30.7, Ausg. März 1997.

**Was ist bei Arbeiten in Werkstätten, Laborräumen und Lehrküchen generell zu beachten?**

Bei Arbeiten in solchen speziellen Unterrichtsräumen ist besondere Sorgfalt zum Schutz von Schülern und Lehrern nötig. Die gültigen Vorschriften müssen unbedingt eingehalten werden.

Abzugshauben (Digestorien) müssen in ausreichender Zahl installiert sein und einwandfrei funktionieren. Eine regelmäßige Wartung und Kontrolle der Abzüge ist erforderlich.

Beim Umgang mit Gefahrstoffen ist zu prüfen, ob Stoffe, Zubereitungen oder Erzeugnisse mit geringerem oder vorzugsweise keinem gesundheitlichen Risiko eingesetzt werden können.

Grundsätzlich sollte im naturwissenschaftlichen Unterricht nicht mit fruchtschädigenden, erbgutverändernden oder krebserzeugenden Stoffen umgegangen werden. Ist dies im Ausnahmefall unumgänglich, sind diese Arbeiten ausschließlich unter dem Abzug durchzuführen.

Je nach Versuch sind im Bedarfsfall zusätzlich individuelle Schutzmaßnahmen zu ergreifen (Tragen von Mundschutz, Schutzbrille, Schutzhandschuhen, Laborkittel).

**A-6 Kopierer, Druckgeräte und PC**

Einige Bürogeräte, die auch in Schulen verwendet werden, wie z.B. Kopierer, Laserdrucker oder Computer können bei der Benutzung wegen möglicher Ozon-, Staub- und Lärmemissionen die Umwelt und die Gesundheit des Menschen nachteilig beeinflussen. Im folgenden werden die für die Innenraumluftqualität in Schulgebäuden relevanten Emissionen behandelt. Fragen der ergonomischen Gestaltung des Arbeitsplat-

zes und der Belastung der Augen durch Bildschirmarbeit, die wichtige Faktoren für Gesundheitsbeeinträchtigungen in Büroräumen darstellen können, werden an dieser Stelle nicht weiter betrachtet.

Aufgrund des elektrophotographischen Verfahrens kann beim Betrieb von Kopiergeräten und Laserdruckern prinzipbedingt Ozon entstehen. Die daraus resultierende Ozonkonzentration in der Innenraumluft ist abhängig von den technischen Eigenschaften des Gerätes, der Betriebsdauer und dem Wartungszustand des Gerätes sowie der Größe des Aufstellraumes. Nennenswerte Ozonkonzentrationen entstehen heute allerdings nur noch, wenn ältere und schlecht gewartete Geräte im Dauerbetrieb bei ungünstigen Lüftungsverhältnissen betrieben werden.

Bei neueren Gerätetypen (etwa seit 1992) ist durch Einbau von Ozonadsorbern und technischen Veränderungen der Gerätespannung kaum noch mit einem Ozoneintrag in die Raumluft zu rechnen. Kopiergeräte und Laserdrucker mit dem Umweltzeichen (RAL-UZ 62 und RAL-UZ 85 beinhalten auch eine Begrenzung der Ozonemissionen des Gerätes) sollten deshalb bevorzugt eingesetzt werden.

Staubemissionen können vor allem bei Kopiergeräten auftreten. Dabei handelt es sich in erster Linie um Papierstaub und Tonerstaub. Erhöhte Staubbelastungen, die manchmal bei der Verwendung von Recyclingpapier auftraten, sind bei Verwendung von genormtem Kopierpapier heute ausgeschlossen. Bei Kopiergeräten mit dem Umweltzeichen sind die Gesamtstaubemissionen deutlich reduziert.

Kopiergeräte, Laser- und Tintenstrahldrucker können auch verschiedene organische Verbindungen (vor allem Styrol) emittieren. Eine wichtige Quelle hierfür ist der Toner. Die Zusammensetzung des Toners beein-

flusst die Höhe der möglichen Emissionen. Bei Kopierern mit dem Umweltzeichen ist der Styroleintrag in die Raumluft deutlich reduziert.

In der Öffentlichkeit wird im Zusammenhang mit Bürogeräten häufig auch die Verwendung und mögliche Emission von Flammenschutzmitteln diskutiert. Aus Gründen des Brandschutzes werden Kunststoffe, die im Elektronikbereich für Gehäuse, Leiterplatten und Kabelisolierungen eingesetzt werden, mit Flammenschutzmitteln (vor allem halogenhaltige organische Verbindungen) behandelt. In Geräten mit dem Umweltzeichen dürfen halogenhaltige Flammenschutzmittel nicht enthalten sein.

***Werden bei Kopiergeräten, Laserdruckern und sonstigen elektronischen Geräten Stoffe in gesundheitsschädlichen Konzentrationen abgegeben?***

**Bei Verwendung emissionsarmer Geräte (mit dem Umweltzeichen), die in einem ausreichend belüfteten Raum aufgestellt sind, sind gesundheitliche Beeinträchtigungen bei bestimmungsgemäßem Gebrauch nicht zu befürchten. Das gilt sowohl für Kopiergeräte als auch für Laserdrucker und andere elektronische Geräte (Computer, Audio, Video).**

## Teil B: Für den Schulbereich relevante Schadstoffe und Schadstoffgruppen

In den folgenden Abschnitten wird zunächst eine Überblick darüber gegeben, aus welchen Quellen die aufgeführten Verbindungen stammen. Dann wird auf die in Schulen auftretenden Herkunftsquellen eingegangen. Schließlich wird die hygienische Bedeutung der Substanzen erläutert.

### B-1 Anorganische Gase

#### Quellen und Vorkommen:

Einen Überblick über wesentliche Quellen anorganischer Gase in der Innenraumluft gibt Tabelle 1. Mit Ausnahme von Ozon entstehen diese anorganischen Gase bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe. Kohlendioxid wird darüber hinaus beim Atmen freigesetzt.

**Tabelle 1: Herkunft von anorganischen Gasen in Innenräumen**

Verbindung	Quelle
Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> )	Mensch, offene Flammen, Außenluft
Kohlenmonoxid (CO)	Tabakrauch, Gasherd, Ofenheizung, Außenluft
Stickstoffoxide (NO <sub>x</sub> )	Gasherd, Gastherme, Ofenheizung, Kerzen, Außenluft
Schwefeldioxid (SO <sub>2</sub> )	Außenluft
Ozon (O <sub>3</sub> )	Außenluft (Sommer), Kopierer, Laserdrucker

Im folgenden wird nur auf die für den Schulbereich relevanten Verbindungen eingegangen.

An erster Stelle ist das **Kohlendioxid** (CO<sub>2</sub>) zu nennen. Kohlendioxid entsteht beim Verbrennen organischen Materials und wird beim Atmen freigesetzt. In Schulräumen ist dies von besonderer Bedeutung, da hier – ähnlich wie in anderen Räumen mit hoher Belegungsdichte – sehr viele Personen auf begrenztem Raum zusammenkommen.

Der Hygieniker Max von Pettenkofer hat bereits vor über 100 Jahren auf den Tatbestand der „schlechten“ Luft beim längeren Aufenthalt in Wohnräumen und Lehranstalten hingewiesen und das Kohlendioxid als wichtige Leitkomponente für die Beurteilung der Raumluftqualität identifiziert. Lange Zeit galt ein CO<sub>2</sub>-Richtwert (sogenannte Pettenkoferzahl) von 0,1 Volumenprozent (= 1000 parts per million (ppm); 1 ppm = 1 Teil auf 1 Million Teile) in Innenräumen als Maßstab. Der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Außenluft beträgt demgegenüber ca. 350 ppm (in Städten an manchen Stellen auch bis ca. 500 ppm). Als hygienischer Richtwert gilt in Deutschland nach der DIN 1946 Teil 2 heute ein CO<sub>2</sub>-Wert von 0,15 Vol.-% (= 1500 ppm).

#### Was ist „verbrauchte“ Luft?

Beim Aufenthalt mehrerer Personen über längere Zeit in einem geschlossenen Raum (Klassenzimmer, Theater, Hörsaal etc.) steigt die Konzentration von Kohlendioxid in der Raumluft an, da Kohlendioxid vom Menschen ausgeatmet wird. Gleichzeitig geben die Personen Körpergerüche und Wasserdampf, evtl. auch Parfumerüche, in die Umgebungsluft ab, so dass ein von außen in den Raum Eintretender (subjektiv) häufig die Luft als „verbrauchte“ oder „schlecht“ empfindet. Ein unmittelbares gesundheitliches Risiko ist damit allerdings nicht verbunden. „Verbrauchte“ Luft vermeidet man am besten durch regelmäßiges und sachgerechtes Lüften.

Im Einzelfall hängt die Konzentration von Kohlendioxid in der Raumluft von der Zahl, Aufenthaltsdauer und Aktivität der anwesenden Personen sowie von den baulichen Gegebenheiten (Raumvolumen, Luftwechselzahl bei geschlossenen Fenstern) ab. Bei aufwendig gegen Wärmeverluste gedämmten Gebäuden ist wegen des deutlich reduzierten natürlichen Luftwechsels in besonderem Maße darauf zu achten, dass durch ausreichende Lüftung genügend Luft ausgetauscht wird.

**Kohlenmonoxid** (CO) wird bei der unvollständigen Verbrennung fossiler Brennstoffe freigesetzt. Es gelangt besonders in Ballungsräumen mit der Außenluft auch beim Lüften in Innenräume. Eine wesentliche weitere Emissionsquelle – leider auch heute noch in manchen Schulen – stellt im Einzelfall der Tabakrauch dar. Auch zur Vermeidung des Auftretens von Kohlenmonoxid wird in diesem Zusammenhang nochmals darauf hingewiesen, dass in Schulen nicht geraucht werden sollte. CO kann auch bei Verwendung von Gas zum Kochen in Lehrküchen – allerdings nur bei ungenügender Abluftführung – in den Innenraum gelangen.

**Stickstoffoxide** (NO<sub>x</sub> = Summe von Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)) gelangen außer durch Eintrag von außen vor allem beim Verbrennen von Gas (Bunsenbrenner in Labors, Gasherde in Lehrküchen) in die Raumluft. Kurzzeitig erhöhte NO<sub>2</sub>-Konzentrationen in der Raumluft können auch beim Gebrauch von Lampenölen oder einer größeren Zahl von Kerzen entstehen. Lampen- und Duftöle sollten allerdings schon wegen der Aspirationsgefahr beim Verschlucken (beim Verschlucken des Öls kann auch ein Teil „eingatmet“ werden und so zu Lungenreizungen und -entzündungen führen), insbesondere bei kleinen Schulkindern, in Schulen gar nicht erst verwendet werden.

**Ozon** (O<sub>3</sub>) kann in Schulen beim Gebrauch von Kopiergeräten und Laserdruckern bzw. allgemein von Geräten, die UV-Strahlungsquellen besitzen, in die Raumluft emittiert werden (vgl. hierzu die Ausführungen in Abschnitt A-6). Ozon gelangt vor allem im Sommer auch beim Lüften mit der Außenluft in Innenräume, wird dort im allgemeinen aber innerhalb von 1–2 Stunden abgebaut.

#### **Hygienische Bedeutung:**

urch höhere **Kohlendioxid**-Konzentrationen im Bereich bis zu einigen Volumenprozenten wird das Atemzentrum angeregt, was zu vermehrter Atmung führt. Ansonsten hat CO<sub>2</sub> bei normalen Konzentrationsverhältnissen keine unmittelbar gesundheitlich nachteilige Wirkung. Ein Anstieg der Konzentration auf über 0,15 Vol.-% weist auf unzureichende Lüftungsmaßnahmen hin und sollte vermieden werden.

**Kohlenmonoxid** beeinträchtigt den Transport von Sauerstoff mit dem roten Blutfarbstoff. Darunter leiden gegebenenfalls besonders Herzranke oder Personen mit Durchblutungsstörungen. Im Schulbereich sind die dafür erforderlichen Konzentrationen üblicherweise nicht zu erwarten.

**Stickstoffdioxid**, welches bei langandauernder und erhöhter Einwirkung das Entstehen von Atemwegserkrankungen fördert, lässt sich bei geeigneter Abluftführung beim Kochen mit Gas in Lehrküchen weitgehend vermeiden.

**Ozon**-Freisetzungen aus Bürogeräten lassen sich durch Verwendung moderner Geräte so weit herabsetzen, dass auch bei empfindlichen Personen keine Atemwegsbeschwerden oder Beeinträchtigungen der Lungenfunktion eintreten.

Bei hochsommerlichen Wetterlagen gelangt in der Außenluft gebildetes Ozon durch Lüften auch in Innenräume. In der Regel wird das Ozon dort rasch abgebaut.

## B-2 Flüchtige organische Verbindungen („VOC“)

Flüchtige organische Verbindungen (aus dem Englischen hat sich hierfür die Bezeichnung „VOC“ für „Volatile Organic Compounds“ eingebürgert, die auch im folgenden verwendet wird), stellen eine Stoffgruppe von Luftverunreinigungen dar, die praktisch immer in der Raumluft vorkommen. Die VOC werden als Gruppe unterschiedlichster Verbindungen durch den Siedepunkt charakterisiert und von den leichtflüchtigen, schwer- und nichtflüchtigen organischen Verbindungen unterschieden. Von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) wurde ein Siedebereich von 50–100 °C als untere Grenze und 240–260 °C als obere Grenze für die VOC festgelegt.

Tabelle 2 gibt einen Überblick über häufig in Innenräumen gemessene VOC und deren Quellen.

### Quellen und Vorkommen:

Im folgenden wird auf die für Schulräume relevanten VOC-Stoffgruppen eingegangen.

#### Alkane:

Alkane sind kettenförmige Verbindungen, die sich durch die Zahl der Kohlenstoff- und Wasserstoffatome im Molekül unterscheiden. Nach Renovierungsmaßnahmen ist besonders häufig die Fraktion von Nonan bis Dodecan (9 bzw. 12 Kohlenstoffatome im Molekül; C-9 bzw. C-12) in der Innenraumluft anzutreffen. Tankanlagen für leichtes Heizöl können unter ungünstigen Umständen als Quellen für Alkane der Fraktion zwischen Tetradecan (C-14) und Octadecan (C-18) auftreten. Diese bis über 300 °C siedende Alkan-Fraktion wird teilweise ebenfalls als Lösemittel eingesetzt und wird hier, da sie streng genommen nicht der Gruppe der VOC zuzuordnen ist, nur der Vollständigkeit halber erwähnt. Dies gilt auch für leichtflüchtige n-

**Tabelle 2: Quellen häufig gemessener flüchtiger organischer Verbindungen (VOC) in Innenräumen**

VOC-Gruppe	Quelle
<b>Alkane</b>	Außenluft, Erdgas (Methan bis Butan), Kraftstoffe, Lösemittel
<b>Aromaten</b>	Kfz-Verkehr, Tabakrauch, Lösemittel, höhersiedende Aromaten (z.B. Phenylcyclohexen) auch in Teppichbodenrücken, Hartschaumprodukte (Styrol)
<b>Terpene</b>	Holz, Lösemittel, „Geruchsverbesserer“
<b>Olefine und Naphthene</b>	Kfz-Verkehr, Lösemittel
<b>Alkohole</b>	Lösemittel, Abbauprodukte u.a. aus Weichmachern
<b>Aldehyde:</b>	Formaldehyd Holzwerkstoffe, Bindemittel, Kosmetika höherwertige Aldehyde Küchendunst, Desinfektionsmittel, Alkydharzfarben, Ölfarben, Linoleum, Korkfußböden
<b>Ketone</b>	Lösemittel (z.B. Aceton, Methylethylketon), Stoffwechselprodukt, UV-gehärtete Lackoberflächen
<b>Ester</b>	Lösemittel, schwerflüchtige Lösemittel/Weichmacher, Heizkostenverteiler (Methylbenzoat)
<b>Ether</b>	Kraftstoffe, Lösemittel in wasserlöslichen Farben und Lacken
<b>Halogenierte Verbindungen</b>	Entfettung, Lösemittel, chemische Reinigung (Tetrachlorethen), Mottenschutz, Toilettensteine (p-Dichlorbenzol)
<b>Sonstige Verbindungen</b>	Bindemittel (Phenol), Teerprodukte (Kresole)

Alkane, wie Methan (C-1) und Butan (C-4), die Bestandteile von Erdgas sind.

**Aromaten:**

Aromaten sind Kohlenwasserstoff-Verbindungen mit einem ringförmigen Aufbau, wobei im Vergleich zu einfachen cyclischen Verbindungen besondere Bindungseigenschaften zwischen den Kohlenstoffatomen im Ring bestehen. Für das toxikologisch wegen seiner krebserzeugenden Wirkung besonders bedeutsame Benzol, die Grundsubstanz der Aromatengruppe mit 6 Kohlenstoffatomen, kommt für den Schulbereich als Quelle praktisch nur verkehrsbelastete Außenluft in Frage (wenn man einmal vom Tabakrauch absieht, von dem Schulen, wie beschrieben, ohnehin frei sein sollten).

Toluol wird besonders häufig als Lösemittel eingesetzt, so dass diese Verbindung praktisch immer, vor allem jedoch nach Renovierungsarbeiten, in der Innenraumluft mit höheren Konzentrationen als in der Außenluft auftritt. Großflächige Verklebungen und frische Druckerzeugnisse stellen häufig eine weitere Quelle für hohe Toluolkonzentrationen in der Raumluft dar. Andere aromatische Verbindungen mit 8 Kohlenstoffatomen und mehr werden zunehmend anstelle von Toluol eingesetzt.

Unter den weiteren aromatischen Kohlenwasserstoffen kann in Schulgebäuden Styrol von Bedeutung sein. Styrol kann – allerdings nur in geringen Mengen – als Monomer aus Polystyrol ausgasen (Polystyrol findet z.B. als Hartschaumprodukt, wie Styropor<sup>(r)</sup> etc., Verwendung).

Mehrkernige aromatische Kohlenwasserstoffe (Indene, Naphthaline, u.a.) sind im allgemeinen in der Innenraumluft von Schulen von geringerer Bedeutung; jedoch können Bitumen- und Steinkohlenteerprodukte, sofern sie bei Fußbodenaufbauten eingesetzt wurden, derartige Verbindungen in die Innenraumluft abgeben.

**Terpene:**

Eine wichtige Substanzgruppe der VOC stellen die Terpene dar. Die Monoterpene Limonen,  $\alpha$ -, und  $\beta$ -Pinen und  $\delta$ -3-Caren sind häufig und zunehmend in Innenräumen anzutreffen. Natürliche Ausgasungen aus Holzprodukten, der Gebrauch von Duftstoffen und der Einsatz als „natürliche“ Lösemittel für diverse Produkte (Farben, Lacke, Holzpflegemittel u.a.) sind wesentliche Eintragswege in die Raumluft. Terpene in vergleichsweise erhöhten Konzentrationen findet man auch und gerade in nach ökologischen Gesichtspunkten gebauten bzw. ausgestatteten Gebäuden und Räumen, vor allem, wenn Wände und Decken mit Holz verkleidet sind. Diverse Terpenalkohole und Terpenketone (z.B. Geraniol, Campher) werden mit Duftstoffen in die Raumluft eingebracht.

**Olefine und Naphthene:**

Olefine oder Alkene sind ungesättigte Kohlenwasserstoffverbindungen (Alkane sind dagegen gesättigte Verbindungen). Längerkettige Olefin-Verbindungen stellen Reaktions- und Abbauprodukte dar. Gesättigte cyclische Kohlenwasserstoffe, wie Cyclohexan und Methylcyclohexan, werden als Lösemittel im Innenraumbereich eingesetzt.

**Alkohole:**

Neben dem umgangssprachlich als „Alkohol“ bezeichneten Ethanol (auch Ethylalkohol) sind weitere Verbindungen, die der chemischen Klasse der Alkohole angehören, in der Raumluft anzutreffen. Beispiele hierfür sind Isopropanol und Isobutanol, die häufig als Lösemittel eingesetzt werden. Mehrwertige Alkohole (Butandiol u.a.) und Gemische von Estern (die eine Ether-Gruppe im Molekül enthalten) und Alkoholen werden in zunehmendem Maße als organische Lösemittelkomponenten in wasserverdünnbaren Produkten (z.B. spezielle Reinigungs- und Pflegemittel, Desinfektionsmittel, Farben und Lacke) eingesetzt und gelangen bei großflächiger Anwendung in die Innenraum-



luft. Aus Weichmachern in Kunststoffen kann u.a. durch hydrolytische Spaltung 2-Ethylhexanol in die Innenraumluft gelangen, ein Alkohol, der oft zu Geruchsproblemen in Innenräumen beiträgt.

#### **Aldehyde:**

Dem einfachsten Vertreter dieser Substanzgruppe, Formaldehyd, ist wegen seiner weiten Verbreitung und seiner hygienischen Bedeutung ein gesonderter Abschnitt gewidmet (siehe Abschnitt B-3). Nach der Definition gehört er – im Gegensatz zu den höheren Aldehyden – wegen seines Siedepunktes von nur ca. 20 °C auch nicht zur Gruppe der VOC. Von den geradkettigen Aldehyden wird vor allem n-Hexanal in der Innenraumluft nachgewiesen. Wesentliche Quellen sind Alkydfarben und -lacke. Im Lauf der Trocknung, der Vernetzung, aber auch des oxidativen Abbaus der ölhaltigen Bindemittel werden die Aldehyde abgespalten und freigesetzt. Da Linoleum ebenfalls ölhaltige Bindemittel aufweist, können aus dieser Quelle Aldehyde an die Umgebungsluft abgegeben werden.

Ein ungesättigter Aldehyd mit einem besonders stechenden Geruch ist das Propenal (Acrolein), das u.a. bei der thermischen Zersetzung von Fetten auftritt (Küchendunst). Furfural ist ein Aldehyd mit ringförmigem (cyclischem) Molekülaufbau, der bei Verwendung von Presskorkprodukten (z.B. als Fußbodenplatten) in die Raumluft gelangen kann.

#### **Ketone:**

Aceton, Methylethylketon (MEK) und Methylisobutylketon (MIBK) sind vielfältig eingesetzte Lösemittel, die in die Innenraumluft gelangen können. Das Gleiche gilt für Cyclohexanon und Acetophenon, die vereinzelt von Oberflächenbeschichtungen in die Raumluft abgegeben werden.

#### **Ester:**

Ester sind häufig eingesetzte Lösemittel: Ethylacetat, Butyl- und Isobutylacetat kön-

nen insbesondere nach Umbau- und Renovierungsarbeiten in der Innenraumluft auftreten.

In zunehmenden Maße kommen Gemische von Estern und Alkoholen auf den Markt. Farben auf Wasserbasis können solche Gemische enthalten und die entsprechenden Verbindungen an die Innenraumluft abgeben.

Methylbenzoat wird häufig als Verdampferflüssigkeit in Wärmemengenzählern zur Heizkostenberechnung eingesetzt.

Kurzkettige Ester der Phthalsäure (Dimethyl-, Diethyl- und Dibutylphthalat) können aus Weichmacher-haltigen Produkten in die Innenraumluft abgegeben werden.

#### **Halogenierte organische Verbindungen:**

Für praktisch alle halogenierten organischen Verbindungen konnten in den letzten zehn Jahren rückläufige Innenraumluftkonzentrationen festgestellt werden. Dennoch können vereinzelt erhöhte Konzentrationen u.a. für folgende Verbindungen gemessen werden: Methylenchlorid aus Abbeizern, Trichlorethen aus Fleck- und Fettentfernern (vereinzelt noch 1.1.1-Trichlorethan aus „Tipp-Ex“-Fluids), p-Dichlorbenzol aus Toilettensteinen und Mottenschutzmitteln und geruchlich auffällige Mono- bis Trichlornaphthaline aus mit Fungiziden behandeltem Holztragwerk.

#### **Stickstoff- und schwefelhaltige organische Verbindungen:**

Viele Amine, Aniline und andere basische organische Verbindungen werden als Produkthilfsmittel eingesetzt. Sie sind in der Innenraumluft nachweisbar und oft geruchlich auffällig. Dimethylformamid kann in geringen Mengen von Acrylgewebe in die Raumluft abgegeben werden, ebenso u.U. aus geformten kaschierten Kunststoffteilen. Schwefelhaltige organische Verbindungen werden z.B. als Odorierungsmittel (zur Wahrnehmbarkeit bei Gasaustritt) von Stadt- und Erdgas eingesetzt.

**Durch Mikroorganismen erzeugte flüchtige organische Verbindungen (MVOC):**

Bei Auftreten von Schimmelpilzen infolge von Feuchtigkeitsschäden oder bei sonstigem länger andauernden mikrobiellen Befall von Räumen können Stoffwechselprodukte von Mikroorganismen, z.B. verschiedene Alkohol-, Aldehyd- und Ketonverbindungen, in die Raumluft gelangen. Einige dieser „MVOC“ sind mikrobenspezifisch und können deshalb als Indikatoren für das Auftreten dieser Mikroorganismen dienen. Einzelne MVOC können zu Geruchsproblemen führen (vergleiche auch Ausführungen zu „MVOC“ in Abschnitt B-7).

**Wie vermeidet man die Freisetzung von flüchtigen organischen Verbindungen in die Raumluft?**

Flüchtige organische Verbindungen (engl. „VOC“) sind aufgrund ihrer vielfältigen Einsatzbereiche praktisch immer in der Raumluft zu finden. Insbesondere nach Bau- und Renovierungsarbeiten gelangen kurzzeitig in verstärktem Maße VOC in die Raumluft. Erhöhte Konzentrationen können durch geeignete Auswahl von Bauprodukten und Materialien sowie durch intensives Lüften während und nach Beendigung der Arbeiten vermindert werden. Ein mikrobiell bedingter VOC-Eintrag in die Raumluft wird am besten durch Einstellen eines optimalen Raumklimas (Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftwechsel) bzw. durch bauliche Maßnahmen, die einem Schimmelpilzbefall vorbeugen, vermieden.

**Hygienische Bedeutung:**

Wegen der Vielzahl der unterschiedlichen VOC ist es bei dieser Substanzgruppe besonders schwierig, eine umfassende gesundheitliche Bewertung vorzunehmen. Die

in der Literatur beschriebenen toxischen Eigenschaften beziehen sich in der Regel auf Einzelstoffe und auf Konzentrationen, wie sie zumeist an Arbeitsplätzen anzutreffen sind.

Im Bereich der auch in „normalen“ Innenräumen anzutreffenden Konzentrationen werden dagegen häufig unspezifische Beschwerden und Symptome mit Expositionen gegenüber VOC in Verbindung gebracht, wie Reizungen der Haut, Augen und Schleimhäute, Reizungen der Atemwege sowie erhebliche geruchliche Beeinträchtigungen; aber auch Kopfschmerzen, Müdigkeit, Konzentrationsschwäche und ähnliche Symptome werden als mögliche Wirkungen genannt.

Für einzelne VOC sind bisher von einer ad-hoc-Arbeitsgruppe aus Mitgliedern der Innenraumlufthygiene-Kommission (IRK) des Umweltbundesamtes und der obersten Gesundheitsbehörden der Länder (IRK/AOLG) Richtwerte erarbeitet worden, deren Einhaltung in Innenräumen (und somit auch in Schulinnenräumen – vgl. Abschnitt II) empfohlen wird (siehe Tabelle 3).

**Tabelle 3: VOC-Richtwertempfehlungen der IRK/AOLG für die Innenraumluft**

Stoff	Richtwert II	Richtwert I
Dichlormethan	2 mg/m <sup>3</sup>	0,2 mg/m <sup>3</sup>
Toluol	3 mg/m <sup>3</sup>	0,3 mg/m <sup>3</sup>
Styrol	0,3 mg/m <sup>3</sup>	0,03 mg/m <sup>3</sup>

Die ad-hoc-Arbeitsgruppe hat darüber hinaus für den Gesamtgehalt an flüchtigen organischen Verbindungen (englisch: Total Volatile Organic Compounds „TVOC“) Empfehlungen zur Begrenzung der Raumluftkonzentrationen erarbeitet, die allerdings nicht nach dem für Einzelverbindungen erstellten Basischema abgeleitet wurden. Als langfristiges Ziel wird vorgeschlagen, ein TVOC-Konzentrationsbereich von 0,2 bis 0,3 mg/m<sup>3</sup> zu erreichen. TVOC-Werte von 1 bis 3 mg/m<sup>3</sup> sollten auf Dauer nicht überschritten werden.

Eine Überschreitung dieser Werte, z.B. in Neubauten oder nach Renovierungen, kann allenfalls vorübergehend toleriert werden.

Neben diesen Richtwerten können zu einer vorläufigen Bewertung VOC-Konzentrationswerte herangezogen werden, die aus der Untersuchung einer großen Zahl von Räumen ermittelt wurden. Die erhaltenen Werte werden zu einer sogenannten Häufigkeitsverteilung zusammengestellt. Zur Bewertung wird meist der Wert benutzt, unterhalb dessen 95 % aller beobachteten Werte liegen. Dieser Bezugswert ist dann natürlich nicht toxikologisch begründet.

### B-3 Formaldehyd

#### Quellen und Vorkommen:

Formaldehyd besitzt innerhalb der Gruppe der Aldehyde eine Sonderstellung, da die Verbindung weit mehr als andere Aldehyde in Innenraumbereichen eingesetzt wurde und wird.

Formaldehyd (chemisch: HCHO) ist einer der Bestandteile von Leimen in Holzwerkstoffplatten, vor allem in Holzspanplatten. Als Leime werden unter anderem Harnstoff-Formaldehydharzleime (UF-Leime), Melaminformaldehydleime (MF-Leime) und Aminoplastmischharzleime (MUF-Leime) eingesetzt. Nach großflächiger Anwendung und Einbau solchermaßen gefertigter Holzwerkstoffe kam es auch in Schulgebäuden zu erhöhten Einträgen von Formaldehyd in die Raumluft.

In Deutschland sind seit etwa Mitte der achtziger Jahren die Formaldehydemissionen aus Spanplatten geregelt. Die Chemikalien-Verbotsverordnung schreibt vor, dass nur solche Holzwerkstoffplatten in den Handel gebracht werden dürfen, die nachgewiesenermaßen eine Ausgleichskonzentration von 0,1 ppm unter Prüfbedingungen nicht

überschreiten („Emissionsklasse E 1“). Im Handel erhältlich sind gegenwärtig auch formaldehydfreie Holzwerkstoffprodukte, die mit Polyurethanharzen verklebt sind.

Um einen Formaldehyd-Raumluftwert von 0,1 ppm (siehe „Hygienische Bedeutung“) sicher einhalten zu können, wurde bereits 1984 im gemeinsamen Formaldehydbericht des Bundesgesundheitsamtes, der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und des Umweltbundesamtes u.a. gefordert, dass unbeschichtete Spanplatten nicht mehr als 0,05 ppm Formaldehyd emittieren. Besonders formaldehydarme Spanplattenprodukte (Ausgleichskonzentration unter Prüfbedingungen unter 0,05 ppm) sind am Umweltzeichen zu erkennen.

Formaldehyd kann nicht nur durch den Einsatz von Holzwerkstoffen in die Raumluft gelangen, sondern auch durch den Gebrauch von Reinigungs- und Desinfektionsmitteln (vgl. Abschnitt A-2).

Die Höhe der Formaldehydabgabe von Spanplatten wird mitentscheidend durch die raumklimatischen Bedingungen beeinflusst. Höhere Raumlufttemperaturen und höhere relative Luftfeuchtigkeiten erhöhen die Emissionsraten.

#### Hygienische Bedeutung:

Bereits 1977 beschäftigte sich eine ad-hoc-Kommission des damaligen Bundesgesundheitsamtes (BGA) mit den möglichen gesundheitlichen Folgen erhöhter Formaldehydkonzentrationen in Innenräumen. Diese Kommission empfahl einen Richtwert von 0,1 ppm (= 0,12 mg/m<sup>3</sup>) Formaldehyd in der Innenraumluft. Dabei standen zunächst u.a. Reizwirkungen auf die Schleimhäute im Vordergrund des Interesses. Aufgrund von Ergebnissen aus Tierversuchen ist Formaldehyd als krebserregender Stoff in die Kategorie 3 eingestuft worden. Formaldehyd ist außerdem ein Kontaktallergen.

Höhere Formaldehydkonzentrationen werden als stechender Geruch wahrgenommen. Die Geruchsschwelle ist individuell sehr unterschiedlich und liegt im Bereich des Richtwertes von 0,1 ppm. Bei einzelnen Personen kann die Geruchsschwelle auch darunter liegen.

Die Innenraumlufthygiene-Kommission (IRK) des BGA wies 1993 in einer Stellungnahme darauf hin, dass der Formaldehyd-Richtwert grundsätzlich unabhängig von den in der Praxis vorliegenden Raumlufttemperaturen und Luftfeuchtigkeiten gilt. Im Einzelfall muss bei Überschreiten des Wertes von 0,1 ppm entschieden werden, ob die Formaldehydquellen im Raum zu beseitigen sind, ob Beschichtungen bzw. formaldehydbindende Anstriche vorgenommen werden oder ob lediglich flankierende Maßnahmen zur Verbesserung des Raumklimas ergriffen werden (vgl. Abschnitt C-2).

#### **B-4 Schwerflüchtige organische Verbindungen („SVOC“)**

Die Gruppe der schwerflüchtigen organischen Verbindungen (gebräuchlich ist häufig die Abkürzung „SVOC“ aus dem Englischen für „Semi-Volatile Organic Compounds“) umfasst eine Reihe von Substanzen und Substanzgruppen, deren Siedebereich über dem der VOC (vgl. Abschnitt B-2) liegt. Ein nicht unerheblicher Teil der SVOC lagert sich an Schwebstaubpartikel an oder wird adsorptiv an Oberflächen im Raum gebunden.

Im folgenden wird auf Verbindungen, über deren Vorkommen in den letzten Jahren besonders intensiv auch in Schulen diskutiert wurde, nämlich polychlorierte Biphenyle und Holzschutzmittelwirkstoffe, sowie – aus aktuellem Anlass – auf polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe näher eingegangen.

#### **Quellen und Vorkommen:**

##### **Polychlorierte Biphenyle:**

Polychlorierte Biphenyle (PCB) wurden seit 1929 industriell hergestellt. Sie sind ein Gemisch unterschiedlich chlorierter Einzelverbindungen (maximal 209 verschiedene sogenannte Kongenere). Bei Raumtemperatur liegen sie als geruchlose, farblose und ölige Flüssigkeiten vor. Als Dielektrikum, Flammenschutzmittel und als Weichmacher haben sie in der Vergangenheit breite Verwendung gefunden. Aufgrund ihres problematischen Umweltverhaltens, das sich aus ihrer Langlebigkeit, der Akkumulation in der Nahrungskette und der Toxizität ergibt, ist die Verwendung und das Inverkehrbringen in der Bundesrepublik Deutschland seit 1989 verboten.

Auf das Vorkommen von PCB in Innenräumen wurde man erstmals Mitte der 80er-Jahre aufmerksam. Als Quelle wurden undicht gewordene PCB-haltige Kleinkondensatoren erkannt, wie sie in Beleuchtungskörpern für Leuchtstoffröhren eingesetzt wurden. Das damalige BGA empfahl 1988 den Austausch aller PCB-haltigen Kleinkondensatoren. Seit dem 1.1.2000 dürfen Kondensatoren mit einem PCB-Gehalt von über 50 mg/kg weder hergestellt noch verwendet werden, so dass die Nutzer bis zu diesem Zeitpunkt den ordnungsgemäßen Austausch und die Entsorgung veranlassen mussten.

Außer in Kondensatoren wurden PCB in großem Umfang auch als Weichmacher in Fugendichtungsmassen (auf Polysulfidkautschukbasis) sowie in flammhemmenden oder schallschluckenden Anstrichen für Akustikdecken eingesetzt. Häufig waren auch Schulgebäude, die in den 60er- und 70er-Jahren errichtet wurden, davon betroffen. Bei diesen „offenen“ Anwendungen konnte PCB direkt in die umgebende Luft gelangen.

### **Woher stammen polychlorierte Biphenyle in Schulräumen?**

**Polychlorierte Biphenyle (PCB) können durch verschiedene Quellen in die Raumluft gelangen:**

- **Nicht ausgewechselte PCB-haltige Kleinkondensatoren,**
- **Dauerelastische Fugendichtungsmassen,**
- **Anstrichstoffe und Beschichtungen,**
- **Deckenplatten (als Weichmacher bzw. Flammschutzmittel),**
- **Kunststoffe (Weichmacher).**

**PCB-haltige Produkte werden heute nicht mehr eingesetzt, können im Einzelfall aber noch als „Altlasten“ Probleme bereiten, insbesondere in Gebäuden, die nach dem Kriege bis Anfang der 80er-Jahre errichtet wurden.**

Die Gegenwart von PCB-haltigen Produkten führt zu Raumluftkonzentrationen, deren Höhe von der Menge im jeweiligen Produkt, der Beschaffenheit und Zahl PCB-haltiger Produkte im Raum und den Klimabedingungen des Raumes abhängt (sog. Primärquellen). Im Laufe der Zeit können aber in den entsprechenden Räumen auch PCB-freie Bauteile oder Einrichtungsgegenstände durch PCB kontaminiert werden und dann ihrerseits zur Raumluftverunreinigung beitragen (sog. Sekundärquellen, z.B. Fußbodenbeläge, Wandverkleidungen).

Wenn PCB-Quellen im Innenraum vermutet werden, so ist dieser Verdacht zuerst durch Materialanalysen zu erhärten.

#### **Pentachlorphenol:**

Großflächig mit Holz ausgebaute Innenräume wurden bis in die siebziger Jahre hinein oft mit Holzschutzmitteln behandelt, die

Pentachlorphenol (PCP) enthielten. Die lange Halbwertszeit im behandelten Holz bedingt, dass PCP auch heute noch in solchen Innenräumen nachweisbar ist, obwohl die Verwendung seit 1989 in Deutschland verboten ist.

Das vom Holz abdampfende PCP lagert sich teilweise an den im Raum befindlichen Staub an. In ähnlicher Weise wird es adsorptiv auch von Oberflächen im Raum (z.B. von Möbeln, Gardinen oder Teppichen) gebunden. Während damals unmittelbar nach Holzschutzmittelanwendung PCP-Konzentrationen von 5–25 µg/m<sup>3</sup>, in Einzelfällen sogar noch höhere Konzentrationen, gemessen wurden, liegen die heute in behandelten Räumen anzutreffenden Konzentrationen deutlich niedriger. In Räumen, in denen kein PCP angewendet wurde, werden üblicherweise Konzentrationen unter 0,1 µg/m<sup>3</sup> gefunden. Hausstaubgehalte von mehr als 5 mg PCP/kg im abgelagerten Staub (Altstaub) und von mehr als 1 mg/kg im „Frischstaub“ (Staub, der sich nicht länger als 1 Woche vor der Probenahme abgesetzt hat) deuten fast immer auf eine PCP-Quelle im Innenraumbereich hin.

#### **Lindan:**

Lindan (Gamma-Hexachlorcyclohexan; γ-HCH) wird etwa seit 1945 als Insektizid in der Land- und Forstwirtschaft, im Holzschutz und in der Veterinär- und Humanmedizin eingesetzt. Lindan spielte lange eine herausragende Rolle bei der Bekämpfung holzerstörender Insekten. Während der Einsatz in der Land- und Forstwirtschaft deutlich zurückgegangen ist, findet Lindan bis heute Anwendung in einigen Schädlingsbekämpfungsmitteln für den Einsatz im nicht-agrarischen Bereich sowie bei Schädlingsbekämpfungsmaßnahmen, die im Rahmen des Bundesseuchengesetzes durchgeführt werden. In RAL-geprüften Holzschutzmitteln ist der Wirkstoff ebenso wie Pentachlorphenol heute nicht mehr enthalten.

In Holzschutzmitteln lag Lindan früher in der Regel gemeinsam mit Pentachlorphenol in einem Verhältnis Lindan:PCP von etwa 1:10 vor. In Innenräumen, die – ähnlich wie beim PCP – in der Vergangenheit mit Lindan-haltigen Holzschutzmitteln behandelt wurden, können Jahre nach der Anwendung noch deutlich erhöhte Lindan-Konzentrationen in der Luft gefunden werden.

In der DDR wurde bevorzugt die Wirkstoffkombination DDT/Lindan eingesetzt.

#### **Chlornaphthaline:**

Bis in die 70er-Jahre hinein wurde ein Gemisch von Chlornaphthalinen bei der Herstellung verleimter Holzwerkstoffe, vor allem Spanplatten, als Holzschutzmittel verwendet. Die Gemische bestanden überwiegend aus Mono- und Dichlornaphthalin. Die Spanplatten wurden als Fußbodenplatten und in geringem Maße als Wand- und Deckenplatten sowie in Containern, in denen u.a. Kindertagesstätten und Vorschulen untergebracht waren, eingesetzt.

Die Chlornaphthaline fallen durch ihren typischen unangenehmen Geruch auf (vgl. Abschnitt D-2).

***Müssen chemische Holzschutzmittel heute überhaupt noch eingesetzt werden?***

**Auf eine Anwendung chemischer Holzschutzmittel mit bioziden Wirkstoffen sollte in Schulen ebenso wie in anderen Innenräumen verzichtet werden.**

#### **Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe:**

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK oder englisch PAH) entstehen bei der unvollständigen Verbrennung fossiler Brennstoffe oder sonstiger organischer Materialien. In der Außenluft, insbesondere in Ballungsräumen, findet man mehr als 200

dieser Verbindungen, die sich chemisch alle vom ringförmigen Grundmolekül Benzol ableiten. In Innenräumen können PAK z.B. durch Tabakrauch, aus undichten Abgasführungen von Kohleöfen und durch den Betrieb von schlecht funktionierenden Kaminen in die Raumluft gelangen.

Auch Teer und Teerprodukte enthalten PAK. Bis in die 50er- und 60er-Jahre wurden teerhaltige Klebermaterialien (oder Gemische aus Teer und Bitumen), bei der Verlegung von Parkett, in Einzelfällen auch von Lino-leumbelägen, eingesetzt. Ende 1997 wurde man darauf aufmerksam, dass insbesondere bei schadhaft gewordenen Parkettböden teerhaltiges Klebermaterial teilweise an die Oberfläche gelangte und PAK nicht nur im Kleber, sondern auch im Staub der betroffenen Räume nachgewiesen werden konnten. Dies wurde zunächst insbesondere bei Wohnungen, die vor der deutschen Vereinigung von US-Streitkräften in Deutschland genutzt worden waren, festgestellt. In der Zwischenzeit sind auch einzelne Fälle in Schulen bekannt geworden.

#### **Hygienische Bedeutung:**

##### **Polychlorierte Biphenyle:**

Die hauptsächliche Aufnahme von PCB erfolgt über fetthaltige Nahrungsmittel tierischer Herkunft. PCB reichern sich als lipophile Stoffe im Fettgewebe des menschlichen Körpers an. Von gesundheitlicher Bedeutung ist vor allem die chronische PCB-Aufnahme. Nachdem PCB in Innenräumen vermehrt nachgewiesen worden waren, hatte das Bundesgesundheitsamt eine toxikologische Bewertung von PCB in der Luft von dauerhaft genutzten Räumen durchgeführt. Sie erfolgte unter dem Gesichtspunkt, eine tägliche tolerierbare Aufnahmemenge (tolerable daily intake = TDI) von 1 µg/kg Körpergewicht und Tag nicht zu überschreiten. Langfristig sollte aus Vorsorgegründen die anteilige Aufnahme über die Luft nicht mehr als 10 % dieses Wertes betragen.

Auf der Grundlage dieser Bewertung wurden vom Ausschuss für Umwelthygiene der damaligen Arbeitsgemeinschaft der leitenden Medizinalbeamtinnen und -beamten der Länder (AGLMB), heute Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden (AOLG), folgende Empfehlungen ausgesprochen:

- Raumluftkonzentrationen unter 300 ng PCB/m<sup>3</sup> Luft sind als langfristig tolerierbar anzusehen (Vorsorgewert<sup>1)</sup>; siehe Fußnote auf der nächsten Seite).
- Bei Raumluftkonzentrationen zwischen 300 und 3000 ng PCB/m<sup>3</sup> Luft sollte die Quelle der Raumluftverunreinigung aufgespürt und nach Möglichkeit unter Beachtung der Verhältnismäßigkeit beseitigt werden oder zumindest eine Verminderung der PCB-Konzentration (z.B. durch regelmäßiges Lüften sowie gründliche Reinigung und Entstaubung der Räume) angestrebt werden.
- Raumluftkonzentrationen oberhalb von 3000 ng PCB/m<sup>3</sup> Luft sollten im Hinblick auf mögliche andere nicht kontrollierbare PCB-Belastungen vermieden werden. Bei entsprechenden Befunden sollten unverzüglich Kontrollanalysen durchgeführt werden. Bei Bestätigung des Wertes sind in Abhängigkeit von der Belastung zur Vermeidung gesundheitlicher Risiken in diesen Räumen unverzüglich Maßnahmen zur Verringerung der Raumluftkonzentration von PCB zu ergreifen. Die Sanierungsmaßnahmen müssen geeignet sein, die PCB-Aufnahme wirksam zu vermindern. Der Zielwert liegt bei weniger als 300 ng PCB/m<sup>3</sup> Luft (Sanierungsleitwert<sup>2)</sup>).

Zeigen Untersuchungen einen Sanierungsbedarf an, so sollte entsprechend der Richtlinie der ARGEBAU für die Bewertung und Sanierung PCB-belasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden verfahren werden (vgl. Teil E).

#### **Pentachlorphenol:**

Von Personen, die sich in Räumen aufhielten, in denen PCP-haltige Mittel angewandt worden waren, wurde vereinzelt über Kopfschmerzen, Übelkeit, Atembeschwerden, Schlafstörungen, Abgeschlagenheit sowie über Reizungen von Haut und Schleimhaut geklagt. Grundsätzlich können aber derartig „diffuse Gesundheitsbeschwerden“ durch sehr unterschiedliche Ursachen ausgelöst werden; ein klar abgrenzbares Krankheitsbild mit einer eindeutigen Ursache ist oft schwer zu ermitteln.

PCP wird oral, inhalativ und perkutan (über die Haut) gut resorbiert. Die Aufnahme über die Nahrung, in Einzelfällen über die Haut, ist heute der wichtigste Aufnahmepfad. Die PCP-Belastungen des Menschen können im Blut oder Urin bestimmt werden. Für die Zeit, in der der Mensch die Hälfte des aufgenommenen PCP wieder ausgeschieden hat, werden in der Literatur etwa 20 Tage genannt. Von der Humanbiomonitoring-Kommission des Umweltbundesamtes wurde 1999 für die Hintergrundbelastung ein Referenzwert von 12 µg/l Serum und 6 µg/g Kreatinin für den Urin angegeben.

Die PCP-Konzentration im Serum oder im Urin lässt keine Rückschlüsse auf die Art der Aufnahme zu. Zur Abschätzung, ob der Aufenthalt in öffentlichen Gebäuden wie Schulen eine PCP-Belastung mit sich bringen kann, wird daher im allgemeinen die PCP-Raumluftkonzentration bestimmt. Liegt die im Jahresmittel zu erwartende Raumluftkonzentration über 1 µg/m<sup>3</sup>, so ist eine Sanierung erforderlich. Nach einer Sanierung sollten langfristig Raumluftwerte von ≤ 0,1 µg PCP/m<sup>3</sup> Luft angestrebt werden.

---

<sup>1) 2)</sup> Die Begriffe „Vorsorgewert“ und „Sanierungsleitwert“ sind weder im wissenschaftlichen Sprachgebrauch noch in Regelwerken eindeutig definiert. Ein Vorsorgewert wird unter präventiven Aspekten abgeleitet. Mit Sanierungsleitwert wird das Konzentrationsniveau bezeichnet, das nach Abschluss von Sanierungsarbeiten erreicht werden sollte.

Vorgaben zur Ermittlung einer Sanierungsnotwendigkeit in PCP-belasteten Räumen sowie Vorschläge zur geeigneten Sanierung sind in der Richtlinie der ARGEBAU zur Bewertung und Sanierung Pentachlorphenol (PCP)-belasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden (PCP-Richtlinie) festgelegt (vgl. Teil E).

**Lindan:**

Lindan ( $\gamma$ -HCH) wird ebenso wie PCP über die Atemluft, die Nahrung und durch Hautkontakt aufgenommen und verteilt sich aufgrund seiner Fettlöslichkeit über das Blut ins Fettgewebe und in verschiedene Organe. Es wirkt beim Menschen sowohl neurotoxisch als auch toxisch für Leber, Niere, Herzmuskel und die blutbildenden Organe. Bei beruflich exponierten Personen wurden ab  $16 \mu\text{g}$   $\gamma$ -HCH/l Blut EEG-Veränderungen und ab  $24 \mu\text{g}/1$  in geringem Grade klinische Symptome beobachtet. In anderen Untersuchungen wurden erste Symptome (Unwohlsein, Müdigkeit) ab Konzentrationen von  $22\text{--}36 \mu\text{g}/1$  gesehen. Beschwerdefreiheit wurde bei Konzentrationen von  $7\text{--}8 \mu\text{g}/1$  und darunter beobachtet. Die Konzentrationen im Blut liegen heute in der Regel bei der Normalbevölkerung (alte und neue Länder) bei  $0,1 \mu\text{g}/1$  und darunter.

Da die Verwendung von Lindan als Wirkstoff in Holzschutzmitteln in der Regel gemeinsam mit Pentachlorphenol erfolgte, das im Vergleich zu Lindan in etwa zehnfacher Menge im Holzschutzmittel enthalten war (siehe PCP), fallen in betroffenen Schulräumen primär die PCP-Belastungen ins Gewicht. Durch eine PCP-Sanierung entsprechend der PCP-Richtlinie wird deshalb in der Regel auch gleichzeitig die Lindan-Belastung reduziert.

**Chlornaphthaline:**

Zu den Mono- und Dichlornaphthalinen liegen nur wenige toxikologische Daten vor. Die gesundheitliche Bewertung stützt sich deshalb auch auf Kenntnisse zur Wirkung

von Trichlornaphthalinen.

Bei der hygienischen Bewertung chlornaphthalinbelasteter Innenräume sollte in jedem Fall die von den Substanzen ausgehende geruchliche Belästigung berücksichtigt werden. Für die Monochlornaphthaline werden Geruchsschwellenwerte im Bereich von  $5\text{--}10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  genannt.

Jede langfristige Sanierungsstrategie dient auch der Beseitigung des von Chlornaphthalinen ausgehenden Geruches. Je nach der Situation vor Ort können hierfür neben einfachen Maßnahmen, wie vermehrtes Lüften, auch bauliche Maßnahmen, wie die Entfernung behandelter Bauteile, notwendig sein.

**Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe:**

Innerhalb der Substanzgruppe der PAK gelten einige Verbindungen seit Jahren als krebserzeugend, beispielsweise das Benzo(a)pyren und die Benz- und Dibenzanthracene.

In Innenräumen, in denen teerhaltige Klebmaterialien eingesetzt wurden, kann ein erhöhter Gehalt an PAK im Kleber auch eine Belastung von Hausstaub mit PAK bewirken. Für den Kleber- und Hausstaubgehalt hat eine Expertenkommission beim Umweltbundesamt im Frühjahr 1998 Empfehlungswerte für die Benzo(a)pyren (BaP)-Konzentrationen als PAK-Leitsubstanz herausgegeben, die nicht überschritten werden sollten. In einem im April 2000 erschienenen Empfehlungspapier der ARGEBAU wurden die Vorgaben der UBA-Expertengespräche aufgegriffen und konkretisiert. Bei Konzentrationen von mehr als  $10 \text{ mg}/\text{kg}$  BaP im Kleber sollten danach in Abhängigkeit der dann zu messenden Hausstaubkonzentrationen Minimierungsmaßnahmen ergriffen werden. In Schulgebäuden gilt, dass bei Überschreiten des Klebergehalts von  $10 \text{ mg BaP}/\text{kg}$  und bei Überschreiten eines BaP-Gehaltes von  $100 \text{ mg}/\text{kg}$  Staub (abgelagerter Staub bei der Probenahme nicht älter als eine



Woche) expositionsmindernde Maßnahmen erfolgen sollen.

## B-5 Staub

Staub wird im luftgetragenen Zustand als Schwebstaub bezeichnet (gemessen in der Einheit  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Schwebstaubpartikel weisen sehr unterschiedliche Durchmesser im Bereich von kleiner als  $0,01 \mu\text{m}$  bis ca.  $30\text{--}100 \mu\text{m}$  auf (1 Mikrometer, abgekürzt  $1 \mu\text{m}$ , entspricht einem Tausendstel Millimeter). Der Gesamtschwebstaub umfasst alle Partikelgrößen, die in verschiedene Partikelgrößenbereiche oder Schwebstaubfraktionen eingeteilt werden. Als „ $\text{PM}_{10}$ “ werden z.B. die Schwebstaubpartikel mit einem Durchmesser unter  $10 \mu\text{m}$  bezeichnet (PM steht für engl. particulate matter). Eine analoge Definition gilt für  $\text{PM}_{2,5}$  oder auch für  $\text{PM}_1$ . In der heutigen gesundheitspolitischen Diskussion spielen besonders  $\text{PM}_{10}$  und  $\text{PM}_{2,5}$  eine wichtige Rolle. Der  $\text{PM}_{10}$ -Anteil am Gesamtschwebstaub beträgt in städtischen Gebieten etwa 80 %, der  $\text{PM}_{2,5}$ -Anteil etwa 50 %.

Größere Staubteilchen (über ca.  $30 \mu\text{m}$ ) setzen sich sehr schnell als Staubniederschlag (gemessen in der Einheit  $\mu\text{g}/\text{m}^2$  und Tag) auf Oberflächen ab, lassen sich aber auch wieder aufwirbeln. Je kleiner die Teilchen sind, desto länger können sie sich im Schwebezustand halten.

Faserstäube unterscheiden sich in mancher Hinsicht vom sonstigen Staub und werden deshalb gesondert betrachtet (vgl. Abschnitt B-6).

### Quellen und Vorkommen:

Im Außenluftbereich sind Kraft- und Fernheizwerke, Industrieprozesse, Großfeuerungsanlagen, Haushalte und Kleinverbraucher die bedeutsamsten Staubemittenten, wenn auch die daraus resultierenden Luft-

belastungen in den letzten Jahren kontinuierlich und deutlich zurückgegangen sind. Der größte Teil der Partikel aus diesen Quellen hat einen Durchmesser unter  $10 \mu\text{m}$ . Der Kfz-Verkehr ist die wichtigste Quelle von Dieselruß, über dessen gesundheitliche Wirkungen heute intensiv diskutiert wird (s. unten „Hygienische Bedeutung von Staub“).

Der in der Außenluft enthaltene Schwebstaub, dabei insbesondere die Feinstaubfraktion  $\text{PM}_{2,5}$ , gelangt beim Lüften und über Fensterfugen teilweise ins Gebäudeinnere, also auch in Schulräume, insbesondere dann, wenn diese an verkehrsreichen Straßen liegen.

Größere Staubpartikel werden auch mit den Schuhen und der Kleidung eingetragen oder können im Innenraum selbst entstehen, in Schulen z.B. im Werkunterricht beim Bearbeiten von Holz und Metall, beim Umgang mit Kopiertönen, diversen Akten etc. Der direkt Eintrag mit den Schuhen und der Kleidung eingetragene Staub kann in Schulen eine wichtige Rolle spielen, da der Staub durch die Aktivitäten der Schüler und bei trocken durchgeführten Reinigungsarbeiten wieder aufgewirbelt werden kann.

### Hygienische Bedeutung:

Größere Partikel (über  $10 \mu\text{m}$  Durchmesser) gelangen kaum noch in die Luftröhre und die Lunge, weil sie beim Inhalieren schon in den oberen Atemwegen herausgefiltert werden. Nach heutigem Wissen sind die kleineren Partikel unter  $10 \mu\text{m}$  Durchmesser (besonders  $\text{PM}_{2,5}$  und noch kleinere Partikel) unter gesundheitlichen Aspekten von größerer Bedeutung.

Tierexperimentelle und epidemiologische Untersuchungen deuten darauf hin, dass die gesundheitlichen Auswirkungen von Schwebstaub (z.B. Reizung der Atemwege) bei gleicher Partikelgröße nur in geringem Maße von der Zusammensetzung der Parti-

kel abhängen. Trotzdem sind spezifische Wirkungen durch chemische Stoffe, wie schwerflüchtige organische Verbindungen und Schwermetalle, möglich, die sich an Staubpartikel anlagern können.

Staub kann auch biologische Substanzen wie Pollen, Tierallergene, Hausstaubmilbenexkremente oder Schimmelpilzsporen enthalten (vgl. Abschnitt B-7), die sich bei der Inhalation als biogene Allergene gesundheitlich negativ auswirken können.

Unter Wirkungsaspekten ist nicht nur der Schwebstaub, der eingeatmet wird, sondern auch der abgelagerte Staub von Bedeutung. An Oberflächen abgelagerter Staub kann bei Berührung an der Haut haften bleiben. Inhaltsstoffe aus dem Staub können dann über die Haut aufgenommen werden oder durch Hand-zu-Mund-Kontakt in den Körper gelangen. Staub, der an Nahrungsmitteln haftet, wird verschluckt.

## B-6 Faserstäube

Unter dem Begriff Faserstäube werden Partikel verstanden, die eine faser- bzw. nadelartige Struktur aufweisen. Aus hygienischer Sicht bedeutsam sind Fasern, die eine Länge  $L$  von mehr als  $5\ \mu\text{m}$  aufweisen, die ein Längen-zu-Durchmesser-Verhältnis ( $L:D$ ) von 3:1 überschreiten und deren Durchmesser  $D$  kleiner als  $3\ \mu\text{m}$  ist. Solche Fasern werden als „kritische“ Fasern bezeichnet. Sie können beim Einatmen bis in das Lungengewebe eindringen.

Die Gesamtheit der Fasern kann grob unterteilt werden in natürliche Fasern und künstlich hergestellte Fasern. Diese beiden Kategorien lassen sich wiederum unterteilen in anorganische Fasern und organische Fasern.

Zu den natürlichen anorganischen Fasern zählen Asbest, Talkum und Gips, zu den na-

türlichen organischen Fasern zählen Schafwolle, Tierhaare und Zellulosefasern. Wichtige künstlich hergestellte anorganische Fasern – auch als Künstliche Mineralfasern (KMF) bezeichnet – sind: glasige (amorphe) Fasern: Mineralwollen (Glas-, Stein-, Schlackenwollen); keramische Fasern; Endlosfasern und kristalline Fasern/einkristalline Fasern. Daneben gibt es künstlich hergestellte organische Fasern (aus natürlichen bzw. synthetischen Polymeren hergestellte Fasern).

### Quellen und Vorkommen:

#### Asbest:

Asbesthaltige Bauprodukte wurden auch in Schulgebäuden noch bis in die 80er-Jahre hinein eingesetzt, wobei zwischen Asbestzementprodukten (mit einem Asbestanteil von ca. 15 Gew.-%) und schwach gebundenen Asbestprodukten (z.B. Spritzasbest, mit einem Asbestanteil von mehr als 60 Gew.%) unterschieden wird. Asbestzementprodukte wurden als Dach- und Fassadenplatten, Fensterbretter oder Blumenkästen, Wasserleitungsrohre und für Zwischenwände (Leichtbauwände) eingesetzt. Spritzasbeste wurden bevorzugt aus Feuerschutzgründen in Klimaanlageanlagen und Schachtsystemen eingesetzt.

Durch Alterungsprozesse und nach jahrelanger Nutzung der Gebäude kommt es zum allmählichen Freisetzen von Fasern. Besonders in Klimaschachtsystemen, die mit Asbest ausgespritzt worden waren, konnten die freigesetzten Fasern mit dem Luftstrom direkt in angrenzende Räume gelangen.

#### ***Ist Asbest in Schulen heute noch ein Problem?***

**Asbesthaltige Bauprodukte werden heute in Schulen nicht mehr eingesetzt.**

**Bei in der Vergangenheit eingebauten Asbestzementprodukten sind die Asbestfasern in der Regel im Bauprodukt fest gebunden. Bei einer Bearbeitung dieser Produkte (z.B. durch Bohren, Schleifen oder Schneiden) können jedoch große Mengen Asbestfasern freigesetzt werden. Daher ist eine solche Bearbeitung nicht gestattet. Bei Spritzasbesten, die häufig in Klimaschächten, für Hohlraumversiegelungen etc. eingesetzt wurden, sind die Fasern weniger fest gebunden als in Asbestzementprodukten, so dass mit einer alterungsbedingten Faserfreisetzung gerechnet werden muss.**

#### **Künstliche Mineralfasern (KMF):**

Künstliche Mineralfasern, die im Gegensatz zu Asbestfasern nicht natürlich im Gestein vorkommen, sondern aus verschiedenen anorganischen Ausgangsstoffen (Glas, Gesteine wie Basalt, Oxidkeramiken) industriell hergestellt werden, besitzen heutzutage ein breites Einsatzgebiet. Sie werden in erster Linie zur Wärmedämmung und zum Schallschutz verwendet.

KMF werden zu „Mineralwolle“ (z.B. Glaswolle, Steinwolle) als Filze, Matten oder Platten sowie als lose Wolle verarbeitet. Produkte aus künstlichen Mineralfasern zeichnen sich durch Temperaturbeständigkeit aus, haben gute Dämmeigenschaften und sind relativ leicht zu verarbeiten. Wie alle Mineralfaserprodukte geben auch die aus Mineralwolle gefertigten Produkte Faserstäube ab, aufgrund der besonderen Materialeigenschaften jedoch weit weniger als z.B. Asbestprodukte, die überdies, wie beschrieben, andere Einsatzbereiche als die Wärmedämmung hatten.

In den Jahren 1982 bis 1992 wurden in der Bundesrepublik Deutschland jährlich rund 15 Mio. Kubikmeter Mineralwolle-Erzeug-

nisse verarbeitet, der überwiegende Teil davon in Gebäuden.

In Schulen und anderen öffentlichen Gebäuden werden Mineralwolle-Produkte außer zur Wärmedämmung auch zu Schallschutzzwecken in abgehängten Deckenkonstruktionen oder in Form von Akustikdeckenplatten eingebaut. Besonders diese Produkte waren es auch, die eine Diskussion um eine mögliche Faserfreisetzung aus KMF-Produkten in die Raumluft entfachten, da die Deckenkonstruktionen, um einen wirksamen Schallschutz zu gewährleisten, raumseitig perforiert sein müssen und die Mineralwolle nur lose aufliegt.

Umfangreiche Messungen in verschiedenen Gebäuden, die Anfang der 90er-Jahre durchgeführt wurden, haben gezeigt, dass dort, wo Dämmstoffe aus Mineralfasern vorschriftsgemäß verbaut wurden, in der Regel keine Konzentrationen gemessen wurden, die über der normalen Hintergrundkonzentration in der Außenluft liegen.

Die Konzentration von Fasern kritischer Größe (vgl. 1. Absatz des Abschnittes B-6), die eindeutig dem eingebauten Produkt zugeordnet werden können, ist in Gebäuden durch Faserfreisetzung in der normalen Nutzungsphase des Gebäudes

- 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, Holzpaneele mit dahinter liegender Dampfsperre (Polyethylenfolie) und/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 vor-

- nehmlich bei abgehängten Decken ohne einen funktionsfähigen Rieselschutz vor;
- im Einzelfall deutlich erhöht (bis zu einigen tausend Fasern je m<sup>3</sup> Luft), und zwar ständig bei bautechnischen Mängeln bzw. Konstruktionen, die nicht dem Stand der Technik entsprechen, oder vorübergehend bei baulichen Eingriffen an Bauteilen, die Mineralwolle-Erzeugnisse enthalten.

#### Hygienische Bedeutung:

Das Einatmen von Asbestfeinstaub kann hauptsächlich drei Erkrankungen hervorrufen:

- Asbestose: Punktuelle Verhärtungen des Lungengewebes;
- Lungenkrebs, häufig in Verbindung mit Asbestose, Latenzzeit (Zeit bis zum Auftreten der Erkrankung) 20–30 Jahre, Raucher sind besonders betroffen
- Krebs des Rippen-/Bauchfells (Mesotheliom), Latenzzeit 30–40 Jahre.

Diese durch Asbest bedingten Erkrankungen traten besonders bei Arbeitnehmern in der Asbestindustrie auf, an deren Arbeitsplätzen bis zu 100 Millionen Asbestfasern /m<sup>3</sup> Luft gemessen wurden.

Dagegen konnten alle bisher durchgeführten Untersuchungen keinen klaren Zusammenhang zwischen Krebs beim Menschen und einer Belastung mit KMF belegen. Folgende Gründe dürften dafür maßgebend sein:

- Mineralwolle-Dämmstoffe entwickeln weniger Faserstaub 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 als nachgewiesen gilt, als auch bei Untersuchungen im Innenraum.

- Die bei Asbest beobachtete Längsspaltung der Fasern, die ihre Gefährlichkeit erhöht, ist bei künstlichen Mineralfasern nicht zu befürchten.
- Die sogenannte Biobeständigkeit (d.h. die Zeit, die eine Faser im Körper bis zur ihrer Auflösung braucht) wurde bei KMF in den letzten Jahren durch geeignete Materialzusammensetzung immer weiter verkürzt. Zur Charakterisierung wurden die einzelnen Fasertypen nach einem Kanzerogenitätsindex „KI“ klassifiziert. Fasern mit einem KI > 40 gelten nach heutigem Kenntnisstand als frei von Krebsverdacht, da ihre Biobeständigkeit nur noch ca. 30–40 Tage beträgt.

Neben einer möglichen krebserzeugenden Wirkung der KMF ist vor allem die Möglichkeit einer Reizwirkung zu berücksichtigen. So können aus Schallschutzdeckenkonstruktionen freigesetzte KMF zu Irritationen der Augen und der oberen Atemwege bei Personen führen, die sich längere Zeit in dem belasteten Raum aufhalten. Bei Schallschutzkonstruktionen kann dies durch Anbringen eines Rieselschutzes weitgehend vermieden werden.

#### ***Sind Künstliche Mineralfasern so gefährlich wie Asbest?***

**Nein! Mineralwolle-Produkte sind nicht mit Asbest gleichzusetzen – weder vom Einsatzgebiet her noch von der gesundheitlichen Bedeutung! Bei Verwendung von Mineralwolle-Produkten in Innenräumen sollte aus Vorsorgegründen allerdings darauf geachtet werden, dass kein offener und raumseitiger Kontakt von Fasern mit der Raumluft besteht (bei Akustikdeckenplatten z.B. durch Anbringen eines Rieselschutzes). Aus gesundheitlicher Sicht besteht kein Grund, sachgerecht eingebaute Mineralwolle-Dämmstoffe zu entfernen.**

Bei Neubauten empfiehlt sich die Verwendung von Mineralwolle-Produkten, die das Umweltzeichen oder das RAL-Gütezeichen „Mineralwolle“ tragen.

### B-7 Mikroorganismen, „MVOC“, natürliche Allergene

Neben den in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen chemischen und physikalischen Luftverunreinigungen tritt in Innenräumen auch eine Vielzahl von Stoffen biologischen Ursprungs auf, von denen viele einen negativen Einfluss auf die Gesundheit der Raumnutzer haben können. Während Hausstaubmilben vor allem in der häuslichen Umgebung eine Rolle spielen, sind Allergene von Katzen, Hunden und anderen Haustieren (Hamster, Mäuse, Vögel) sowie Mikroorganismen (Schimmelpilze, Bakterien) sowohl zu Hause als auch in der Schule von Bedeutung. Nachfolgend wird auf die in Schulen relevanten Komponenten eingegangen.

#### Quellen und Vorkommen:

Feuchteschäden und nicht sachgerechte Lüftungsweise können zur Schimmelbildung führen. Mit der Kleidung der Schüler können Tierhaare und daran haftende Allergene in die Unterrichtsräume eingetragen werden.

#### **Wodurch kommt es zu Schimmelpilzbefall und Keimeintrag in Schulräumen?**

**Erhöhte Feuchtigkeit in Räumen begünstigt ein Keimwachstum. Die Feuchtigkeit kann durch Kondensation von Wasserdampf an kalten Wand- oder Deckenbereichen (Wärmebrücken im Mauerwerk) entstehen oder direkt durch Rohrbrüche und Undichtigkeiten in das Mauerwerk und in den Raum eingedrungen sein.**

**Unzureichende Lüftung behindert den Abtransport erhöhter Luftfeuchtigkeit und trägt so unter Umständen ebenfalls zu Schimmelpilzbefall bei.**

**Essensreste, die unter Bänken und in Schränken zurückgelassen wurden, sind darüber hinaus ein idealer Nährboden für Keime und können darüber hinaus Ungeziefer anlocken.**

#### Schimmelpilze:

Allergene Pilze, die im Innenraum nachgewiesen werden, müssen nicht dort gewachsen sein. Sie können auch von außen eingetragen worden sein. Daher ist es wichtig, bei einer Schimmelpilzbestimmung in der Innenraumluft immer parallel eine Messung in der Außenluft durchzuführen. Im Innenraum vorkommende Schimmelpilze sind z.B: Alternaria, Cladosporium und Fusarium (von außen eingetragen) sowie Penicillium, Aspergillus und Mucor (auch in Innenräumen wachsend).

So unterschiedlich die verschiedenen Schimmelpilzarten sind, so unterschiedlich sind auch ihre Ansprüche an optimale Wachstumsbedingungen. Gemeinsam ist ihnen allen jedoch, dass sie in Innenräumen bevorzugt an feuchten Stellen mit niedrigem Luftwechsel und einer Temperatur um 20 °C vorkommen.

Pilze können auf „totem“ organischem Material wachsen, das sich in Innenräumen in Form von Holz, Tapeten, Teppichen, Wandfarbe, Kleber u.ä. immer in ausreichendem Maße findet, und bilden dort dann die typischen Schimmelflecken. Auch die Erde von Zimmerpflanzen ist ein geeigneter Nährboden für Schimmelpilze.

Schimmelpilze produzieren als Überdauerungs- und Verbreitungsstadien asexuelle Sporen und Konidien, die im folgenden beide unter dem Sammelbegriff „Sporen“

zusammengefasst werden. Pilzsporen sind sehr unterschiedlich in Form und Größe (3–200 µm). Die für eine Auslösung von Allergien (siehe „Hygienische Bedeutung“) besonders verantwortlichen Pilzsporen haben eine Größe von 3–10 µm. Pilzsporen können schwebend für lange Zeit in der Luft verweilen und überleben.

Bei sichtbaren und vor allem bei großflächigen Schimmelpilzflecken sind Messungen von Schimmelpilzkonzentrationen in der Luft, im Staub oder auf dem befallenen Material eigentlich nicht mehr notwendig. Es müssen vielmehr direkt Maßnahmen getroffen werden, um die entsprechenden Stellen zu sanieren. Schimmelpilzbefall und seine Ursachen sollten im Interesse der Gesundheit der Kinder (und Lehrer) immer beseitigt werden.

Bei Verdacht auf Schimmelpilzbefall ohne sichtbare Schäden (z.B. aufgrund eines dauerhaften „muffigen“ Geruches beim Betreten der Räume) kann eine Untersuchung der Raumluft oder von Staubproben eine Aussage ermöglichen. Die Messung in der Raumluft ist aufwendiger, erlaubt jedoch die Erfassung der aktuellen Konzentration der einatembaren Fraktion der Schimmelpilze. Außerdem ist ein direkter Vergleich mit Pilzkonzentrationen in der Außenluft möglich.

Bei Schimmelpilzen spielen außer den kultivierbaren (lebenden) Schimmelpilzen auch die toten Bestandteile (z.B. beim Auslösen von Allergien) eine Rolle.

Bei der Bestimmung der Lebendzellzahl gilt eine Gesamtkonzentration der Schimmelpilze von mehr als 100 KBE pro m<sup>3</sup> Luft über der in der Außenluft bestimmten Konzentration als Hinweis auf eine Schimmelpilzbelastung im Innenraum (KBE = Koloniebildende Einheiten, entspricht der Anzahl lebender Pilze, die auf einem bestimmten Nährsubstrat wachsen können).

Eine differenziertere Betrachtung ist möglich, wenn die einzelnen Schimmelpilzgrup-

pen bestimmt werden. Das National Health and Welfare Institute in Kanada hat z.B. 1993 folgende Empfehlungen herausgegeben:

- Pathogene oder toxische Pilze (z.B. *Aspergillus fumigatus*, *Stachybotrys chartarum*) dürfen im Innenraum nicht vorkommen.
- Bis zu 50 KBE/m<sup>3</sup> einer einzigen Pilzart in der Raumluft sind akzeptabel.
- Bis zu 150 KBE/m<sup>3</sup> sind akzeptabel, wenn eine ausgewogene gemischte Pilzflora vorhanden ist.
- Bis zu 500 KBE/m<sup>3</sup> sind akzeptabel, wenn es sich hauptsächlich um Cladoporien oder andere pflanzenassoziierte Pilze handelt.

#### **Bakterien:**

Bakterien sind in der Innenraumluft normalerweise in niedrigen Konzentrationen vorhanden. Es treten typischerweise solche Bakterien auf, die die menschliche Haut besiedeln und von dort in die Luft abgegeben werden (z.B. *Staphylococcus epidermidis*). Für Bakterien ist die Luft ein ungünstiger Lebensraum, und sie überleben dort, in Abhängigkeit von der Luftfeuchtigkeit, meist nur für kurze Zeit. Nur Bakterien, die in der Lage sind, Sporen zu bilden (z.B. *Bacillus species*, *Thermoactinomyces*), können für längere Zeit in der Luft oder im trockenen Hausstaub überleben.

Bakterien wachsen, mehr noch als Pilze, nur bei sehr feuchten Bedingungen in Innenräumen, z.B. nach einem Wasserschaden. Eine weitere wichtige Quelle sind Luftbefeuchter, in deren wasserführenden Teilen sich bestimmte Bakterien (z.B. *Pseudomonas aeruginosa*) besonders gut vermehren können. Beim Betrieb einer Klimaanlage (mit Luftbefeuchter) bzw. eines freistehenden Luftbefeuchters sollten Bakterien als mögliche Ursache von allergischen/toxischen Symptomen berücksichtigt werden. In Schulen ist der Gebrauch solcher Geräte überflüssig, da

durch die Anwesenheit von mehreren Menschen auf begrenztem Raum ohnehin genügend Luftfeuchtigkeit produziert wird.

**Actinomyceten:**

Actinomyceten sind Bakterien – trotz ihres Namens, der eher auf eine Pilzart schließen ließe. Ähnlich wie Pilze wachsen sie in Fäden und können Sporen bilden. Daher werden sie manchmal in die Bezeichnung „Schimmelpilze“ einbezogen. Beim Wachstum von Actinomyceten in Innenräumen tritt ein typisch erdig-modriger Geruch auf.

**Andere biogene Allergene:**

Untersuchungen in Schulen zeigen, dass dort relevante Konzentrationen von Katzen- und Hundeallergenen sowie Allergenen von weiteren Haustieren auftreten können, die weit über den Konzentrationen in Wohnungen von Kindern liegen, in denen keine Haustiere gehalten werden, und im Extremfall zu asthmatischen Anfällen bei allergischen Kindern führen können. Die Allergene werden mit der Kleidung eingebracht und befinden sich zumeist auf dem Mobiliar (Stühle, Tische). Erhöhte Konzentrationen zeigen sich auch auf Teppichböden, weshalb auch aus diesem Grund zu fordern ist, dass in Schulgebäuden keine Teppichböden verlegt werden sollen.

Bei Schabenbefall in Schulen muss ebenfalls mit erhöhten Allergenkonzentrationen gerechnet werden. Da Schaben außerdem unter Umständen Krankheitserreger verbreiten können, muss ein Befall in Schulen unbedingt mit geeigneten Mitteln (unter Hinzuziehung eines anerkannten Schädlingsbekämpfers) beseitigt werden und einem erneuten Befall durch strikte Hygiene entgegengewirkt werden.

**Hygienische Bedeutung:**

Die wichtigste Auswirkung von Schadstoffen biologischen Ursprungs auf die menschliche Gesundheit ist die Auslösung von Allergien.

Allergische Reaktionen werden als eine der Hauptursachen für Asthma bei Kindern betrachtet.

**Schimmelpilze:**

Schimmelpilzallergien können durch sehr viele unterschiedliche Pilze ausgelöst werden. Bisher wurden ca. 100 Arten mit Inhalationsallergien in Verbindung gebracht.

Einige Schimmelpilze haben außer ihren allergieauslösenden Eigenschaften die Fähigkeit, sogenannte Mycotoxine zu bilden. Diese Toxine haben zum einen eine direkte schädigende Wirkung auf menschliche Zellen, zum anderen können sie das Immunsystem schwächen.

Mycotoxine werden mit Haut- und Schleimhautreizungen, Erkrankungen der Atemwege, Kopfweh und mit allgemeinen Erschöpfungszuständen in Zusammenhang gebracht.

Schimmelpilze produzieren außerdem eine Reihe von flüchtigen Stoffen (darunter Alkohole, Aldehyde, Ketone, aromatische Verbindungen), von denen einige für den typischen modrigen Geruch verantwortlich sind. Sie werden unter der Bezeichnung „MVOC“ (Microbial Volatile Organic Compounds) zusammengefasst. Die Bedeutung dieser MVOC für die menschliche Gesundheit ist noch weitgehend ungeklärt. Der Nachweis von MVOC in der Raumluft kann als Hinweis auf verdeckten Schimmelpilzbefall (z.B. hinter Wandverkleidungen) dienen.

In seltenen Fällen können Schimmelpilze, vor allem bei in der Körperabwehr geschwächten Personen, direkt Infektionen auslösen. Dies wird vor allem für Aspergillusarten beschrieben (Aspergillose).

**Bakterien:**

Die auch in Schulen mögliche Übertragung von infektionserregenden Bakterien, die über die Luft von einer Person auf die nächste übertragen werden, wie zum Beispiel die

Erreger der Tuberkulose (*Mycobacterium tuberculosis*) und des Keuchhustens (*Bordetella pertussis*) – das Gleiche gilt natürlich auch für Viren, wie etwa Grippe- und Influenzaviren – soll an dieser Stelle nur der Vollständigkeit halber erwähnt werden.

Bakterielle Kontaminationen spielen ansonsten in Schulen lediglich bei mangelnder Reinigung und Gebäudehygiene (vgl. Abschnitt A-2) eine Rolle.

### B-8 Strahlenbelastungen (Radon)

Seit jeher ist der Mensch natürlicher Strahlung ausgesetzt. Diese Strahlung setzt sich zusammen aus den Beiträgen der externen Strahlung aus dem Weltraum (kosmische Strahlung) und natürlicher radioaktiver Stoffe in Gesteinen und Böden (terrestrische Strahlung) sowie der internen Strahlung von natürlichen radioaktiven Stoffen, die mit der Nahrung oder der Atemluft aufgenommen werden. Ein Stoff, der durch den radioaktiven Zerfall von natürlich vorkommendem Uran in Gesteinen entsteht, ist das radioaktive Edelgas Radon. Lange wurde die durch Radon bedingte natürliche Strahlung wenig beachtet. In den 70er-Jahren begann man mit ersten Radonmessungen in Gebäuden.

#### Quellen und Vorkommen:

Radon ist ein natürliches radioaktives Edelgas mit einer Halbwertszeit von 3,8 Tagen, das durch radioaktiven Zerfall von Uran (Halbwertszeit ca. 4,5 Mrd. Jahre) bzw. dessen Tochterprodukt Radium-226 (Halbwertszeit ca. 1600 Jahre) entsteht. Es ist farb-, geschmack- und geruchlos. Radon kommt besonders in Gegenden mit Granitgestein vor. Als Gas breitet es sich leicht im Boden aus und dringt aus der Bodenluft über Kellerwände und Fundamente in Gebäude ein. Tritt Radon aus dem Boden in die Atmosphäre aus, wird es in der Außenluft sehr schnell verteilt, so dass in der Außen-

luft deutlich geringere Konzentrationen als in der Bodenluft vorliegen. Übliche Konzentrationen in der Außenluft liegen zwischen 10 und 30 Becquerel (Bq)/m<sup>3</sup> (1 Bq bezeichnet einen radioaktiven Zerfall pro Sekunde).

In Deutschland gibt es einige Regionen mit einem besonders hohen Radongehalt des Bodens, wo entsprechend hohe Radonkonzentrationen auch im Fundamentbereich von Gebäuden auftreten können. Zu diesen Regionen gehören z.B. einige Teile des Bayerischen Waldes, des Schwarzwaldes, des Fichtelgebirges sowie des Erzgebirges und die Eifelregion.

Angaben zum Vorkommen von Radon in der Innenraumluft von Wohnungen stammen aus einer 1984 in Deutschland (alte Bundesländer) durchgeführten Untersuchung, die später auf ganz Deutschland ausgedehnt wurde. Danach liegt die mittlere Radonkonzentration in der Innenraumluft bei etwa 50 Bq/m<sup>3</sup>. Bei ungünstigen Bedingungen (geographische Lage, geringe Lüftung) kann es unter Umständen zu beträchtlich höheren Radonkonzentrationen in der Innenraumluft kommen.

#### Hygienische Bedeutung:

Wird Radongas eingeatmet, so kommt es durch dieses und seine alphastrahlenden Zerfallsprodukte zu einer erhöhten Strahlenexposition der Lunge und zu einer Erhöhung des Lungenkrebsrisikos. Nach dem Tabakrauch wird Radon als zweithäufigste Ursache für Lungenkrebserkrankungen in Deutschland angesehen. Die Größe des Risikos, an Lungenkrebs zu erkranken, steigt mit der Höhe der Konzentration des Radons in der Raumluft und mit der Aufenthaltsdauer im Raum. Eine unschädliche Dosis kann beim derzeitigen Kenntnisstand nicht mit hinreichender Sicherheit angegeben werden.

Nach den Ergebnissen epidemiologischer Studien aus der Wohnbevölkerung in



Schweden, England und Deutschland nimmt das Lungenkrebsrisiko um etwa 10 % zu, wenn die Radonkonzentration um 100 Bq pro m<sup>3</sup> ansteigt.

Zur Verringerung des Radonrisikos in Innenräumen sind bei Neubauten geeignete

bauliche Maßnahmen vorzusehen. Bei bestehenden Gebäuden sollten in Absprache mit den zuständigen Behörden und Baufachleuten – unter Beachtung der Verhältnismäßigkeit – die notwendigen Maßnahmen durchgeführt werden.

## Teil C: Bauliche und raumklimatische Anforderungen

In den folgenden Abschnitten wird zunächst auf Anforderungen, die aus hygienischer Sicht an die Bau- und Raumaustattungsmaterialien beim Neubau oder bei der Renovierung bestehender Schulgebäude zu stellen sind, eingegangen. Danach werden allgemeine raumklimatische und Lüftungstechnische Aspekte behandelt.

### C-1 Bauliche Anforderungen, Ausstattung von Räumen

#### C-1.1 Rohbau

Von den üblichen Baustoffen für den Rohbau (mineralische Baustoffe, Holz, Metall) gehen grundsätzlich keine Gefahren für die Bewohner oder Gebäudenutzer aus. Sinngemäß gilt das auch für Putze, Anstriche, Wandbauplatten oder keramische Fliesenbeläge. Die klassischen Baustoffe enthalten heute aber teilweise bauchemische Zusatzstoffe, die gesondert betrachtet werden müssen.

Die spezifischen Eigenschaften der für den Rohbau von Schulen verwendeten Baustoffe werden nachfolgend dargestellt. Aus hygienischer Sicht besonders problematische Stoffe werden beispielhaft angesprochen.

**Beton** ist der im Rohbau mit Abstand am meisten verwendete Baustoff. Er besteht aus dem Bindemittel Zement sowie natürlichen Zuschlagstoffen wie Sand oder Kies, die zusammen mit Wasser zu einem festen gesteinsartigen Gebilde aushärten. Sowohl Beton als auch Zement und bestimmte Zuschlagstoffe sind genormt bzw. werden bei Abweichung von der Norm durch allgemeine bauaufsichtliche Zulassung kontrolliert. Bei diesen „Verwendbarkeitsnachweisen“

werden auch mögliche schädliche Auswirkungen auf Gesundheit oder Umwelt betrachtet.

#### **Werden Baustoffe für den Rohbau bei ihrer Zulassung auch auf schädliche Inhaltsstoffe hin untersucht?**

Im Rahmen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung werden Baustoffe und verwendete Zusatzmittel auch auf gesundheitsschädliche Inhaltsstoffe wie Dioxine, radioaktive Begleitstoffe, etc. hin untersucht. Allerdings ist die Untersuchung zumeist auf bestimmte Inhaltsstoffe/Stoffgruppen beschränkt und wird nicht bei allen am Markt vorkommenden Baustoffen und Bauprodukten vorgenommen.

Für Mauerwerk werden **Mauerziegel, Kalksandsteine, Beton- und Porenbetonsteine** sowie die für ihre Verarbeitung erforderlichen **Mauer- und Putzmörtel** eingesetzt. Mauerziegel werden aus Ton, Lehm, Sand, Kalkstein und Wasser unter Zusatz geringer Mengen an Hilfsstoffen, wie zum Beispiel Porosierungsmitteln, geformt und bei mehr als 1000 °C gebrannt. Durch den Brennprozess werden organische Verunreinigungen, die auch hier durch die Mitverwendung von Reststoffen in den „Formling“ eingebracht werden, zerstört. Der gebrannte Ziegel ist daher im Regelfall gesundheitlich vollkommen unbedenklich.

Kalksandsteine werden aus Kalk, Sand und Wasser hergestellt und bei Temperaturen zwischen 160 und 220 °C gehärtet. Sie sind aufgrund dieser Ausgangsstoffe gesundheitlich unbedenklich. Für Beton- und Porenbetonsteine gelten die zuvor für den Beton gegebenen Hinweise in gleicher Weise. Generell ist auch hier darauf zu verweisen, dass der Großteil der Mauersteine durch Norm geregelt ist und Abweichungen

von der Norm nach dem oben beschriebenen Verfahren der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung behandelt werden.

Bei den Mauer- und Putzmörteln handelt es sich in der Regel um zement- oder kalkgebundene Massen, die unter Zugabe von Wasser aushärten. Neben Zusatzstoffen wie Sand, Kies oder Kalkstein kommen hier eine Reihe von Verarbeitungshilfsmitteln zum Einsatz, die aufgrund ihrer geringen Anteile jedoch aus hygienischer Sicht eher von untergeordneter Bedeutung sein dürften.

**Holz** ist der vom Menschen am längsten verwendete Baustoff, der als nachwachsender Rohstoff seit jeher fast überall verfügbar war. Aufgrund seiner Brennbarkeit und seiner Anfälligkeit gegen tierische und pflanzliche Schädlinge ist beim Verbauen von Holz jedoch die Beachtung bestimmter Konstruktionsregeln besonders wichtig, um zum Beispiel den Befall durch Insekten oder holzzerstörende Pilze zu verhindern. Gemäß DIN 68800-2 „Holzschutz im Hochbau“ lassen sich Gebäude derart errichten, dass auch tragende und aussteifende Holzbauteile einschließlich des Dachstuhls nicht mit Holzschutzmitteln behandelt werden müssen, wenn die jeweiligen Bauteile einsehbar sind oder insektenundurchlässig gekapselt werden. Dieser Verzicht auf Holzschutzmittel erfordert eine entsprechende sorgfältige Planung und vor allem Bauausführung und kann die Konstruktionsvielfalt sowie die Materialauswahl einschränken.

Kann aufgrund besonderer Konstruktionsanforderungen eines Gebäudes nicht auf eine vorbeugende Behandlung mit Holzschutzmitteln nach DIN 68800 verzichtet werden, so dürfen an tragenden bzw. aussteifenden Bauteilen nur bauaufsichtlich zugelassene Holzschutzmittel verwendet werden. Im Rahmen der Zulassungsverfahren für derartige Mittel werden unter Berücksichtigung des Verwendungszweckes ihre Auswirkungen auf die Gesundheit und die Umwelt ge-

prüft und bewertet. Es kann davon ausgegangen werden, dass von bauaufsichtlich zugelassenen Holzschutzmitteln bei bestimmungsgemäßer Verwendung keine Gefahren für die Gebäudenutzer ausgehen.

Die in der Vergangenheit dokumentierten gesundheitlichen Schäden durch den in Holzschutzmitteln früher eingesetzten Wirkstoff Pentachlorphenol (PCP), dessen Verwendung 1989 verboten wurde (vgl. Abschnitt B-4), waren zumeist auf die großflächige, nicht bestimmungsgemäße Verwendung PCP-haltiger Mittel, zum Beispiel in Wand- und Deckenverkleidungen, zurückzuführen.

In den neuen Bundesländern wurde noch bis Ende der 80er-Jahre häufig das Insektizid DDT (z.T. in Kombination mit Lindan) zur vorbeugenden Behandlung von tragenden Holzbauteilen, aber auch zur Bekämpfung bei schon vorhandenem Befall, verwendet. DDT war in den alten Bundesländern bereits seit 1972 verboten. Untersuchungen in Wohnungen von Gebäuden, in denen DDT in Dachstühlen angewendet worden war, ergaben jedoch, dass die DDT-Konzentrationen im sedimentierten Staub in vielen Fällen nicht höher lagen als in Vergleichswohnungen der alten und neuen Bundesländer, in denen DDT-haltige Mittel nicht eingesetzt worden waren.

Bei **Holzwerkstoffplatten** (z.B. Spanplatten), die zumeist großflächig eingesetzt werden (z.B. als Fußbodenverlegeplatten), ist vor allem die Abgabe von Formaldehyd zu beachten (vgl. Abschnitt B-3). Für Holzwerkstoffplatten, die für Bauwerke in Deutschland verwendet werden, wird die Einhaltung des Prüfwertes von 0,1 ppm durch Beachtung der „Richtlinie über die Klassifizierung und Überwachung von Holzwerkstoffplatten bezüglich der Formaldehydabgabe“ bauaufsichtlich gewährleistet. Danach dürfen nur noch sogenannte „E1-Platten“ verwendet werden, die nach einem in der Richtlinie ge-

nannten Prüfverfahren eingestuft worden sind (vgl. Abschnitt B-3).

Der Einsatz von Bioziden in Holzwerkstoffplatten (V 100 G) ist nach der geltenden Fassung der DIN 68800-2 in Innenräumen nicht mehr zulässig. Obgleich die vorherige Fassung dieser Norm den Einsatz solcher Platten in Feuchträumen noch zuließ, ist davon auszugehen, dass dies schon längere Zeit vorher in der Praxis nicht mehr durchgeführt wurde.

Bei den im Bauwesen verwendeten **Metallen** ist grundsätzlich zwischen Eisen bzw. Stahl und Nichteisenmetallen wie Aluminium, Zink oder Kupfer zu unterscheiden. Sie stellen aus hygienischer Sicht generell kein Problem dar, da sie keine schädlichen Stoffe an die Innenraumluft abgeben. Genauso zu betrachten wären hier allenfalls Beschichtungsstoffe.

### C-1.2 Ausbau und Umbau

Auf die unterschiedlichen Ursachen für Verunreinigungen der Innenraumluft wurde bereits eingegangen. Neben Bauprodukten können auch Ausstattungsmaterialien (Möbel, Teppiche etc.) aufgrund ihrer großen Oberfläche im Innenraum eine wesentliche Emissionsquelle darstellen. Die Produktvielfalt der im Innenraum verwendeten Materialien und der zu ihrer Herstellung eingesetzten chemischen Erzeugnisse hat in den letzten Jahren deutlich zugenommen (vgl. Abschnitt B-2). So ist es möglich, dass Produkte für den gleichen Gebrauchszweck in sehr unterschiedlichem Maße zu Innenraumbelastungen beitragen können.

Durch den Einsatz von umweltfreundlichen und emissionsarmen Produkten lassen sich Innenraumluftbelastungen deutlich verringern.

An dieser Stelle sei angemerkt, dass erforderliche Aus- und Umbaumaßnahmen in Schulgebäuden in erster Linie natürlich

durch Fachfirmen erledigt werden sollten. Da aufgrund der finanziellen Situation in vielen Schulen zunehmend aber auch „zur Selbsthilfe“ gegriffen wird, sollten unbedingt vor Beginn solcher Arbeiten Fachleute zu Rate gezogen werden.

Die im folgenden zusammengestellten Empfehlungen können bei Arbeiten durch Fachfirmen und im „Selbsthilfefall“ als erste Information dienen. Sie sind auszugsweise dem „Handbuch Umweltfreundliche Beschaffung – Empfehlungen zur Berücksichtigung des Umweltschutzes in der öffentlichen Verwaltung und im Einkauf“, herausgegeben vom Umweltbundesamt, 4., völlig neubearbeitete Auflage 1999, Verlag Franz Vahlen, München, entnommen.

Selbstverständlich sind zusätzlich zu den dort angeführten Hinweisen grundsätzlich die Verarbeitungsempfehlungen und Hinweise der Hersteller auf den Gebinden zu beachten.

#### **Lacke:**

Konventionelle Alkydharzlacke können erhebliche Innenraumluftbelastungen durch ihren Lösemittelgehalt (35–55 Gew. %) und durch Spaltprodukte der trocknenden Öle (Aldehyde und Carbonsäuren) verursachen. Die seit längerem bewährten Alternativen zu den konventionellen Lacken sind „Schadstoffarme Lacke“ mit dem Umweltzeichen RAL-UZ 12a (max. 2–10 Gew. % Lösemittelanteil), die anstelle von aliphatischen und aromatischen Kohlenwasserstoffen zumeist Alkohole und Glykolether enthalten. Aufgrund ihres geringeren Lösemittelgehaltes verursachen schadstoffarme Lacke meist auch deutlich geringere Innenraumluftbelastungen.

Die Anforderungen des Umweltzeichens beziehen sich im wesentlichen auf die Umwelt- und Gesundheitsbelastungen bei der Anwendung von Lacken. In der gemeinsamen „Empfehlung zum Einsatz lösemittelreduzierter Bautenlacke“, herausgegeben u.a.

von der Arbeitsgemeinschaft der Bau-Berufsgenossenschaften, dem Maler- und Lackiererhandwerk, der Lackindustrie und dem Umweltbundesamt, werden schadstoffarme Lacke folgendermaßen eingeschätzt: „Für die meisten Anwendungsgebiete sind Dispersionslacke in der Summe der jeweiligen Eigenschaften eine technisch gleichwertige Alternative zu den konventionellen Alkydharzlacken. Aufgrund ihres verminderten Lösemittelgehaltes sind Dispersionslacke darüber hinaus im allgemeinen wesentlich gesundheits- und umweltverträglicher, so dass ihre Verwendung der von konventionellen Alkydharzlacken grundsätzlich vorzuziehen ist.“

Vorschläge:

- Vor der Durchführung von Malerarbeiten sollte geprüft werden, ob die Arbeiten die Verwendung von Lacken erforderlich machen oder auch der Einsatz von Dispersionsfarben möglich wäre.
- Für den Oberflächenschutz von nicht-tragenden Hölzern im Innenbereich (Wohnräume) sind schadstoffarme Holzlasuren oder entsprechende Klarlacke am besten geeignet. Die Anforderungen nach RAL-UZ 12a sollten hierbei berücksichtigt werden. Schadstoffarme Lacke können auch für den Oberflächenschutz von Holzbauteilen oder Holzgegenständen, die der Witterung ausgesetzt sind, verwendet werden, da für den Außenbereich witterungsbeständige Lacke angeboten werden.
- Bei der Parkettlackierung sollte auf stark lösemittelhaltige Oberflächenbehandlungsmittel verzichtet werden. Statt dessen sollten wasserverdünnbare Oberflächenbehandlungsmittel (Wassersiegel) auf Acrylat- oder Polyurethanharzbasis eingesetzt werden. In Einzelfällen kann die Verwendung auch stark lösemittelhaltiger Oberflächenbehandlungsmittel erforderlich sein, bei der Verarbeitung sind die Empfehlungen der TRGS 617 zu berücksichtigen.

- Auch bei der Verwendung von schadstoffarmen Lacken sind Vorsichtsmaßnahmen einzuhalten (z.B. gute Durchlüftung, Rauchverbot). Beim Spritzen von Lacken ist grundsätzlich für einen Atemschutz zu sorgen, da auch bei der Verarbeitung von schadstoffarmen Lacken Spritznebel entstehen können.

### **Dispersionsfarben (Wandfarben):**

Dispersionsfarben gelten landläufig als umweltfreundliche Produkte. Für die Hauptbestandteile Wasser, Füllstoffe (z.B. Kreide), Titandioxid als Pigment (sofern gemäß EU-Richtlinie hergestellt) und Bindemittel trifft dies im Grunde auch zu. Allerdings lassen sich aus diesen Bestandteilen allein Dispersionsfarben nicht herstellen. Verarbeitungsfähige Dispersionsfarben benötigen darüber hinaus verschiedene Additive. Durch diese ergeben sich aufgrund des hohen Verbrauchs Innenraumluftbelastungen, die durch moderne (umweltfreundliche und emissionsarme) Dispersionsfarben deutlich reduziert werden können. Diese Dispersionsfarben – auch als „ELF-Farben“ (emissions- und lösemittelfrei) bezeichnet – werden von der Lackindustrie seit einigen Jahren angeboten. Sie konnten sich bisher am Markt noch nicht flächendeckend durchsetzen, da sie teurer als konventionelle Dispersionsfarben sind.

Vorschläge:

- Für die großflächige Beschichtung von Wänden, Decken und Fassaden sind Dispersionsfarben der geeignete Anstrichstoff. Die Verwendung von Lacken ist hier in der Regel nicht erforderlich.
- In Innenräumen sollten aus der Sicht des Gesundheits- und Umweltschutzes nur emissionsfreie oder emissionsarme Wandfarben verwendet werden. Es sollten die Anforderungen zur Vergabe des Europäischen Umweltzeichens und/oder der Umweltzeichen-Vergabegrundlage „Wandfarben“ im Rahmen des „Blauen Engels“ zugrunde gelegt werden.

**Bodenbelagsklebstoffe:**

Am Markt ist ein breites Spektrum unterschiedlicher Bodenbelagsklebstoffe erhältlich. Neben lösemittelfreien und emissionsarmen Klebstoffen werden immer noch lösemittelhaltige Klebstoffe angeboten. Die in vielen Klebstoffen heute enthaltenen höher-siedenden Lösemittel (vgl. Abschnitte B-2 und B-4) werden für manche von Klebstoffen herrührende längerfristige Innenraumprobleme verantwortlich gemacht. Von einigen Herstellern wurde eine zusätzliche Kennzeichnung von emissionsarmen Produkten („EMICODE“) eingeführt (vgl. Tabelle 4). Der EMICODE soll vor allem dem Verbraucher als Orientierungshilfe für die Auswahl emissionsarmer und damit gesundheitlich unbedenklicherer Klebstoffe, Vorstriche und Spachtelmassen dienen. Es wird zwischen drei Einstufungen unterschieden.

Vorschläge:

- Grundsätzlich sollten schadstoffarme und lösemittelarme bzw. -freie Dispersionsklebstoffe und -vorstriche verwendet werden. Sofern im begründeten Einzelfall auf den Einsatz lösemittelhaltiger Klebstoffe nicht verzichtet werden kann, ist darauf zu achten, dass während und auch noch einige Wochen nach den Arbeiten intensiv gelüftet wird; ggf. kann auch eine gezielte Absaugung lösemittelhaltiger Dämpfe vorgenommen werden.

**Wischbare Bodenbeläge:**

Bodenbeläge bilden die oberste Schicht des Fußbodens. Bei ihrer Auswahl spielen neben technischen, funktionalen und gestalterischen Aspekten zunehmend auch Gesichtspunkte des Umwelt- und Gesundheitsschutzes eine Rolle. Häufig reicht es nicht aus, den Bodenbelag allein zu betrachten, da das Emissionsverhalten deutlich vom Untergrund, zum Beispiel durch saugfähigen Estrich, der Lösungsmittel speichern kann, bzw. den verwendeten Klebern beeinflusst wird. Deshalb sollte der gesamte Aufbau des Fußbodens mit Unterboden, Verlegetechnik und Material einbezogen werden.

Vorschläge:

- Bei wischbaren Bodenbelägen gibt es nicht den „besten“ Bodenbelag. Eine Auswahl aus drei unterschiedlichen Produktgruppen: Holz/Holzwerkstoff, Kunststoffbelag, keramischer Belag sollte in Abhängigkeit vom vorgesehenen Einsatzbereich und dem notwendigen Anforderungsniveau so getroffen werden, dass eine möglichst lange Nutzungsdauer realisiert werden kann. Beim Pflegeaufwand (Fegen, Wischen) sind keine deutlichen Unterschiede zwischen diesen Produktgruppen zu erwarten. In Sanitärbereichen sind allerdings wegen der notwendigen täglichen und intensiven Reinigung (vgl. Abschnitt A-2) und der

**Tabelle 4: EMICODE-Klassifizierungssystem; Quelle: Gemeinschaft emissionskontrollierter Verlegetwerkstoffe, Düsseldorf;**

EMICODE	Emissionsklasse	Emissionswert*	
EC 1	sehr emissionsarm	Klebstoffe	500 µg/m <sup>3</sup>
		Vorstriche	100 µg/m <sup>3</sup>
		Spachtelmassen	200 µg/m <sup>3</sup>
EC 2	emissionsarm	Klebstoffe	1500 µg/m <sup>3</sup>
		Vorstriche	300 µg/m <sup>3</sup>
		Spachtelmassen	600 µg/m <sup>3</sup>
EC 3	nicht emissionsarm	größere Emissionen	

\* für Emissionen nach 10 Tagen unter festgelegten Prüfbedingungen

damit verbundenen Materialbeanspruchung keramische Beläge vorzuziehen.

- Bodenbeläge aus Holz und Holzwerkstoffen, mit Einschränkung gilt das auch für Linoleum, werden aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt. Sind die zu erwartenden Belastungen (Personenverkehr, Schmutzeintrag) eher gering, sollten sie bevorzugt verwendet werden. Bei Holz und Holzwerkstoffen sind die Pflegemittel bezüglich möglicher Emissionen zu prüfen.
- Bei Verwendung von Kunststoff-, aber auch von Linoleum- oder Korkbelägen, sind hinsichtlich der Emissionen Entscheidungen nur durch Betrachtung des konkreten Produktes möglich. Informationen zu vorliegenden Emissionskennwerten sollten von den Herstellern abgefragt werden.
- Keramische Bodenbeläge sollten überall dort eingesetzt werden, wo eine lange Nutzungsdauer bei hoher Belastung realisiert werden soll (z.B. Sanitärbereiche, s. oben).

### **Textile Bodenbeläge:**

Textile Bodenbeläge sollen in Schulen nicht verwendet werden (vgl. Anmerkungen in Abschnitt A-2).

### **C-1.3 Raumausstattung**

Möbel, Spanplatten und andere Produkte aus Holzwerkstoffen stellen aufgrund ihrer Zahl und relativ großen Oberfläche in Unterrichtsräumen eine potentielle Emissionsquelle dar. Die Vielfalt der im Innenraum eingesetzten Produkte und der zu ihrer Herstellung eingesetzten chemischen Erzeugnisse hat in den letzten Jahren deutlich zugenommen. So können Möbel und Holzwerkstoffe in sehr unterschiedlichem Umfang zu Innenraumbelastungen beitragen.

Holzwerkstoffe (Spanplatten, beschichtete Spanplatten, Tischlerplatten, Furnierplatten, Faserplatten) bzw. Produkte aus Holzwerk-

stoffen, wie z.B. Möbel, Türen, Paneele, sind die wichtigste Quelle von Formaldehyd in Innenräumen. Die Freisetzung von Formaldehyd ist auf solche Spanplatten und andere Holzwerkstoffe beschränkt, die unter Verwendung von Klebstoffen auf der Basis von Harnstoff-Formaldehydharzen hergestellt wurden (vgl. Abschnitt B-3). In Schulen sollten ausschließlich formaldehydarme oder formaldehydfreie Möbelprodukte zum Einsatz kommen.

Bei langlebigen Produkten wie Schul- und Büromöbeln, die die Innenraumluft über längere Zeit erheblich beeinflussen können, ist eine Kennzeichnung von weniger umwelt- und gesundheitsbelastenden Produkten für den Nutzer von großer Bedeutung. Die Jury Umweltzeichen hat bereits 1986 vor dem Hintergrund der seinerzeit intensiv geführten Diskussion um Formaldehyd das Umweltzeichen für „Formaldehydarme Produkte aus Holz oder Holzwerkstoffen“ vergeben (RAL-UZ 38). Einbezogen sind zum Beispiel Möbel, die – beschichtet oder unbeschichtet – überwiegend aus Spanplatten, Tischlerplatten, Faserplatten, Furnierplatten oder Holz hergestellt sind.

Aufbauend auf den Ergebnissen eines umfangreichen Forschungsvorhabens der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung wurde eine erweiterte Vergabegrundlage für ein Umweltzeichen „Emissionsarme Möbel“ entwickelt. Diese neue Vergabegrundlage orientiert sich am Lebensweg von Möbeln. Eine wesentliche Anforderung beschränkt die Emissionen von Möbeln in die Innenraumluft.

Die Deutsche Gütegemeinschaft Möbel e. V. vergibt ein Gütesiegel für Qualitätsmöbel (RAL-Zeichen). Im Gegensatz zum Umweltzeichen werden beim RAL-Gütezeichen in erster Linie die verwendeten Materialien, die Be- und Verarbeitung sowie ihre Umwelt- und Gesundheitsverträglichkeit auf der Grundlage der bestehenden gesetzlichen

Regelungen und der einschlägigen Normen geprüft. Der Geltungsbereich des Gütezeichens umfasst auch Schulmöbel.

Vorschläge aus dem Handbuch „Umweltfreundliche Beschaffung“:

- Bei der Beschaffung von Möbeln, die überwiegend aus Holz bestehen, sollten die Anforderungen zur Vergabe des Umweltzeichens RAL-UZ 38 zugrunde gelegt werden. Ab dem Jahre 2000 dürften zudem Produkte im Handel sein, die bereits den Anforderungen einer überarbeiteten Vergabegrundlage entsprechen.
- Ergänzend wird bei der Beschaffung von Möbeln, die überwiegend aus anderen Werkstoffen als Holz bestehen, empfohlen, Produkte zu berücksichtigen, die insbesondere hinsichtlich ihrer Gebrauchstauglichkeit und Langlebigkeit die Anforderungen der Deutschen Gütegemeinschaft Möbel (RAL-RG 430) erfüllen.
- Möglicherweise ist auch ein „Möbelpass“ verfügbar, der Auskunft über das Prüfergebnis möglicher Emissionen des Produktes gibt.

## C-2 Gebäudeklima

Die folgenden Ausführungen beziehen sich nur zum Teil speziell auf Schulen. Sie sind, was z.B. die allgemeinen physiologischen Anforderungen angeht, auch auf andere Innenräume anwendbar.

### C-2.1 Allgemeine physiologische Anforderungen

Der Mensch ist auf komplexe Regelmechanismen angewiesen, um seine Körpertemperatur weitestgehend unabhängig von der Umgebungstemperatur konstant zu halten. Dabei wird das Ziel, die Körperkerntemperatur von 37 °C konstant zu halten, nur erreicht, wenn sich Wärmebildung und Gesamtwärmeabgabe einer Person entsprechen. Unterkühlung und Überwärmung sind

dann nicht zu erwarten, wenn diese Bilanz aus Wärmeproduktion und Wärmeabgabe ohne größere Abweichungen ausgeglichen ist. Die Wärmeproduktion des Körpers ist vorrangig eine Funktion der Aktivität einer Person (siehe Tabelle 5). Der Wärmeaustausch mit der Umgebung wird vor allem durch die Wärmeabgabe über die Haut bestimmt.

**Tabelle 5: Stoffwechselbedingte Wärmeproduktion einer Person bei Ruhe und einigen typischen Tätigkeiten**

Tätigkeit	Wärmeproduktion, Watt/Person
Ruhe (Grundumsatz)	80
Sitzende Tätigkeit (Lesen, Schreiben)	100 – 125
Leichte Tätigkeit (Labor)	150
Mäßig schwere körperliche Tätigkeit (Treppensteigen etc.)	170 – 230
Schwere körperliche Tätigkeit (Leistungssport, Bauarbeiten)	400 – 600

Die folgenden Faktoren beeinflussen den Wärmeaustausch des Menschen mit seiner Umgebung:

- Wärmeleitung (z.B. durch Kontakt mit Möbeln, Flächen etc.)
- Konvektion (Wärmetransport, z.B. über Luftströme)
- Verdunstung (ständige Wasserverdunstung von Haut und Schleimhäuten, zeitweise bei der Schweißverdunstung)
- Strahlungswärme (z.B. Wärmeabstrahlung an kältere Flächen).

Unter den in der Regel in Aufenthaltsräumen anzutreffenden thermischen Bedingungen erfolgt die Wärmeabgabe zu über 90 % durch Konvektion und Strahlung. Erst bei höheren Umgebungstemperaturen (um 27 °C und höher) oder bei verstärkten Aktivitäten (Sportunterricht, Spielen auf dem



Schulhof) erfolgt ein erheblicher Anteil des Wärmeaustausches durch Verdunstung.

Der (rein physikalische) Vorgang des Wärmeaustausches mit der Umgebung wird in erheblichem Maße natürlich auch durch die Kleidung der Schülerinnen und Schüler beeinflusst.

Zu den im Schulbereich typischen Situationen, die mit einer thermischen Belastung verbunden sein können, gehören vor allem:

- Unbehaglich warme Bedingungen zum Stundenbeginn, bedingt durch erhöhte Wärmeproduktion während der Pausenaktivität.
- Unbehaglich warme Bedingungen, z. B. im Bereich der Fensterfront durch erhöhte Strahlungswärmeaufnahme (Sonneneinstrahlung, Radiator).
- Unbehaglich kalte Bedingungen, z.B. im Bereich der Fensterfront durch erhöhte Strahlungswärmeabgabe (kalte Außenwand) bzw. durch erhöhte Konvektion (Zugerscheinungen).
- Anstieg der Raumtemperatur und der relativen Luftfeuchte im Unterrichtsverlauf bedingt durch die Wärme- und Wasserdampfabgabe der Personen im Raum bei unzureichendem Abtransport durch Lüften.

**Welche physiologischen Anforderungen des Menschen sind in Unterrichtsräumen zu berücksichtigen?**

- Das thermische Empfinden des Menschen wird vor allem von der Lufttemperatur, der Temperatur der Umgebungsflächen und der Luftbewegung beeinflusst.
- Physiologisch behagliche Raumlufttemperaturen (für Klassenräume je nach Jahreszeit und in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur

**zwischen ca. 20–25 °C) sollten möglichst das ganze Jahr hindurch eingehalten werden.**

- **Wände, Fußböden und Decken sind so zu gestalten, dass keine unangenehmen Wärmestrahlungen, z.B. von kalten Oberflächen, in den Raum stattfinden.**
- **Zugerscheinungen sind zu vermeiden.**
- **Die individuelle Bekleidung sollte den saisonalen und räumlichen Gegebenheiten angepasst sein.**

### C-2.2 Bautechnische Anforderungen

Bauliche und bautechnische Voraussetzungen, die einwandfreie innenraumlufthygienische Bedingungen und ein gutes Gebäudeklima in Schulgebäuden sicherstellen, umfassen vor allem eine städtebaulich und mikroklimatisch günstige Lage und Größe des Schulgeländes. Hierzu gehören ein sinnvolles Maß an Besonnung, kaum Windinflüsse und -turbulenzen, keine größeren Emissionsquellen im unmittelbaren Umgebungsbereich der Schule und eine ruhige, verkehrsabgewandte Lage. Hinzu kommen ein einwandfreier Baugrund und eine gute architektonische Lösung für den Baukörper, die die erforderliche Größe, Lage und Ausstattung der Unterrichtsräume sowie aller anderen Funktionsräume in angemessener Weise berücksichtigt.

Besondere Sorgfalt ist der Konzeption im Hinblick auf wirksamen Sonnenschutz, optimalen Wärme- und Feuchtigkeitsschutz, angemessene Beleuchtung durch Tageslicht und geeignete Lüftungsmöglichkeiten zu widmen.

Bei der baulichen Ausführung soll nach Möglichkeit auf leicht zu reinigende Materialien zurückgegriffen werden, damit gewährleistet ist, dass bei den in Schulen zu erwartenden

tenden besonderen Belastungen durch die Nutzer auch bei geringerem Pflege- und Erhaltungsaufwand keine unhygienischen Zustände auftreten.

Die baurechtliche Grundlage für die Errichtung und Nutzung von Schulgebäuden bilden die Bauordnungen der Länder. Hierdurch sollte grundsätzlich sichergestellt sein, dass ein angemessenes Gebäudeklima aus bautechnischer Sicht erreicht wird. Inwieweit dies im Einzelfall realisiert wird, hängt u.a. von der Ausgewogenheit aller das Gebäudeklima beeinflussenden baulichen Komponenten ab.

Insbesondere bei älteren Schulgebäuden (dies ist immerhin die Mehrzahl aller derzeit in Deutschland genutzten Gebäude) tritt das Problem auf, dass die Gebäude den heutigen Anforderungen der Wärmedämmung oft nicht genügen. Das gilt insbesondere für Schulgebäude, die nach dem Kriege in den fünfziger und sechziger Jahren errichtet wurden. Nach der Wärmeschutzverordnung (zuletzt novellierte Fassung von 1995) müssen bei der Neuerrichtung von Gebäuden verstärkt Wärmedämm-Maßnahmen ergriffen werden. Bei bestehenden und älteren Gebäuden besteht jedoch kein genereller Nachrüstzwang. Hier wird erst die für das Jahr 2000 zu erwartende Energieeinsparverordnung Änderungen bringen.

Mangelhafte Wärmedämmung kann auch dazu führen, dass an Außenwänden die Oberflächentemperaturen im Innenraumbereich häufig sehr viel niedriger liegen als die Raumlufttemperaturen. Die Folge ist ein Unbehaglichkeitsgefühl (vgl. Abschnitt C-2.1). Außerdem kommt es häufig zur Kondensation von Luftfeuchtigkeit an den mangelhaft gedämmten Bereichen (das gilt auch bei vorhandenen Wärmebrücken, z. B. im Bereich von Wanddurchbrüchen etc.) und damit zu Feuchtigkeitsschäden und eventuellem mikrobiellem Befall (Schimmelpilzbildung) (vgl. Abschnitt B-7).

Neben Außenwandflächen stellen auch Fensterbereiche häufig eine Wärmebrücke in bestehenden Gebäuden dar. Hier ist aus energetischer Sicht grundsätzlich wünschenswert, dass gegebenenfalls vorhandene schlecht isolierende Fenster (Kastenfenster mit Einfachverglasung) durch moderne Isolierverglasungen mit geringem Wärmedurchgangskoeffizienten ( $k$ -Wert  $< 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) ersetzt werden.

In diesem Zusammenhang sei auch hier angemerkt, dass der Einbau von Fenstern, die geöffnet werden können und damit die Möglichkeit der natürlichen Lüftung der Unterrichtsräume bieten (vgl. Abschnitt B-1, Ausführungen zu „Kohlendioxid“), einer künstlich gesteuerten Lüftung durch raumlufttechnische Anlagen (vgl. Abschnitt C-2.3) vorzuziehen ist.

Unterrichtsräume sollen möglichst das ganze Jahr hindurch mit ausreichend Tageslicht versorgt werden. Fensterlose Räume sind als Unterrichtsräume nicht gestattet. Die Lage der Fenster und Unterrichtsräume soll entsprechend dem Tagessonnengang und den örtlichen Gegebenheiten (Abschattung durch andere Gebäude, Bäume etc.) ausgerichtet sein. Hier können bei bestehenden Gebäuden kaum Änderungen vorgenommen werden. Die notwendigen Maßnahmen müssen in der Regel bereits bei der Planung und Errichtung der Gebäude berücksichtigt werden. Durch Einhaltung der DIN 5034 „Tageslicht in Innenräumen“ kann dies gewährleistet werden.

Eine Südausrichtung von Fensterfronten der Unterrichtsräume bringt naturgemäß das meiste Tageslicht in die Räume, führt unter Umständen in den Sommermonaten aber zu einer starken Aufheizung der Räume, so dass eine im Einzelfall nötige Verringerung des direkten Sonnenlichteinfalls durch Anbau von Sonnenschutzeinrichtungen, wie Markisen, regelbare Lamellenjalousien an der Außenfassade etc., erreicht werden

muss. Ökonomisch und auch bioklimatisch häufig günstiger ist eine Ausrichtung der Fensterfronten nach Westen oder Osten, im Einzelfall bei genügend großen Fenstern sogar auch nach Norden.

**Was kann der Gebäudenutzer aus bautechnischer Sicht selber kontrollieren?**

- **Regelmäßige Kontrolle auf bauliche Schäden (z.B. Risse in den Wänden und Decken, Feuchtigkeitsschäden, Schimmelpilzbefall) vornehmen.**
- **Festgestellte Baumängel möglichst rasch beseitigen.**
- **Eine regelmäßige Kontrolle verbunden mit der Durchführung kleiner Reparaturen ist einer späteren teuren Sanierung vorzuziehen.**

Für die beleuchtungstechnische Ausstattung der Räume gilt DIN 5035 Teil 4 „Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht – Spezielle Empfehlungen für die Beleuchtung von Unterrichtsräumen“ bzw. analoge Richtlinien für die künstliche Beleuchtung.

### C-2.3 Lüftungstechnik

#### Freie Lüftung:

Die aus Kostengründen bevorzugte Art der Lüftungstechnik ist die sogenannte „freie“ Lüftung, bei der keine Lüftungsanlagen, sondern Fenster zum Lüften verwendet werden.

Wie bereits mehrfach in diesem Leitfaden erwähnt, ist die Fensterlüftung in Schulgebäuden aus verschiedenen Gründen einer mechanischen Belüftung der Räume vorzuziehen. Diese Bevorzugung freier Lüftung stellt häufig einen Kompromiss dar zwischen Aufwand und Erfolg. Klassenräume lassen sich wie Versammlungsräume nicht ganzjährig durch Fensterlüftung so belüften,

dass die gewünschten Grenzen der thermischen Behaglichkeit und der Luftqualität zu jedem Zeitpunkt eingehalten werden können (vgl. Abschnitt C-2.1). Besonders im Winter kann es dazu kommen, dass die in Fensternähe Sitzenden über Kälteempfinden klagen, wenn über die Fenster längere Zeit gelüftet wird. Andererseits muss nach Möglichkeit vermieden werden, dass am Ende der Unterrichtsstunde der hygienische Richtwert für Kohlendioxid von 0,15 Vol.% (= 1500 ppm) (vgl. Abschnitt B-1) überschritten wird, was bei geschlossenen Fenstern häufig der Fall ist. Es ist deshalb auch im Winter unerlässlich, dass während der Pausen eine intensive Stoßlüftung mit weitgeöffneten Fenstern durchgeführt wird.

Bei Warmwetterperioden sollten Oberlichter oder Kippfenster nachts geöffnet bleiben, damit eine bessere Auskühlung der Räume erreicht wird.

Die Beheizung der Räume soll mit Heizkörpern unter den Fenstern erfolgen. Die Heizung sollte die Transmissionsverluste des Fensters und des Raumes ausgleichen.

**Wie lässt sich die Luftqualität in Schulen durch das Lüftungsverhalten der Nutzer verbessern?**

- **Regelmäßiges Lüften, am besten mit Querlüftung.**
- **Übermäßiges Aufheizen und Auskühlen der Räume vermeiden.**

#### Mechanische Lüftung:

Wenn im Einzelfall eine mechanische bzw. maschinelle Lüftung (künstliche Lüftung) unumgänglich ist, z.B. weil die Lärmbelastigung vor dem Schulgebäude ein Öffnen der Fenster unmöglich macht, sollte die Regelung der Anlagen von den Unterrichtsräumen aus möglich sein. Die den Räumen zugeführte Luft sollte zu 100 % aus Frischluft

ohne Beimengung von „Umluft“ bestehen (unter „Umluft“ wird die aus einem Raum abgesaugte Luft bezeichnet, die nach einer Filtration wieder in die Räume zurückgeführt wird).

Für die richtige Planung und Konstruktion sowie das Betreiben und die Wartung sind die einschlägigen Normen und Richtlinien zu beachten, besonders DIN 1946 Blatt 2 und VDI 6022.

## Teil D: Vorgehensweisen in Beschwerdefällen

Die Aufmerksamkeit für Innenraumprobleme in öffentlichen Gebäuden wie Schulen, Kindergärten und Kindertagesstätten entsteht in der Regel aufgrund von Gesundheitsbeschwerden.

In den meisten Fällen werden von den Betroffenen als Ansprechpartner zunächst die Einrichtungen des öffentlichen Gesundheitsdienstes, vor allem die Gesundheitsämter, bemüht. In einigen Fällen werden zuvor bereits private Anbieter (Umweltlabore und Ingenieurbüros) eingeschaltet, was bei nicht sachgerecht erfolgten Bestandsaufnahmen und Analysen solcher Institutionen manchmal zu vorschnellen und wenig sachgerechten Vorschlägen führt.

### D-1 Grundsätzliche Vorgehensweisen

Im folgenden werden beispielhaft in Schulen aufgetretene Beschwerdefälle geschildert sowie Art und Abfolge der vorgenommenen Handlungsweisen dokumentiert. Die Beispiele sind im Sinne eines strukturierten Ablaufes gegliedert, der als allgemeine Vorgehensweise im Beschwerdefall angesehen werden kann.

#### **Wie geht man im Beschwerdefall grundsätzlich vor?**

- 1) Formulierung der Beschwerde.
- 2) Kontaktaufnahme mit den zuständigen örtlichen Behörden und Einbeziehung der Beteiligten.
- 3) Bestandsaufnahme mit Ortsbegehung unter Beteiligung von Gesundheits-/Umweltämtern und Bauämtern, falls erforderlich unter

**Hinzuziehung eines externen Hygienikers; Einsichtnahme in Bauunterlagen.**

- 4) Entscheidung über Erhebungen und gezielte Untersuchungen (Fragebogenaktion, Messungen).
- 5) Bewertung der Untersuchungsergebnisse (methodisch und hygienisch).
- 6) Erarbeitung von Handlungsempfehlungen und Maßnahmen.
- 7) Beurteilung des erreichten Ergebnisses (weitere Nutzung, Akzeptanz).

Dabei kommt es darauf an, dass frühzeitig kompetenter Sachverstand der Gesundheits- und Umweltbehörden hinzugezogen wird und durch Transparenz des Verfahrens die Beteiligten (Träger, Baubehörde etc.) und Betroffenen (z.B. Eltern, Nutzer) Vertrauen gewinnen und die gewählten Schritte und Entscheidungen verstehen und akzeptieren. Dazu zählt auch, die Klagen und Beschwerden ernst zu nehmen, Informationen laufend zur Verfügung zu stellen, die Betroffenen gegebenenfalls in den Entscheidungsprozess einzubinden und darauf zu achten, dass Externe (Messinstitute, Sanierer, Handwerker etc.) Qualitätssicherungsmaßnahmen durchführen (z.B. Mindestanforderungen bei Messungen). Eine Endkontrolle (Erfolgskontrolle) sollte mit allen Beteiligten durchgeführt werden.

### D-2 Fallbeispiele

Die folgenden Beispiele zeigen an einer Reihe von Fällen, die in der schulischen Praxis auftraten, wie zur Lösung der Probleme vorgegangen wurde. Die Beispiele illustrieren in eindrucksvoller Weise, dass es möglich ist, bei verantwortungsbewusstem und kooperativem Denken und Handeln aller Beteiligten Lösungsmöglichkeiten für die aufgetretenen Probleme zu finden.

### **D-2.1 Mineralfasern aus abgehängter Deckenkonstruktion**

#### **Beschwerden:**

Klagen von Schülern und Lehrern über Augenreizungen, Halskratzen, Jucken und Brennen der Haut. Hautbeschwerden besonders im Bereich der Halskragen und Manschetten.

#### **Behördenkontakt:**

Beteiligung des Gesundheitsamtes durch den Schulträger wegen Gesundheitsbeschwerden von Lehrern und Schülern.

#### **Ergebnis der Ortsbegehung:**

Gesamtschulbau (Typ „Kasseler Modell“) mit Flachdach und abgehängter Kassetten-Decke, als Schall- und Wärmedämmung eine Auflage auf den Kassetten aus offenen Mineralwollematten. Bei höheren Windgeschwindigkeiten (> 5 Beaufort) kommt es zu einem Unterdruck (Bernoulli-Effekt) im Deckenbereich, der die Kassetten in Vibration versetzt (Klappern). Fasern aus den Mineralmatten rieseln dann aus den Decken und führen zu einer sichtbaren Staubbelastung im Gebäude (Glitzern im Sonnenlicht/Tyndall-Effekt). Es werden Staubablagerungen auf Tischen und Schränken beobachtet.

#### **Untersuchungen:**

Keine. Da die Mineralfasern bereits ohne Hilfsmittel zu sehen sind, werden durch Fasermessungen keine relevanten Zusatzkenntnisse erwartet.

#### **Bewertung:**

Die sichtbare Faserfreisetzung wird als relevante irritative Belästigung angesehen, die geäußerten Beschwerden erscheinen plausibel.

#### **Empfehlungen:**

Entfernung der offenen Matten und Ersatz durch gekapseltes Material. Regelmäßige Feuchtreinigung der Räume, Verwendung von Staubsaugern mit Feinstaubfiltern.

#### **Maßnahmen und Ergebnis:**

Risikokommunikation mit Lehrern und Elternvertretern und insbesondere Erläuterung der unterschiedlichen hygienischen Bedeutung von Asbest und Mineralfasern. Nach Kapselung der Matten Rückgang der Staub- und Faserbelastung und Rückgang der Beschwerden. Keine weiteren Klagen über gesundheitliche Beschwerden.

### **D-2.2 Deckenleuchtenkondensator**

#### **Anlass:**

In einer Schulklasse kommt es nach Angaben der Lehrkraft während des Unterrichts zu einer Verpuffung in der Deckenleuchte, aus der dann weißer Rauch austritt.

#### **Behördenkontakt:**

Rückfrage beim Gesundheitsamt durch den Schulträger. Der Klassenraum wird sofort geräumt und bleibt bis zum Eintreffen des Gesundheitsingenieurs gesperrt.

#### **Ergebnis der Ortsbegehung:**

Die Deckenleuchte (Leuchtstofflampe, Entladungslampe) weist in der Abdeckschale bräunlich ölige Ablagerungen auf, an einer Stelle ist Öl auf einen darunterstehenden Tisch getropft. Der Vergleich mit Kondensatoren anderer baugleicher Lampen ergibt die Klassifikation CPA 40 und bestätigt den Verdacht, dass ein Fabrikat verwendet wurde, das polychlorierte Biphenyle (PCB) enthält. Auf Nachfrage wird die Zeit zwischen dem Ereignis und der Räumung der Klasse mit weniger als 5 Minuten angegeben. Gesundheitsbeschwerden werden nicht geäußert.

#### **Untersuchungen:**

Eine Innenraumluftmessung am folgenden Tag ergibt eine Raumlufkonzentration von  $700 \mu\text{g}/\text{m}^3$  für die Summe der PCB.

#### **Bewertung:**

Wegen der kurzen Expositionszeit und der gemessenen Raumlufkonzentrationen wird

eine Gesundheitsgefährdung ausgeschlossen.

**Empfehlungen:**

Es wurde bereits bei der ersten Begehung empfohlen, die defekte Deckenleuchte samt Kondensator durch einen Fachbetrieb auszubauen, den kontaminierten Tisch zu entfernen und ordnungsgemäß entsorgen zu lassen. Anschließend sollte das Klassenzimmer mit Detergentien gründlich feucht gereinigt und gelüftet werden. Es wird eine Kontrollmessung nach Abschluss der Arbeiten vereinbart.

**Maßnahmen und Ergebnis:**

Neben der Umsetzung der Empfehlungen werden alle Leuchtstofflampenleuchten in der Schule überprüft und die Kondensatoren ausgewechselt. Eine Nachmessung nach einer Woche ergibt eine Raumluftbelastung von unter  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Die Freigabe des Raumes erfolgt nach Aufklärung der Lehrer und der Elternvertreter der Klasse. Dabei wird u.a. anhand eines detaillierten Rechenmodells erläutert, dass es sich wegen der kurzen Expositionszeit erübrigt, Humanbiomonitoring-Untersuchungen vorzunehmen, die zwischenzeitlich von besorgten Eltern ins Gespräch gebracht wurden. Es gelingt, die Entscheidung überzeugend zu vermitteln.

**D-2.3 Chlornaphthalin in Schulpavillons**

**Beschwerden:**

Von Schulkindern wird über brennende Augen, Hautbrennen, Halskratzen und Kopfschmerzen geklagt.

**Behördenkontakt:**

Rückfrage beim Gesundheitsamt durch den Schulträger (Gemeinde) wegen Geruchsbelästigungen – vermutlich wegen eines Schimmelpilzbefalls nach Durchfeuchtungsschäden in einem Schulkomplex.

**Ergebnis der Ortsbegehung:**

Es handelt sich um einen in den 70er-Jahren errichteten Schulkomplex in Fertigbauweise. Durch undichte Flachdächer war es zu Wasserschäden in den Räumen gekommen. Seit geraumer Zeit treten Geruchsbelästigungen auf, die mit den Durchfeuchtungen in Verbindung gebracht werden. Vom Hygieneinstitut sind bereits Schimmelpilzmessungen in der Raumluft vorgenommen worden. Die festgestellten erhöhten Keimzahlen (Sporen) lieferten keine Erklärung für die Geruchsbelästigung.

**Untersuchungen:**

Raumluftanalysen ergeben ein unauffälliges Muster von üblicherweise in der Raumluft zu findenden flüchtigen organischen Verbindungen (VOC), mit Ausnahme einiger bis dahin nicht beobachteter Verbindungen. Durch weitergehende Analytik werden diese Verbindungen als Chlornaphthaline (CN) in einer Größenordnung bis zu  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  identifiziert. Weitere Messungen ergeben eine deutliche Temperaturabhängigkeit der Konzentrationen mit Messwerten von  $1\text{--}5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  für Naphthalin und  $2\text{--}50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  für Mono- und Dichlornaphthalin. Durch die Probenehmer wird ein „muffiger“ Geruch vermerkt, der bereits bei CN-Raumluftgehalten unter  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wahrnehmbar ist. Untersuchungen von Materialproben identifizieren als Quelle der CN wasserfeste Spanplatten vom Typ V 100 G. Weitere Nachforschungen beim Hersteller ergeben für die Spanplatten die werkseitige Verwendung des Holzschutzmittels Basileum SP 70, das Chlornaphthalin enthält.

**Bewertung:**

Da nur sehr wenige Erkenntnisse zur Inhalationstoxizität von Chlornaphthalinen vorliegen, werden gemeinsam mit dem Bundesgesundheitsamt als sofortiger Eingriffswert  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und wegen der deutlichen Geruchsbelästigung  $10\text{--}20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  als Zielwert festgelegt.

**Empfehlungen:**

Unter innenraumhygienischen Gesichtspunkten wird wegen der Durchfeuchtungsschäden mit nachgewiesenem lokalem Schimmelpilzbefall und der Chlornaphthalingehalte eine umfangreiche Sanierung (Entfernung der V 100 G Spanplatten, Dachsanierung) bzw. ein Neubau empfohlen.

**Maßnahmen und Ergebnis:**

Gemeinderat, Lehrer und Eltern werden in öffentlichen Informationsveranstaltungen vom Gesundheitsamt gemeinsam mit den Fachämtern (Hygieneinstitut, Untersuchungsstelle für Umwelttoxikologie) über die Sachlage informiert. Die Gemeinde entschließt sich wegen des Alters des Gebäudes (bei Errichtung geplante Nutzungszeit 20 Jahre) und der hohen Kosten einer Sanierung zum Abbruch der Schule und errichtet einen Neubau in Massivbauweise.

**D-2.4 Unbehagliches Raumklima in einem Schulzentrum**

**Beschwerden:**

In einem 1978 erbauten Schulzentrum mit integriertem Hallenbad und mechanischer Belüftungsanlage klagen Lehrer und Schüler über Geruchsbelästigungen, Kopfschmerzen, übermäßige Müdigkeit, Konzentrationsschwäche sowie Augen- und Schleimhautreizungen.

**Ergebnis der Ortsbegehung:**

Auf Veranlassung des vom Schulträger eingeschalteten Amtsarztes findet eine Besichtigung des Schulgebäudes durch den Amtsarzt, die betroffenen Lehrer, Vertreter der Baubehörde, einen Analytiker und einen Toxikologen statt. Hierbei fallen unangenehme (Hallenbadauswirkungen?, Schimmelpilzausscheidungen?), saure (Essigsäure?) Gerüche auf. Das Raumklima ist unbehaglich, was nicht zuletzt auf mangelhafte Beleuchtung zurückzuführen ist. Die Raumluft erscheint „stickig“ und trocken. An

einigen Stellen des vorhandenen Nadelfilzfußbodens fallen Wasserflecke auf. Die Decken sind z.T. abgehängt bzw. mit Holz veräfelt.

**Untersuchungen:**

Der Fußbodenbelag, einschließlich Unterbau, wird auf flüchtige organische Säuren analysiert. Die Raumluft in mehreren ausgewählten Räumen wird auf Formaldehyd, VOC und MVOC analysiert. Wegen der vorhandenen abgehängten Decken und Holzverkleidungen wird die Raumluft auch auf das Vorkommen von Mineralfasern, Pentachlorphenol und polychlorierten Biphenylen untersucht. Weiterhin werden Luftwechsellzahl und relative Luftfeuchtigkeit bestimmt. Die Messungen ergeben u.a. für Chloroform im Übergangsbereich vom Hallenbad zum Schulzentrum geringfügig erhöhte Raumluftkonzentrationen, die auf Sekundärreaktionen der Wasserchlorung zurückzuführen sind. Im Nadelfilzboden werden Essigsäurekonzentrationen von 100–200 mg/kg gemessen. Für Formaldehyd zeigen sich bei Wiederholungsmessungen sehr starke Schwankungen der gemessenen Raumluftkonzentrationen. Die gemessenen MVOC-Konzentrationen sind im Vergleich zu parallel erfolgten Außenluftmessungen z.T. erhöht und deuten auf eventuell vorhandene Schimmelbildung hin. Alle übrigen Messungen zeigen keine auffälligen Ergebnisse.

**Bewertung:**

Verursacht durch Fehler an der technischen Belüftungsanlage wurde in einigen Räumen eine Luftwechsellzahl von nur 0,1/h gemessen. Außerdem lag die relative Luftfeuchtigkeit viel zu niedrig.

Vor allem diese raumklimatischen Verhältnisse werden neben geringen zusätzlichen Raumluftbelastungen mit leichtflüchtigen Halogenkohlenwasserstoffen, Essigsäure und Schimmelpilzausscheidungsprodukten für die Gesundheitsbeschwerden verantwortlich gemacht. Unbehagliche Lichtverhältnisse tun ein übriges, um das „Wohlbe-



finden“ der Personen beim Aufenthalt in den Räumen negativ zu beeinflussen.

**Empfehlungen:**

Es wird empfohlen, die mit Essigsäure > 100 mg/kg kontaminierten Teppichfilze auszutauschen. Weiterhin sollten formaldehydhaltige Möbelstücke entfernt werden. Das Hallenbad sollte mit Hilfe einer Luftschleuse sicher zum Schulzentrum hin abgetrennt werden. Mit Schimmelpilz befallene Materialien sollten entfernt werden. Die Belüftungsanlage sollte eine Luftwechselzahl

in allen Räumen von etwa 1/h ermöglichen. Als notwendig wurde auch eine bessere Ausleuchtung der Räume angesehen.

**Maßnahmen und Ergebnis:**

Ausbau der beanstandeten Bau- und Ausstattungsmaterialien. Die Regulierung des Luftaustausches der vorhandenen mechanischen Belüftungsanlage zusammen mit der Verbesserung der Raumausleuchtung führt zur einer Besserung des Raumklimas. Die Beschwerden der Raumnutzer gehen deutlich zurück.

## Teil E: Sanierungsrichtlinien und -verfahren

Im folgenden werden die Sanierungsrichtlinien behandelt, die bislang von der Projektgruppe Schadstoffe der Fachkommission Baunormung der Arbeitsgemeinschaft der für das Bau-, Wohnungs- und Siedlungswesen zuständigen Minister der Länder (ARGEBAU) erarbeitet wurden. Die Richtlinien gelten generell für Gebäude, sind also auch auf Schulen anwendbar.

### E-1 Asbest

Von der Projektgruppe der ARGEBAU wurden im Mai 1989 die „Richtlinien für die Bewertung und Sanierung schwach gebundener Asbestprodukte in Gebäuden (Asbest-Richtlinien)“ vorgestellt. Diese Richtlinien wurden in den Bundesländern als technische Baubestimmungen bauaufsichtlich eingeführt bzw. bekanntgemacht.

In dieser Liste werden unter anderem je nach Art des Asbestproduktes, dem baulichen Zustand, der Zugänglichkeit zum Produkt, der Art und der Häufigkeit der Nutzung des Raumes durch den betroffenen Personenkreis verschiedene Bewertungszahlen ermittelt. Die Summe der Bewertungszahlen zeigt dann, ob eine Sanierung unverzüglich erforderlich, mittelfristig erforderlich oder langfristig erforderlich ist. In Einzelfällen kann auch eine Raumluftmessung erforderlich sein. Nach Abschluss einer Sanierung sind zur Erfolgskontrolle entsprechend der Asbestrichtlinie Messungen der Konzentration von Asbestfasern in der Raumluft vorzunehmen. Nach erfolgreicher Sanierung soll die Asbestkonzentration unter 500 Fasern/m<sup>3</sup> Luft liegen.

Für die meisten in Frage kommenden Schulgebäude, die in den 60er- und 70er-Jahren

errichtet wurden, dürften diese Bewertung anhand der Asbestrichtlinie inzwischen abgeschlossen und entsprechende Sanierungsmaßnahmen durchgeführt sein.

Im folgenden werden die Grundsätze einer Asbest-Sanierung zusammengefasst (auszugsweises Zitat aus den Asbest-Richtlinien):

- *„Sanierungsmaßnahmen müssen als in sich geschlossenes Konzept vom Beginn der Arbeiten bis zur Entsorgung der Abfälle entsprechend den geltenden Regelungen geplant werden.*
- *Es sind nur Firmen zu beauftragen, die mit den Arbeiten, den dabei auftretenden Gefahren und den erforderlichen Schutzmaßnahmen vertraut sind und über die erforderlichen Geräte und Ausrüstungen verfügen.*
- *Schutzmaßnahmen während der Sanierung sind stets erforderlich.“*

Für die Sanierungen sind die Bauämter zuständig, die die nach Punkt 2 kompetenten Firmen heranziehen.

### E-2 Polychlorierte Biphenyle

Nachdem das Problem der Kontamination von Gebäuden mit PCB bekannt geworden war (vgl. Abschnitt B-4), wurde von der Projektgruppe Schadstoffe die „Richtlinie für die Bewertung und Sanierung PCB-belasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden (PCB-Richtlinie)“ erarbeitet. Diese Richtlinie gibt eine gesundheitliche Bewertung, nennt Sanierungsverfahren sowie gültige Arbeitsschutzbestimmungen und enthält eine Übersicht über einschlägige Gesetze und Verordnungen zur Entsorgung PCB-belasteter Produkte. Außerdem werden Empfehlungen für die analytische Bestimmung der PCB in der Raumlufte ausgesprochen. Die Richtlinie wurde in den Mitteilungen des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt 2

(1995) S. 50–59) publiziert. Sie ist in die „Musterliste der Technischen Baubestimmungen“ aufgenommen, von den meisten Ländern bauaufsichtlich eingeführt worden (vgl. Tabelle 6) und damit baurechtlich verbindlich zu beachten.

Voraussetzung für eine sachgerechte Sanierung ist es, die Maßnahmen als ein in sich geschlossenes Konzept vom Beginn der Arbeiten bis zur Entsorgung der Abfälle zu planen und nur solche Firmen damit zu beauftragen, die mit den entsprechenden Problemen und möglicherweise auftretenden Gefahren vertraut sind und über die erforderlichen Geräte und Ausrüstungen verfügen. Die Sanierungsarbeiten müssen möglichst staubarm durchgeführt werden. Am Anfang einer dauerhaften Sanierung steht in der Regel die Entfernung der Primärquellen. Als vorübergehende Maßnahme kann in Einzelfällen auch eine räumliche Trennung des PCB-belasteten Gebäudebereiches durch feste Bauteile (Zwischenwände etc.) von unbelasteten Bereichen sinnvoll sein. Kann durch diese Maßnahmen nicht bereits die Innenraumluftkonzentration auf die in der Legende zu Tabelle 6 genannten Zielwerte abgesenkt werden, so ist darüber hinaus die Sanierung von Sekundärquellen erforderlich. Die häufig großflächigen Sekundärquellen (z.B. Wände und Decken) können abgetragen oder auch räumlich abgetrennt oder beschichtet werden.

Nach einer Sanierung sollte die PCB-Konzentration in der Raumluft im Jahresmittel 300 ng/m<sup>3</sup> Luft nicht überschreiten (vgl. Abschnitt B-4). Da die PCB-Konzentration in der Raumluft von jahreszeitlichen Temperaturschwankungen abhängt, ist eine Einzelmessung nicht unbedingt für den Jahresmittelwert repräsentativ. Informationen über eine geeignete Messstrategie für die Bestimmung von PCB in der Innenraumluft enthält die VDI-Richtlinie 4300 Blatt 2 vom Dezember 1997.

### E-3 Pentachlorphenol

Von der Projektgruppe Schadstoffe der AR-GEBAU wurde eine Richtlinie für die Bewertung und Sanierung „PCP“-belasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden („PCP“-Richtlinie) als technische Regel erarbeitet. Die Richtlinie wurde in den Mitteilungen des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBT 2 (1997) S. 6–15) veröffentlicht. Auch die PCP-Richtlinie wurde mittlerweile in einigen Ländern in das Baurecht übernommen (Baden-Württemberg, Bayern, Berlin, Nordrhein-Westfalen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein).

Das in der Richtlinie angegebene Ablaufschema zur Ermittlung der Sanierungsnotwendigkeit sieht vor, dass zuerst ermittelt wird, ob Holzschutzmittel in Baustoffen und Bauteilen der fraglichen Gebäude angewen-

**Tabelle 6: Stand der Einführung der PCB-Richtlinie als Technische Baubestimmung in den Bundesländern**

Sachstand	Bundesland
Baurechtlich eingeführt	Berlin <sup>1)</sup> , Baden-Württemberg, Bayern, Brandenburg, Bremen, Nordrhein-Westfalen <sup>2)</sup> , Niedersachsen, Rheinland-Pfalz, Saarland, Sachsen, Schleswig-Holstein, Thüringen <sup>3)</sup>
Baurechtlich nicht eingeführt	Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen-Anhalt
Gesonderte Verwaltungsvorschrift	Hessen

<sup>1)</sup> Zielwert (Turnhallen): 1 µg/m<sup>3</sup>; <sup>2)</sup> eigene PCB-Richtlinie; <sup>3)</sup> Interventionswert (Schulen): 10 µg/m<sup>3</sup>, Zielwert: 0,5 µg/m<sup>3</sup>

det wurden oder ob gegebenenfalls nach anderen PCP-Quellen zu suchen ist. Als Sanierungsmaßnahmen kommen sowohl eine Entfernung des behandelten Materials als auch Maßnahmen wie Beschichten und Bekleiden oder eine räumliche Trennung behandelter Bauteile in Frage. Die für die Entsorgung von PCP-haltigen Materialien geltenden gesetzlichen Bestimmungen sind in der Richtlinie aufgeführt.

Aus Gründen der gesundheitlichen Vorsorge sollte im Sanierungsfall als langfristiges Ziel ein Raumluftwert von  $< 0,1 \mu\text{g PCP}/\text{m}^3$  Raumlufte angestrebt werden. Der Sanierungserfolg sollte durch eine Bestimmung des PCP-Gehaltes der Raumlufte nach den VDI-Richtlinien 4300 Blatt 4 und 4301 Blatt 2 belegt werden.

In Holzschutzmitteln lag PCP in der Regel mit dem Insektizid Lindan in einem Mengenverhältnis PCP: Lindan von etwa 10:1 vor (vgl. Abschnitt B-4). Nach Bewertung des Bundesinstituts für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin (BgVV) kann bei Einhaltung eines Raumluftwertes von  $1 \mu\text{g Lindan}/\text{m}^3$  Luft eine gesundheitliche Beeinträchtigung mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden. Raumluftwerte von  $1 \mu\text{g Lindan}/\text{m}^3$  Luft und darüber werden nach Holzschutzmittelanwendungen nur erreicht, wenn auch die PCP-Belastungen deutlich über  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  liegen. Die dann nötige PCP-bedingte Sanierung setzt auch die Lindan-Konzentration weit genug herab.

## Anhang 1

### Presse-Info Nr. 21/99

#### Reinigung in Schulgebäuden nicht vernachlässigen

*Die Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes, der Wissenschaftler von Universitäten und Behörden des Bundes und der Länder angehören, beobachtet mit Sorge die teilweise katastrophalen hygienischen Zustände in Schulen in Deutschland. Hygienisch-mikrobiologische Untersuchungen aus jüngster Zeit weisen auf erhebliche Defizite hin. Wegen des immer enger werdenden finanziellen Spielraumes der Kommunen werden Reinigungsmaßnahmen in Schulen an vielen Stellen auf ein nicht mehr akzeptables Minimum verringert. In einigen Fällen ist besonders der Sanitärbereich betroffen. Dies ist um so bedenklicher, als die Erfahrung zeigt, dass eine Vernachlässigung der Sauberkeit in diesem Bereich auch das Hygienebewusstsein der Schüler nachhaltig negativ beeinflusst. Aus Gründen der gesundheitlichen Vorsorge sollte aber gerade bei den Reinigungsmaßnahmen nicht gespart werden.*

Der vollständige Text der Stellungnahme der Kommission Innenraumlufthygiene des Umweltbundesamtes lautet wie folgt:

Die Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes beobachtet mit Sorge, dass in Schulen teilweise katastrophale hygienische Zustände anzutreffen sind. Aufgrund des zunehmend enger werdenden finanziellen Spielraumes der Kommunen werden Reinigungsmaßnahmen in Schulen an vielen Stellen auf ein nicht mehr akzeptables Minimum reduziert. Der den Schulen gebotene Anreiz, an der Reinigung eingesparte Haushaltsmittel ganz oder teilweise zur Aufstockung der Gelder für Unterrichtszwecke zu verwenden, trägt überdies dazu bei, dass die in ihrer Bedeutung unter-

schätzte Reinigung hintangestellt wird. In einigen Fällen ist besonders der Sanitärbereich betroffen. Dies ist umso bedenklicher, als die Erfahrung zeigt, dass eine Vernachlässigung der Sauberkeit in diesem Bereich auch das Hygienebewusstsein der Schüler nachhaltig negativ beeinflusst.

Hygienisch-mikrobiologische Untersuchungen aus jüngster Zeit weisen auf erhebliche Defizite bei der Durchführung der Reinigung hin. Es ist zu befürchten, dass sich dies insgesamt nachteilig auf den Gesundheitszustand der Schüler auswirken wird. Aus Gründen der gesundheitlichen Vorsorge sollte gerade an Reinigungsmaßnahmen nicht gespart werden. Es muss auch bedacht werden, dass mangelhafte Reinigung unter Umständen einen Schädlingsbefall nach sich ziehen kann, der dann wieder mit hochwirksamen Bioziden bekämpft werden muss. Diese wiederum können wegen ihrer Toxizität auch nachteilige Wirkungen auf die menschliche Gesundheit haben.

Die Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes weist auf die aus hygienischer Sicht problematische Situation in vielen Schulgebäuden hin. Sie fordert alle Verantwortlichen auf, für angemessene Voraussetzungen in Schulen zu sorgen. Dies bezieht sich auf die Ausstattung des Gebäudes, die Situation während des Schulbetriebes und erzieherische Aspekte.

- Fußbodenbeläge in Schul- und Klassenräumen sollten aus einfach zu reinigenden Materialien bestehen; kritische Bereiche (Sanitärbereiche) sollten mit wischfesten Wand- und Bodenmaterialien ausgestattet sein. Diese sind regelmäßig auf vorhandene Beschädigungen zu kontrollieren und instand zu halten. Der Sanitärbereich sollte mit Waschbecken mit fließend kaltem und warmem Wasser, Seifen- und Handtuchspendern ausgestattet sein.

- Gründliche tägliche Reinigungsmaßnahmen gehören in Schulen aufgrund der hohen Belegungsdichte zu den hygienischen Grundvoraussetzungen. Feuchtes Wischen mit Wasser unter Zusatz von Spülmittel bietet die beste Möglichkeit, die vielfältig eingetragenen Verunreinigungen zu beseitigen. Besonders für Sanitärräume ist eine tägliche Reinigung unverzichtbar. Aus infektionsprophylaktischen Gründen ist eine desinfizierende Reinigung nicht notwendig. Allerdings kann eine solche Maßnahme bei besonderem Bedarf (zum Beispiel Verschmutzung mit Fäkalien, Blut oder Erbrochenem) erforderlich sein<sup>\*)</sup>. In einem speziellen Hygienplan sollte festgelegt werden, wer zu reinigen hat, wann, wie, wie oft, in welchen Bereichen und womit (Mittel und Verfahren) zu reinigen bzw. in Sonderfällen zu desinfizieren ist.
- Die Schülerinnen und Schüler sollten im Sinne der Gesundheitsförderung und -erziehung in regelmäßigen Abständen über die Notwendigkeit hygienischer Maßnahmen und hygienischen Verhaltens unterrichtet werden.

Berlin, den 28.08.1999

---

<sup>\*)</sup> Weitere Informationen hierzu stehen bei den Gesundheitsämtern und bei der Geschäftsstelle der Desinfektionsmittelkommission der Deutschen Gesellschaft für Hygiene und Mikrobiologie (DGHM), Bonn zur Verfügung (Telefon und Fax: 02 28/2 87 40 22; e-Mail: [gebel@mail.meb.uni-bonn.de](mailto:gebel@mail.meb.uni-bonn.de); Internet: <http://www.hygiene.uni-heidelberg.de/dghm/komm.html>).

## Anhang 2

### Reinigungsplan in Schulen

Objekt:

Erstellt:

Was	Wann	Wie	Womit	Wer
Fußboden	nach Anweisung	Mit dem Besen kehren, je nach Verunreinigung feucht wischen	Besen	Reinigungspersonal
Fußboden, Flure	täglich	Feuchtwischen mit Fahreimer, Boden reinigen und lüften	Reinigungslösung	Reinigungspersonal
Fußboden, Klassenzimmer	täglich	Feuchtwischen mit Fahreimer, Boden reinigen und lüften	Reinigungslösung	Reinigungspersonal
Tische, Kontaktflächen	täglich – sowie bei Verunreinigung	feucht abwischen mit Reinigungstüchern ggf. nachtrocknen	warmes Wasser ggf. mit Tensidlösung (ohne Duft- und Farbstoff)	Reinigungspersonal
WC	täglich – erst nach Reinigung der Klassenräume	Wischen und Nachspülen mit gesonderten Reinigungstüchern für Kontaktflächen und Aufnehmer für Fußboden	Reinigungslösung	Reinigungspersonal
Fenster	nach Anweisung	Einsprühen mit sauberem Tuch trocken reiben	Reinigungslösung	Reinigungspersonal
Handlauf, Türklinken Kontaktflächen	nach Anweisung und bei sichtbarer Verschmutzung	Abwischen	Reinigungslösung	Reinigungspersonal
Reinigungsgeräte Reinigungstücher und Wischbezüge	1× wöchentlich arbeitstäglich	Reinigen Reinigungstücher und Wischbezüge nach Gebrauch waschen und trocknen	möglichst in Waschmaschine bei mindestens 60 °C mit Vollwaschmittel und anschließender Trocknung (Wäschetrockner)	Reinigungspersonal Reinigungspersonal
Hände	vor Dienstbeginn, nach Toilettenbesuch bei Bedarf	Hände waschen	Seifenlösung	Reinigungspersonal
Flächen aller Art	bei Verunreinigungen mit Blut, Stuhl (Kot), Erbrochenem	– Einmalhandschuhe tragen – Wischen mit Desinfektionsmittel- getränktem Einmal- wischtuch – Nachreinigen – gesonderte Entsorgung von Reinigungstüchern und Handschuhen verschlossenem Plastiksack	Desinfektionsmittel nach Desinfektions- mittel-Liste der DGHM	geschultes Reinigungspersonal oder Hausmeister

- Ausreichende Ausstattung mit Reinigungstüchern und Aufnehmern
- Fahreimer oder Eimersysteme
- Waschmaschine und Wäschetrockner
- Handschuhe und Einmal-Wischtücher (Desinfektionsmittel-getränkt)
- Desinfektionsmittel nach DGHM-Liste





## Anhang 3

### Regeln für Sicherheit und Gesundheitsschutz beim Umgang mit Gefahrstoffen im Unterricht

Ausgabe Januar 1998

Inhalt	
<b>Vorbemerkung</b>	<p><b>1 Anwendungsbereich</b></p> <p><b>2 Begriffsbestimmungen</b></p> <p><b>3 Pflichten des Schulleiters und der Lehrer</b></p> <p>3.1 Allgemeine Schutzpflicht</p> <p>3.2 Ermittlungspflicht</p> <p><b>4 Überwachungspflicht</b></p> <p><b>5 Rangfolge der Schutzmaßnahmen</b></p> <p><b>6 Allgemeine Betriebsbestimmungen für den Unterricht</b></p> <p>6.1 Betriebsanweisung und Unterweisung</p> <p>6.2 Hygienische Maßnahmen</p> <p>6.3 Kennzeichnung, Aufbewahrung und Lagerung</p> <p>6.4 Allgemeine Verwendungs- und Expositionsverbote für Lehrer, Schüler und sonstige Beschäftigte</p> <p>6.5 Umgangsbeschränkung für Schüler</p> <p>6.6 Besondere Vorschriften für gebärfähige Frauen, werdende oder stillende Mütter</p> <p>6.7 Vorsorgeuntersuchungen</p> <p><b>7 Druckgasflaschen und Gasanlagen</b></p> <p><b>8 Umgang mit explosionsgefährlichen Stoffen und Zubereitungen</b></p> <p><b>9 Persönliche Schutzausrüstung</b></p> <p>9.1 Handschutz</p> <p>9.2 Augenschutz</p> <p><b>10 Entsorgung</b></p> <p><b>11 Erste Hilfe</b></p> <p><b>12 Zeitpunkt der Anwendung</b></p>
<b>Anhang 1</b>	Gefahrstoffliste
<b>Anhang 2</b>	Kennzeichnung, Entsorgungsratschläge
<b>Anhang 3</b>	Entsorgung von Gefahrstoffabfällen in Schulen
<b>Anhang 4</b>	Musterbetriebsanweisungen
<b>Anhang 5</b>	Herstellungs- und Verwendungsverbote nach § 15 und Anhang IV GefStoffV
<b>Anhang 6</b>	Verordnung zum Schutze der Mütter am Arbeitsplatz
<b>Anhang 7</b>	Literaturangaben
<b>Anhang 8</b>	Stichwortverzeichnis

**Allgemeine Betriebsanweisung für Schüler  
zum Umgang mit Gefahrstoffen  
im naturwissenschaftlichen Unterricht**

**Musterbetriebsanweisungen**

<p><b>1. Geltungsbereich</b></p>	<p>Die Betriebsanweisung gilt für Schüler, die im Rahmen von unterrichtlichen Veranstaltungen mit gefährlichen Stoffen oder Zubereitungen umgehen.</p>
<p><b>2. Gefahren für Mensch und Umwelt</b></p>	<p>Gefahrstoffe sind im Chemikaliengesetz definiert. Sie werden nach Gefährlichkeitsmerkmalen eingestuft. Das Gefährdungspotential der einzelnen Stoffe ist durch Gefahrenbezeichnungen und Gefahrensymbole erkennbar (siehe Anhang).</p> <p>Für Gefahrstoffe gibt es Hinweise auf die besonderen Gefahren: R-Sätze (R=Risiko) und S-Sätze (S=Sicherheit, Sicherheitsratschläge).</p> <p>Eine Liste aller R- und S-Sätze befindet sich im Anhang.</p> <p>Für die einzelnen Gefahrstoffe findet man die R- bzw. S-Sätze u.a.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ auf den Etiketten der Chemikalienbehälter</li> <li>◆ auf der Wandtafel mit einer Auswahl von Gefahrstoffen.</li> </ul>
<p><b>3. Schutzmaßnahmen Verhaltensregeln</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●● Fachräume nur bei Anwesenheit des Lehrers betreten.</li> <li>●● Fluchtweg im Brandfall oder bei einem Unfall kennen.</li> <li>●● Aufbewahrungsort und Bedienung der Geräte zur Brandbekämpfung. (Feuerlöscher, Löschdecke, Löschsand) kennen.</li> <li>●● Lage und Betätigung des elektrischen Not-Aus-Schalters kennen.</li> <li>●● Offene Gashähne, Gasgeruch, beschädigte Steckdosen und Geräte oder andere Gefahrenstellen dem Lehrer sofort melden.</li> <li>●● Geräte, Chemikalien, Schaltungen nicht ohne Aufforderung durch den Fachlehrer berühren.</li> <li>●● Elektrische Energie, Gas nur nach Aufforderung durch den Fachlehrer einschalten.</li> <li>●● Lage und Inhalt des Verbandskastens kennen.</li> <li>●● Standort des nächsten Telefons und Notruf-Nummern kennen.</li> </ul> <p><b>Feuer/Unfall: Notruf 112</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●● Versuche, bei denen giftige, gesundheitsschädliche, ätzende, reizende Gase, Dämpfe, Nebel oder Rauch auftreten, nach Anweisung des Lehrers durchführen.</li> <li>●● Pipettieren mit dem Mund ist verboten: Pipettierhilfe verwenden.</li> <li>●● Schutzbrille nach Anweisung des Lehrers tragen.</li> <li>●● In Experimentierräumen nicht essen, trinken, rauchen, schminken oder schnupfen.</li> </ul>

<p><b>4. Arbeiten mit Gefahrstoffen</b></p>	<p><b>4.1 Vorbereitung der Experimente:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Vor dem Versuch Arbeitsanweisung sorgfältig durchlesen und beachten.</li> <li>◆ Benötigte Geräte und Chemikalien entsprechend vorbereiten, z.B. Versuchsausrüstung standsicher aufbauen.</li> <li>◆ Gefahrensymbole kennen. R- und S-Sätze nachlesen.</li> <li>◆ Brenner und Vorratsflaschen nicht an die Tischkante stellen. Glasgeräte vor dem Herunterrollen sichern.</li> </ul> <p><b>4.2 Durchführung der Experimente:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Bei Unklarheiten den Lehrer fragen.</li> <li>◆ Mit möglichst kleinen Stoffportionen arbeiten. (Minimierung der Gefahren, der Umweltbelastung, der Kosten).</li> <li>◆ Flüssigkeiten nicht etikettenseitig ausgießen.</li> <li>◆ Geruchsprobe nur unter Zufächeln vornehmen.</li> <li>◆ Haare und Kleidung vor Berührung mit der Brennerflamme schützen.</li> <li>◆ Beim Erhitzen von Flüssigkeiten im Reagenzglas ständig schütteln: Füllhöhe beachten: Öffnung nicht auf Personen richten.</li> <li>◆ Chemikaliengefäße sofort wieder verschließen.</li> <li>◆ Leicht entzündliche Stoffe nicht in der Nähe von offenen Flammen handhaben.</li> </ul>
	<p><b>4.3 Nachbereitung der Experimente:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Entnommene Chemikalien nicht in die Gefäße zurückgeben, sondern sachgerecht entsorgen.</li> <li>◆ Feste Gegenstände wie Filterpapier, Glassplitter, feste ungiftige Chemikalienreste in den Abfalleimer geben, nicht in den Ausguss! Glassplitter werden gesondert gesammelt.</li> <li>◆ Reaktionsprodukte nach Anweisung des Lehrers entsorgen.</li> <li>◆ Gebrauchte Gefäße sorgfältig spülen und mit demineralisiertem Wasser nachspülen</li> <li>◆ Prüfen, ob Gas- und Wasserhähne geschlossen sind.</li> <li>◆ Arbeitsplatz aufräumen, Tischplatte sauber abwischen, Hände waschen.</li> </ul>
<p><b>5. Verhalten in Gefahrensituationen</b></p>	<p>Beim Auftreten gefährlicher Situationen nach Rettungsplan handeln, z.B. folgendes beachten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>☞ Versuchsanordnungen sichern: ggf. Not-Aus-Schalter betätigen: Gas, Strom und ggf. Wasser abschalten (Kühlwasser muss weiterlaufen).</li> <li>☞ Entstehungsbrand mit Eigenmitteln löschen (Feuerlöscher, Löschdecke, Sand): dabei auf eigene Sicherheit achten: Feuerwehr rechtzeitig informieren.</li> </ul>
<p><b>6. Erste-Hilfe</b></p>	<p>Erste-Hilfe, Ersthelfer benachrichtigen  <b>ERSTHELFER:</b> _____          (Name, wo erreichbar)</p> <p>Bei allen Hilfeleistungen auf die eigene Sicherheit achten</p> <p>So schnell wie möglich NOTRUF tätigen</p> <p>Personen aus dem Gefahrenbereich bergen und an die frische Luft bringen</p> <p>Kleiderbrände löschen</p> <p>Bei Augenverätzungen mit weichem Wasserstrahl 10 Minuten spülen (Handbrause)</p> <p>Verbandkasten:                      Raum-Nr.: _____</p> <p>Erste-Hilfe-Raum:                      Raum-Nr.: _____</p> <p style="text-align: center;"><b>Feuer/Unfall: Notruf: 112</b></p>



## Anhang 4

### Stichwortverzeichnis

Actinomyceten, .....	35	Gebäudeklima:	
Akustikdecken-		– raumklimatische	
platten, .....	50	Anforderungen, .....	44
Aldehyde .....	8, 21	– bautechnische	
Alkane, .....	19	Anforderungen, .....	45
Alkohole, .....	20	Halogenierte organische	
Alkoholmissbrauch, .....	4	Verbindungen, .....	21
Allergene:		Holzschutz:	
– biogene, .....	35	– chemischer, .....	39
– natürliche, .....	33	Holzschutzmittel, .....	25, 39
Allgemeine hygienische		Holzwerkstoffe,	
Anforderungen, .....	7	– werkstoffplatten, .....	39
Anorganische Gase, .....	17	Innenraumluf-Richtwerte, .....	5, 6
Aromaten, .....	20	Keimeintrag, .....	33, 34
Asbest, .....	30, 32, 54	Keimkonzentration, .....	34
Aspergillose, .....	33	Ketone, .....	21
Bakterien, .....	34, 35	Kleiderablagen, .....	7
Baumaßnahmen, .....	11, 38, 40	Kohlendioxid, .....	17, 18
Beleuchtung, .....	10	Kohlenmonoxid, .....	18
Beschwerdefälle, .....	49	Kondensatoren, .....	50
Bodenbeläge:		Kopiergeräte, .....	15
– textile, .....	43	Künstliche Mineralfasern (KMF), ..	31, 32
– wischbare, .....	42	Laborräume, .....	14, 15
Bodenbelagsklebstoffe, .....	42	Lacke, .....	11, 40
Chlornaphthaline, .....	26, 51, 28	Lehrküchen, .....	14, 15
Computer (PC), .....	15	Lindan, .....	25, 28
DDT, .....	39	Luftgrenzwerte, .....	5
Deckenleuchten, .....	50	Lüftung:	
Dispersionsfarben, .....	41	– mechanische, .....	47
Drogenmissbrauch, .....	4	– natürliche, .....	7
Drucker, .....	15	Lüftungsanforderungen, .....	9, 47
Ester, .....	21	Lüftungstechnik, .....	47
Faserfreisetzung, .....	31	Luftwechsel:	
Faserstäube, .....	30	– freier, .....	10
Fensterlose Räume, .....	46	– natürlicher, .....	10
Fensterlüftung, .....	4, 7, 9, 10	Luftwechselzahl, .....	10
Flächendesinfektion, .....	8	Materialauswahl .....	12
Flüchtige organische		Maximale Arbeitsplatzkonzentration	
Verbindungen (VOC), .....	19, 22	(MAK), .....	5
Formaldehyd, .....	23	Mikrobiell erzeugte flüchtige	
Fugendichtungs-		organische Verbindungen	
massen, .....	25	(MVOC), .....	22
Fußböden, .....	12	Mikroorganismen, .....	22, 33

## Anhang 4, Stichwortverzeichnis

---

Olefine, .....	20	Richtwertvorschläge, .....	5
Ozon, .....	18	Rohbau, .....	38
Ozonabsorber, .....	18	Sanierungsrichtlinien:	
Pausenhöfe, .....	7	– Asbest, .....	54
Pavillonbauten, .....	51	– Pentachlorphenol, .....	55
Pentachlorphenol (PCP), .. 39, 25, 27, 55		– Polychlorierte Biphenyle, ....	54
Pettenkoferzahl, .....	17	Schimmelpilze, .....	33, 34
Physiologische Anforderungen, .. 44, 45		Schulbestand, .....	2
Polychlorierte		Schwebstaub, .....	29
Biphenyle (PCB), .....	24, 26, 54	Schwefelhaltige organische	
Polycyclische aromatische		Verbindungen, .....	21
Kohlenwasserstoffe (PAK), .....	26, 28	Schwerflüchtige organische	
Quer(strom)lüftung, .....	47	Verbindungen (SVOC), .....	24
Radon, .....	36	Sonnenlichteinstrahlung, .....	46
Raumakustik, .....	7	Sonnenschutz, .....	45
Raumausstattung, .....	43	Staub, .....	29
Raumklima, .....	44, 52	Stickstoffhaltige organische	
Raumlufttechnische Anlagen		Verbindungen, .....	21
(RLT-Anlagen), .....	4, 9, 10	Stickstoffoxide, .....	18
Reinigung von:		Stoßlüftung, .....	47
– Fluren und		Strahlenbelastungen, .....	36, 37
Treppenhausbereichen, .....	8	Tabakrauch, .....	4
– Klassenzimmern/		Technische Richtkonzentration	
Unterrichtsräumen, .....	9	(TRK), .....	5
– Lehrküchen, .....	9	Terpene, .....	20
– Sanitärbereiche, .....	9	Total Volatile Organic	
Reinigungsplan, .....	59	Compounds (TVOC), .....	6, 22
Reinigungsmaßnahmen, .....	8	Umwelt(güte)zeichen, .....	11
Renovierungsmaßnahmen, .....	11	Wärmeproduktion, .....	44
Richtwert I (RW I), .....	5	Waschbecken, .....	7
Richtwert II (RW II), .....	5	Werkstätten, .....	13, 15



