

LEITFADEN FÜR DIE INNENRAUMHYGIENE IN SCHULGEBÄUDEN



Impressum

Herausgeber und Redaktion:

Umweltbundesamt

Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes

Wörlitzer Platz 1

06844 Dessau-Roßlau

Telefon: 0340 - 21 03 - 0

Fax: 0340 - 21 03 - 22 85

Internet: www.umweltbundesamt.de

Bearbeiter:

Dr. Heinz-Jörn Moriske

Dr. Regine Szewzyk

Titelbild:

UBA Kreuscher

Gesamtherstellung:

KOMAG mbH, Berlin

Diese Broschüre ist kostenlos zu beziehen von:

GVP Gemeinützige Werkstätten Bonn

In den Wiesen 1-3, 53227 Bonn

Telefon: 0228 - 97 53-209 oder -210

Bestellungen per E-Mail bitte ausschließlich über: uba@broschuerenversand.de

Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden

**Erarbeitet von der Innenraumlufthygiene-
Kommission des Umweltbundesamtes**

Berlin, im August 2008

Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden

Erarbeitet durch die Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes

Mitglieder:

PD Dr. Dr. Wolfgang Bischof, Universitätsklinikum Jena, Raumklimatologie
Dr. Rolf Buschmann, Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf

Dr. Thomas Gabrio, Regierungspräsidium Stuttgart, Landesgesundheitsamt

PD Dr. Steffen Engelhart, Institut für Hygiene und Öffentliche Gesundheit, Bonn

Dr. Birger Heinzow, Landesamt für soziale Dienste, Kiel

Prof. Dr. Olf Herbarth, Medizinische Fakultät, Universität Leipzig und
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH-UFZ Leipzig

Prof. Dr. Caroline Herr, Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit, Oberschleißheim

Dr. Hermann Kruse, Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Institut
für Experimentelle Toxikologie, Kiel

PD Dr. Susanne Lau, Freie Universität Berlin, Klinik für Pädiatrie mit
Schwerpunkt Pneumologie und Immunologie

Dr. Wolfgang Lorenz, Institut für Innenraumdiagnostik, Toxikologie und
Bauphysik, Düsseldorf

Dr. Inge Mangelsdorf, Fraunhofer-Institut für Toxikologie und Experimentelle
Medizin, Hannover

Prof. Dr. Volker Mersch-Sundermann, Institut für Umweltmedizin und
Krankenhausthygiene, Freiburg

Dipl.-Chem. Wolfgang Misch, Deutsches Institut für Bautechnik (DIBT), Berlin

Prof. Dr. Henning Rüden, HELIOS Kliniken GmbH, Berlin

Dr. Helmut Sagunski, Behörde für Soziales und Gesundheit der Freien
Hansestadt Hamburg

Prof. Dr. Tunga Salthammer, Fraunhofer Institut für Holzforschung,
Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI), Braunschweig

Prof. Dr. Klaus Sedlbauer, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Valley

Als weitere Sachverständige haben mitgewirkt:

Dipl.-Ing.(FH) Torsten Fenske, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Berlin

Dr. Andreas Gies, Umweltbundesamt, Berlin

Dipl.-Ing. Friedrich Hamp, Integriertes Planen-Architekten-Ingenieure, München

Dr. Wolfgang Heger, Umweltbundesamt, Berlin

Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hegner, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Berlin

Dr. Heinz-Jörn Moriske, Umweltbundesamt, Berlin

Dr. Friederike Neisel, Bundesamt für Risikobewertung, Berlin

Dr. Wolfgang Plehn, Umweltbundesamt, Berlin

Dr. Regine Szewzyk, Umweltbundesamt, Berlin

Inhaltsverzeichnis

Allgemeiner Teil

I	Einführung, Zielsetzung	7
	I-1 Problemstellung	7
	I-2 Ziele und Zielgruppen	8
	I-3 Aufbau des Leitfadens	9
	I-4 Derzeitige Situation an deutschen Schulen	10
	I-5 Abgrenzung	12
II	Begriffe und Regelungen	13
III	Weiterführende Literatur	14

Teil A Hygienische Anforderungen im praktischen Schulbetrieb

A-1	Allgemeine hygienische Anforderungen	17
A-2	Reinigungsmaßnahmen	19
A-3	Lüftungsanforderungen	24
A-4	Anforderungen und Reinigung von Lehrschwimmbecken	26
A-5	Kleine Baumaßnahmen und Renovierungen	29
A-6	Werkstätten, Laborräume und Lehrküchen	33
A-7	Kopierer, Druckgeräte und PC	35

Teil B Verunreinigungen der Innenraumluft in Schulen

B-1	Anorganische Gase	37
B-2	Flüchtige organische Verbindungen („VOC“)	41
B-3	Formaldehyd	52
B-4	Schwer flüchtige organische Verbindungen („SVOC“)	53
B-5	Staub	59
B-6	Faserstäube	63
B-7	Biologische Stoffe	68
B-8	Strahlenbelastungen (Radon)	73

Teil C Bauliche und raumklimatische Anforderungen

C-1 Bauliche Anforderungen, Ausstattung von Räumen.....	75
C-1.1 Rohbau	76
C-1.2 Aus- und Umbau	79
C-1.3 Raumausstattung.....	86
C-2 Gebäudeklima.....	87
C-2.1 Allgemeine physiologische Anforderungen	87
C-2.2 Bautechnische Anforderungen	90
C-2.3 Lüftungstechnik	94
C-2.4 Anforderungen an die Akustik	95

Teil D Vorgehensweisen in Beschwerdefällen

D-1 Grundsätzliche Vorgehensweisen.....	103
D-2 Kasuistiken	106
D-2.1 Mineralfasern aus abgehängter Deckenkonstruktion	106
D-2.2 Chlornaphthalin in Schulpavillons	107
D-2.3 Geruchsbelästigung in Klassenräumen nach den großen Ferien.....	108
D-2.4 Jahrelange Raumluftbelastung durch Einsatz von lösemittelhaltigen Reinigungsmitteln auf Parkettboden	110
D-2.5 Raumluftbelastung durch Dicarbonsäuredimethylester (DCE)	111
D-2.6 Gesundheitsbeschwerden in einem Neubau trakt einer Grundschule.....	113

Teil E Sanierungsrichtlinien und -verfahren

E-1 Asbest.....	115
E-2 Polychlorierte Biphenyle	116
E-3 Pentachlorphenol	117
E-4 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe	118

Anhänge

Anhang 1: Muster-Hygieneplan für Schulen.....	121
Anhang 2: Stichwortverzeichnis	133

ALLGEMEINER TEIL

I Einführung, Zielsetzung

I-1 Problemstellung

Luftverunreinigungen in Innenräumen von Schulen stellen ein hygienisches Problem dar. Die in Schulgebäuden beobachteten Innenraumbelastungen können auf verschiedene Ursachen zurückzuführen sein, wie beispielsweise bauliche Mängel, Fehler in der Lüftungstechnik, unsachgemäßes Lüftungsverhalten oder die Verwendung bestimmter Bauprodukte, Einrichtungsgegenstände oder Reinigungsprodukte, die chemische Stoffe in die Raumluft abgeben. Auch mikrobielle Probleme (Schimmelbefall) spielen in Schulgebäuden eine wichtige Rolle.

In den letzten Jahren wurde viel über eine gesunde und hygienisch verträgliche Innenraumluftqualität in Schulen diskutiert. Wegen Verdachts auf Asbest, PCB und andere Innenraumschadstoffe wurden in den letzten Jahren einige Schulen umfangreich saniert. Dennoch gibt es nach wie vor sehr viele Schulgebäude, bei denen aufgrund unzureichender baulicher Wartungsarbeiten und wegen Geldmangels der Kommunen der Zustand der Gebäude stark sanierungsbedürftig ist. Mit Einführung der Energieeinsparverordnung im Jahr 2002 (novelliert 2007) kommen neue Herausforderungen auf alle Beteiligten bei der Sanierung von Schulgebäuden zu. Die Gebäudehülle und die Fenster werden bewusst luftdicht gemacht, um die energetischen Vorgaben zu erfüllen. Die Kehrseite kann bei unzureichender Lüftung eine Anreicherung von chemischen und biologischen Stoffen in der Raumluft sein. Ist eine Sanierung von Schulgebäuden aus energetischen oder anderweitigen Gründen erforderlich, müssen daher bestimmte Vorgaben beachtet werden, damit es später nicht zu raumlufthygienischen Problemen kommt. Der vorliegende Leitfaden beschreibt, was aus hygienischer Sicht zu beachten ist und soll helfen Lösungswege aufzuzeigen.

Das Umweltbundesamt hat im „Leitfaden für die Innenraumlufthygiene in Schulgebäuden“ aus dem Jahr 2000 auf die lufthygienischen Probleme und die Reinigung in Schulen aufmerksam gemacht. Neue Herausforderungen wie die Feinstaubproblematik, das Kohlendioxidproblem oder die Notwendigkeit zur energetischen Gebäudesanierung machten jedoch eine Aktualisierung erforderlich.

Neue chemische Stoffe, die in der Raumluft von Schulen gefunden werden können, und ihre hygienische Bedeutung werden im Leitfaden behandelt, ebenso wie das Feinstaubproblem in Schulen, die Emission ultrafeiner

Partikel beim Gebrauch von Druckern oder die Schimmelpilzproblematik. Dem wichtigen Thema „Lüften“ wird ein eigenes Kapitel gewidmet. Hier gelangen wir – auch in Schulen – möglicherweise zu einem Paradigmenwechsel, weil in Einzelfällen die natürliche Lüftung über Fenster bereits nicht mehr ausreicht, um praxisgerecht und dauerhaft eine einwandfreie Raumluftqualität zu erlangen. Dies gilt vor allem für die Konzentration von Kohlendioxid, das schon von Pettenkofer vor mehr als 150 Jahren als Leitsubstanz für „schlechte“ Luft in Innenräumen erkannt wurde. Kohlendioxid ist heute erneut ein Gradmesser für die „Güte“ der Raumluftqualität in Schulgebäuden. Wie man wirksam Abhilfe für das CO₂-Problem in Klassenzimmern schafft, wird im Leitfaden beschrieben.

Der vorliegende Leitfaden ersetzt den „Schulleitfaden“ aus dem Jahr 2000.

I-2 Ziele und Zielgruppen

Mit dem „neuen“ Schulleitfaden soll auf die aktuellen Erfordernisse in der Schulpraxis reagiert werden. Die Leitfadenempfehlungen sollen helfen, Fehler bei der Sanierung von Schulgebäuden – aus raumlufthygienischer Sicht – zu vermeiden und sollen eine Hilfestellung für die Planung neuer Schulgebäude aus hygienischer Sicht geben.

Der Leitfaden bezieht sich primär auf Unterrichts- und Aufenthaltsräume in allgemein- und berufsbildenden Schulen, in denen Schüler regelmäßig unterrichtet werden. Er soll in Analogie auf andere Schularten und Betreuungseinrichtungen wie z. B. Kindertagesstätten übertragen werden. Viele Empfehlungen besitzen Gültigkeit auch für Innenräume in öffentlichen Gebäuden außerhalb von Schulen. Für spezielle technische Bereiche in Schulgebäuden (etwa Lehrküchen, Hauswerkstätten, Laboratorien) gelten andere gesetzliche Regelungen (Gefahrstoffverordnung etc.), auf die in diesem Leitfaden nicht weiter eingegangen werden soll.

Die in dem Leitfaden gemachten Empfehlungen gelten auch für vorübergehend genutzte Schulersatzbauten („Container“).

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 darüber hinaus Informationen für alle Berufsgruppen, die an der Planung, Errichtung, Renovierung oder Sanierung von Schulgebäuden beteiligt sind.

I-3 Aufbau des Leitfadens

Der Leitfaden ist folgendermaßen gegliedert:

- ▶ Im Allgemeinen Teil werden die Ziele des Leitfadens und die Zielgruppen angesprochen. Es wird die derzeitige Situation an deutschen Schulen aus innenraumhygienischer Sicht beschrieben, und es erfolgt eine Abgrenzung gegenüber Randbereichen, die nicht weiter behandelt werden. Es werden verschiedene Begriffe erläutert und Hinweise auf weiterführende Literatur zum Thema „Innenraumlufthygiene“ gegeben.
- ▶ **Teil A** behandelt die hygienischen Anforderungen im praktischen Schulbetrieb. Neben allgemeinen Anforderungen an Wartung und Betrieb wird auf die wichtigen Themen Reinigung und Lüftung sowie auf kleinere Baumaßnahmen eingegangen.
- ▶ **Teil B** gibt einen Überblick über wichtige chemische und biologische Schadstoffe in Schulen.
- ▶ **Teil C** befasst sich mit baulichen und raumklimatischen Anforderungen. Auch das wichtige Thema Akustikanforderungen wird behandelt.
- ▶ **Teil D** zeigt wie bei Problemfällen praktisch vorgegangen werden soll und listet Fallbeispiele mit „typischen“ Vorgehensweisen auf.
- ▶ **Teil E** gibt einen kurzen Überblick über bestehende Sanierungsrichtlinien

Im **Anhang** finden sich ein Muster-Hygieneplan für Schulen und ein Stichwortverzeichnis.

I-4 Derzeitige Situation an deutschen Schulen

Der Schulbestand in Deutschland ist von der Bausubstanz her oft ungenügend. Bei älteren Gebäuden treten typischerweise Probleme wie undichte Fenster, Undichtigkeiten und Abnutzungserscheinungen an Mauerwerk und Dächern, sowie Feuchteschäden durch undichte Hausinstallation auf. Der Anteil neuer Gebäude, die nach 1990 erstellt wurden, ist vergleichsweise gering.

In Deutschland gibt es heute circa 34.000 allgemeinbildende und etwa 10.000 berufsbildende Schulen.

Zu den Haupt(luft)verunreinigungen in Schulen zählen:

- ▶ Kohlendioxidanreicherungen durch unzureichendes Lüften.
- ▶ Zu hohe Feuchtigkeit in der Gebäudestruktur oder in der Raumluft mit der Folge mikrobiellen Befalls.
- ▶ Emissionen aus Bauprodukten, Einrichtungs- bzw. Ausstattungsgegenständen.
- ▶ Diverse Gerüche bei unzureichendem Lüften etc.
- ▶ Emissionen aus Reinigungs- und Pflegemitteln.
- ▶ Mögliche Freisetzung von Staub und Rauchgasen im Werkunterricht und naturwissenschaftlichen Unterricht.
- ▶ Feinstäube durch Einträge von außen und Innenraumquellen.

Über welche Beschwerden gesundheitlicher Art wird beim Aufenthalt in Schulen berichtet?

Zu den Beschwerden, die von Schülern, Eltern und Lehrern im Zusammenhang mit dem Schulbesuch genannt werden, gehören allgemeine Befindlichkeitsstörungen wie Kopfschmerzen, Müdigkeit und mangelnde Konzentration. Weiterhin werden Symptome wie Reizungen der oberen Atemwege und Augen, Nebenhöhlenentzündungen oder das Auftreten allergischer Symptome auch auf den Aufenthalt in Schulen zurückgeführt.

Viele Schulgebäude sind aufgrund ihres hohen Alters und der intensiven jahrelangen Nutzung deutlich sanierungsbedürftig. Auch wurden die Vorschriften für den Brand- und Arbeitsschutz in den letzten Jahren immer weiter verschärft. Die Energieeinsparverordnung (EnEV) fordert, dass unter anderem beim Neubau und bei der umfassenden Sanierung bestehender Gebäude zur Minimierung des Primärenergieeinsatzes die Gebäudehülle luftdicht gemacht wird. Die Kehrseite kann bei unzureichender Lüftung eine mögliche Anreicherung von im Innenraum freigesetzten chemischen und biologischen Stoffen sein.

Leider fehlt in vielen Kommunen das Geld für umfassende und fachgerechte Sanierungen. Die Folge sind Feuchteinträge über undichte Wände, Dächer und Rohrleitungssysteme. Undichte Fenster sind zwar hygienisch durchaus von Vorteil, indem sie helfen auch bei geschlossenen Fenstern und Türen einen Mindestluftaustausch in den Klassenräumen zu ermöglichen. Undichte Fenster führen aber zu Energieverlusten und möglicherweise zu Zugerscheinungen im Unterricht für Schüler und Lehrer.

Der Sanierungsbedarf, 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, besonders der Klassenräume, sind regelmäßige Instandhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen überaus wichtig, um baulich bedingte hygienische Folgeprobleme zu vermeiden.

Stehen umfangreiche Sanierungsarbeiten an, sollte auch ein umfangreiches Lüftungstechnisches Konzept in die Sanierungsplanung einbezogen werden, um die Lüftungssituation bei der späteren Nutzung zu verbessern. Dies können technische Lüftungslösungen, aber auch eine Konzeption für ein verbessertes Lüftungsregime sein. Sensorgesteuerte Lösungen (Öffnen der Fenster bei zu viel Kohlendioxid in der Luft) sind ebenfalls denkbar.

Ein Problem in Schulgebäuden kann auch der Schallschutz sein. Viele Unterrichtsräume leiden unter ungünstigen Nachhallbedingungen. Die Kommunikation und Sprachverständlichkeit von Lehrern und Schülern kann dann erheblich gestört sein.

Ebenso wichtig wie eine gute Akustik sind auch ausreichende und ausgewogene Lichtverhältnisse. Ausreichend große Fenster sind ohnehin Pflicht. Wenn diese allerdings ausschließlich zur West- und Ostseite hin orientiert sind, kann es zur vermehrten Aufheizung der Räume im Sommer kommen. Südfenster sind entgegen langläufiger Meinung hier in der Regel weniger ein Problem, weil die Sonne zur Mittagszeit relativ steil im Zenit steht und sich eine Verschattung der Fenster dadurch leichter realisieren lässt.

Die Notwendigkeit, Vorkehrungen gegen die Aufheizung der Räume im Sommer zu treffen, wird im Zuge der Klimaveränderungen in Zukunft noch zunehmen.

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 Dauer-aufenthaltsräume, also auch als Klassenzimmer in Schulen, grundsätzlich unzulässig.

I-5 Abgrenzung

Ein Innenraumhygieneproblem der letzten Jahrzehnte in Schulen gehört seit kurzem der Vergangenheit an – der Tabakrauch. Durch die in fast allen Bundesländern inzwischen in Kraft getretenen Nichtraucherschutzgesetze gilt in ganz Deutschland ein generelles Rauchverbot in Schulen und auf Schulhöfen. Raucherräume sind in Schulen nicht zugelassen.

Was wird in diesem Leitfaden nicht behandelt?

Tabakrauch: Die gesundheitlich negativen Wirkungen des Tabakrauches sind hinlänglich bekannt. In Schulgebäuden und auf dem gesamten Schulgelände besteht absolutes Rauchverbot.

II Begriffe und Regelungen

Nach einer neueren Untersuchung im Rahmen des Kinder- und Jugend-Survey des Umweltbundesamtes 2007 halten sich Kinder im Alter von 3–14 Jahren im Winter rund 90% des Tages in Innenräumen auf. Auch im Sommer verbringen Heranwachsende einen Teil des Tages in geschlossenen Räumen. Innenräume sind dabei die Wohnung, die Schule, Kindergärten, Theater, Kinos, Bibliotheken, Sporthallen, Kaufhäuser, Diskotheken und Verkehrsmittel. Aus hygienischer Sicht ist daher die Untersuchung und Verminderung von Innenraumluftverunreinigungen von zentraler Bedeutung für das Wohlbefinden und die Gesundheit.

Eine Schadstoffbelastung in der Luft eines Klassenraumes ist grundsätzlich so zu behandeln und zu bewerten wie eine Schadstoffbelastung zu Hause. Arbeitsplatzvorschriften, die für einzelne Bereiche der Schule (Werkstätten etc.) gelten, stehen dem nicht entgegen. Grenzwerte für Luftverunreinigungen, wie sie an produktionstechnisch belasteten Arbeitsplätzen gelten, sind für Schulinnenräume nicht heranzuziehen.

Von der 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 (vgl. Abschnitt B-2) 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. Überschreiten unverzüglich Handlungsbedarf besteht, da diese Konzentration geeignet ist, insbesondere für empfindlich reagierende Personen bei Daueraufenthalt in den Räumen 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 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, etwa zu verstärktem Lüften.

Eine Übersicht über die nach diesem Schema abgeleiteten Innenraumrichtwerte, die auch für Schulinnenräume gelten, findet der Leser im Internet unter folgendem Link:

<http://www.umweltbundesamt.de/gesundheit/innenraumhygiene/richtwerte-irluft.htm>.

III Weiterführende Literatur

Die folgende Zusammenstellung enthält Übersichtsliteratur, die dem Leser weitergehende Informationen zur Innenraumlufthygiene liefern soll.

- ▶ Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Abteilung Umwelthygiene: Leitfaden für die Innenraumlufthygiene betreffend Vorbeugung, Untersuchung, Bewertung und Sanierung von Schimmelpilzbelastungen in Wohngebäuden. St.Pölten 2007.
<http://www.noel.gv.at/bilder/d25/Schimmelpilzleitfaden.pdf>
- ▶ Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit: Luftqualität in öffentlichen Innenräumen – Frische Luft an bayerischen Schulen.http://www.lgl.bayern.de/gesundheit/umweltmedizin/projekt_luft.htm
- ▶ Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG BAU): Gesundheitsgefährdungen durch biologische Arbeitsstoffe bei der Gebäudesanierung (BGI 858). Handlungsanleitung zur Gefährdungsbeurteilung nach Biostoffverordnung. (2006)
<http://www.bgbau-medien.de/site/asp/dms.asp?url=/zh/bgi858/titel.htm>
- ▶ Freie und Hansestadt Hamburg: Frischer Wind in Schulen. Informationsbroschüre. Hamburg, Behörde für Wissenschaft und Gesundheit (2005)
- ▶ Institut für angewandte Hygiene: Österreichische Schulen – Hygienepplan. Graz (2007) www.schule.at/gesundheit/hygienepplan2007.pdf
- ▶ Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg: Schimmelpilze in Innenräumen – Nachweis, Bewertung, Qualitätsmanagement. LGA-Berichte, Stuttgart (2001) (überarbeitet 2004)
- ▶ Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg: Handlungsempfehlung für die Sanierung von mit Schimmelpilzen befallenen Innenräumen. 2. überarbeitete Auflage, Stuttgart (2006)
- ▶ Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg: Musterhygienepplan für Schulen und ähnliche Gemeinschaftseinrichtungen. LGA, Stuttgart (2005)

- ▶ Niedersächsisches Landesgesundheitsamt (NLGA): Lüftungsempfehlung für Arbeitsräume (Büro- und Unterrichtsräume). NLGA, Hannover (2004)
- ▶ Niedersächsisches Landesgesundheitsamt (NLGA): „Aufatmen in Schulen“ – Luftqualität und Raumklima in Unterrichtsräumen. NLGA, Hannover (2005)
- ▶ Niedersächsisches Landesgesundheitsamt (NLGA): Rahmenhygieneplan für Schulen (Entwurf), Hannover (2007)
- ▶ Rahmen-Hygieneplan für Schulen und sonstige Ausbildungseinrichtungen gemäß § 36 Infektionsschutzgesetz. Länder-Arbeitskreis zur Erstellung von Hygieneplänen nach § 36 IfSchG, Potsdam (2003)
- ▶ Umweltbundesamt: Leitfaden zur Vorbeugung, Untersuchung, Bewertung und Sanierung bei Schimmelpilzwachstum in Innenräumen (Schimmelpilz-Leitfaden), Berlin/Dessau 2002
- ▶ Umweltbundesamt: Leitfaden zur Ursachensuche und Sanierung bei Schimmelpilzwachstum in Innenräumen (Schimmelpilz-Sanierungsleitfaden). Berlin/Dessau 2005
- ▶ Umweltbundesamt: Bauprodukte: Schadstoffe und Gerüche bestimmen und vermeiden. Dessau 2006
- ▶ Unfallkasse des Landes Nordrhein-Westfalen (2008): Umsetzung der Gefahrstoffverordnung an Schulen Teil 1 und 2; abrufbar unter:
http://www.unfallkasse-nrw.de/index.php?id=4&no_cache=1
 Link zum Download der Broschüren „Prävention in NRW 3 und 4 – Umsetzung der Gefahrstoffverordnung an Schulen Teil 1 und 2“
- ▶ United Kingdom: Department for Communities and Local Government: The Building Regulation Documents. Building Bulletin 101, Ventilation of School Buildings. London (2006)

TEIL A: Hygienische Anforderungen im praktischen Schulbetrieb

A-1 Allgemeine hygienische Anforderungen

Dieser Leitfaden bezieht sich auf lufthygienische Fragen in Schulgebäuden. Im praktischen Schulbetrieb sind jedoch häufig Aspekte zu berücksichtigen, die über die Lüftung hinausgehen.

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

Zu den allgemeinen hygienischen Anforderungen zählen (manche der aufgeführten Punkte werden sich nur bei Neubauplanungen realisieren lassen):

- ▶ Das Schulgelände sollte im Hinblick auf Immissionsbelastungen aus der Umgebungsluft günstig gelegen sein, d.h. möglichst geringe Schadstoffbelastung in der Umgebung aufweisen. Geringer Verkehrs- und Industrielärm sowie ein gefahrloser Schulweg für die Schülerinnen und Schüler sollen ermöglicht werden. Umgekehrt sollten die vom Schulbetrieb selbst ausgehenden Lärmemissionen möglichst zu keiner nennenswerten Belästigung für die Nachbarschaft führen.
- ▶ Die Unterrichtsräume sollten eine ausreichende Größe und sinnvolle Ausrichtung in Bezug auf den Sonnenlichteinfall besitzen. Bei den im Schulbau üblichen Verglasungsanteilen der Fassade von über 50 % benötigen alle Fassaden, ausgenommen reine Nordausrichtung der Fenster, einen Sonnenschutz. Dieser sollte variabel steuerbar sein.
- ▶ Eine ausreichende Beleuchtung durch Tageslicht und – in Ergänzung – durch künstliches Licht soll zu jeder Tageszeit und zu jeder Jahreszeit gewährleistet sein. Die Raumtiefe soll deshalb nicht mehr als das Zweif- bis Dreifache der Raumhöhe betragen. Das Lichtreflexionsvermögen der Bauteilflächen (helle Farben an Wänden und Decken) sollte möglichst hoch sein.
- ▶ Ein wirksamer baulicher Schallschutz soll Geräuschübertragungen hin zu Nachbarräumen, Fluren etc. verhindern. Die Klassenzimmer sollen geringe Nachhallzeiten zur besseren Sprachverständlichkeit aufweisen (DIN 18041 2004/2005; Hörsamkeit in kleinen und mittelgroßen Räumen).

- ▶ Fenster oder andere Lüftungsmöglichkeiten sollten es gestatten, durch natürliche Lüftung die Konzentration von Luftverunreinigungen, die aus dem Raum stammen, zu verringern. Alle Fenster sollen leicht zu öffnen sein.

Regelungen in einzelnen Bundesländern, nach denen aus sicherheitstechnischen Gründen die Fenster konstruktiv oder manuell so verändert wurden, dass sie nicht zu öffnen sind – etwa um Unfälle durch Herabstürzen aus dem Fenster zu vermeiden – sind nach Auffassung der Innenraumlufthygiene-Kommission hygienisch nicht akzeptabel. Hier muss durch andere Maßnahmen (u.a. alle Schüler verlassen während der Pausen den Unterrichtsraum, die Klassenzimmer werden während der Pausen verschlossen) gewährleistet werden, dass es nicht zu Unfällen kommt.

- ▶ In Räumen, in denen bestimmungsgemäß mit Schadstoffen gearbeitet wird, wie in Laborräumen, ist grundsätzlich eine mechanische Lüftung vorzusehen. Bei extrem belasteten Außenluftsituationen ist der Einbau technischer Lüftungseinrichtungen zu erwägen.
- ▶ Alle Räume des Schulgebäudes sollen eine ausreichende Heizung besitzen, wobei die Heizkörper ausreichend dimensioniert sein sollen, möglichst mit niedrigen Temperaturen zu betreiben und leicht zu reinigen sein sollten.
- ▶ Die Möblierung und Ausstattung der Räume soll möglichst frei von gesundheitsbedenklichen Emissionen sein. Bei der Anschaffung neuer Möbel ist auf Umweltgütezeichen (vgl. Abschnitt A-5) zu achten.
- ▶ Nutzungsgerechte Kleiderablagen sollen in ausreichender Zahl vorhanden sein, damit nasse Kleidung auslüften und trocknen kann. Aus Brandschutzgründen werden Kleiderschränke und Garderoben oft nicht mehr im Flurbereich untergebracht, sondern in den Klassenräumen. Umso mehr ist für ausreichende Lüftung und Entfeuchtung in diesen Bereichen zu sorgen.
- ▶ 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 sollen leicht zu reinigen sein.

Was ist im praktischen Schulbetrieb aus hygienischer Sicht allgemein zu beachten?

Eine gute Zugänglichkeit aller Räume und Bereiche, vor allem im Hinblick auf eine leichte Möglichkeit der Reinigung, eine Ausstattung mit emissionsarmem Inventar und regelmäßiges Heizen und Lüften sind neben hygienisch einwandfreien baulichen Gegebenheiten die besten Voraussetzungen für eine hygienisch unbedenkliche Situation in Schulen.

A-2 Reinigungsmaßnahmen

Reinigungsmaßnahmen müssen in Schulen aufgrund der intensiven Nutzung, auch durch empfindliche Nutzergruppen, regelmäßig und sachgerecht durchgeführt werden. In der DIN 77400 „Reinigungsdienstleistungen – Schulgebäude – Anforderungen an die Reinigung“ werden Mindestanforderungen an die Reinigung von Schulgebäuden und die zugehörigen Sporteinrichtungen festgelegt. Dies gilt unabhängig davon, ob die Reinigung von eigenen Beschäftigten oder durch Dienstleister erbracht wird.

In der Einleitung zu der vorgenannten DIN-Norm wird angemerkt, dass Sauberkeit und Hygiene in Schulgebäuden eine besondere Bedeutung zukommt und das Umfeld, in dem die Kinder und Jugendlichen ausgebildet werden, Einfluss auf deren Gesundheit sowie auf ihr eigenes Hygieneempfinden und -verhalten hat. Des Weiteren heißt es, dass den Anforderungen an die Schulreinigung, unabhängig von der jeweiligen Budgetsituation innerhalb der Kommunen und den daraus resultierenden Reinigungsintervallen, eine besondere Bedeutung beigemessen werden muss.

Gemäß DIN 77400 gehört zu den allgemeinen Anforderungen an eine hygienische Reinigung von Schulgebäuden, dass die Staubkonzentration durch geeignete Reinigungsmethoden (z.B. Nasswischen) in vertretbaren Grenzen gehalten wird. Bei den Reinigungsmethoden und -systemen ist der jeweilige Stand der Technik unter Berücksichtigung umweltorientierter Gesichtspunkte anzuwenden.

Bei der individuellen Festlegung der Reinigungsintervalle in Schulgebäuden müssen insbesondere die örtlichen Gegebenheiten berücksichtigt werden. Die zu beachtenden Faktoren sind u.a. der Standort, die Nutzung (auch außerschulische Nutzung), die Schulform, die Nutzungshäufigkeit, die Bausubstanz, die Art der Außenanlagen (bei unbefestigten ist mit erheblich höherem Schmutzeintrag zu rechnen) und jahreszeitliche Einflüsse.

Die in der DIN 77400 festgelegten Reinigungsintervalle sind Mindestreinigungshäufigkeiten. Es wird in der DIN 77400 ausdrücklich darauf hingewiesen, dass in Abhängigkeit von den örtlichen Gegebenheiten und den o.g. Faktoren eine häufigere Reinigung als in der DIN 77400 angegeben notwendig sein kann.

Die nachfolgend beschriebenen Reinigungsmaßnahmen orientieren sich an diesen **Mindestreinigungshäufigkeiten** und sind daher nicht im Sinne einer Vorschrift gleichermaßen auf alle örtlichen Gegebenheiten und jahreszeitlichen Bedingungen anzuwenden.

Flure und **Treppenhausbereiche** gehören neben Klassenzimmern und Unterrichtsräumen zu den am häufigsten genutzten Räumlichkeiten in einer Schule. Diese Bereiche verschmutzen schnell. Der Eingangsbereich, die Verkehrsflächen des Erdgeschosses und die Treppen bis zum ersten Obergeschoss sind täglich zu reinigen, im Winter bei erhöhtem Schmutzanfall von außen bei Bedarf auch mehrmals täglich. Die anderen Flure und Treppen in den Sommermonaten sollten mindestens jeden zweiten Tag gereinigt werden, im Winter bei Bedarf auch häufiger.

Aus hygienischer Sicht bietet Nasswischen nach vorheriger Entfernung der losen, groben Verunreinigungen die beste Möglichkeit, die vielfältig eingetragenen Verunreinigungen zu beseitigen. Je nach Art und Beschaffenheit der zu reinigenden Bodenflächen genügen entweder Tensidzusätze zum Waschwasser oder es müssen Spezialreiniger (je nach elastischem Bodenbelag) eingesetzt werden. Genauere Festlegungen hierzu sollten im jeweiligen Einzelfall nach Rücksprache mit den beauftragten Reinigungsbetrieben bzw. dem Bodenhersteller 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 sei. Dann veranlasst das zuständige Gesundheitsamt entsprechende Maßnahmen. Dazu gehört vor allem die desinfizierende Reinigung von Handläufen. Bei Kontamination mit Blut, Stuhl und Erbrochenem kann ebenfalls eine desinfizierende Reinigung erforderlich werden, die allerdings nur durch dafür ausgewiesenes Personal und unter strikter Beachtung eines in der Schule vorhandenen Hygiene-, Lüftungs- und Reinigungsplanes durchgeführt werden sollte (siehe Anhang 1).

Um eine regelmäßige Feuchtreinigung (Nasswischen) von Fluren und Treppenhausbereichen in Schulen zu ermöglichen, ist es erforderlich, dass diese Bereiche mit entsprechenden Bodenbelägen ausgestattet sind.

Teppiche und Teppichbeläge sollten daher in diesen Bereichen nicht verwendet werden (siehe Absatz „Teppichbeläge“).

Klassenzimmer und **Unterrichtsräume** sind regelmäßig zu reinigen. Untersuchungen haben gezeigt, dass durch ein sachgerechtes Nasswischen des Fußbodens bzw. feuchtes Abwischen der Tischflächen an jedem zweiten Tag bei guten Randbedingungen (Gebäudezustand, örtliche Gegebenheiten) ein hygienisch einwandfreier Zustand der Klassenräume erreicht werden kann. Insbesondere in den Wintermonaten und bei unbefestigten Außenanlagen sowie bei zusätzlicher Nutzung (z. B. Hortbetrieb) soll eine tägliche Reinigung durchgeführt werden.

Kann Reinigen allein die Luftqualität in Klassenzimmern verbessern?

Eine Reduzierung der Schadstoffbelastung in Unterrichtsräumen kann durch Reinigung allein nicht sicher gestellt werden. Reinigen ist wichtig. Ebenso wichtig ist aber die Reduktion vorhandener Emissionsquellen und regelmäßiges Lüften. Durch Lüften werden die Kohlendioxidkonzentrationen (klassischer Indikator für mangelnde Frischluftzufuhr), erhöhte Feuchte in der Raumluft sowie Belastungen mit chemischen Schadstoffen und Feinstaub reduziert.

Teppichbeläge, die in einigen Schulen aus Schallschutzgründen verlegt wurden, sind ebenfalls mindestens jeden zweiten Tag sachgerecht abzusaugen, möglichst mit einem mit einem HEPA-Filter ausgerüsteten Staubsauger oder mit einer zentralen Sauganlage (VDI 4709). Dabei sollten die Pflegehinweise der Hersteller beachtet werden. Auch hier ist bei erhöhtem Schmutzeintrag und zusätzlicher Nutzung von einer häufigeren Reinigung auszugehen. Teppichbeläge in Klassenzimmern und Unterrichtsräumen können ein hygienisches Problem darstellen, da sie schwieriger zu reinigen sind als glatte, wischbare Fußböden. Daher wird die Verlegung von Teppichbelägen in Schulneubauten nicht empfohlen. Bei einer z. B. aufgrund von Abnutzung notwendig werdenden Erneuerung von Teppichbelägen, sollten diese, wenn möglich, durch glatte, wischbare Fußbodenbeläge ersetzt werden.

Kuschecken stellen ein besonderes hygienisches Problem in Schulen dar. Hierbei handelt es sich oft um gebrauchte, z. T. verschlissene Polstermöbel, die oft mit Kuscheltieren, Spielzeug, Kissen und Decken belegt sind. Wenn die Schule diese Kuschecken akzeptiert, die häufig mit Unterstützung der Eltern eingerichtet wurden, sind diese unbedingt in den Reinigungsplan aufzunehmen und ebenfalls regelmäßig gründlich zu reinigen, z. B. durch mindestens einmal wöchentliches Absaugen. Auch dort befindliche Gegenstände sind in die Reinigungsmaßnahmen einzubeziehen.

Linoleum ist ökologisch vorteilhaft wegen seiner natürlichen Bestandteile aus Leinöl, Holzmehl, Kalkstein und Jute und wird in öffentlichen Gebäuden gern verwendet, bedarf aber wegen seiner Zusammensetzung einer sachgerechten und regelmässigen Pflege. Bei der Reinigung und Pflege von Linoleum unterscheidet man zwischen Bauschluss- bzw. Erstreinigung, Pflegereinigung durch Nasswischen, Feuchtwischen oder Cleaner sowie Grundreinigungsmaßnahmen und Pflegefilmsanierung. Bei der Auswahl der Reinigungs- und Pflegemittel für Linoleum ist grundsätzlich darauf zu achten, dass nur solche mit einem pH-Wert unterhalb von pH 9 angewendet werden, da zu stark alkalisch-aggressive Mittel die natürlichen Grundstoffe des Linoleums angreifen und den Belag zerstören können. Daher darf auch keine Schmierseife verwendet werden. Es wird empfohlen, die Reinigungskräfte auf die Einhaltung der einschlägigen Pflegeanweisungen der Hersteller zu verpflichten.

Sanitär- und Waschbereiche inklusive der **Umkleideräume** sind in Schulgebäuden von besonderer hygienischer Bedeutung. Hier muss mindestens einmal am Tag eine gründliche Reinigung und ein regelmäßiges Scheuern der Bodenflächen (Entfernen nicht haftender und haftender Verschmutzung mit vorheriger Grobschmutzentfernung) vorgenommen werden. Zweckmäßig ist dazu eine Raumausstattung mit Wand- und Bodenfliesen. Flächendesinfektionen können angebracht sein, wenn meldepflichtige übertragbare Krankheiten auftreten. Das Gesundheitsamt ordnet dann entsprechende Maßnahmen an. Reinigungsmaßnahmen unter Zusatz von Desinfektionsmitteln sind in Sanitärbereichen aus infektionsprophylaktischen Gründen nicht erforderlich, können jedoch bei Kontamination von Flächen mit Stuhl, Erbrochenem etc. angemessen sein.

Lehrerzimmer, Sekretariate sowie **Verwaltungs-, Büro- und Besprechungsräume** sind zweimal in der Woche zu reinigen, Nebenräume (Unterrichtsvorbereitung, Lehrmittel etc.) mindestens einmal in der Woche und Lagerräume mindestens einmal im Monat.

Turnhallen (in reinem Schulbetrieb) und ähnlich genutzte Räume müssen täglich sachgerecht gereinigt werden. Die Art der Reinigung richtet sich hierbei nach dem Aufbau der Fußbodenkonstruktion und der Art des Fußbodenbelages. Bei zusätzlicher Nutzung durch Vereinssport am Abend und an Wochenenden sind dementsprechend erweiterte Reinigungsmaßnahmen notwendig.

Sofern vorhanden sind in **Küchen** und **Essensausgabestellen** die Vorgaben der Verordnung EG Nr. 852/2004 über Lebensmittelhygiene zu beachten. Dies gilt auch in Küchen zur Schülerverpflegung und sinngemäß auch für **Lehrküchen**. Darüber hinaus sind auch in **Speiseräumen** die entsprechenden hygienischen Anforderungen einzuhalten. Die Fußböden, Spülen

und Armaturen, Wandfliesen und Ablagen, Tischoberflächen sowie die Kücheneinrichtungsgegenstände (Herde etc.) und Waschbecken müssen an jedem Nutzungstag gereinigt werden (Entfernen nicht haftender und haftender Verschmutzung mit vorheriger Grobschmutzentfernung).

Da immer mehr Schulen zur Ganztagsbetreuung übergehen, ist sicherzustellen, dass sich in der Schule eine ausreichende Zahl von Waschbecken befindet.

Neben den Unterhaltsreinigungen sind für die Sicherstellung eines ausreichenden Hygienestandards und des Werterhaltes Grund-, Sonder- und Glasreinigungen sowie Pflegemaßnahmen durchzuführen. Je nach Art, Beschaffenheit und Zustand von Oberflächen sind nach gründlicher Reinigung zusätzliche Einpflegemaßnahmen zum Werterhalt erforderlich. Insbesondere Pflegefilme von Fußbodenbelägen müssen durch regelmäßig durchgeführte Pflegemaßnahmen in Ordnung gehalten werden. Mindestens einmal im Jahr ist eine Grundreinigung und Grundpflege nach Pflegeanweisung in allen Räumen der Schule durchzuführen. Hierbei sind nicht nur die Fußböden zu reinigen, sondern auch Mobiliar und sonstige Einrichtungsgegenstände.

Sowohl für die routinemäßige Reinigung als auch für die Grundreinigung bzw. Grundpflege sind nur Reinigungsmittel zu verwenden, von denen keine gesundheitliche Gefährdung ausgeht. Werden mehrere unterschiedliche Reinigungsmittel genutzt, ist zu kontrollieren, ob sich die Mittel in ihrer Wirkung nicht gegenseitig aufheben und dass bei Mischung untereinander keine gesundheitlich bedenklichen Substanzen entstehen. Die Anwendungsempfehlungen sind zu beachten. Aus den Sicherheitsdatenblättern sind Sicherheitshinweise und die von dem Mittel ausgehenden Gefährdungen zu entnehmen.

Manche Mittel zur Flächendesinfektion enthalten Aldehyde (in den letzten Jahren werden zunehmend Aldehyde wie Glyoxal oder Glutardialdehyd eingesetzt), quaternäre Ammoniumverbindungen (QUATS), Biguanide und Amine. Bei einem Teil der Mittel können bei unsachgemäßer Anwendung (zu hohe Dosierung der Wirkstoffe in den Gebrauchslösungen, unzureichende oder falsche Lüftungsmaßnahmen bei der Anwendung) Wirkstoffreste durch Verdunsten in die Atemluft gelangen und zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen.

Was und wie oft muss in Schulgebäuden gereinigt werden?

Für Sanitärbereiche ist eine sachgerechte Reinigung einmal am Tag unverzichtbar; bei Bedarf soll häufiger gereinigt werden.

Der Eingangsbereich bis zum ersten Obergeschoss ist einmal täglich, die anderen Flure und Treppen sind mindestens jeden zweiten Tag zu reinigen. Klassenzimmer und Tischflächen sollen mindestens jeden zweiten Tag sachgerecht gereinigt werden. Turnhallen und ähnliche Räume sind täglich zu reinigen.

In anderen Schulbereichen sind Reinigungsmaßnahmen nach Bedarf durchzuführen.

Der Gebrauch von Desinfektionsmittelzusätzen ist nur in Sonderfällen (meldepflichtige Erkrankungen nach Infektionsschutzgesetz oder bei Kontamination mit Blut, Stuhl und Erbrochenem) notwendig. Ohne konkreten Anlass, d.h. nur um allgemein Infektionen vorzubeugen, ist eine desinfizierende Reinigung in keinem Bereich der Schule zu veranlassen.

Sanitär- und Waschbereiche sollen so ausgestattet werden, dass Waschbecken in ausreichender Zahl vorhanden sind. Nahe dem Waschbecken sollten vorzugsweise Seifenspender und Einmalhandtuchsysteme installiert sein.

Zu empfehlen ist die Erstellung und Anwendung von Reinigungsplänen. Ratsam ist es diesbezüglich, die zu befolgenden Reinigungs-, Lüftungs- und anderen hygienischen Maßnahmen in einem „Gesamt-Hygieneplan“ festzulegen.

A-3 Lüftungsanforderungen

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

Wegen des in Deutschland herrschenden Klimas wurden bisher Schulgebäude in der Regel so geplant und gebaut, dass für Klassenräume eine natürliche bzw. „freie“ Lüftung über Fenster ausreichen sollte. Bei ungünstiger Lage (z.B. erhebliche Lärmbelästigung aus der Umgebung oder hohe Luftverschmutzung) kann jedoch der Einsatz von Lüftungsanlagen erforderlich werden. Spezielle Abluftanlagen sind zudem für Laboratorien, bei denen Experimente mit starker Rauchentwicklung durchgeführt werden, erforderlich.

Bei der Nutzung der Fensterlüftung oder von 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 hoch schalldämmender Lüftungsfenster oder schalldämmter Lüftungskanäle kann hierbei 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 ohne Blendung erforderlich ist. Bei den im Schulbau üblichen Verglasungsanteilen in der Fassade von über 50 % benötigen alle Fassaden, ausgenommen reine Nord-Orientierungen, einen Sonnenschutz. Feststehende Sonnenschutzvorrichtungen haben den Nachteil, dass sie den Tageslichteinfall reduzieren. Südlagen sind hingegen einfacher mit wirksamen Sonnenschutzvorrichtungen auszustatten. Sonnenschutzvorrichtungen dürfen die Fensterlüftung nicht beeinträchtigen und sollen nicht das Einströmen von an der Außenwand aufsteigender Warmluft begünstigen.

Maßgebend für die Erneuerung der Luft in einem Raum ist die Luftwechselzahl. Diese ist der Quotient aus dem ausgetauschten 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, dass (rechnerisch) das gesamte Raumluftvolumen eines Raumes innerhalb von einer Stunde vollständig ausgetauscht wird. Man unterscheidet zwischen natürlicher Luftwechsel, der durch Winddruckdifferenz und thermischen Auftrieb entsteht, und dem mechanischen Luftwechsel mittels Lüftungsgeräten. Bei natürlichem Luftwechsel über weit geöffnete Fenster beträgt die Luftwechselzahl etwa 10–20/h.

Der erforderliche Luftwechsel wird umso größer, je stärker die Belastung der Innenraumluft mit Kohlendioxid (CO_2) und anderen Stoffen (vgl. Abschnitte B-1 bis B-4) ist. Bei einer üblichen Raumbelastung ist ein mehrfacher Luftwechsel pro Stunde für den Klassenraum erforderlich, um das von den Schülern beim Ausatmen produzierte Kohlendioxid aus der Raumluft in ausreichendem Maße abzuführen. Der notwendige Luftaustausch von etwa 25 bis 30 m^3/h und Person ist nicht mit natürlicher Lüftung bei geschlossenen Fenstern (sog. Fensterfugenlüftung) zu erreichen, sondern nur dadurch, dass die Fenster regelmäßig kurzzeitig und weit geöffnet werden („Stoßlüftung“ für mindestens 5, besser bis 10 Minuten). Noch effektiver (falls möglich) ist die Querlüftung über gegenüberliegende Fenster. Gelüftet werden muss daher unbedingt in jeder Unterrichtspause und – bei Doppelstunden sowie hoher Raumbelastung – auch zwischendurch (falls erforderlich, sollen die Schüler aus Sicherheitsgründen während dieser Zeit nicht in den Klassen

sein). Zu empfehlen ist auch während des Unterrichts 1 bis 2mal kurz eine Stoßlüftung durchzuführen.

Wie soll gelüftet werden?

Grundsätzlich durch Fensterlüftung. Dabei sind in den Unterrichtsräumen vor Unterrichtsbeginn und mindestens in jeder Pause (auch und gerade in den Fünfminutenpausen, in denen die Schüler in der Regel in der Klasse bleiben!) [alle](#) Fenster über die gesamte Pausenzeit weit zu öffnen (Stoßlüftung, Querlüftung). Eine Kipplüftung ist weitgehend wirkungslos, da durch sie kaum Luft ausgetauscht wird.

In den Wintermonaten entweicht beim Lüften zwangsläufig auch Wärme. Um den Energieverlust in Grenzen zu halten, sollten die Heizkörperventile während des Lüftens geschlossen werden. Alternativ können automatische Ventile mit Fensterkontaktschalter installiert werden. Die Leistungsreserven der Wärmeerzeugung sollten eine rasche Wiederaufheizung gestatten.

Die Leistungsreserven der Heizungssysteme müssen es gestatten, dass nach dem Lüften eine rasche Wiederaufheizung der Räume erfolgt – ansonsten würde nämlich das Lüften auf wenig Akzeptanz stoßen.

Reicht eine manuelle Fensterlüftung nicht aus, um eine hygienisch einwandfreie Luftqualität auch während des Unterrichts zu schaffen bzw. aufrechtzuerhalten, sind mechanische Belüftungsmöglichkeiten einzubauen, die einen ausreichenden Luftaustausch auch bei geschlossenen Fenstern sicher stellen. Auch hohe Lärm- und sonstige Immissionen im Außenbereich können mechanische Lüftungssysteme erforderlich machen. Falls diese installiert sind, muss aus hygienischer Sicht unbedingt eine regelmäßige Wartung solcher Anlagen gewährleistet sein.

A-4 Anforderungen und Reinigung von Lehrschwimmbecken

Schwimmen besitzt einen hohen gesundheitsfördernden Wert. Auch im Sportunterricht kommt dem Schwimmen eine besondere Bedeutung zu. Einige Schulen verfügen über Lehrschwimmbecken. Schwimmen ist gesund, kann aber auch zu hygienischen Problemen führen. Von jedem Schwimmer werden durchschnittlich ca. 2,3 bis 2,6 Milliarden Keime einschließlich ggf. pathogener Mikroorganismen wie z. B. *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pyogenes*, *Salmonella spec.* sowie pathogene Viren an das Wasser abgegeben.

Es ist somit sicher zu stellen, dass von Schwimm- und Badebeckenwasser keine gesundheitlichen Gefährdungen ausgehen. Das Infektionsschutzgesetz (§ 37) liefert hierfür die gesetzliche Grundlage: „Schwimm- oder Badebeckenwasser in Gewerbebetrieben, öffentlichen Bädern sowie in sonstigen nicht ausschließlich privat genutzten Einrichtungen muss so beschaffen sein, dass

durch seinen Gebrauch eine Schädigung der menschlichen Gesundheit, insbesondere durch Krankheitserreger, nicht zu besorgen ist“.

Um eine Übertragung von Krankheitserregern wirksam zu verhindern, ist eine Desinfektion des Badebeckenwassers unverzichtbar. Dazu hat sich Chlor aufgrund seiner schnellen und lang anhaltenden mikrobioziden Wirkung als wirksames Desinfektionsmittel seit langem bewährt. Zur Anwendung kommen Chlorgas oder Hypochlorit-Verbindungen (DIN 19643). In einigen Bädern kommt auch Brom aufgrund seiner ebenfalls mikrobioziden Wirkung zum Einsatz. Allerdings ist es für Badbetreiber und Gesundheitsämter schwieriger, diese Art der Desinfektion sachgemäß zu überwachen, da mit der für die Überwachung üblichen so genannten DPD-Methode nicht zwischen freiem und gebundenem Brom unterschieden werden kann. In der Empfehlung des Umweltbundesamtes „Hygieneanforderungen an Bäder und deren Überwachung“ (Bundesgesundheitsbl-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz 9, 2006) ist Brom daher nicht als Desinfektionsmittel aufgenommen worden. Zu beachten ist bei der Anwendung von Chlor und Brom, dass beide Stoffe Reizwirkungen haben. Aufgrund der Reaktion des Chlors bzw. Broms mit organischen Wasserinhaltsstoffen, die vor allem durch die Schwimmer in das Beckenwasser eingetragen werden (z.B. organische Verbindungen aus Urin, Schweiß, Schleim, Haaren, Hautabschilferungen, Kosmetika), aber z. T. auch schon im Füllwasser enthalten sind (z.B. Huminstoffe), kann es zudem zur Bildung unerwünschter Desinfektionsnebenprodukte (DNP) kommen. Von den organischen DNP sind die Trihalogenmethane (THM) die bekanntesten Vertreter. Ihnen kommt eine Art Indikatorfunktion bezüglich der gesundheitlichen Bewertung der Belastung des Badebeckenwassers zu. Die THM gelangen durch Ausgasen auch in die Hallenbadluft. Durch eine wirksame Lüftung kann die Belastung mit THM in der Luft reduziert werden.

Für den Bereich des Badebeckenwassers gibt es bisher bezüglich der Beurteilung der organischen DNP nur für die THM in der DIN 19643 einen Summen-Regulierungswert von 0,02 mg/l, der sich an der technologischen Machbarkeit orientiert. Bei der gesundheitlichen Bewertung des vom Schwimm- und Badebeckenwasser ausgehenden Risikos ist zu beachten, dass zwei Risiken gegeneinander abzuwägen sind, das mikrobiologische und das toxikologische, wobei das mikrobiologische insgesamt als relevanter einzustufen ist.

Die Aufbereitung des Badebeckenwassers ist ein technisch komplexer Vorgang, der von den entsprechenden Betreibern einen hohen Kenntnisstand in der Bädertechnik voraussetzt. Dies ist bei den von Schulen betriebenen Lehrschwimmbecken oft nur schwerlich zu realisieren, da sie über keine speziellen Fachkräfte verfügen. Der technische Betrieb dieser Bäder wird von den Hausmeistern der Schule oder Angestellten der Gemeinden übernommen, die im Umgang mit der Wartung und Badtechnik unbedingt erfahren sein sollten.

Das Herzstück der Badewasseraufbereitung ist die Flockung, die Filtration und die Chlorung des Wassers (DIN 19643). Zum Teil ist der Flockung noch eine Adsorption an Aktivkohle oder eine Ozonung voran- bzw. nachgeschaltet. Erfahrungen zeigen, dass gerade die Durchführung der Flockung und der Filtration unsachgemäß erfolgen und die Forderungen der DIN 19643 nicht eingehalten werden. Dies gilt auch in ganz besonderem Maße für die regelmäßig erforderliche Filterspülung.

Bei unsachgemäßer Badewasseraufbereitung kann es zu einer Belastung des Badewassers mit *Pseudomonas aeruginosa* (insbesondere nach Filterverkeimung) und mit Legionellen kommen. Ein höheres Infektionsrisiko besteht insbesondere bei einer Belastung der Duschanlagen mit Legionellen aufgrund niedrig temperierter Warmwassersysteme. Die Schulen, die ein Lehrschwimmbecken betreiben, sollen die Wartung und Reinigung der Becken in den Gesamt-Hygieneplan aufnehmen. Unter Beachtung der DIN 19643 sollten im Hygieneplan die konkreten, im Bad durchzuführenden Maßnahmen bezüglich der Badewasseraufbereitung, der Duschwasseranlage sowie der Reinigungs- und Desinfektionsmaßnahmen festgelegt werden. Es ist sicherzustellen, dass das mit der Bädertechnik befasste Personal regelmäßig im Bereich der Bädertechnik aus- und fortgebildet wird. Hierbei sind auch die Empfehlungen des UBA/der Badewasserkommission (siehe Bundesgesundheitsbl-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz 9, 2006) und weitere Hygieneempfehlungen (z.B. Bäderhygienepläne) zu berücksichtigen.

In einer weiteren Empfehlung der Badewasserkommission (Bundesgesundheitsbl 1997) werden spezielle Hinweise zur Vorbeugung gegen Erkrankungen durch Warzen nach Aufenthalt im Bäderbereich gegeben. Erkrankungen durch Warzen werden durch Viren verursacht. Dabei gibt es unterschiedliche Arten von Warzen, die bevorzugt an Streckseiten der Hände, Finger, Handtellern und Fußsohlen (Dornwarzen, Stechwarzen) vorkommen können. So genannte Dellwarzen sind stecknadelkopf – bis erbsengroße Knötchen, mit glatter oft glänzender Oberfläche die bisweilen in der Mitte einer Vertiefung (Delle) aufweisen. Sie können überall am Körper vorkommen. Dellwarzen werden durch direkten Mensch- zu Mensch-Kontakt (beim Spielen, Sport usw.),

gewöhnliche Warzen dagegen hauptsächlich indirekt, durch Kontakt mit virushaltigem Material oder Gegenständen übertragen. Eine Infektion über das Wasser findet nicht statt.

Kinder und Jugendliche sollten vom Sportlehrer oder weiteren verantwortlichen Personen über die Übertragbarkeit von Warzen aufgeklärt werden. Dabei ist auf das Folgende hinzuweisen:

- ▶ Die gemeinsame Benutzung von Handtüchern, Massageölen, Hautcremes etc. durch mehrere Personen ist zu vermeiden.
- ▶ Das Barfußgehen in Schwimmbädern bei bestehenden Warzen ist zu unterlassen.
- ▶ Warzenträgern ist ein Arztbesuch zu empfehlen.

Nach Beendigung des Schwimmbadbetriebes sollten die barfußig begangenen Flächen mit einem viruzid wirkenden Desinfektionsmittel gemäß der Desinfektionsmittelliste der Deutschen Gesellschaft für Hygiene und Mikrobiologie bzw. des Robert Koch-Instituts desinfizierend gereinigt werden. Dabei ist das Scheuer-/Wischverfahren anzuwenden. Ein Versprühen von Desinfektionsmitteln ist nicht ausreichend, da hierdurch Hautschuppen nicht wirksam entfernt werden.

A-5 Kleine Baumaßnahmen und Renovierungen

Nach kleinen Baumaßnahmen, Instandhaltungen und Renovierungen kommt es immer wieder zu Klagen von Lehrern, Schülern und Eltern über eine unzureichende Innenraumluftqualität. Bei sachgerechter Durchführung von kleinen Bau- und Renovierungsmaßnahmen lassen sich Raumluftprobleme weitgehend vermeiden.

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

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

Aus Bauprodukten und weiteren Materialien gelangen flüchtige organische Verbindungen „VOC“ (vgl. Abschnitt B-2) in die Raumluft. Daraus können negative Wirkungen für die Raumnutzer entstehen. Das Ausmaß dieser

nachteiligen Wirkungen hängt von der Art und Intensität sowie dem zeitlichen Verlauf der VOC-Emissionen ab. Besonders solche Materialien, die großflächig in den Räumen eingesetzt werden, wie Oberflächenbeschichtungen, Verklebungen, Bodenbeläge, sind so auszuwählen, dass möglichst wenig Emissionen nach dem Einbau und bei der späteren Nutzung entstehen.

Im Rahmen dieses Leitfadens kann 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. In den Sicherheitsdatenblättern der Produkte müssen Hersteller und Vertreiber u. a. kennzeichnungspflichtige Stoffe nennen. Verarbeitungshinweise und weitere Produktinformationen befinden sich in den Technischen Merkblättern. Zum Emissionsverhalten sind in diesen Datenblättern meist keine ausreichenden Informationen zu finden. Die Innenraumlufthygiene-Kommission empfiehlt, Hersteller und Vertreiber von Bauprodukten und sonstigen Materialien, die dem Kundenwunsch nach weitergehenden Informationen entgegenkommen, zu bevorzugen.

Produkte, die mit dem Umweltzeichen Blauer Engel „weil emissionsarm“ oder „weil schadstoffarm“ ausgezeichnet sind, weisen geringe Emissionen auf und sollten bevorzugt verwendet werden. Hilfestellung bei der Produktauswahl gibt die Broschüre „Umweltzeichen für Bauprodukte. Bauprodukte gezielt auswählen“, abrufbar unter www.apug.nrw.de/pdf/Bauprodukte.pdf. Leider gibt es Produkte mit dem Blauen Engel und anderen Gütezeichen noch nicht für alle Anwendungsgebiete.

Was ist bei der Materialauswahl zu beachten?

Vor kleinen Baumaßnahmen, Instandhaltungen und Renovierungen sollte über die Art und Menge von Produktinhaltsstoffen der für Bau- und Renovierungsarbeiten in Frage kommenden Materialien ein Überblick bei der verantwortlichen Stelle vorliegen. Erste Informationen hierzu ergeben sich aus Technischen Merkblättern und aus den Sicherheitsdatenblättern. Weitere Hinweise kann der Hersteller oder Vertreiber liefern. Einige Hersteller haben das Emissionsverhalten ihrer Produkte untersuchen lassen und können hierzu Auskunft geben. Produkte, die mit dem Umweltzeichen Blauer Engel ausgezeichnet sind sollten bevorzugt verwendet werden.

Ein großes Problem bei der Baustoffauswahl stellen Gerüche dar. Viele Bauprodukte sind, besonders wenn sie frisch vom Werk an die Baustelle angeliefert werden, nicht frei von Gerüchen. Diese können dann auch in den

ersten Monaten nach dem Einbau weiter bestehen und zu Belästigungen beim Raumnutzer führen. Zurzeit lässt sich auch im Vorfeld der Bauproduktauswahl, etwa durch Auswahl nur solcher Bauprodukte, die nach dem AgBB-Schema (zum AgBB-Schema siehe Abschnitt C-1) geprüft und vom Deutschen Institut für Bautechnik zugelassen wurden, nicht ermitteln, wie hoch die Geruchsbelastung der Produkte ist. Die Prüfbedingungen umfassen derzeit nur eine Analyse von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC, siehe Abschnitt B-2) und schwer flüchtigen organischen Verbindungen „SVOC“ (vgl. Abschnitt B-4). Verschiedene Untersuchungen haben gezeigt, dass keine Korrelation der VOC-Emissionen zu den Geruchsemissionen besteht. Künftig sollen auch Gerüche in die Bewertung nach dem AgBB-Schema aufgenommen werden. Erste Erfahrungen liegen mit einem Verfahren zur geruchlichen Bewertung von Bauprodukten auf Basis von Messungen in Emissionsmesskammern vor (vgl. Literaturhinweis „Bauprodukte: Schadstoffe und Gerüche bestimmen und vermeiden“ in Kapitel III). Dieses Verfahren, das auf einer Bewertung der Geruchsintensität durch ein trainiertes Panel (Personenkreis, der speziell darauf trainiert ist, Gerüche zu erkennen) mit Hilfe eines Vergleichsmaßstabs beruht, hat seine Eignung und gute Reproduzierbarkeit in einem Rundversuch belegt. Aufgrund der mittlerweile erreichten allgemeinen Akzeptanz findet dieses Verfahren zurzeit Eingang in die internationale Normung (ISO TC 146 / SC 6).

Die ausgewählten und eingesetzten Produkte und Materialien sollten nicht nur emissionsarm, sondern auch möglichst lange gebrauchstauglich sein. Jede Verlängerung der Nutzungsdauer schiebt eine erneute bauliche Maßnahme oder Renovierung mit möglichen Einbußen der Innenraumluftqualität hinaus.

Der Einsatz und die Auswahl emissionsarmer Bauprodukte ist das eine, die Kontrolle vor Ort, ob diese Produkte auch tatsächlich und sachgerecht in das Schulgebäude eingebaut werden, das andere Kriterium, um Schadstoffeinträge zu vermeiden. Eine sachgerechte Überwachung der Verarbeitung durch einen mit den Anforderungen der Innenraumhygiene vertrauten Bauleiter oder eine vergleichbare Fachkraft ist deshalb 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 nachfolgende Schicht aufgebracht wird (siehe Herstellerangaben). 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 und bei späteren Reinigungsmaßnahmen – aufgenommen

werden. Eine Depotbildung der Stoffe in Zwischenschichten soll möglichst vermieden werden. Aus dem gleichen Grund ist auch darauf zu achten, dass Produkte mit flüchtigen Inhaltsstoffen nicht in größeren Mengen in Fugen, Risse und Hohlräume gelangen. Auch ist darauf zu achten, dass bei Renovierungen der vorhandene Untergrund und die auf ihm haftenden Altmaterialien mit den neuen Produkten keine Unverträglichkeiten zeigen, die beispielsweise zu Geruchsbelästigungen führen können. Das Aufbringen einer geeigneten Sperrschicht kann Unverträglichkeiten verhindern.

Die Emission von VOC und SVOC aus Bauprodukten und Ausstattungsmaterialien kann zwar deutlich eingeschränkt, jedoch nicht vollständig vermieden werden. Die Innenraumluft ist unmittelbar nach Bau- und Renovierungsmaßnahmen fast immer zusätzlich mit VOC (weniger mit SVOC, diese gasen langsamer aus) belastet. Daher ist vor erneuter Raumnutzung eine gewisse Zeit (je nach Umfang und Art der Renovierungsarbeiten kann dies eine bis mehrere Wochen betragen zur Ausgasung von VOC einzuplanen. Bei Schulen empfiehlt es sich, kleinere Baumaßnahmen und Renovierungen an den Beginn der Schulferien zu legen, damit vor der erneuten Nutzung bereits ein Großteil der Komponenten aus den Materialien frei gesetzt wurde.

Während der Ausgasungszeit der Stoffe muss intensiv gelüftet werden. Wenn Warmwasserrohre und Heizkörper neu gestrichen worden sind, ist dringend zu empfehlen, die Heizungsanlage nach Abtrocknung des Lackes kurzfristig in Betrieb zu nehmen, ohne dass sich dabei Personen im Raum aufhalten. Damit wird erreicht, 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 beachten?

- ▶ Prüfen, ob bei den Arbeiten tatsächlich die ausgewählten Produkte eingesetzt werden. Gegebenenfalls überprüfen, ob die angelieferten Materialien 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 soll das gesamte Gebäude intensiv gereinigt werden. Feuchtes Wischen und eine möglichst weitgehende Entfernung aller Staubablagerungen, die später eventuell als „Dauerdepot“ für bei der Renovierung emittierte schwer flüchtige organische Verbindungen (vgl. Abschnitt B-4) wirken, sind dringend anzuraten.

A-6 Werkstätten, Laborräume und Lehrküchen

Werkstätten, Laborräume und Lehrküchen zählen zu speziellen, nur für diese Zwecke genutzten Unterrichtsräumen. Hier können gesonderte Probleme etwa bei Experimentierarbeiten mit Rauchentwicklung auftreten, die es in Klassenräumen nicht oder nicht in dieser Form gibt. Für diese Räume existieren weit reichende Regelungen, u.a. nach der Gefahrstoffverordnung und nach dem Lebensmittelrecht, auf die in diesem Leitfaden nicht weiter eingegangen wird. Im Folgenden wird 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) 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 sind technische Lüftungsmaßnahmen erforderlich. Für die üblichen Lötarbeiten reicht im Allgemeinen eine natürliche Raumlüftung aus. Bei der Bearbeitung von Holz sind staubarme Arbeitsbedingungen in den Werkräumen zu schaffen. Dies wird am besten dadurch erreicht, dass:

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

Laborräume:

Räume für den naturwissenschaftlichen Unterricht, wie z.B. Chemieunterrichtsräume, müssen nach GUV 19.16 mindestens einen Abzug (Digestorium) aufweisen. 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 einen geschlossenen Frontschieber geschützt sein, falls gefährliche Stoffe verspritzen oder Glas zersplittert.

Das Abblasen und Kehren führt zum Aufwirbeln abgelagerter Holzstäube und ist grundsätzlich nicht zulässig! Holzstäube sollten grundsätzlich technisch abgesaugt werden.

Lehrküchen:

Für Küchen gilt die Berufsgenossenschaftliche Regel (BGR 111; früher ZH 1/37) „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, ist ein Dunstabzug erforderlich. Beim Kochen, Braten und Backen können sehr feine Partikel freigesetzt werden, deren hygienische Bedeutung bisher kaum oder gar nicht untersucht worden ist. Aus Vorsichtsgründen sind solche Kochvorgänge unter dem Dunstabzug durchzuführen. Bei Verwendung von Gasherden zum Kochen können große Mengen Stickstoffoxide entstehen. In solchen Fällen ist zusätzlich zum Dunstabzug für gute Raumbelüftung zu sorgen.

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

Bei Arbeiten in speziellen Unterrichtsräumen ist besondere Sorgfalt zum Schutz von Schülern und Lehrern nötig. Die gültigen Vorschriften müssen unbedingt eingehalten werden. Abzugshauben (Digestorien) sollen 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 Ersatzstoffe, -zubereitungen oder -erzeugnisse mit geringerem oder vorzugsweise keinem gesundheitlichen Risiko eingesetzt werden können. Der Umgang mit krebserzeugenden, krebsverdächtigen, erbgutverändernden und fortpflanzungsschädigenden, reproduktionstoxischen Stoffen (CMR-Stoffe) soll im gesamten Schulunterricht unterbleiben. Ausgenommen sind lediglich Lehrexperimente, bei denen bewusst die Reaktion einiger Stoffe mit anderen untersucht werden soll. Solche Versuche dürfen nur vom geschulten Lehrpersonal (als Demonstrationsversuch) und nur unter dem Abzug durchgeführt werden. Je nach Versuch sind im Bedarfsfall zusätzlich individuelle Schutzmaßnahmen zu ergreifen (Tragen von Mundschutz, Schutzbrille, Schutzhandschuhen, Laborkittel).

A-7 Kopierer, Druckgeräte und PC

In letzter Zeit mehren sich Meldungen in der Presse, dass von Kopierern und Druckgeräten Raumluftbelastungen mit flüchtigen organischen Verbindungen (Styrol, Benzol etc.) sowie mit Feinstaub und ultrafeinen Stäuben ausgehen können.

Auch das Umweltbundesamt und die Universität Gießen haben in Studien 2007 festgestellt, dass beim Gebrauch von Laserdruckern ultrafeine und feine Partikel emittiert werden (die Ergebnisse sind abrufbar unter: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3016.pdf> sowie unter <http://www.bfr.bund.de/cd/8644>). Auch VOC werden freigesetzt.

Unklar ist bis heute die genaue Zusammensetzung der von Druckern während des Betriebs frei gesetzten Partikel. Aktuelle Untersuchungen an der Universität Gießen und anderen Institutionen haben gezeigt, dass Tonerpartikel nur einen geringen Teil der Partikelemissionen ausmachen, bei sehr kleinen Partikeln sogar gar nichts zur Emission beitragen. Weitere Untersuchungen müssen Aufklärung bringen.

Aufgrund des elektrophotographischen Verfahrens kann beim Betrieb von Kopiergeräten und Laserdruckern Ozon entstehen. Die beim Betrieb frei werdenden Ozonmengen sind abhängig von den technischen Eigenschaften des Gerätes, der Betriebsdauer und dem Wartungszustand der Geräte sowie der Größe des Aufstellraumes. Nennenswerte Ozonkonzentrationen entste-

hen bei modernen Geräten heute allerdings kaum noch. Neuere Geräte (etwa seit 1992) besitzen wirksame Ozonadsorber.

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

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

Kopierer und Laserdrucker können beim Betrieb geringe Mengen an VOC und Partikeln emittieren. Beim Wechsel der Tonerkartuschen besteht die Möglichkeit für kurzzeitige Raumlufbelastungen. Tonerkartuschen sind daher nur von eingewiesenem Personal und mit großer Sorgfalt zu wechseln. Größere, häufig genutzte Druckgeräte („Zentraldrucker“) und Kopierer sollen in abgetrennten Räumen untergebracht werden, die über eine separate Lüftungsmöglichkeit verfügen. Bei der Anschaffung sollen nur Druckgeräten mit dem Umweltzeichen (RAL-UZ 122) gekauft werden. Hilfestellung zur Anschaffung und beim Umgang mit Druckgeräten geben auch die Empfehlungen der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (abrufbar unter: www.baua.de/nn_5846/de/Publikationen/Faltblaetter/F44.html?_nnn=true)

TEIL B: Verunreinigungen der Innenraumluft in Schulen

In den folgenden Abschnitten wird zunächst auf Quellen der Innenraumverunreinigungen eingegangen und anschließend deren hygienische Bedeutung in Schulinnenräumen beschrieben.

B-1 Anorganische Gase

Einen Überblick über wichtige 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: Quellen relevanter anorganische Gase in Schulinnenräumen	
Verbindung	Quelle
Kohlendioxid (CO ₂)	Mensch, offene Flammen
Kohlenmonoxid (CO)	Experimente mit unvollständiger Verbrennung organischen Materials, Lehrküchen, Außenluft
Stickstoffdioxid (NO ₂)	Lehrküchen (Gasherd), Bunsenbrenner, Außenluft
Ozon (O ₃)	Außenluft (Sommer), Kopierer, Laserdrucker

Kohlendioxid (CO₂) entsteht beim Verbrennen organischen Materials und wird beim Atmen freigesetzt. In Schulräumen ist die Verbindung 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 150 Jahren auf den Tatbestand der „schlechten“ Luft beim längeren Aufenthalt in Wohnräumen und Lehranstalten hingewiesen und Kohlendioxid als wichtige Leitkomponente für die Beurteilung der Raumluftqualität identifiziert. Lange Zeit galt die sogenannte Pettenkoferzahl von 0,1 Volumenprozent (= 1000 parts per million (ppm); 1 ppm = 1 Teil auf 1 Million Teile) in Innenräumen als Bewertungsmaßstab. Der CO₂-Gehalt der Außenluft beträgt demgegenüber ca. 350 ppm (in Städten an manchen Stellen auch bis ca. 500 ppm).

Die Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumlufthygienekommission und der Obersten Landesgesundheitsbehörden (Ad-hoc AG IRK/AOLG) hat eine Bewertung für Kohlendioxid in der Innenraumluft vorgelegt (Tabelle 2) (Ad-hoc AG IRK/AOLG, 2008: Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft, Bundesgesundheitsbl-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz (im Druck). Danach werden Leitwerte für die Kohlendioxidkonzentrationen in der Innenraumluft festgelegt, die bezogen auf die aktuelle vorliegende Konzentration als Momentanwerte zu sehen sind. Es wird unterschieden in: „hygienisch unbedenklich“ ($\text{CO}_2 < 1000 \text{ ppm}$), „hygienisch auffällig“ ($\text{CO}_2 1000\text{--}2000 \text{ ppm}$) und „hygienisch inakzeptabel“ ($\text{CO}_2 > 2000 \text{ ppm}$). Bei Überschreiten eines CO_2 -Werte von 1000 ppm soll gelüftet werden, bei Überschreiten von 2000 ppm muss gelüftet werden. Eine Unterschreitung von 1000 ppm ist in beiden Fällen anzustreben. Kann durch Lüften allein die Situation auf Dauer nicht verbessert werden, sind Lüftungstechnische Maßnahmen zu ergreifen oder ist eine Verringerung der Zahl der Schülerinnen und Schüler im Klassenraum vorzunehmen.

Tabelle 2. Leitwerte für die Kohlendioxid-Konzentrationen in der Innenraumluft (Ad-hoc-AG 2008)		
CO_2 -Konzentration [ppm]	Hygienische Bewertung	Empfehlung
< 1000	Hygienisch unbedenklich	► Keine weiteren Maßnahmen
1000–2000	Hygienisch auffällig	<ul style="list-style-type: none"> ► Lüftungsmaßnahmen intensivieren (Außenluftvolumenstrom bzw. Luftwechsel erhöhen) ► Lüftungsverhalten überprüfen und verbessern
> 2000	Hygienisch inakzeptabel	<ul style="list-style-type: none"> ► Belüftbarkeit des Raumes prüfen ► ggf. weitgehende Maßnahmen prüfen

Die Konzentration von Kohlendioxid in der Raumluft hängt von der Zahl, Aufenthaltsdauer und Aktivität der anwesenden Personen sowie von den baulichen Gegebenheiten (Raumvolumen, Luftwechselzahl etc.) ab. Obwohl das Kohlendioxidproblem in Räumen mit hoher Personenzahl seit langem bekannt ist, sind bis heute im Schulbereich keine überzeugenden Lösungen gefunden worden. Gleichzeitig gibt es besonders im Winterhalbjahr keine klaren Zuständigkeitsregelungen, wie, wann und von wem die Fenster der Klassenräume zu öffnen sind. Die Folge sind erwartungsgemäß hohe bis sehr hohe CO_2 -Werte (3000 ppm und mehr), aber auch eine Anreicherung mit anderen Innenraumschadstoffen und mit Wasserdampf. Es ist dringend notwendig, dass im Schulbereich Konzepte entwickelt werden, wie die in

Tabelle 2 genannten Leitwerte eingehalten werden können. Zur Unterstützung in den Schulen könnte man sich eine sensorgesteuerte Ampel vorstellen, die bei Überschreiten bestimmter CO_2 -Werte in der Raumluft von „grün“ nach „gelb“ nach „rot“ umspringt und die Notwendigkeit zum Handeln nach Tabelle 2 aufzeigt. Das Messintervall des sensorgestützten Systems ist dabei sehr sorgfältig auszuwählen, um nicht ein ständiges „Hin- und Herspringen“ der Anzeige in der Praxis zu erreichen und damit die einzuleitenden Maßnahmen unbrauchbar zu machen. Praxisgerecht ist ein Messintervall von mindestens 2 Minuten.

Falls ein natürlicher Luftwechsel über geöffnete Fenster nicht möglich ist, müssen lüftungstechnische Maßnahmen erfolgen, um die CO_2 -Konzentrationen niedrig zu halten.

Freie Lüftung über Fenster oder Lüftungsanlagen in Schulen?

Wir stehen heute zweifelsohne vor einem gewissen Paradigmenwechsel im Denken und im Handeln. Die aktuelle Situation in vielen Schulen zeigt, dass allein mit Aufforderungen zum regelmäßigen und intensiven Lüften das CO_2 -Problem mancherorts nicht mehr in den Griff zu bekommen ist. Lüftungstechnische Maßnahmen werden dann unerlässlich, um eine nutzerunabhängige und dauerhafte Luftgüte mit geringer CO_2 -Konzentration zu erreichen. Eine regelmäßige Wartung und Kontrolle der Anlage ist erforderlich, damit diese nicht selbst zu hygienischen Problemen führt.

In Schulen mit technischen Lüftungseinrichtungen galt in Deutschland bis 2005 nach DIN 1946 Teil 2 ein CO_2 -Wert von 0,15 Vol.-% (= 1500 ppm) als hygienischer Richtwert. Im Juli 2005 ist an die Stelle von DIN 1946-2 die EN 13779 getreten, die im September 2007 ergänzt wurde. Diese EN enthält Empfehlungen für die Planung und Ausführung lüftungstechnischer Anlagen in allen Nichtwohngebäuden, die für den Aufenthalt von Menschen bestimmt sind. Die Raumluft wird in vier Qualitätsstufen (In Door Air 1 bis 4) unterteilt. Aus diesen Qualitätsstufen ergeben sich unterschiedliche Lüftungsraten je Person bzw. je m^2 Grundfläche.

Tabelle 3. Klassifizierung der Raumluftqualität nach DIN EN 13779: 2007-09. Die Tabelle enthält in den Spalten 1 bis 3 die Vorgaben der DIN EN 13779. Spalte 3 zeigt den Anteil der CO₂-Konzentration der Innenraumluft an der CO₂-Gesamtkonzentration. Spalte 4 stellt beispielhaft für eine CO₂-Außenluftkonzentration von 400 ppm absolute CO₂-Konzentrationen in der Innenraumluft vor.

Kategorie	Beschreibung	Erhöhung der CO ₂ -Konzentration gegenüber der Außenluft [ppm]	Absolute CO ₂ -Konzentration in der Innenraumluft [ppm]	Lüftungsrate/ Außenluftvolumenstrom [l/s/Person] ([m ³ /h/Person])
IDA 1	Hohe Raumluftqualität	≤ 400	≤ 800	> 15 (> 54)
IDA 2	Mittlere Raumluftqualität	> 400–600	> 800–1000	> 10–15 (> 36–54)
IDA 3	Mäßige Raumluftqualität	> 600–1000	> 1000–1400	> 6–10 (> 22–36)
IDA 4	Niedrige Raumluftqualität	> 1000	> 1400	< 6 (< 22)

Kohlenmonoxid (CO) wird bei der unvollständigen Verbrennung fossiler Brennstoffe freigesetzt. Es gelangt besonders in Ballungsräumen an verkehrsreichen Straßen mit der Außenluft auch beim Lüften in Innenräume. Eine wesentliche weitere Emissionsquelle stellt der Tabakrauch dar. Auch zur Vermeidung des Auftretens von Kohlenmonoxid ist das allgemeine Rauchverbot an Schulen nochmals ausdrücklich zu unterstreichen. CO kann auch bei Verwendung von Gas zum Kochen in Lehrküchen – allerdings nur bei ungenügender Abluftführung – in den Innenraum gelangen. Kohlenmonoxid beeinträchtigt den Transport von Sauerstoff mit dem roten Blutfarbstoff. Im Schulbereich sind die dafür erforderlichen Konzentrationen in der Regel aber nicht zu erwarten.

Stickstoffoxide (NO_x = Summe von Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO₂)) gelangen außer durch Eintrag von außen vor allem beim Verbrennen von Gas (Bunsenbrenner in Labors, Gasherde in Lehrküchen) in die Raumluft. Es lässt sich bei geeigneter Abluftführung beim Kochen mit Gas in Lehrküchen weitgehend vermeiden. Kurzzeitig erhöhte NO₂-Konzentrationen in der Raumluft können auch beim Gebrauch von Lampenölen oder einer größeren Zahl von Kerzen entstehen. Stickstoffdioxid fördert bei

lang andauernder und erhöhter Einwirkung das Entstehen von Atemwegserkrankungen.

Ozon (O_3) kann in Schulen beim Gebrauch von Kopiergeräten und Laserdruckern bzw. allgemein von Geräten, die UV-Strahlungsquellen besitzen, in die Raumluft emittiert werden (vgl. Abschnitt A-7). Moderne Bürogeräte geben so wenig Ozon ab, 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 Ozon im Innenraum rasch abgebaut.

B-2 Flüchtige organische Verbindungen („VOC“)

Flüchtige organische Verbindungen (VOC – aus dem Englischen für Volatile Organic Compounds) 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 leicht flüchtigen, schwer und nicht flüchtigen organischen Verbindungen unterschieden. Als flüchtige organische Verbindungen (VOC) werden nach Konvention organisch-chemische Verbindungen des Siedebereiches von 50–100°C bis 240–260°C bezeichnet (WHO 1989). In der analytischen Praxis werden als VOC organische Verbindungen bezeichnet, die im Elutionsbereich zwischen n-Hexan und n-Hexadecan bestimmbar sind. Als TVOC (englisch: Total Volatile Organic Compounds) wird die Summe flüchtiger organischer Verbindungen, die zwischen n-Hexan und n-Hexadecan eluiert werden, bezeichnet. Schwer flüchtige organische Verbindungen (SVOC – Semi Volatile Organic Compounds) sind organische Verbindungen, die im Retentionsbereich oberhalb von n-Hexadecan bis C_{22} liegen, und leicht flüchtige Verbindungen (VVOC – Very Volatile Organic Compounds) solche, die unterhalb von n-Hexan auftreten. Tabelle 4 gibt einen Überblick über häufig in Innenräumen gemessene VOC und deren Quellen.

Tabelle 4: Häufig in Innenräumen gemessene VOC und deren Quellen; ¹⁾ außer Formaldehyd, der zur Gruppe der VVOC gehört

VOC und VOC-Gruppen	Quellen
Alkane, Alkene und Cycloalkene	Außenluft, Kfz-Verkehr, Kraftstoffe, Lösemittel („Solvent Naphta“) in Lacken, Harzen und Fleckentferner
Aromatische Verbindungen	Kfz-Verkehr, Tabakrauch, Lösemittel, Teppichbodenrücken (z. B. Phenylcyclohexen), Hartschaumprodukte
Terpene	Holz, Lösemittel, „Geruchsverbesserer“, Duftstoffzusatz
Naphthalin	Bitumenplatten, Teerkleber, Teerpappen, Mottenschutz
Alkohole	Reiniger, Lösemittel, Abbauprodukte u.a. aus Weichmachern
Aldehyde ¹⁾	Küchendunst, Desinfektionsmittel, Alkydharzfarben, Ölfarben, Abbauprodukte aus Linoleum, Korfußböden, Holzprodukte
Ketone	Lösemittel (z. B. Methylethylketon), Stoffwechselprodukte, UV-gehärtete Lackoberflächen
Ester	Lösemittel, Weichmacher, Heizkostenverteiler (Methylbenzonat)
Glykolether	Lösemittel in wasserlöslichen Farben und Lacken, Reiniger
Halogenierte Verbindungen	Entfettung, Lösemittel, chemische Reinigung (Tetrachlorethen), Tippex (1.1.1-Trichlorethan), Toilettenstein (p-Dichlorbenzol)
Sonstige Verbindungen	Bindemittel (Phenol), Desinfektionsmittel (Kresole), Dichtungsmassen (Butanonoxim)

Im Einzelnen haben folgende VOC für Schulinnenräume eine Bedeutung:

Alkane und Alkene:

Alkane sind kettenförmige gesättigte Verbindungen (Aliphaten), die sich durch die Zahl der Kohlenstoff- und Wasserstoffatome im Molekül unterscheiden. Nach Renovierungen, aber auch nach Reinigung von Klassenräumen ist besonders häufig die Fraktion von Nonan bis Tetradecan (9 bzw. 14 Kohlenstoffatome im Molekül; C-9 bzw. C-14) in der Innenraumluft anzutreffen. Tankanlagen für leichtes Heizöl können unter ungünstigen Umständen als Quellen für Alkane der Fraktion zwischen Tetradecan (C-14) und Octa-

decan (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 die sehr leichtflüchtigen n-Alkane, wie Methan (C-1) und Butan (C-4), die Bestandteile von Erdgas sind und mit der üblichen Innenraumluftanalytik in der Regel nicht gemessen werden.

Alkene (Olefine) sind ungesättigte Kohlenwasserstoffverbindungen. Längerkettige Olefin-Verbindungen stellen Reaktions- und Abbauprodukte dar. Gesättigte cyclische Kohlenwasserstoffe, wie Cyclohexan und Methyl-cyclohexan, werden als Lösemittel in Lacken, Harzen und Fleckentferner im Innenraumbereich eingesetzt.

Aromatische Verbindungen:

Aromatische Verbindungen (Aromaten) sind Kohlenwasserstoffverbindungen 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 (bis zu 1 % Benzol sind als Bestandteil im Kraftstoff erlaubt) in Frage.

Toluol wurde früher häufig als Lösemittel eingesetzt. Heute werden höheraromatische Verbindungen mit 8 Kohlenstoffatomen und mehr (sog. Alkyl-Aromaten) anstelle von Toluol eingesetzt. Diese sind oft auch geruchlich auffällig. Die geruchliche Auffälligkeit trifft auch für das Styrol zu, das allerdings in Schulen selten angetroffen wird. Auch mehrkernige aromatische Kohlenwasserstoffe (z. B. Naphthalin, Indene) sind im Allgemeinen in der Innenraumluft von Schulen von geringer Bedeutung, ausgenommen es wurden Bitumen- und Steinkohlenteerprodukte z. B. in Fußbodenaufbauten (Feuchtesperre, Parkettkleber) eingesetzt; dann werden derartige Verbindungen in die Innenraumluft abgegeben.

Terpene:

Eine wichtige Substanzgruppe der VOC stellen die Terpene dar. Die Monoterpene Limonen, α - und β -Pinen und δ -3-Caren sind häufig und zunehmend in Innenräumen anzutreffen. Natürliche Ausgasungen aus Holzprodukten, der Zusatz als Duftstoff und der Einsatz als „natürliche“ Lösemittel für diverse Produkte (Farben, Lacke, Holzpflegemittel u.a.) sind wesentliche Eintragswege in die Raumluft. Terpene findet man in vergleichsweise erhöhten Konzentrationen gerade auch in nach ökolo-

gischen Gesichtspunkten gebauten bzw. ausgestatteten Gebäuden und Räumen, vor allem, wenn Wände und Decken mit Massivnadelholz großflächig verkleidet sind. Diverse Terpenalkohole und Terpenketone (z. B. Geraniol, Campher) werden mit Duftstoffen in die Raumluft eingebracht.

Alkohole:

Neben dem umgangssprachlich als „Alkohol“ bezeichneten Ethanol (auch Ethylalkohol) sind weitere Verbindungen, die der chemischen Klasse der Alkohole angehören, in der Raumluft anzutreffen. Niedrige Alkohole wie z. B. Ethanol oder Propanol, Isopropanol und Isobutanol kommen in sehr vielen Haushaltsprodukten (z. B. Reiniger, Lösemittel, Desinfektionsmittel, Kosmetika) vor. Aus Weichmachern in Kunststoffen kann u. a. durch hydrolytische Spaltung 2-Ethylhexanol in die Innenraumluft gelangen, ein Alkohol, der gelegentlich zu Geruchsproblemen in Innenräumen beiträgt.

Glykole:

Glykolether sind viel verwendete technische Lösungsmittel insbesondere für Lacke, Farbstoffe und Druckerfarben, Stempelfarben, Wandfarben, sog. „Wasserlacke“ und Kugelschreiberpasten und werden regelmäßig in der Innenraumluft nachgewiesen, da sie als Ersatzstoffe für die oben genannten klassischen Lösemittel der Aliphaten und Aromaten dienen. Auch in Lacken, die mit dem Blauen Engel ausgezeichnet sind, dürfen bis zu 10% Glykolverbindungen enthalten sein. In den so genannten lösemittelfreien Teppichklebern werden Glykolverbindungen mit Siedepunkten oberhalb 200°C verwendet. Glykole und Glykolether (wie z. B. 2-Buthoxyethanol, Phenoxyethanol, Diethylenglykolmonoethylether) sind polare Verbindungen mit Siedepunkten über 120°C. Aufgrund ihres relativ hohen Siedepunktes können sie über lange Zeiträume (Monate) hinweg aus Oberflächen ausgasen.

Aldehyde:

Der einfachste Vertreter dieser Substanzgruppe, der Formaldehyd, gehört – im Gegensatz zu den höheren Aldehyden – wegen seines geringen Siedepunktes nicht zur Gruppe der VOC sondern zur Gruppe der VVOC. Wegen seiner weiten Verbreitung und seiner hygienischen Bedeutung ist ihm ein gesonderter Abschnitt gewidmet (siehe Abschnitt B-3).

Von den geradkettigen Aldehyden fällt vor allem n-Hexanal oft in der Innenraumluft auf. Wesentliche Quellen sind Alkydharzfarben 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 schlecht gepflegten Linoleumböden (vgl. Abschnitt A-2) Aldehyde an die Umgebungsluft abgegeben werden. Benzaldehyd findet sich als Duftstoff (bittermandelartig) in parfümierten Artikeln.

Furfural ist ein Aldehyd mit ringförmigem (cyclischem) Molekülaufbau, der bei Verwendung von Presskorkprodukten (z. B. als Fußbodenplatten) in die Raumluft gelangen kann. Zu den ungesättigten Aldehyden zählt Propenal (Acrolein) mit einem besonders stechenden Geruch. Die Verbindung tritt unter anderem bei der thermischen Zersetzung von Fetten auf (Küchendunst).

Ketone:

Butanon (Methylethylketon – MEK) und Hexanon (Methylisobutylketon – MIBK) sind vielfältig eingesetzte Lösemittel, z. B. in Allesklebern, und können beim Aushärten der Kleber in die Innenraumluft gelangen. Cyclohexanon und Acetophenon werden vereinzelt aus Oberflächenbeschichtungen in die Raumluft abgegeben.

Ester:

Ester sind häufig eingesetzte Lösemittel: Ethylacetat, Butyl- und Isobutylacetat können insbesondere nach Umbau- und Renovierungsarbeiten in der Innenraumluft auftreten. Texanol wird als Additiv für Lacke, Parkettversiegelungen und Dispersionsfarben (Latexfarben) und Tintenstrahldruckerfarben verwendet, um die Filmbildung zu verbessern. In zunehmendem 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. Als Ersatzstoff für Weichmacher (vgl. Abschnitt B-4) wird heute der Ester TXIB (Texanolisobutyrat) eingesetzt.

Halogenierte organische Verbindungen:

Für praktisch alle halogenierten organischen Verbindungen konnten in den letzten zehn Jahren rückläufige Innenraumluftkonzentrationen festgestellt werden. Halogenierte organische Verbindungen wie 1.1.1-Trichlorethan fanden sich früher z. B. in „Tipp-Ex“-Fluids (Einsatz seit 1991 verboten). Weitere Stoffe und Einsatzgebiete sind p-Dichlorbenzol aus Toilettensteinen und Mottenschutzmitteln und geruchlich auffällige Mono- bis Trichlornaphthalene aus mit Fungiziden behandeltem Holzwerkstoffen sowie Chloranisole als

Zersetzungsprodukte von Holzschutzmitteln. Von hygienischer Bedeutung sind die halogenhaltigen organischen Trihalomethane und Chloramine, die in Hallenbädern als Reaktionsprodukte der Badewasserchlorung entstehen. (vgl. Abschnitt A-4).

Siloxane:

Zunehmend Verwendung als Lösemittel finden in Lacken auch flüchtige Siliziumverbindungen – sogenannte Siloxane wie die Methylpolysiloxane (z.B. Cyclopentasiloxan), die oft in der Innenraumluft nachgewiesen werden.

Stickstoff- und schwefelhaltige organische Verbindungen:

Viele Amine, Aniline und andere basische organische Verbindungen werden als Produkthilfsmittel eingesetzt. Sie sind in der Innenraumluft sehr selten nachweisbar und meist 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 Schimmelpilzwachstum infolge von Feuchtigkeitsschäden in Innenräumen (vgl. Abschnitt B-7) können flüchtige Stoffwechselprodukte von Mikroorganismen, z.B. verschiedene Alkohol-, Aldehyd- und Ketonverbindungen in die Raumluft gelangen. Einige dieser mikrobiell produzierten flüchtigen Stoffe sind weitgehend spezifisch für Mikroorganismen, andere allerdings können auch von verschiedenen anderen Quellen stammen, wie einige Terpene oder aromatische Kohlenwasserstoffe, wie z.B. Toluol. Die Stoffe, die in erster Linie mikrobiellen Quellen zuzuordnen sind, werden MVOC genannt. Diese Abkürzung ist aus dem Englischen abgeleitet und steht für Microbial Volatile Organic Compounds. Die MVOC kann man mit speziellen Verfahren in der Raumluft messen und als Indikatoren für die Gegenwart mikrobieller Schäden heranziehen. MVOC kommen in Innenräumen in der Regel in deutlich geringeren Konzentrationen (unter $1\mu\text{g}/\text{m}^3$) vor als VOC. Sie können aber aufgrund ihrer geringen Geruchsschwelle zu Geruchswahrnehmungen führen (siehe Folgeabsatz). Besonders bei Schimmelpilzschäden, die nicht gleich mit dem bloßen Auge erkennbar sind, können MVOC-Messungen bei der Erfassung des Schadens hilfreich sein (vgl. Abschnitt B-7).

Gesundheitliche Risiken sind von einer Belastung mit MVOC nicht ableitbar. Die Indikatorwirkung der MVOC steht im Vordergrund des Interesses und

auffällige Messbefunde sollten ausschließlich als Anlass für eine sorgfältige Suche nach versteckten mikrobiellen Quellen gesehen werden.

Geruchsaktive flüchtige organische Verbindungen (OVOC):

Die meisten flüchtigen organischen Verbindungen werden in den üblichen, niedrigen Innenraumlufkonzentrationen geruchlich nicht wahrgenommen. Geruchsaktive flüchtige organische Verbindungen, die auch in sehr niedrigen Konzentrationen und dadurch bedingt unter Umständen auch über längere Zeit eine geruchliche Wahrnehmung auslösen, bezeichnet man als Geruchsstoffe (englisch: Odour Active Volatile Organic Compounds – OVOC). Sie haben ein Molekulargewicht unter 300 g/mol, einen relativ niedrigen Siedepunkt und gehen leicht in die Gasphase über. Häufig enthalten sie polare funktionale Gruppen wie Hydroxy- oder Carbonylgruppen oder Heteroatome wie Schwefel oder Stickstoff. In den vorangegangenen Absätzen wurden bereits einige Beispiele geruchsaktiver flüchtiger organischer Verbindungen genannt, wie Terpene, 2-Ethylhexanol, Aldehyde, Ketone, Ester, halogen-, stickstoff- oder schwefelhaltige organische Verbindungen sowie einige MVOC. Eine Verbindung neuerer Art ist das Butanonoxim, dass z.B. bei der Aushärtung von Dichtungsmassen in die Raumluft abgegeben werden kann. Geruchsstoffe stellen eine große analytische Herausforderung dar, da sie bereits in Konzentrationen weit unterhalb der üblichen Bestimmungsgrenze von $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ eine Geruchswahrnehmung auslösen können und man mit routinemäßigen VOC-Messungen Geruchsstoffe oft nicht erfasst.

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

Besonders nach Bau- und Renovierungsarbeiten gelangen VOC kurzzeitig (Tage bis einige Wochen) in verstärktem Maß 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. Ganz vermeiden lassen sich die VOC-Einträge nicht. VOC sind aufgrund ihrer vielfältigen Einsatzbereiche auch sonst praktisch immer in der Raumluft zu finden. Zur Verringerung der Konzentrationen ist regelmäßiges Lüften das erste Mittel.

Wegen der Vielzahl der unterschiedlichen VOC ist es bei dieser Substanzgruppe besonders schwierig, eine umfassende gesundheitliche Bewertung vorzunehmen. Viele VOC können in sehr hohen Konzentrationen, die an gewerblichen Arbeitsplätzen, jedoch nicht in der Schule auftreten, nervenschädigend wirken. Einige VOC können im Atemtrakt Reizwirkungen auslösen, da sich im Stoffwechsel der Nasenschleimhaut irritative Abbauprodukte bilden können.

Ob es auch zu einer Sensibilisierung kommen kann, ist umstritten. Manche VOC weisen sehr niedrige Geruchsschwellen auf und können daher in der Raumluft geruchlich wahrgenommen werden. Teilweise liegen die Geruchsschwellen so niedrig, dass die Substanzen zwar gerochen, aber messtechnisch nicht sicher bestimmt werden können (siehe Anmerkungen oben).

Die in der Literatur beschriebenen toxischen Eigenschaften beziehen sich zudem in der Regel auf Einzelstoffe und auf hohe Konzentrationen, wie sie allgemein nur an bestimmten Arbeitsplätzen auftreten können. Im Bereich der auch in „normalen“ Innenräumen vorkommenden 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, Kopfschmerzen, Müdigkeit, Konzentrationsschwäche sowie erhebliche geruchliche Beeinträchtigungen.

Die Bewertung von VOC-Konzentrationen in der Innenraumluft hängt in hohem Maße von der Güte der zuvor erfolgten Messung ab. Vor Durchführung einer Messung ist das Messziel zu definieren. Die Überprüfung der Einhaltung eines Richtwertes erfordert die Messung unter Nutzungsbedingungen. Im Schulbereich sind insbesondere die Lüftungsbedingungen zu beachten. Das Ergebnis einer Raumluftmessung hängt stark von den Rahmen- und Messbedingungen ab. Es ist deshalb darauf zu achten, dass die einschlägigen Empfehlungen beachtet werden (Bekanntmachung des Umweltbundesamtes. Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten – eine Handreichung. Bundesgesundheitsministerium-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz 50: 2007, S.990–1005; VDI-Richtlinienserie 4300) Es sollten nur Laboratorien mit Messungen beauftragt werden, die über ein dokumentiertes Qualitätssicherungssystem verfügen und erfolgreich an externen Ringversuchen und/oder Laborvergleichsuntersuchungen teilnehmen.

Für einzelne VOC werden von der Ad-hoc-Arbeitsgruppe aus Mitgliedern der Innenraumlufthygiene-Kommission (IRK) des Umweltbundesamtes und der obersten Gesundheitsbehörden der Länder (Ad-hoc AG IRK/AOLG) nach einem Basisschema Innenraumrichtwerte abgeleitet, deren Einhaltung auch in Schulinnenräumen empfohlen wird (siehe Tabelle 5).

Der Richtwert II (RW II) ist ein wirkungsbezogener, begründeter Wert, der sich auf die gegenwärtigen toxikologischen und epidemiologischen Kenntnisse zur Wirkungsschwelle eines Stoffes unter Einführung von Unsicherheitsfaktoren stützt. Er stellt die Konzentration eines Stoffes dar, bei deren Erreichen bzw. Überschreiten unverzüglich Handlungsbedarf besteht, da diese Konzentration geeignet ist, insbesondere für empfindliche Personen bei Daueraufenthalt in den Räumen eine gesundheitliche Gefährdung darzustellen.

Die Überschreitung des RW II sollte umgehend mit einer Kontrollmessung unter üblichen Nutzungsbedingungen und – soweit möglich und sinnvoll – einer Bestimmung der inneren Belastung der Raumnutzer verbunden werden.

Der Richtwert I (RW I) ist die Konzentration eines Stoffes in der Innenraumluft, bei der im Rahmen einer Einzelstoffbetrachtung nach gegenwärtigem Erkenntnisstand auch bei lebenslanger Exposition keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen zu erwarten sind. Eine Überschreitung ist mit einer über das übliche Maß hinausgehenden, hygienisch unerwünschten Belastung verbunden. Der RW I kann als Sanierungszielwert dienen. Er soll nicht „ausgeschöpft“, sondern nach Möglichkeit unterschritten werden.

Eine Überschreitung des Richtwertes I weist auf eine erhöhte, aus hygienischer Sicht unerwünschte Exposition hin. Unter dem Gesichtspunkt der Verhältnismäßigkeit sind in dem Konzentrationsbereich zwischen RW I und RW II zunächst keine baulichen oder sonstigen quellenbezogenen Veränderungen vorzunehmen, sondern es ist vor allem verstärkt zu lüften und einzelfallbezogen verstärkt zu reinigen.

Tabelle 5: Richtwerte für die Innenraumluft der Ad-hoc-AG IRK/AOLG (Stand 2008); die Aufstellung enthält neben VOC auch SVOC (vgl. Abschnitt B-4) und einen Richtwert für quecksilberhaltige Dämpfe

Verbindung	RW II (mg/m ³)	RW I (mg/m ³)	Jahr der Festlegung
Toluol	3	0,3	1996
Dichlormethan	2 (24 h)	0,2	1997
Kohlenmonoxid	60 (1/2 h)	6 (1/2 h)	1997
	15 (8 h)	1,5 (8 h)	
Pentachlorphenol	1 µg/m ³	0,1 µg/m ³	1997
Stickstoffdioxid	0,35 (1/2 h)	–	1998
	0,06 (1 Woche)	–	
Styrol	0,3	0,03	1998
Quecksilber (als metallischer Dampf)	0,35 µg/m ³	0,035 µg/m ³	1999
Tris(2-chlorethyl)phosphat	0,05	0,005	2002
Bicyclische Terpene (Leitsubstanz α-Pinen)	2	0,2	2003
Naphthalin	0,02	0,002	2004
Aromatenarme Kohlenwasserstoffgemische (C9-C14)	2	0,2	2005

Maßgeblich ist die jeweils aktuelle Liste einschließlich weiterer Hinweise. Diese ist im Internet verfügbar unter

<http://www.umweltbundesamt.de/gesundheit/innenraumhygiene/irk.htm#4>

Die Ad-hoc-AG IRK/AOLG hat darüber hinaus für den Gesamtgehalt an flüchtigen organischen Verbindungen (englisch: Total Volatile Organic Compounds – TVOC) Empfehlungen zur Begrenzung der Raumluftkonzentrationen erarbeitet. Der TVOC-Wert ist aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzung des in der Innenraumluft auftretenden Substanzgemisches nicht toxikologisch begründet, sondern stellt eine hygienische Gesamtbeurteilung für VOC dar.

Die TVOC-Beurteilung gliedert sich in 5 Stufen (siehe Tabelle 6); die in der vorhergehenden Stufe ausgesprochenen Empfehlungen gelten – soweit sinnvoll – auch in der nächst höheren Stufe. Voraussetzung für die Anwendung des TVOC-Konzeptes ist, dass toxikologisch begründete Richtwerte von Einzelstoffen dabei nicht überschritten werden. Eine gesonderte Bewertung ist grundsätzlich erforderlich, wenn Substanzen mit niedrigen Geruchswahrnehmungsschwellen beteiligt sind, die auch in geringeren Konzentrationen aufgrund ihrer Geruchsaktivität belästigend wirken können oder wenn auffällig hohe Einzelstoffkonzentrationen auftreten.

Stufe 1:

TVOC-Werte unterhalb von $0,3 \text{ mg/m}^3$ sind hygienisch unbedenklich, sofern keine Einzelstoffrichtwerte überschritten werden. Sie werden als „Zielwert“ (hygienischer Vorsorgebereich) bezeichnet und sind mit ausreichend zeitlichem Abstand nach Neubau oder Renovierungsmaßnahmen in Räumen anzustreben bzw. nach Möglichkeit zu unterschreiten.

Stufe 2:

TVOC-Werte zwischen $> 0,3$ und 1 mg/m^3 können als hygienisch noch unbedenklich eingestuft werden, sofern keine Einzelstoffrichtwerte überschritten sind. Dieser Konzentrationsbereich weist z. B. auf noch nicht völlig ausgelüftete Lösemiteleinträge hin und zeigt die Notwendigkeit verstärkten Lüftens an.

Stufe 3:

TVOC-Werte zwischen > 1 und 3 mg/m^3 sind als hygienisch auffällig zu beurteilen und gelten befristet (< 12 Monate) als Obergrenze für Räume, die für einen längerfristigen Aufenthalt bestimmt sind. In normal genutzten Wohn-, Schul- oder Büroräumen ohne kürzlich erfolgte Renovierung oder Neumöblierung sollte eine TVOC-Konzentration unter Nutzungsbedingungen

von 1 mg/m^3 nicht dauerhaft überschritten werden. Dies wäre nämlich als Hinweis auf einen zusätzlichen und ggf. unerwünschten VOC-Eintrag zu werten. Die gesundheitliche Relevanz auffälliger Referenzwertüberschreitungen sollte geprüft werden. Eine toxikologische Einzelbewertung zumindest der Stoffe mit den höchsten Konzentrationen wird empfohlen. Die Nachmessung zur Überprüfung der Innenraumluftqualität erfolgt unter Nutzungsbedingungen.

Stufe 4:

Räume mit TVOC-Werten zwischen > 3 und 10 mg/m^3 werden als hygienisch bedenklich beurteilt und sollten, sofern keine Alternativen zur Verfügung stehen, nur befristet (maximal 1 Monat) und bei Durchführung verstärkter regelmäßiger Lüftungsmaßnahmen genutzt werden. Es ist eine toxikologische Einzelstoff- bzw. Stoffgruppenbewertung vorzunehmen. Die Nachmessung zur Überprüfung der Innenraumluftqualität erfolgt unter Nutzungsbedingungen.

Stufe 5:

TVOC-Werte zwischen > 10 und 25 mg/m^3 werden als hygienisch inakzeptabel eingestuft. Die Raumnutzung ist in der Regel zu vermeiden, ein Aufenthalt ist allenfalls vorübergehend (pro Tag weniger als 1 Stunde) und bei Durchführung verstärkter regelmäßiger Lüftungsmaßnahmen zumutbar. Bei Werten $> 25 \text{ mg/m}^3$ ist generell von einer Nutzung abzusehen. Die Nachmessung zur Überprüfung der Innenraumluftqualität erfolgt unter Nutzungsbedingungen.

Neben den Richtwerten und TVOC-Einstufungen können zu einer vorläufigen Bewertung von VOC-Konzentrationen auch Referenzwerte herangezogen werden, die aus der Untersuchung einer großen Zahl von Räumen ermittelt wurden. Aktuelle Referenzwerte sind einer Veröffentlichung des Umweltbundesamtes zu entnehmen (Bundesgesundheitsbl-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz 50: 2007, S. 990–1005). Ein Messlabor sollte die Quelle der verwendeten Referenzwerte benennen und grundsätzlich keine gesundheitlichen Aussagen mit der Überschreitung eines Referenzwertes (oft auch Orientierungswert genannt) verbinden.

Siehe auch Tabelle 6 (Aufklapptafel) am Ende der Broschüre

B-3 Formaldehyd

Formaldehyd (chemisch: Methanal – HCHO) ist einer der bekanntesten und am besten erforschten Luftschadstoffe in Innenräumen. Durch ihre vielfältige industrielle Anwendung bei der Herstellung von Holzwerkstoffen, Dämmmaterialien, Farben, Reinigungsmitteln und Kosmetika ist die Substanz in der Raumluft üblicherweise nachweisbar. Holzwerkstoffe (Spanplatten, beschichtete Spanplatten, Tischlerplatten, Furnierplatten, Faserplatten) bzw. Produkte aus Holzwerkstoffen wie z.B. Möbel, Türen, Paneele sind nach wie vor die wichtigsten Quellen für Formaldehyd in Innenräumen. In der Holzwerkstoffindustrie ist Formaldehyd ein wichtiger Bestandteil von Klebstoffen. Eingesetzt werden unter anderem Harnstoff-Formaldehydleimharze (UF-Leime), Phenol-Formaldehydleimharze (PF-Leime), Melamin-Formaldehydleimharze (MF-Leime) und Aminoplastmischleimharze (MUF-Leime). Nach großflächiger Anwendung und Einbau solchermaßen gefertigter Holzwerkstoffe kam es in der Vergangenheit und kommt es in Einzelfällen auch heute noch in Schulgebäuden zu erhöhten Einträgen von Formaldehyd in die Raumluft.

In Deutschland sind seit Beginn der 1980er-Jahre die Formaldehydemissionen aus Holzwerkstoffen 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 definierten Prüfbedingungen nicht überschreiten („Emissionsklasse E1“). Ausgenommen hiervon sind Holzwerkstoffe zur Beschichtung beispielsweise für den Möbelbau, die auch heute noch deutlich mehr Formaldehyd emittieren dürfen. Als Fußbodenverlegeplatten beispielsweise sind E1-Holzwerkstoffprodukte heute Standard. Besonders formaldehydarme Holzwerkstoffprodukte (Ausgleichskonzentration in der Prüfkammer $< 0,05$ ppm unter definierten Bedingungen) sind am Umweltzeichen Blauer Engel zu erkennen. Die Höhe der Formaldehydabgabe von Holzwerkstoffen wird mitentscheidend durch die raumklimatischen Bedingungen beeinflusst. So führen höhere Raumlufttemperaturen und höhere relative Luftfeuchte zum Anstieg der Emissionsraten.

Einige Hersteller verzichten auf den Zusatz von Formaldehyd in Holzwerkstoffprodukten und verwenden stattdessen Polyurethan-Klebstoffe zur Verleimung. Die hierbei eingesetzten Diisocyanate sind zwar bei der Herstellung toxikologisch ebenfalls nicht unbedenklich, bleiben danach aber fest im Holzwerkstoff eingebunden und gelangen so nicht in die Raumluft.

Als gesundheitliche Wirkung bei der Exposition mit Formaldehyd in Innenräumen steht die Reizwirkung auf Schleimhäute im Vordergrund des Interesses. Bei lang anhaltender hoher Belastung mit Formaldehyd, die in

früheren Jahrzehnten an einigen Arbeitsplätzen auftrat, kann die Reizung zu einer chronischen Entzündung der Nasenschleimhaut führen, aus der sich Krebs entwickeln kann. Von der Internationalen Behörde für Krebsforschung (International Agency for Research on Cancer – IARC) wurde Formaldehyd im Jahr 2004 als „krebserzeugend für den Menschen“ eingestuft.

Olfaktorisch wird Formaldehyd als „stechend“ wahrgenommen. Nach Einschätzung der WHO kann Formaldehyd von einzelnen Personen bereits ab $0,03 \text{ mg/m}^3$ geruchlich wahrgenommen werden. Bereits 1977 empfahl das Bundesgesundheitsamt (BGA) einen Formaldehyd-Richtwert von $0,1 \text{ ppm}$ ($= 0,12 \text{ mg/m}^3$) in der Innenraumluft, unabhängig von den in der Praxis vorliegenden Raumlufttemperaturen und Luftfeuchtigkeiten. Angesichts der Neuwertung der krebserzeugenden Wirkung von Formaldehyd wurde dieser Wert 2006 vom Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) überprüft und bestätigt. Die Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumlufthygiene-Kommission schloss sich diesem Vorschlag an. Nach Ansicht dieser Gremien besteht unterhalb von $0,1 \text{ ppm}$ Formaldehyd kein nennenswertes Krebsrisiko.

B-4 Schwer flüchtige organische Verbindungen („SVOC“)

Die Gruppe der schwer flüchtigen organischen Verbindungen (Semi Volatile Organic Compounds – SVOC) umfasst Substanzen und Substanzgruppen, deren Siedebereich über dem der VOC liegt (siehe Definition in Abschnitt B-2). Für die meisten SVOC stellt die Aufnahme aus Lebensmitteln tierischer Herkunft den hauptsächlichen Expositionspfad dar. Dennoch können auch über die Innenraumluft SVOC aufgenommen werden. Im Innenraum wird der überwiegende Teil der vorhandenen SVOC an Schwebstaubpartikeln oder an Oberflächen im Raum gebunden. Zu den bekanntesten, mengenmäßig bedeutsamen SVOC zählen heute die in Kunststoffprodukten eingesetzten Flammschutzmittel und Weichmacher. Auf diese und andere Verbindungen, über deren Vorkommen in den letzten Jahrzehnten besonders intensiv auch in Schulen diskutiert wurde, nämlich polychlorierte Biphenyle (PCB), Wirkstoffe in Holzschutzmitteln und polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), wird im Folgenden näher eingegangen.

Flammschutzmittel:

Flammschutzmittel sollen Kunststoffe, Holz und Holzwerkstoffe, Dämmmaterialien sowie Textilien feuerfest machen. Die Flammschutzmittel werden dem zu schützenden Produkt additiv beigemischt oder sie werden reaktiv eingebunden in den Werkstoff. Besonders die additiv zugesetzten Stoffe können später wieder an die Umwelt abgegeben werden. Als Flammschutzmittel

werden verschiedene anorganische und/oder organische Substanzgruppen eingesetzt, in Europa vor allem Aluminium-, Bor-, Magnesium- und Antimonoxyde, chlorierte Paraffine, verschiedene bromierte Verbindungen, wie z. B. polybromierte Diphenylether, sowie halogenierte und nicht halogenierte organische Phosphorsäureester (POV). Bei Kunststoffen übernehmen Flamm- schutzmittelwirkstoffe oft gleichzeitig auch die Funktion eines Weichmachers (Beispiel polybromierte Diphenylether).

Bisher sind die Kenntnisse zur Freisetzung von Flammenschutzmitteln in Innen- räumen unter normalen Nutzungs- und Wohnbedingungen sehr gering. Erst in den 1990er-Jahren sind Untersuchungen zum Vorkommen von Phosphor- säureestern in der Raumluft durchgeführt worden. Auch bei Messungen des Hausstaubs wurden Phosphorsäureester nachgewiesen.

Neben toxischen Eigenschaften spielt bei Flammenschutzmittelwirkstoffen auch ihre Beständigkeit (Persistenz) und Anreicherungsfähigkeit im Kör- per (Bioakkumulierung) eine Rolle. Besonders negatives Beispiel in dieser Richtung sind die polychlorierten Biphenyle, die seit einiger Zeit aber nicht mehr als Flammenschutzmittelwirkstoffe eingesetzt werden (siehe Folgeab- schnitt zu PCB). Auch die bromorganischen Verbindungen und POV gelten in dieser Hinsicht als kritisch. Die Ad-hoc-Arbeitsgruppe der IRK/AOLG hat einen Summenrichtwert für die Innenraumluft (RW I) von $0,005 \text{ mg/m}^3$ für Tris(2-chlorethyl)phosphat (TCEP), Tris(2-chlor-1-propyl)phosphat (TCPP), Tris(n-butyl)phosphat (TBP), Tris(2-butoxyethyl)phosphat (TBEP), Tris(2-ethyl- hexyl)phosphat (TEHP) und Triphenylphosphat (TPP), vorgeschlagen (vgl. Richtwerte in Abschnitt B-2).

Weichmacher, Phthalsäureester:

Phthalsäureester (Phthalate) werden Kunststoffen als Weichmacher in hohen Mengen (meist über 10%) zugesetzt. Sie gehören deshalb zu den Stoffen, die in relativ hohen Konzentrationen in den meisten Umweltmedien und insbesondere auch in Lebensmitteln zu finden sind. In Innenräumen findet man Weichmacher wegen ihrer geringen Flüchtigkeit weniger in der Raumluft als vielmehr im Staubbiederschlag und auf Flächen. Potenzielle Emissionsquellen für Phthalsäureester in Innenräumen sind Wandbeläge, Wandfarben, Bodenbeläge und elektronische Geräte. Bauprodukte für Wand und Boden können wegen des erheblichen Anteils der Oberfläche in einem Raum eine relevante Quelle für Phthalsäureester sein. Das in Wand- und Bodenbelägen vorzugsweise eingesetzte PVC kann z. B. einen Phthalsäurees- ter-Anteil von mehr als 30 % enthalten. Bis Ende der 1990er-Jahre handelte es sich hauptsächlich um Di-n-butyl-phthalat (DBP), Di-iso-butyl-phthalat (DiBP) und Di-2-ethylhexyl-phthalat (DEHP). Heute kommt bevorzugt Di-iso-nonyl- phthalat (DINP) zum Einsatz. Die ebenfalls als Weichmacher verwendeten

Disäureester wie z.B. Adipate wurden bisher selten in Innenräumen nachgewiesen. Phthalsäureester stehen im Verdacht, das Phänomen der „Schwarzen Wohnungen“ („Fogging“-Phänomen) zu begünstigen.

Polychlorierte Biphenyle:

Polychlorierte Biphenyle (PCB) wurden seit 1929 bis in Anfang der 1980er-Jahre industriell hergestellt. Sie sind ein Gemisch unterschiedlich chlorierter Einzelverbindungen (maximal 209 verschiedene Verbindungstypen [Kongenere]). Als Dielektrikum, Flammenschutzmittel und als Weichmacher haben sie in der Vergangenheit breite Verwendung gefunden. Aufgrund ihrer Langlebigkeit, der Akkumulation in der Umwelt und vor allem in der Nahrungskette und ihrer Toxizität sind die Verwendung und das Inverkehrbringen in Deutschland seit 1989 verboten. Seitdem gehen die Konzentrationen in der Umwelt wie auch im Fettgewebe des menschlichen Körpers langsam zurück.

Auf das Vorkommen von PCB in Innenräumen wurde man erstmals Mitte der 1980er-Jahre über undicht gewordene PCB-haltige Kleinkondensatoren für Leuchtstoffröhren aufmerksam. Sie wurden inzwischen ausgetauscht und entsorgt, da seit dem 1.1.2000 Kondensatoren mit einem PCB-Gehalt von über 50 mg/kg nicht mehr verwendet werden dürfen. In großem Umfang wurden PCB auch als Weichmacher in Fugendichtungsmassen (auf Polysulfidkautschukbasis) sowie in flammhemmenden oder schallschluckenden Anstrichen für Akustikdecken eingesetzt (siehe Abschnitt Flammenschutzmittel). Bei diesen „offenen“ Anwendungen konnte PCB direkt in die umgebende Luft gelangen. Im Laufe der Zeit konnten 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). Betroffen waren vor allem Schulgebäude, die in den 1960er- und 1970er-Jahren errichtet wurden.

Wegen des hohen Messaufwandes werden in der Raumluft nicht alle möglichen PCB-Kongenere gemessen, sondern man beschränkt sich auf die „Indikator-PCB“. Hierzu zählen die PCB 28, 52, 101, 138, 153 und 180. Da einige PCB-Kongenere auch eine dioxinähnliche Wirkung zeigen, empfiehlt die Ad-hoc Arbeitsgruppe Richtwerte beim Umweltbundesamt seit 2007 (Bundesgesundheitsbl-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz 50: 2007, S. 1455–1465) auch das PCB 118 als Leitsubstanz dieser Substanzklasse mit zu erfassen, besonders dann, wenn durch Recherchen oder Messungen sicher gestellt ist, dass hauptsächlich hochchlorierte Clophene verwendet wurden (etwa in Deckenplatten oder Anstrichen).

Zwei Fälle sind also zu unterscheiden:

- a) Wenn eindeutig Fugenmassen mit PCB vorliegen, deren Chlorierungsgrad geringer ist als Clophen A60, dienen die Gesamt-PCB, basierend auf 6 Indikator-PCB (ohne PCB118), als Beurteilungsmaßstab. Bei Raumluftkonzentrationen oberhalb von $3\mu\text{g}/\text{m}^3$ für Gesamt-PCB sind expositions-mindernde Maßnahmen zu prüfen. Bei Konzentrationen darunter ist das Lüftungsverhalten zu überprüfen und ggf. zu verbessern.
- b) Für Clophen A50- oder Clophen A60-haltige Deckenplatten und Anstriche sowie nicht sicher einzuordnende PCB-Quellen kann ebenfalls der PCB-Gesamtgehalt zur Beurteilung herangezogen werden. Bis zu einer Konzentration von $1\mu\text{g}$ Gesamt-PCB/ m^3 wird ein TEQ-Wert von $5\text{pg}/\text{m}^3$ sicher unterschritten. Bei höheren Gesamt-PCB-Gehalten ($> 1\mu\text{g}/\text{m}^3$) soll die Konzentration von PCB118 zur Beurteilung herangezogen werden. Bei Raumluftkonzentrationen oberhalb von $0,01\mu\text{g}$ PCB118/ m^3 sind expositions-mindernde Maßnahmen zu prüfen. Bei Konzentrationen darunter ist das Lüftungsverhalten zu überprüfen und ggf. zu verbessern.

Hinsichtlich der gesundheitlichen Bewertung der PCB in der Innenraumluft sowie hinsichtlich des Umfangs notwendiger Sanierungsmaßnahmen bestehen zwischen den Bundesländern derzeit erhebliche Unterschiede. In vielen Bundesländern sind wesentliche Teile der Richtlinie für die Bewertung und Sanierung PCB-belasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden („PCB-Richtlinie“) des Deutschen Instituts für Bautechnik als technische Baubestimmung bauaufsichtlich eingeführt worden, in anderen Ländern ist die Richtlinie nur mit erheblichen Änderungen gültig. Um ein bundeseinheitliches Vorgehen zu ermöglichen, empfiehlt die Ad-hoc AG in ihrer Stellungnahme von 2007, dass die gesundheitliche Bewertung der PCB in Abhängigkeit von der Art der PCB-Quelle (Dichtungsmassen, Deckenplatten etc.) erfolgen soll.

Auch hinsichtlich des Arbeitsschutzes gelten in den Bundesländern unterschiedliche Vorgaben. Die jeweils gültigen Empfehlungen des Arbeitsschutzes sind zu beachten.

Als Grundlage für die Veranlassung weiterer Maßnahmen soll eine Kontrollmessung unter definierten Lüftungsbedingungen erfolgen: In Räumen mit Lüftungsvorgaben wie z.B. Schulen sollen übliche Langzeitmessungen auf PCB während mehrerer Nutzungszyklen unter Einhaltung der vorgeschriebenen Lüftung bei üblicher Nutzung der Räume durchgeführt werden, die Pausenlüftungen erfolgen wie vorgeschrieben. Die Messung beginnt nach dem ersten Schließen der Fenster und endet vor dem letzten Öffnen der Fenster (mehrere Nutzungszyklen eingeschlossen). Vorzugsweise sind die Messungen bei gleichzeitiger Raumnutzung durchzuführen. Die Messdauer sollte nach Möglichkeit mindestens einen vollen Schultag umfassen, um so den Temperatureinfluss im Tagesgang zu erfassen.

Grundsätzlich soll das Ziel von PCB-Sanierungen sein, die Primärquellen zu entfernen und die Sekundärquellen so weit es geht zu minimieren. Bei Sanierungen ist stets die Richtlinie der ARGEBAU für die Bewertung und Sanierung PCB-belasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden in der für das jeweilige Bundesland gültigen Fassung zu beachten (vgl. Teil E).

Pentachlorphenol:

Holz und Holzverkleidungen in Innenräumen wurden bis in die 1970er-Jahre hinein oft mit Holzschutzmitteln behandelt, die Pentachlorphenol (PCP) und als Verunreinigung polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane enthielten. Wegen ihrer langen Halbwertszeit im behandelten Holz sind PCP, Dioxine und Furane auch heute noch in solchen Innenräumen nachweisbar, obwohl die Verwendung von PCP seit 1989 in Deutschland verboten ist. Das vom Holz freigesetzte PCP lagert sich teilweise an den im Raum befindlichen Staub und an Möbel, Gardinen oder Teppichen an. Eine Anwendung von PCP ist grundsätzlich anzunehmen, wenn Werte über $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Raumluft, mehr als $5 \mu\text{g}$ PCP/g im abgelagerten Staub (Altstaub) und mehr als $1 \mu\text{g}/\text{g}$ im „Frischstaub“ (Staub, der sich nicht länger als 1 Woche vor der Probenahme abgesetzt hat) nachgewiesen werden.

Liegt die im Jahresmittel zu erwartende Raumluftkonzentration über $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ist eine Sanierung erforderlich. Nach einer Sanierung sollten langfristig Raumluftwerte unter $0,1 \mu\text{g}$ PCP/ m^3 Luft angestrebt werden. 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 (s. Teil E).

Soweit für Holz überhaupt eine chemische Behandlung gegen Insekten notwendig war, diente zunächst Dichlofluanid als Ersatzstoff für PCP, später kamen auch Tebuconazol, Propiconazol sowie weitere Wirkstoffe hinzu.

Dürfen chemische Holzschutzmittel heute noch eingesetzt werden?

Eine Anwendung chemischer Holzschutzmittel mit bioziden Wirkstoffen ist in Innenräumen nicht notwendig. Bei einem Schädlingsbefall können gegebenenfalls alternative Behandlungsverfahren der Hölzer (z.B. thermische Konditionierung) zum Einsatz kommen.

In sichtbaren und dem Raum zugänglichen Baukonstruktionsteilen sowie in Ausstattungsmaterialien sollen chemische Holzschutzmittel nicht eingesetzt werden.

Lindan:

Lindan (Gamma-Hexachlorcyclohexan; γ -HCH) wurde etwa seit 1945 als Insektizid in der Land- und Forstwirtschaft, im Holzschutz und in der Veterinär- und Humanmedizin eingesetzt. Lindan spielte lange Zeit eine besondere Rolle bei der Bekämpfung holzerstörender Insekten sowie bei Schädlingsbekämpfungsmaßnahmen im Rahmen des Bundesseuchengesetzes.

In „westdeutschen“ Holzschutzmitteln lag Lindan damals in der Regel gemeinsam mit Pentachlorphenol in einem Verhältnis Lindan: PCP von etwa 1:10 vor. In der DDR wurde bevorzugt die Wirkstoffkombination DDT/Lindan eingesetzt. Da die Verwendung von Lindan als Wirkstoff in Holzschutzmitteln in der Regel gemeinsam mit Pentachlorphenol erfolgte, sind in betroffenen Schulräumen primär die PCP-Belastungen auffällig. Durch eine PCP-Sanierung entsprechend der PCP-Richtlinie wird deshalb in der Regel auch gleichzeitig die Lindan-Belastung reduziert.

Chlornaphthaline:

Bis in die 1970er-Jahre hinein wurden Chlornaphthaline bei der Herstellung verleimter Holzwerkstoffe, vor allem Spanplatten, als Holzschutzmittel verwendet. 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 Gemische bestanden überwiegend aus Mono- und Dichlornaphthalinen. Chlornaphthaline fielen durch ihren typischen muffigen Geruch auf (vgl. Abschnitt D-2.2).

Zur Bewertung von Chlornaphthalinen wurde vom damaligen Bundesgesundheitsamt ein Richtwert I von $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ und ein Richtwert II von $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ vorgeschlagen. Bei der hygienischen Bewertung chlornaphthalinbelasteter Innenräume ist auch die von den Substanzen ausgehende Geruchsbelästigung zu berücksichtigen. Für die Monochlornaphthaline werden Geruchsschwellenwerte im Bereich von $4\text{--}10\mu\text{g}/\text{m}^3$ genannt.

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 3 oder mehr Benzolringe aufweisen. 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 1950er- und 1960er-Jahre wurden teerhaltige Kleber (oder Gemische aus Teer und Bitumen) zum Teil bei der Verlegung von Parkett, in Einzelfällen auch von Linoleumbelägen, im Wesentlichen in Wohnungen eingesetzt. In Schulen sind hingegen bisher nur wenige Fälle bekannt geworden, in denen solche Kleber verwendet wurden. In Innenräumen, in denen teerhaltige Klebermaterialien eingesetzt wurden, kann ein erhöhter Gehalt an PAK im Kleber auch eine Belastung von Hausstaub mit PAK verursachen.

Zahlreiche PAK sind als krebserzeugend eingestuft, auch die Leitsubstanz der PAK, das Benzo(a)pyren (BaP). Für den Kleber- und Hausstaubgehalt hat eine Expertenkommission beim Umweltbundesamt 1998 Empfehlungswerte für die Benzo(a)pyren (BaP)-Konzentrationen als PAK-Leitsubstanz herausgegeben, die auch von den Baubehörden (ARGEBAU) übernommen wurden. Danach sollen bei Konzentrationen über 10 mg/kg BaP im Kleber unter Berücksichtigung des Parkettzustandes Hausstaubkonzentrationsmessungen durchgeführt werden. Bei Überschreiten eines BaP-Gehaltes von 100 mg/kg Staub (abgelagerter Staub, bei der Probenahme nicht älter als eine Woche) sollen in Schulen expositionsmindernde Maßnahmen erfolgen (Deutsches Institut für Bautechnik, „PAK-Hinweise“ vom Juni 2000).

B-5 Staub

Staub ist die Sammelbezeichnung für feste Teilchen (Partikel), die in der Luft längere Zeit verteilt bleiben (schweben) oder binnen kurzer Zeit sich am Boden und auf Flächen absetzen (sedimentieren). Staubpartikel können bezüglich ihrer Größe sehr unterschiedlich sein. Partikel kleiner als 100 nm werden als Ultrafeinstaub bezeichnet, Partikel bis 2,5 µm als Feinstaub und Partikel größer 2,5 µm (bis ca. 10 µm) als gröberer Feinstaub. Schwebstaub (TSP–Total Suspended Particulates) sind alle Partikel bis zu einem Durchmesser von etwa 30 µm. Abhängig von der Größe und Dichte der Staubpartikel bleiben diese eine bestimmte Zeit in der Schwebelage. Partikel ab einer Größe von 10 µm und mehr sedimentieren z.T. innerhalb weniger Minuten. Feinere Partikel, z.B. von 1 µm, können mehrere Tage im Zustand der Schwebelage verbleiben. Sehr feine Partikel, z.B. von 10 nm, reagieren in der Luft miteinander und bilden größere Partikel bzw. lagern sich an größere Partikel an.

Je kleiner Partikel sind, desto tiefer können sie in die Atemwege eindringen. Partikel über 10 µm Teilchengröße kommen kaum über den Kehlkopf hinaus, nur ein kleiner Teil davon kann die Bronchien und die Lungenbläschen erreichen. Ultrafeine Partikel können über die Lungenbläschen in die Blutbahn gelangen und sich über den Blutweg im Körper verteilen.

Entscheidend für die gesundheitliche Wirkung von Stäuben ist nicht nur ihre Partikelgröße, sondern auch ihre chemische und biologische Zusammensetzung sowie ihre morphologische Struktur und Form. Wie die Partikelgröße wird die Zusammensetzung, Struktur und Form der Partikel von der Art der Quelle geprägt von der sie abgegeben werden.

Bezüglich der Einteilung der Stäube ist zwischen den Feinstäuben der Außenluft und der Innenraumluft zu unterscheiden. Im Außenluftbereich ist davon auszugehen, dass sich die Konzentration der Partikel in der Luft sehr schnell verdünnt. Die Partikelkonzentrationen und -zusammensetzungen ähneln sich oft, ausgenommen bei speziellen Wettersituationen und bei speziellen örtlichen Gegebenheiten.

Ganz anders die Situation in Innenräumen: hier sind die Verteilungsräume wesentlich geringer. Verdünnungseffekte kommen bei weitem nicht so zum Tragen wie in der Außenluft und sind hier insbesondere abhängig vom Lüftungsverhalten und von Luftströmungen im Gebäude. Zudem muss in Innenräumen damit gerechnet werden, dass Partikel verstärkt untereinander reagieren oder auf Wandflächen abgeschieden werden. Elektrostatische Vorgänge in der Luft beeinflussen ebenfalls die Partikelverteilung und -abscheidung. Die Quellen sind im Innenraum vielfältig und abhängig von der individuellen Nutzung. Sedimentierte Partikel können aufgrund mechanischer Verwirbelungen vorübergehend wieder in den Schwebезustand übergehen. Dabei können sich Struktur und Eigenschaften der Partikel ändern. Die genannten Prozesse sind in starkem Maße von den vor Ort vorliegenden baulichen Gegebenheiten abhängig. Dies alles führt dazu, dass die Höhe der Feinstaubbelastung und ihre Zusammensetzung in der Innenraumluft sehr variabel sind und stark von den jeweiligen Einzelbedingungen geprägt werden.

In Schulinnenräumen treten eine Vielzahl von Feinstaubquellen auf. Hierbei handelt es sich vor allem um gröberen Feinstaub. Als Quellen zu nennen sind:

- ▶ Außenluft
- ▶ Staubeinträge über die Schuhe und die Kleidung
- ▶ Partikelfreisetzung von Haut und Haaren
- ▶ Partikelfreisetzung beim Kochen und Backen in Lehrküchen (zum Teil gröbere Partikel)
- ▶ Arbeiten im Werkunterricht, besonders Schleif- und Sägearbeiten.

Daneben treten auch kleinere Partikel auf. Die Quellen hierfür sind:

- ▶ Außenluft
- ▶ Bunsenbrennergebrauch, Kerzenabbrand
- ▶ Rauchentwicklung bei chemischen und physikalischen Experimenten
- ▶ Partikelfreisetzung beim Kochen und Backen in Lehrküchen (zum Teil kleinere Partikel)
- ▶ Kopierer und Laserdrucker. Besonders ultrafeine Partikel spielen hierbei eine wichtige Rolle, wie jüngste Untersuchungen, unter anderem am Umweltbundesamt, zeigen (die Ergebnisse der Studie sind abrufbar unter: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3016.pdf>)

Die Außenluftkonzentrationen mit Feinstaub beeinflusst wesentlich auch die Konzentrationen feinerer Partikel in Schulen, der gröbere Feinstaubanteil stammt meist aus Innenraumquellen (siehe oben). In Schulräumen, die regelmäßig genutzt werden, kann die Feinstaukonzentration innen deutlich höher als in der Außenluft sein. Dies gilt besonders für den Anteil des gröberen Feinstaubes. Die Staubkonzentration in Schulinnenräumen hängt unter anderem von der Nutzungsfrequenz (Zahl der Schüler, Häufigkeit der Raumnutzung), der Raumgröße und der Art der Raumnutzung (Klassenzimmer für theoretische Fächer, Räume für physikalische, biologische und chemische Experimente, Bastelräume etc.) ab.

Im Werkunterricht entstehen Stäube bei Schleif- und Sägearbeiten. In Chemie- und Physikräumen entstehen Stäube bei Experimenten mit Rauchentwicklung und bei der Benutzung von Bunsenbrennern (vgl. Abschnitt A-6). Durch intensives Lüften, Absaugvorrichtungen bei speziellen Schleifvorgängen und – falls erforderlich – das Tragen eines einfachen Mund- und Nasenschutzes (z.B. aus dem Baumarkt) lassen sich die Staubbelastungen bei naturwissenschaftlichen Experimenten und Bastelarbeiten verringern.

An Staub in Schulen sind neben chemischen Stoffen auch biologische Stoffe gebunden wie z.B. Mikroorganismen, Bakterien und deren Stoffwechselprodukte und Zellbestandteile, aber auch Pollen und deren Bestandteilen sowie von Tieren abgegebene Allergene.

Bei den biologischen Stäuben (vgl. Abschnitt B-7) handelt es sich überwiegend um gröbere Stäube, von denen aber z.T. sehr spezifische Wirkungen, insbesondere bei entsprechend disponierten Menschen (z.B. Allergikern) ausgehen können. Zellbestandteile, die allergene oder toxische Wirkungen hervorrufen können, können auch Teil von Feinstäuben oder Ultrafeinstäuben sein.

Bei Verbrennungsprozessen werden vor allem feine und z.T. auch ultrafeine Stäube in die Raumluft abgegeben. Auch bei der Nutzung von Laserdruckern und -kopierern können in geringem Umfang feine und ultrafeine Partikel frei werden (vgl. Abschnitt A-7). Bei den durch mechanische Aktivitäten, z.B. während des Unterrichts im Klassenzimmer, wieder verwirbelten sedimentierten Partikeln handelt es sich dagegen überwiegend um gröbere Partikel, wobei nicht nur der auf dem Fußboden oder den Schulbänken liegende Staub wieder aufgewirbelt wird, sondern auch der, der sich auf der Haut, den Haaren, der Kleidung usw. befindet. Zu bedenken ist auch, dass ein Teil dieses Staubes z.B. an den Schuhen von Außen eingetragen wird.

Eine gesundheitliche Bewertung von Feinstaub in Innenräumen ist schwierig, da die bevölkerungsbezogenen Studien zur Wirkung von Feinstaub weitgehend auf Daten zur Belastung der Außenluft mit Feinstaub zurückgreifen. Es wurden überzeugende Zusammenhänge zwischen der Feinstaubkonzentration in der Außenluft und den Auswirkungen auf die Gesundheit gefunden – und dies, obwohl sich die Menschen, dort wo die Studien gemacht wurden, überwiegend in Innenräumen aufhalten. Daraus kann man folgern, dass der Feinstaubanteil aus der Außenluft auch im Innenraum einen wichtigen Beitrag zu den beobachteten Wirkungen leistet. Welchen weiteren Beitrag die Innenraumquellen liefern, ist derzeit noch ungeklärt.

Auch die Ad-hoc-Arbeitsgruppe IRK/AOLG kommt in ihrer aktuellen Stellungnahme zu dem Schluss, dass Stäube in Innenräumen derzeit gesundheitlich nur schwer zu bewerten sind (Ad-hoc-AG IRK/AOLG, 2008: Gesundheitliche Bedeutung von Feinstaub in der Innenraumluft, Bundesgesundheitsforsch-Gesundheitsschutz, im Druck). Die Beurteilungskriterien (Grenzwerte), die im Außenluftbereich zur Beurteilung von Partikeln genutzt werden, sind im Schulbereich aufgrund der anderen Quelllage und Zusammensetzung der Feinstäube nicht anwendbar.

So wurden in Klassenzimmern bei aktuellen Untersuchungen vor allem gröbere Feinstaubpartikel nachgewiesen. Nach heutigem Wissen kommt jedoch gerade den kleineren Partikeln (besonders PM 2,5 und noch kleinere Partikel) unter gesundheitlichen Aspekten eine besondere Bedeutung zu. Eine Ausnahme spielen möglicherweise biologische Partikel.

Trotz der Unsicherheiten bei der gesundheitlichen Bewertung von Feinstäuben in Innenräumen erscheint es angeraten, die Staubkonzentration in diesen Räumen unter Beachtung der Verhältnismäßigkeit zu minimieren. Verschiedene Studien in Deutschland haben gezeigt, dass in Schulen nur bei regelmäßigem intensiven Lüften und bei genauer Beachtung der Reinigungsempfehlungen (vgl. Anhang 1) eine Reduzierung der Staubbelastung zu erwarten ist.

Wie lässt sich die Feinstaubbelastung in Schulen am ehesten reduzieren?

Für eine Verringerung der Konzentrationen an Feinstaub, insbesondere des größeren Feinstaubes in der Innenraumluft von Schulen ist in erster Linie eine effektive Lüftung wichtig. Die Feinstaubkonzentration in Innenräumen hängt – wenn nicht geraucht wird – vor allem von der Luftqualität der Außenluft ab.

Nur bei extrem belasteten Außenluftsituationen sind Maßnahmen zur Reduktion des Feinstaubeintrags aus der Außenluft, wie der Einbau mechanischer Lüftungsanlagen mit Filterung der Zuluft, vorzusehen. Die Lüftungssysteme sind regelmäßig zu warten (Filterwechsel, Kontrolle der Lüftungsschächte auf Sauberkeit und Dichtheit).

B-6 Faserstäube

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

Es gibt 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 natürlichen organischen Fasern zählen Schafwolle, Tierhaare und Zellulosefasern. Wichtige künstlich hergestellte anorganische Fasern – auch als Künstliche Mineralfasern (KMF) bezeichnet – sind glasige (amorphe) Fasern wie 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).

Haben Asbest- und KMF-Fasern die gleiche gesundheitliche Bedeutung?

Die Struktur ist für die Freisetzung von Fasern der kritischen Größe von Bedeutung. Asbestfasern sind kristalline Fasern, KMF sind in der Regel amorphe Fasern. Letztere weisen ein deutlich geringeres Verstaubungsverhalten auf. Sie brechen anders als Asbest quer zur Faserrichtung und besitzen eine geringere Biobeständigkeit. Außerdem sind sie durch Kunstharz und andere Zusätze gebunden. Diese Umstände verringern die Freisetzung von Faserstaub.

Asbest:

Asbesthaltige Bauprodukte wurden auch in Schulgebäuden noch bis in die 1980er-Jahre 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.

Asbest wird als bekanntermaßen krebserzeugend für den Menschen eingestuft. Das Einatmen von Asbestfeinstaub kann hauptsächlich drei Erkrankungen hervorrufen:

1. Asbestose: Punktuelle Verhärtungen des Lungengewebes.
2. Lungenkrebs, häufig in Verbindung mit Asbestose, Latenzzeit (Zeit bis zum Auftreten der Erkrankung) 20–30 Jahre, Raucher sind besonders betroffen.
3. 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 Mio. Asbestfasern /m³ Luft gemessen wurden.

Die Bewertung und Sanierungsentscheidung für schwach gebundene Asbestprodukte in Gebäuden erfolgt grundsätzlich nicht durch Luftmessungen, sondern anhand der bauaufsichtlich eingeführten Asbest-Richtlinie aus dem Jahr 1996, in der nach einem Punktesystem die Sanierungsbedürftigkeit und deren Dringlichkeit ermittelt wird. Fasermessungen in der Luft werden erst zur Erfolgskontrolle der getroffenen Maßnahmen veranlasst.

Künstliche Mineralfasern (KMF):

In Schulen finden sich häufig künstliche Mineralfasern, die im Gegensatz zu Asbestfasern nicht natürlich vorkommen, sondern aus verschiedenen anorganischen Ausgangsstoffen (Glas, Gesteine wie Basalt, Oxidkeramiken) industriell hergestellt werden. Sie werden in erster Linie zur Wärmedämmung und zum Schallschutz verwendet. KMF haben also ein völlig anderes Einsatzgebiet als früher die Asbestprodukte.

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 (siehe Anmerkungen im Kasten) jedoch weit weniger als z.B. Asbestprodukte, die überdies, wie beschrieben, andere Einsatzbereiche als die Wärmedämmung hatten.

Seit den 1980er-Jahren und verschärft noch seit Inkrafttreten der Wärmeschutzverordnung 1995 sowie der Energieeinsparverordnung von 2002 werden in Deutschland jährlich mehrere Mio. Kubikmeter Mineralwolle-Erzeugnisse in Gebäuden verarbeitet.

Zu Schallschutzzwecken in abgehängten Deckenkonstruktionen oder in Form von Akustikdeckenplatten eingebaute Mineralfasern haben eine Diskussion um eine mögliche Freisetzung von Fasern aus KMF-Produkten in die Raumluft entfacht, 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 1990er-Jahre durchgeführt wurden, haben gezeigt, dass dort, wo Dämmstoffe aus Mineralfasern vorschriftsgemäß verbaut wurden, in der Regel keine Konzentrationen an KMF gemessen wurden, die über der normalen Hintergrundkonzentration in der Außenluft liegen.

Die Konzentrationen von KMF-Fasern kritischer Größe, die eindeutig dem eingebauten Produkt zugeordnet werden können, sind 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 vornehmlich bei abgehängten Decken ohne einen funktionsfähigen Rieselschutz vor;
- ▶ im Einzelfall **deutlich erhöht** (bis zu einigen tausend Fasern je m³ 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.

Künstliche Mineralfasern werden nach der Gefahrstoffverordnung seit 1998 über ihre stoffliche Zusammensetzung anhand des Kanzerogenitätsindex (KI-Index)¹ eingestuft in:

- ▶ KI-Wert ≤ 30 : K2 – Stoffe, die als krebserzeugend für den Menschen angesehen werden sollten.
- ▶ KI-Wert > 30 bis < 40 : K3 – Stoffe, die wegen möglicher krebserzeugender Wirkung beim Menschen Anlass zur Besorgnis geben.
- ▶ KI-Wert ≥ 40 keine Einstufung als krebserzeugend.

¹ Der KI- Wert ergibt sich aus der Differenz der Massegehalte der Oxide der Elemente Na, K, B, Mg, Ca., Ba und dem Zweifachen des Al-Oxid-Gehaltes

Fasern mit einem KI > 40 gelten nach heutigem Kenntnisstand als frei von Krebsverdacht, da ihre Biobeständigkeit nur noch ca. 30–40 Tage beträgt. Nach der Chemikalienverbotsverordnung kann die Biolöslichkeit alternativ auch durch darin festgelegte weitere Methoden nachgewiesen und die so geprüften Produkte vom Krebsverdacht frei gesprochen werden. Das „KI-Kriterium“ wird als Nachweis der Biolöslichkeit daher heute nur selten verwendet

Etwa seit Ende der 1990er-Jahre sind in Deutschland nur entsprechend geprüfte biolösliche KMF-Dämmstoffe im Handel. Von diesen Materialien geht kein Gesundheitsrisiko aus. Bei früher eingebauten KMF-Produkten (bis ca. 1998) sollen notwendige Sanierungsmaßnahmen, bei denen Fasern frei gesetzt werden können, mit Bedacht und nur bei guter Lüftung während der Arbeiten vorgenommen werden. Die TRGS 521 beschreibt die Schutzmaßnahmen, die bei Abbruch, Sanierungs- und Instandhaltungsarbeiten mit alter Mineralwolle ergriffen werden müssen.

KMF sind also weitaus ungefährlicher als Asbestfasern einzustufen. Bisher gibt es keine Studie, die einen klaren Zusammenhang zwischen Krebs beim Menschen und einer Belastung mit KMF belegt. Folgende Gründe dürften dafür maßgebend sein:

- ▶ Mineralwolle-Dämmstoffe entwickeln weniger Faserstaub als vergleichbare Asbestmaterialien. Dies zeigt sich sowohl am Arbeitsplatz als auch bei Untersuchungen im Innenraum. Ein faserbedingtes Krebsrisiko konnte in der Mineralwolle-Dämmstoffindustrie nicht nachgewiesen werden, während es in der ehemaligen Asbestindustrie als nachgewiesen gilt.
- ▶ Die bei Asbest beobachtete Längsspaltung der Fasern, die ihre Gefährlichkeit erhöht, ist bei künstlichen Mineralfasern nicht zu befürchten.
- ▶ Die so genannte 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.

KMF können eine Reizwirkung ausüben. 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 lässt sich dies durch Anbringen eines Rieselschutzes weitgehend vermeiden.

Sind Künstliche Mineralfasern so gefährlich wie Asbest?

Mineralwolle-Produkte sind nicht mit Asbest gleichzusetzen – weder vom Einsatzgebiet her noch von der gesundheitlichen Bedeutung (siehe Kasten Seite 64). Bei Verwendung von Mineralwolle-Produkten in Innenräumen sollte aus Vorsorgegründen darauf geachtet werden, dass kein offener und raumseitiger Kontakt von Fasern mit der Raumluft besteht (bei Akustikdecken 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 Biologische Stoffe

Neben den in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen chemischen und physikalischen Luftverunreinigungen treten in Schulinnenräumen immer auch Stoffe biologischen Ursprungs auf. Dies ist grundsätzlich unvermeidlich, denn es werden die meisten dieser Stoffe entweder von den Raumnutzern eingeschleppt oder gelangen beim Lüften mit der Außenluft in den Innenraum.

Die Belastung in Schulgebäuden mit biologischen Stoffen unterscheidet sich in manchen Punkten deutlich von bewohnten Innenräumen, in anderen Punkten besteht kein wesentlicher Unterschied.

So ist in Schulgebäuden im Gegensatz zu Wohnungen nur selten (z. B. in Kuschelecken) mit einer beachtenswerten Belastung mit **Hausstaubmilben** zu rechnen. Auch sind biologische Abfallbehälter mit Garten- und Küchenabfällen in der Regel kaum in Schulräumen zu finden. Liegen gelassene Essensreste sind aber nicht selten die Ursache für mikrobielle Belastungen.

Tierallergene spielen dagegen sowohl in Privatwohnungen, in denen Haustiere vorhanden sind, als auch in Schulgebäuden eine Rolle, da sie von den Schulkindern und den Lehrkräften von Zuhause mitgebracht werden. Untersuchungen in Schulen haben ergeben, dass dort relevante Konzentrationen an Allergenen von Haustieren auftreten können, insbesondere Allergene von Katzen und Hunden. Diese können weit über den Konzentrationen liegen, wie sie in Wohnungen nachweisbar sind, in denen keine Haustiere gehalten werden. Eingetragen werden die Allergene mit der Kleidung von Personen, die mit Haustieren zusammenleben oder regelmäßig Kontakt mit diesen haben.

Zu finden sind die Allergene auf allen Oberflächen, wie Tischen, Stühlen, etc. oder im Hausstaub, der sich besonders gut in Teppichböden anreichert. Glatte Bodenbeläge, die feucht gereinigt werden können und deshalb wenig Staub ansammeln, sind daher grundsätzlich leichter von Allergenen frei zu halten als Teppichböden. Bei nicht regelmäßiger Reinigung kommt es aber von glatten Böden auch leichter zu einer Aufwirbelung, weshalb Art des Bodenbelags und Reinigungsfrequenz nicht isoliert voneinander betrachtet werden dürfen.

In manchen Klassenräumen ist es auch üblich, Pflanzen oder Käfigtiere zu halten. Dies kann bei einzelnen Personen allergische Reaktionen verursachen. Bei der Käfigtierhaltung kommt noch hinzu, dass das Streu und auch das Futter Mikroorganismen enthalten, welche freigesetzt werden können. Die Erde von Topfpflanzen kann ebenfalls eine Quelle für Schimmelpilze sein.

Ein weiteres Problem, welches alle Gebäude unabhängig von der Nutzungsart betreffen kann, sind Feuchte-assoziierte **Schimmelpilzschäden**. Ist über längere Zeit ausreichend hohe Feuchte vorhanden, dann wird in oder auf den meisten Baumaterialien ein Wachstum von Schimmelpilzen und anderen Mikroorganismen (Bakterien, Hefen, Protozoen) stattfinden. Obwohl Schimmelpilzbefall in vielen Schulen ein Problem darstellt, wird in diesem Leitfaden darauf nicht im Detail eingegangen, da es bereits zwei Leitfäden des Umweltbundesamtes gibt, die sich mit dieser Problematik beschäftigen (Umweltbundesamt 2002 und 2005, siehe Hinweis in Kapitel III). Die in diesen Leitfäden genannten Prinzipien zum Nachweis, zur Bewertung und zur Sanierung von Schimmelpilzquellen im Innenraum sind auch für Schulgebäude gültig.

Die Ursachen für erhöhte Feuchte und in der Folge für Schimmelpilzwachstum in Schulen können sehr vielfältig sein. Es kann aufgrund eines baulichen Mangels Feuchte von außen ins Gebäude eindringen, z.B. Erdfeuchte, wenn Kellerwände nicht entsprechend abgedichtet wurden, oder Regenwasser bei undichten Dächern oder auch Schlagregen bei Fassadenschäden. Es kann im Gebäude Wasser frei gesetzt werden, z.B. wenn Rohrleitungen oder Schläuche undicht werden. Es kann bei zu hoher Raumluftfeuchtigkeit und/oder zu geringen Bauteiltemperaturen zur Taubildung an Bauteiloberflächen kommen. Im letzten Fall ist die Ursachenklärung meist nicht einfach, denn ob ein Bauteil aus baulichen Gründen oder wegen mangelnder Heizaktivität zu kühl ist, ob erhöhte Raumluftfeuchte durch unzureichendes Lüften entstanden ist, oder evtl. als Folge eines noch nicht erkannten Feuchteschadens im Gebäude, ist meist nur mittels Messungen feststellbar, die von Fachleuten vorgenommen und interpretiert werden müssen. Der „Schimmelpilz-Sanierungsleitfaden“ des Umweltbundesamtes (UBA 2005)

enthält Hinweise zur systematischen Ermittlung von Befallsursachen und zur Sanierung.

Neben Schimmelpilzen kommen auch **Bakterien** aus unterschiedlichen Quellen in Innenräumen vor. Eine Quelle für Bakterien sind die Raumnutzer. Alle Menschen sind auf der Hautoberfläche und im Atemtrakt mit verschiedenen physiologisch vorkommenden Bakterien besiedelt (z.B. koagulase-negative Staphylokokken, Mikrokokken, Corynebakterien). Diese werden bewegungsabhängig oder durch Sprechen oder Husten auch in die Luft abgegeben, weshalb in der Innenraumluft von benutzten Räumen immer Bakterien nachweisbar sind. Diese Luftbelastung ist unvermeidlich und auch unproblematisch, klammert man die seltenen Fälle aus, in denen mit pathogenen Mikroorganismen (z.B. Tuberkulose-Bakterien) besiedelte oder erkrankte Personen im Raum sind. Da die Luft für viele dieser Mikroorganismen jedoch ein ungünstiger Lebensraum ist, überleben sie meist nur für kurze Zeit.

Bakterien können aber auch bei Feuchteschäden im Innenraum wachsen. Die meisten Bakterien benötigen allerdings eine höhere Feuchtigkeit zum Wachstum als Schimmelpilze. Häufig bei Feuchteschäden nachzuweisen sind Aktinomyzeten. Diese Bakterien bilden wie die Schimmelpilze Myzel und Sporen und wurden deshalb früher als Strahlenpilze (Actino = Strahl, mycetes = Pilze) bezeichnet. Einige Aktinomyzeten können einen starken Geruch produzieren (muffig, erdig, modrig). Das bei Feuchteschäden auftretende Artenspektrum und die gesundheitliche Bedeutung der Aktinomyzeten ist derzeit noch Gegenstand aktueller Forschungsarbeiten. Durch Sanierungsmaßnahmen bei denen Feuchte und Schimmelpilzbefall beseitigt werden, wird auch das Wachstum von Bakterien unterbunden.

Eine weitere Quelle für Bakterien können Luftbefeuchter, Zimmerspringbrunnen sowie veraltete, schlecht gewartete Klimaanlage mit integriertem Umlaufsprühbefeuchter sein. In den wasserführenden Teilen können sich bestimmte Bakterien, z.B. Arten der Gattung *Pseudomonas*, sehr gut vermehren. In Schulen ist der Gebrauch derartiger Geräte allerdings in der Regel überflüssig, da bei den gewöhnlich stark genutzten Klassenräumen aufgrund der Feuchtigkeitsabgabe der Raumnutzer die Luftfeuchte in der Regel ausreichend hoch ist.

Ein Problem ganz anderer Art kann mit Duschen in Sport- und Umkleideräumen verbunden sein. In der Warmwasserinstallation können unter Umständen Legionellen vorkommen, die sich vor allem im Temperaturbereich von 25–45°C gut vermehren können. **Legionellen** sind daher vor allem ein Problem in größeren Gebäuden mit langen Wegstrecken und abschnittsweise längerer Stagnation des Wassers im Leitungsnetz. Zur Vermeidung von Legionellenwachstum sollte das Kaltwasser immer kalt (< 20°C) und

das Warmwasser heiß sein (60°C und mindestens 55°C bis zum Zapfhahn). Ein Absenken der Warmwasservorlaufttemperaturen auf Werte unter 55°C (z. B. aus energetischen Gründen) sollte vermieden werden. Abhilfe beim Vorkommen von Legionellen schafft nur eine gründliche Analyse des Systems hinsichtlich der fördernden Faktoren und ggf. eine Erhöhung der Warmwassertemperaturen bis hin zum Zapfhahn auf mindestens 55°C sowie ggf. eine bauliche Veränderung des Rohrleitungsnetzes dahingehend, dass Toträume oder Stagnationszonen weitgehend vermieden werden. Bei Neuerrichtung sollten neben den allgemeinen technischen Normen die Vorgaben des DVGW-Arbeitsblattes W 551 zur Vermeidung eines Legionellenwachstums beachtet werden (siehe auch Kapitel A-4).

Der Befall von Kindern mit Kopfläusen ist ein immer wieder auftretendes Problem in Schulen. Die Bekämpfung des Kopflausbefalls erfordert eine enge Zusammenarbeit zwischen Eltern, Schule und Gesundheitsamt. Jeder Läusebefall wird nach § 34 IfSG schriftlich (per Post, Fax oder Email) namentlich an das Gesundheitsamt gemeldet. Für das Verhalten beim Auftreten von Läusen ist ein genauer Verfahrensplan festzulegen (s. hierzu den Muster-Hygieneplan für Schulen im Anhang I).

Die gesundheitliche Beurteilung von Stoffen biologischen Ursprungs ist sehr komplex und muss deshalb differenziert betrachtet werden. Grundsätzlich sind Sensibilisierungen und Allergien, irritative Wirkungen, Infektionen, Intoxikationen, Geruchsbelästigungen und Befindlichkeitsstörungen als mögliche Effekte zu betrachten.

Stoffe mit einer ausschließlich allergenen Wirkung führen nur bei Allergikern mit einer Sensibilisierung gegen das jeweilige Allergen zu Symptomen. In Schulräumen betrifft dies vor allem von Tieren stammende Allergene. Bei einem entsprechenden Verdacht kann am besten der Allergologe weiterhelfen, da es üblicherweise kein Problem ist, eine Tierhaarallergie oder eine Allergie auf Schaben oder Hausstaubmilben mittels medizinischer Tests nachzuweisen.

Treten bei einzelnen Schülern oder auch Lehrkräften mit einer entsprechenden Allergie die typischen Symptome im Schulraum auf, so ist es nicht immer leicht, Gegenmaßnahmen zu ergreifen. Verringern kann man die Belastung durch eine sorgsame regelmäßige Reinigung und Verwendung bestimmter Einrichtungsmaterialien, wie z. B. glatte Böden anstelle von Teppichen. Nicht verhindert werden kann, dass Schüler und Lehrer entsprechende Allergene von Zuhause „mitbringen“.

Deutlich komplizierter ist die Beurteilung der gesundheitlichen Gefährdung durch Schimmelpilzschäden. Aus wissenschaftlichen, epidemiologischen Studien ist bekannt, dass mit Feuchteschäden und Schimmelpilzwachstum

im Innenraum gesundheitliche Beeinträchtigungen einhergehen können. Aus diesem Grund sollte Schimmelpilzwachstum im Innenraum als hygienisches Problem angesehen und nicht hingenommen werden. Allerdings ist die Feststellung einer Schimmelpilzquelle im Innenraum nicht gleichzusetzen mit einer akuten Gesundheitsgefährdung der Raumnutzer.

Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass viele Schimmelpilzarten bei entsprechend intensiver oder langzeitiger Einwirkung allergische Symptome verursachen können. Intoxikationen sind nach derzeitigem Wissensstand praktisch zu vernachlässigen, da die in Innenräumen zu erwartenden Konzentrationen an Mykotoxinen (das sind von Schimmelpilzen gebildete toxisch wirkende Stoffwechselprodukte) deutlich unterhalb der als akut-toxisch anzusehenden Konzentrationen liegen. Denkbar sind aber unspezifische irritative Wirkungen einzelner Bioaerosol-Bestandteile, die u. a. zu Hustenreiz und Schleimhautreizungen führen können.

Infektionen mit Schimmelpilzen stellen nur für Personen mit einem unterdrückten oder geschwächten Immunsystem eine Gefahr dar. Zu dieser Risikogruppe gehören vor allem Personen nach Knochenmarks- oder Organtransplantation, während der akuten Phase einer Chemotherapie oder unter langfristig hoch dosiert verabreichten Kortikosteroiden (wie Kortison wirkende Substanzen).

Das Ausmaß der tatsächlichen Gesundheitsgefährdung durch Schimmelpilze ist von vielen Faktoren abhängig, unter anderem von Ausmaß und Art des Schadens, aber auch von der individuellen Empfindlichkeit des Bewohners/ Raumnutzers. Die verfügbaren wissenschaftlichen Erkenntnisse reichen derzeit leider noch nicht aus, um den Schaden quantitativ hinsichtlich der medizinischen Gefährdung zu erfassen und es fehlen auch medizinische Tests, die Symptome zweifelsfrei auf vorhandene Schimmelpilzschäden zurückführen können.

Die aktuelle Empfehlung des Robert-Koch-Instituts „Schimmelpilzbildung in Innenräumen – Befunderhebung, gesundheitliche Bewertung und Maßnahmen“ (Bundesgesundhbl-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz 50: 2007, S. 1308–1328) gibt Hilfestellung für eine semiquantitative Risikoabschätzung.

Abschließend kann man sagen, dass Schimmelpilzquellen aus Gründen des vorbeugenden Gesundheitsschutzes entfernt bzw. saniert werden sollten, d. h. es sollte das Vorsorgeprinzip Anwendung finden, nach dem Belastungen zu minimieren sind, bevor es zu Erkrankungen kommt (= Minimierungsgebot).

Obwohl, wie weiter oben ausgeführt, Bakterien häufig im Bereich von Feuchteschäden vorkommen, ist zur gesundheitlichen Gefährdung nur wenig bekannt. Es gibt einzelne Untersuchungen, in denen vermutet wird,

dass gesundheitliche Wirkungen auf das Vorhandensein von Bakterien zurückgehen. Daher sollte auch bezüglich des Wachstums von Bakterien bei Feuchteschäden aus Vorsorgegründen das Minimierungsgebot gelten. Mit den für Schimmelpilze angegebenen Sanierungsmaßnahmen werden auch die Bakterien und andere Mikroorganismen entfernt, so dass keine weitergehenden Maßnahmen nötig sind.

Sind Luftbefeuchter in Schulinnenräumen eine Gefahr?

Luftbefeuchter und auch Zimmerspringbrunnen können, wenn Geräte nicht regelmäßig gereinigt werden und das Befeuchterwasser nicht regelmäßig gewechselt wird, zur Keimvermehrung und -freisetzung beitragen. Wegen der Gefahr einer mikrobiellen Besiedlung sollte auf Luftbefeuchter oder Zimmerspringbrunnen in Schulen verzichtet werden.

Zur Vermeidung möglicher Gesundheitsgefahren durch Mikroorganismen gehört in Schulen natürlich auch eine sachgerechte Reinigung der Sanitärbereiche (vgl. Abschnitt A-2).

Eine weitere Gefahr, die von Bakterien und Viren ausgehen kann, ist die Übertragung von Infektionen von Mensch zu Mensch über Tröpfchen- oder Kontaktübertragung. Die Übertragung von z.B. Influenza, Scharlach (*Streptococcus pyogenes*) oder Keuchhusten (*Bordetella pertussis*) ist allerdings kein Problem, welches spezifisch für Schulräume ist. Zur Vermeidung sollten die einschlägigen Vorgaben des Robert-Koch-Instituts (z.B. Hinweise für Ärzte, Leitungen von Gemeinschaftseinrichtungen und Gesundheitsämter zur Wiederezulassung in Schulen und sonstigen Gemeinschaftseinrichtungen, Aktualisierte Fassung vom Juli 2006. Erstveröffentlichung im Bundesgesundheitsbl 44 (2001): 830–843) beachtet und die Hände- und Hustenhygiene mit den Kindern trainiert werden.

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 oder Thorium in Gesteinen entsteht, ist das radioaktive Edelgas Radon. 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 und 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 Außenluft deutlich geringere Konzentrationen als in der Bodenluft vorliegen. Übliche Konzentrationen in der Außenluft liegen zwischen 10 und 30 Becquerel (Bq)/m³ (1 Bq bezeichnet einen radioaktiven Zerfall pro Sekunde). In Deutschland gibt es einige Regionen mit einem besonders hohen Radongehalt des Bodens. Zu diesen Regionen gehören einige Teile des Bayerischen Waldes, des Schwarzwaldes, des Fichtelgebirges sowie des Erzgebirges und die Eifelregion (die „Radonkarte“ des Bundesamtes für Strahlenschutz (abrufbar unter: http://www.bfs.de/de/ion/radon/radon_boden/radonkarte.html) gibt Auskunft über die radonbelasteten Regionen in Deutschland).

Eingeatmetes Radon führt durch seine alpha-strahlenden Zerfallsprodukte zu einer erhöhten Strahlenexposition der Lunge. Dies erhöht das Lungenkrebsrisiko. Nach dem Tabakrauch wird Radon als zweithäufigste Ursache für Lungenkrebserkrankungen in Deutschland angesehen. Die Höhe des Risikos, an Lungenkrebs zu erkranken, steigt mit der Höhe der Konzentration des Radons in der Raumluft und mit der Aufenthaltsdauer im Raum. 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 m³ ansteigt. Das Radon stellt damit das wichtigste Innenraumkanzerogen dar.

Zur Verringerung des Radonrisikos in Innenräumen sind bei Neubauten in radonbelasteten Gebieten geeignete bauliche Maßnahmen vorzusehen. Beispielsweise sollten Erdwärmetauschanlagen, wie sie in Zukunft im energetisch günstigen Schulneubau vermehrt eingesetzt werden könnten, so dicht gebaut werden, dass kein Radon aus dem Boden in den Erdwärmetauscher gelangt. Bei bestehenden Gebäuden sollten nach Ansicht des Bundesamtes für Strahlenschutz bei Radon-Konzentrationen über 100 Bq pro m³ unter Beachtung der Verhältnismäßigkeit Maßnahmen durchgeführt werden. Eine Erhöhung der Raumbelüftung ist eine kurzfristig durchführbare und kostengünstige Maßnahme die Radonkonzentrationen zu verringern.

TEIL C: Bauliche und raumklimatische Anforderungen

In den folgenden Abschnitten wird zunächst auf Anforderungen, die aus hygienischer Sicht an Bauprodukte und Raumausstattungsmaterialien 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

Die Anforderungen des Gesundheits- und Umweltschutzes von Bauprodukten sind seit 1989 in der EG-Bauprodukten-Richtlinie (Richtlinie 89/106/EWG) rechtlich verankert. In Deutschland wurde die Richtlinie 1992 mit dem Bauproduktengesetz umgesetzt. Beide Regelungen setzen zwar den Rahmen für den Gesundheitsschutz, die praktische Umsetzung in Normen und Regelungen werden teilweise aber noch erarbeitet. Mit dem Ziel, die Emissionen chemischer Stoffe aus Bauprodukten zu minimieren, wurde 1997 der Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB) gegründet, dessen Geschäftsstelle im Umweltbundesamt angesiedelt ist. Der AgBB erarbeitete in den Folgejahren ein Bewertungskonzept für die Emissionen flüchtiger und schwer flüchtiger organischer Verbindungen. Dieses „AgBB-Bewertungsschema“ wurde in den Jahren 2002 bis 2004 auf seine Umsetzungsmöglichkeit in der Praxis hin geprüft. Das Bewertungsschema schließt eine wesentliche Lücke beim Nachweis der

Brauchbarkeit eines Bauproduktes. Als „brauchbar“ wird ein Bauprodukt dann angesehen, wenn es den technischen Anforderungen genügt und die Gesundheit der Raumnutzerinnen und Raumnutzer nicht beeinträchtigt.

Das AgBB-Schema ist ebenso wie weitere Prüfkriterien, zu denen beispielsweise Rezepturangaben und der Ausschluss bestimmter gefährlicher Stoffe gehören, Bestandteil der Grundsätze zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten in Innenräumen, die dem Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) als Beurteilungsgrundlage für die Erteilung allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassungen dienen. Bauprodukte mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung kennzeichnet das Übereinstimmungszeichen (siehe Bild 1).



Bild 1: „Ü-Zeichen“ (Muster, Inschriften können variieren)

An dem zusätzlichen Hinweis „Emissionsgeprüft nach DIBt-Grundsätzen“ ist zu erkennen, dass eine Untersuchung gemäß AgBB-Schema erfolgt ist. Das erste Bauprodukt, welches das DIBt im Jahr 2005 nach Emissionsprüfung zuließ, war ein textiler Bodenbelag. Inzwischen hat das Institut Kautschuk-, PVC- und Linoleum-Bodenbeläge sowie Laminatböden mit Emissionsprüfung zugelassen. Weitere Bauprodukte werden folgen.

Im Vergleich zum AgBB-Schema sind die Vorgaben bei dem Blauen Engel für die Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen strenger, das heißt, die Produkte müssen deutlich niedrigere Konzentrationen der Prüfwerte einhalten. Hinzu kommt, dass für weitere Stoffe, z. B. Formaldehyd, die im AgBB-Schema nicht berücksichtigt sind, ebenfalls strenge Anforderungen gelten.

Zusammenfassend kann man sagen, dass Bauprodukte, die die gesundheitliche Bewertung nach dem AgBB-Schema bestanden haben, die gesetzlichen Mindestanforderungen erfüllen. Der Blaue Engel beinhaltet weitergehende Anforderungen an den Umwelt- und Gesundheitsschutz und ist auch für Bauprodukte verfügbar, die bisher nicht nach dem AgBB-Schema getestet wurden.

Die Auswahl emissionsarmer Bauprodukte stellt heute mehr denn je eine Notwendigkeit dar. Durch die verstärkten Anforderungen zur Energieeinsparung wird die Gebäudehülle immer luftdichter ausgeführt. Die Folge kann bei unzureichender Lüftung eine Anreicherung von im Innenraum freigesetzten chemischen und biologischen Stoffen in der Raumluft sein. Um dies zu vermeiden, hilft neben verstärktem Lüften eine Verwendung emissionsarmer Bauprodukte. Produkte mit dem Ü-Zeichen sind schadstoffgeprüft und erfüllen die gesetzlichen Mindestanforderungen.

Noch besser geeignet sind Produkte mit dem Blauen Engel und dem ergänzenden Hinweis „weil emissionsarm“ oder „weil schadstoffarm“.

C-1.1 Rohbau

Von den üblichen Bauprodukten für den Rohbau (mineralische Baustoffe, Holz, Metall) gehen in der Regel keine Gefahren für die Bewohner oder Gebäudenutzer aus. Sinngemäß gilt das auch für viele Putze, Anstriche, Wandbauplatten oder keramische Fliesenbeläge. Diese Bauprodukte enthalten aber teilweise bauchemische Zusatzstoffe, die gesondert betrachtet werden müssen.

Die spezifischen Eigenschaften der für den Rohbau von Schulen verwendeten Baustoffe werden nachfolgend skizziert. 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.

Für das Außenmauerwerk werden oft **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 z. B. Porensierungsmitteln, 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.

Auch die heute gern im Zuge der verbesserten Energieeinsparung im späteren Gebäudebetrieb eingesetzten Gas- und Porenbetonsteine sind frei von Zusätzen und stellen aus gesundheitlicher Sicht kein Risiko dar. Anders sieht es aus, wenn zur Energieeinsparung Außenwände auf Ständerbasis (Holz, in Schulen eher Stahl) errichtet werden, die Hohlräume anschließend mit Dämmmaterialien gefüllt werden und raumseitig lediglich eine Beplankung mit Gipskarton o. ä. und darunter liegender Dampfsperre angebracht ist. Dämmmaterialien können chemische Stoffe wie Formaldehyd enthalten und/oder bereits bei der Anlieferung an die Baustelle mikrobiell kontaminiert sein. Dies muss nicht zwangsläufig zu einer späteren Raumluftbelastung führen, da die Dampfsperre – Dichtigkeit und korrekte Einbauweise vorausgesetzt – auch den Eintritt von Schadstoffen in die Raumluft zu

unterbinden hilft. Problematisch wird es erst dann, wenn Risse und Undichtigkeiten in den Wänden entstehen und so aus dem Hohlwandbereich Stoffe in die Innenraumluft gelangen können. Problematisch wird es auch, wenn während der Bauphase oder später Feuchtigkeit in den Hohlwandbereich gelangt und nicht mehr abtrocknen kann. Dann kann es zu einem verdeckten mikrobiellen Wachstum kommen, das gesundheitlich negative Folgen für die Raumnutzer haben kann (vgl. Abschnitt B-7). Im Praxisalltag bedarf es daher besonderer Vorsorge, darauf zu achten, dass es in Hohlkonstruktionen nicht zu Schäden mit Feuchteintritt kommt.

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 kommt hier eine Reihe von Verarbeitungshilfsmitteln zum Einsatz, die aufgrund ihrer geringen Anteile jedoch aus hygienischer Sicht eher von untergeordneter Bedeutung sind.

Holz ist der vom Menschen am längsten verwendete Baustoff, der als nachwachsender Rohstoff seit jeher und fast überall verfügbar ist. Aufgrund seiner Brennbarkeit und seiner Anfälligkeit gegen tierische und pflanzliche Schädlinge ist beim Verbauen von Holz jedoch die Beachtung bestimmter Regeln wichtig, um z. B. den Befall durch Insekten oder holzerstörende Pilze zu verhindern. Gemäß DIN 68800-2 „Holzschutz im Hochbau“ lassen sich Gebäude heute so 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. Die Hölzer können durch physikalische Verfahren (thermische Trocknung) so vorbehandelt werden, dass der Restfeuchtegehalt im Holz gering ist. Bleibt dies auch später am Bau so, wird für holzerstörende Organismen das Wachstum zumindest sehr erschwert. Der Verzicht auf chemischen Holzschutz erfordert allerdings eine sorgfältige Planung und Bauausführung und kann die Materialauswahl einschränken.

Kann aufgrund besonderer Konstruktionserfordernisse eines Gebäudes nicht auf eine vorbeugende Behandlung mit Holzschutzmitteln 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 geprüft und bewertet.

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

Bei **Holzwerkstoffplatten** (z. B. Spanplatten oder OSB-Platten), die zumeist großflächig eingesetzt werden (z. B. als Fußbodenverlegeplatten), ist vor allem die Abgabe von Formaldehyd zu beachten (vgl. Abschnitt B-3). Fußbodenverlegeplatten sind heute meist wasserfest verleimt (V 100). Diese Leime geben wenig oder kein Formaldehyd ab. Die Produkte sind auch für den Anwender kenntlich mit Emissionsklasse „E1“ für formaldehydarm bzw. mit dem Aufdruck „formaldehydfrei“ gekennzeichnet. Im letzteren Fall wurden zur Verleimung Isocyanate zugesetzt, die nach dem Aushärten während des Produktionsprozesses nicht mehr in die Raumluft gelangen können. Die größte Menge an Holzwerkstoffplatten (z. B. nicht wasserfest verleimte Spanplatten und Sperrholz) wird auch heute noch mit Harnstoff-Formaldehydharzen verleimt, die leichter und über viele Jahre Formaldehyd abgeben können (siehe auch C-1.3). Durch Formaldehyd undurchlässige Beschichtungen kann die Formaldehydabgabe reduziert werden. Bei OSB-Platten können vor allem höhere Aldehyde und Carbonsäuren zu geruchlichen Belastungen der Innenraumluft führen. Der Einsatz von Bioziden in Holzwerkstoffplatten (V 100 G) ist heutzutage in Innenräumen nicht mehr zulässig.

Bei den beim Rohbau verwendeten **Metallen** ist grundsätzlich zwischen Eisen bzw. Stahl und Nichteisenmetallen wie Aluminium, Zink oder Kupfer zu unterscheiden. Sie stellen aus hygienischer Sicht kein Problem dar, da sie keine schädlichen Stoffe an die Innenraumluft abgeben. Dies gilt zwar für die Metalle selbst, nicht aber für deren Beschichtungen oder Lackierungen. Frei von Emissionen sind hierbei im Wesentlichen ab Werk pulverbeschichtete Materialien (z. B. Heizkörper).

C-1.2 Ausbau und Umbau

Emissionen aus Bauprodukten allein bestimmen nicht die Raumluftqualität. Auch Ausstattungsmaterialien und Inventar tragen dazu bei. Die Produktvielfalt der im Innenraum verwendeten Materialien ist mindestens ebenso vielfältig wie bei den beim Rohbau verwendeten Materialien. Auch hierbei gilt, dass sich durch den Einsatz von umweltfreundlichen und emissionsarmen Produkten Innenraumluftbelastungen deutlich verringern lassen.

Die im Folgenden zusammengestellten Empfehlungen können bei Arbeiten durch Fachfirmen und im „Selbsthilfefall“ als erste Information dienen.

Erforderliche Aus- und Umbaumaßnahmen in Schulgebäuden sollten in erster Linie durch Fachfirmen erledigt werden. Da wegen der finanziellen Situation in vielen Schulen zunehmend auch Lehrer, Eltern und Schüler „zur Selbsthilfe“ greifen, sollten unbedingt vor Beginn solcher Arbeiten Fachleute zu Rate gezogen werden.

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

Neben der bauaufsichtlichen Zulassung, mit der die Brauchbarkeit von Bauprodukten auch in gesundheitlicher Hinsicht geregelt ist, zeichnet der Blaue Engel Bauprodukte und Einrichtungsgegenstände zur Verwendung im Innenraum aus, wenn sie besonders emissionsarm sind (vgl. Tab. 7). Um die gesundheitliche Relevanz der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen (VOC) zu ermitteln, wendet der Blaue Engel bei vielen Produkten ebenfalls das Schema zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB-Schema) an. Die Anforderungen an die einzuhaltenden Maximalwerte für TVOC und SVOC sind jedoch deutlich strenger. Damit reduziert der Blaue Engel den Eintrag von Schadstoffen in die Innenraumluft und trägt zum vorsorgenden Gesundheitsschutz bei.

Tabelle 7: Der Blaue Engel für emissionsarme Produkte

Vergabegrundlagen		Ausgezeichnete Produkte
RAL-UZ 12a	Schadstoffarme Lacke	Weiß- und Buntlacke, Lasuren, Grundierungen, Holzlacke, Heizkörperlacke u. v. m.
RAL-UZ 38	Produkte aus Holz/Holzwerkstoffen	Holzmöbel, Parkett, Laminat, Linoleum, Paneele
RAL-UZ 76	Holzwerkstoffplatten	Spanplatten, Faserplatten, Verlegetplatten
RAL-UZ 102	Wandfarben	Dispersionsfarben, Latexfarben, Abtönfarben, Dispersionssilikatfarben
RAL-UZ 113	Bodenbelagsklebstoffe und andere Verlegewerkstoffe	Klebstoffe für elastische Bodenbeläge, und Parkett, Spachtelmassen
RAL-UZ 117	Polstermöbel	Stühle, Sessel
RAL-UZ 119	Matratzen	Taschenfederkern-, Kaltschaummatratzen
RAL-UZ 120	Elastische Bodenbeläge	Bodenbeläge aus Kautschuk, Linoleum
RAL-UZ 123	Dichtstoffe für den Innenraum	Silikone, Acrylate
RAL-UZ 128	Textile Bodenbeläge	Teppichböden

Darüber hinaus gibt es weitere Labels, die auf private Initiative zurückgehen und die verschiedene Hersteller länderübergreifend nutzen. Dazu gehören „natureplus“ von natureplus e.V. für diverse Bauprodukte, „GUT“ der Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppichboden e.V., „EMICODE EC 1“ der Gemeinschaft Emissionskontrollierte Verlegewerkstoffe e.V. und die „Scandinavian Trade Standards“. Bei diesen Kennzeichnungssystemen bestimmen die Prüfinstitute die Emissionen ebenfalls nach EN- oder ISO-Normen oder verwandten Methoden.

Lacke:

Konventionelle Alkydharzlacke können erhebliche Innenraumluftbelastungen durch ihren Lösemittelgehalt (35–55 Gew. %) und durch Spaltprodukte der trocknenden Öle (Aldehyde und Carbonsäuren) verursachen. Die gemeinsame Empfehlung zum Einsatz „lösemittelreduzierter Bautenlacke“, herausgegeben unter anderem von der Arbeitsgemeinschaft der Bau-Berufsgenossenschaften, dem Maler- und Lackiererhandwerk, der Lackindustrie und dem Umweltbundesamt, kommt zu dem Ergebnis: „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.“ Neuere Untersuchungen zur Gebrauchstauglichkeit und zum Emissionsverhalten bestätigen diese Aussage.

Viele Dispersionslacke sind mit dem Blauen Engel gekennzeichnet. 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 vergleichbare schadstoffarme Lacke deutlich geringere Innenraumluftbelastungen.

Was ist bei Renovierungsmaßnahmen mit Lacken zu beachten?

- ▶ 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. Auf mineralischen Untergründen (Wände und Decken) sind Dispersions- und Latexfarben die geeigneten Anstrichstoffe.
- ▶ Für den Oberflächenschutz von nicht tragenden Hölzern im Innenbereich (Wohnräume) sind schadstoffarme Lacke oder Holzlasuren mit dem Blauen Engel am besten geeignet. Schadstoffarme Lacke werden auch für den Oberflächenschutz von Holzbauteilen oder Holzgegenständen, die der Witterung ausgesetzt sind, angeboten.
- ▶ Bei der Parkettlackierung sollte auf stark lösemittelhaltige Oberflächenbehandlungsmittel verzichtet werden. Stattdessen sollten wasserverdünnbare Oberflächenbehandlungsmittel (Wassersiegel) auf Acrylat- oder Polyurethanharzbasis eingesetzt werden.

Wandfarben (Dispersionsfarben, Silikatfarben):

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 und enthalten Konservierungsmittel. Durch diese ergeben sich aufgrund des hohen Verbrauchs unter Umständen Innenraumluftbelastungen. Silikatfarben, auch Mineralfarben genannt, enthalten neben anorganischen Farbstoffen als Bindemittel Wasserglas. Durch die Verwendung von modernen (umweltfreundlichen und emissionsarmen) Dispersionsfarben oder Silikatfarben können Innenraumluftbelastungen deutlich reduziert werden. Diese Dispersionsfarben – auch als „ELF-Farben“ (emissions- und lösemittelfrei) bezeichnet – werden von der Farben- und Lackindustrie seit einigen Jahren angeboten. Sie konnten sich bisher am Markt noch nicht vollständig durchsetzen, da sie teurer als konventionelle Dispersionsfarben sind.

Was ist bei der Verwendung von Dispersionsfarben (Wandfarben) zu beachten?

- ▶ Für die großflächige Beschichtung von Wänden, Decken und Fassaden sind Dispersionsfarben der geeignete Anstrichstoff. Die Verwendung von Lacken ist hier nicht erforderlich.
- ▶ Anstriche auf der Innenseite von Außenbauteilen sollen das Wasserdampfdiffusionsverhalten der Außenbauteile nicht nachteilig verändern.
- ▶ In Innenräumen sollten aus der Sicht des Gesundheits- und Umweltschutzes nur emissionsarme Wandfarben verwendet werden. Mit dem Blauen Engel „weil emissionsarm“ sind matte Dispersionsfarben, seidengänzende und glänzende Latexfarben und Dispersionssilikatfarben ausgezeichnet, die zur Belastung der Innenraumluft mit flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) kaum bis gar nicht (ELF-Farben) beitragen.
- ▶ Auf die Deklaration von Topfkonservier-Inhaltsstoffen sollte bei wasserbasierten Farben zum Schutz von Allergikern geachtet werden.

Bodenbelagsklebstoffe:

Bodenbelagsklebstoffe bestehen wie Lacke aus vier Stoffgruppen: Bindemittel, Lösemittel, Füllstoffe und Zusatzstoffe. Moderne Bodenbelagsklebstoffe enthalten heute meist nur noch Wasser als Lösemittel. Aufgrund unterschiedlicher Herstellungsverfahren und Zusatzstoffe können sich die Emissionen dieser Klebstoffe jedoch unterscheiden. Für bestimmte Verklebungen – beispiels-

weise Parkett auf schwierigen Untergründen – werden auch heute noch lösemittelhaltige oder sogar stark lösemittelhaltige Klebstoffe eingesetzt. Bei der Verarbeitung dieser Klebstoffe in Innenräumen kann es teilweise auch noch lange Zeit nach der Verarbeitung zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen kommen. Gründe hierfür können ungünstige Untergrundbeschaffenheit (z. B. stark saugende Untergründe), nicht fachgerechte Untergrundvorbereitung oder hoch siedende Lösemittel im Klebstoff sein, die aufgrund ihres niedrigen Dampfdruckes lange Zeit zur vollständigen Verdunstung benötigen. Um diese Innenraumlufbelastungen zu vermeiden, empfiehlt es sich bereits bei der Planung darauf zu achten, dass der Bodenbelag auf dem Untergrund mit einem emissionsarmen Bodenbelagsklebstoff – falls notwendig einschließlich emissionsarmer Spachtelmasse und Vorstrich – verlegt werden kann.

Seit Juni 2003 gibt es für emissionsarme Bodenbelagsklebstoffe das Umweltzeichen „Blauer Engel“. Die Vergabegrundlage orientiert sich an dem vom Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB) entwickelten Bewertungsschema. Ziel des AgBB ist eine einheitliche und nachvollziehbare gesundheitliche Bewertung von Bauprodukten in Deutschland – besonders im Hinblick auf die Emissionen flüchtiger organischer Stoffe. Die Gemeinschaft emissionskontrollierter Verlegewerkstoffe (GEV) vergibt für ebenfalls relativ emissionsarme Bodenbelagsklebstoffe das Zeichen EC 1, wobei die Anforderungen weniger streng sind.

Vereinzelte können bei Bodenbelagsklebstoffen auf Dispersionsbasis Emissionen nachgewiesen werden, die nicht unmittelbar aus den eingesetzten Substanzen stammen, sondern durch Reaktionen entstanden sind (Sekundäremissionen). Bei diesen Substanzen handelte es sich um Carbonylverbindungen (Aldehyde, Ketone und organische Säuren), die teilweise erst nach einer Prüfzeit von mehr als 28 Tagen gefunden wurden. Die Substanzen haben teilweise eine sehr niedrige Geruchsschwelle, d. h. sie sind schon bei geringen Konzentrationen zu riechen, und könnten deshalb für unangenehme Gerüche, die in der Praxis meist Hauptgrund von Reklamationen sind, verantwortlich sein. Die Entstehung dieser Sekundäremissionen könnte mit einem Einsatz von Tallharzen (Harz aus Buchenhölzern, wird industriell z. B. in Klebern von Papier eingesetzt) bzw. Tallölen in den Klebern zusammenhängen. Darin können ungesättigte Fettsäuren wie Linolsäure und Ölsäure enthalten sein, von denen bekannt ist, dass sie durch Oxidation mit Luftsauerstoff zu einigen der genannten Substanzen umgesetzt werden. Bodenbelagsklebstoffe mit dem Blauen Engel dürfen keine oxidierbaren Bestandteile enthalten.

Welche Bodenbelagsklebstoffe sind zu verwenden?

Für alle Bodenbelagsarten (elastische Bodenbeläge, Teppiche, Parkett) bietet die Klebstoffindustrie heute lösemittelfreie und emissionsarme Bodenbelagsklebstoffe an. Diese Klebstoffe lassen sich bei geeigneter Untergrundvorbehandlung (z.B. Spachtelung) auf allen Untergründen einsetzen. Klebstoffreste von Altbelägen sind vorher zu entfernen.

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. Nach Neubauten oder Renovierungen sollten in Schulen möglichst nur feucht wischbare Bodenbeläge zum Einsatz kommen.

Welche Bodenbeläge sollen in Schulen eingesetzt werden?

- ▶ Bei wischbaren Bodenbelägen gibt es nicht den „besten“ Bodenbelag. Eine Auswahl aus drei unterschiedlichen Produktgruppen, wie Holz/Holzwerkstoffe, elastische und keramische Beläge, sollte in Abhängigkeit vom vorgesehenen Einsatzbereich und dem notwendigen Anforderungsniveau so getroffen werden, dass eine möglichst lange Nutzungsdauer realisiert werden kann. Beim Pflegeaufwand sind keine deutlichen Unterschiede zwischen diesen Produktgruppen zu erwarten.
- ▶ Bodenbeläge in Klassenräumen (nicht in Fluren) unterliegen der Zulassung durch das Deutsche Institut für Bautechnik (vgl. C-1). Bei der Beschaffung von Bodenbelägen ist daher in jedem Fall auf das Vorhandensein des Ü-Zeichens (siehe Bild 1, Abschnitt C-1) zu achten.
- ▶ Eine Reihe von Bodenbelägen konnten inzwischen mit dem Blauen Engel „weil emissionsarm“ ausgezeichnet werden: Kautschuk- und Linoleumbeläge, Parkett, Kork und Laminat.
- ▶ Keramische Bodenbeläge sollen überall dort eingesetzt werden, wo eine lange Nutzungsdauer bei hoher Belastung und Reinigungsfrequenz realisiert werden soll (z.B. Sanitärbereiche, vgl. Abschnitt A-2).

Textile Bodenbeläge:

Textile Bodenbeläge sollen in Schulen wegen des vergleichsweise hohen Reinigungsaufwandes nicht verwendet werden (vgl. 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 potenzielle 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 Holzwerkstoffen, wie z. B. Möbel, Türen, Paneele, sind eine wichtige Quelle für 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 sollen 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. Aufbauend auf Ergebnissen früherer Forschungsvorhaben der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung wurde eine erweiterte Vergabegrundlage für ein Umweltzeichen „Emissionsarme Möbel“ entwickelt. Diese heute noch gültige 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.

Was ist bei der Anschaffung von Schulmobiliar zu beachten?

- ▶ Bei der Anschaffung von Möbeln, die überwiegend aus Holz bestehen, sollten die Anforderungen zur Vergabe des Umweltzeichens RAL-UZ 38 (siehe Tabelle 7, Abschnitt C-1.2) zugrunde gelegt werden.
- ▶ Ergänzend wird bei der Anschaffung 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.
- ▶ In Einzelfällen ist auch ein „Möbelpass“ verfügbar, der Auskunft über das Prüfergebnis möglicher Emissionen des Produktes gibt.

C-2 Gebäudeklima

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 Tab. 8). Der Wärmeaustausch mit der Umgebung wird vor allem durch die Wärmeabgabe über die Haut bestimmt.

Tabelle 8: 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, Fußböden 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)

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

Unter den in der Regel in Aufenthaltsräumen anzutreffenden thermischen Bedingungen erfolgt der Wärmeaustausch 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 der Wärmeabgabe durch Verdunstung. Konvektion und Strahlung sind mit nahezu gleichem Anteil am Wärmeaustausch beteiligt. Daher kann mit zufriedenstellender Genauigkeit die vom Menschen empfundene Temperatur (= operative Temperatur) als arithmetischer Mittelwert der Temperatur der Umgebungsflächen (Strahlungstemperatur) und der Lufttemperatur errechnet werden.

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

- ▶ Warme Bedingungen zum Stundenbeginn, bedingt durch erhöhte Wärmeabgabe nach der Pausenaktivität.
- ▶ Unbehaglich warme Bedingungen, z. B. im Bereich der Fensterfront durch erhöhte Strahlungswärmeaufnahme (Sonneneinstrahlung, Radiator).
- ▶ Unbehaglich warme Bedingungen zu Unterrichtsbeginn aufgrund starker Aufheizung bei Sonneneinstrahlung nicht betätigtem Sonnenschutz in Räumen mit östlichen Orientierungen.
- ▶ Unbehaglich warme Bedingungen zu Unterrichtsbeginn, durch starke Aufheizung, durch Sonneneinstrahlung am Nachmittag in Räumen mit westlichen (auch nord-westlichen!) Orientierungen sowie durch nicht betätigten oder nicht vorhandenen Sonnenschutz und fehlende Auskühlung in der Nacht bzw. am frühen Morgen.
- ▶ Anstieg der operativen Temperatur im Verlauf sommerlicher Hitzeperioden.
- ▶ Anstieg der operativen Temperatur und der relativen Luftfeuchte im Unterrichtsverlauf bedingt durch die Wärme- und Wasserdampfabgabe der Personen im Raum bei unzureichendem Abtransport durch Lüften.
- ▶ Unbehaglich kalte Bedingungen, z. B. im Bereich der Fensterfront durch erhöhte Strahlungswärmeabgabe (kalte Außenwand) bzw. durch erhöhte Konvektion (Zugerscheinungen).
- ▶ Unbehaglich kalte Bedingungen am Morgen durch zu späten Beginn des morgendlichen Aufheizens nach Absenkung der Temperatur in der Nacht (Nachtabsenkung der Heizungsanlage).

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 Operativtemperaturen (für Klassenräume je nach Jahreszeit und in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur zwischen ca. 20–26 °C) sollten möglichst das ganze Jahr hindurch eingehalten werden.
- ▶ Wände, Fußböden und Decken sind so zu gestalten, dass kein unangenehmer Wärmestrahlaustausch mit kalten Oberflächen stattfindet.
- ▶ Zugerscheinungen sind zu vermeiden.
- ▶ Die individuelle Bekleidung sollte den saisonalen und räumlichen Gegebenheiten sowie den Bewegungen (Lernunterricht im Sitzen, Sportunterricht etc.) angepasst sein.

C-2.2 Bautechnische Anforderungen

Bauliche und bautechnische Voraussetzungen, die eine einwandfreie Innenraumluftqualität und ein gutes Gebäudeklima in Schulgebäuden sicherstellen, schließen auch eine städtebaulich und mikroklimatisch günstige Lage und Größe des Schulgeländes ein. Hierzu gehören ein sinnvolles Maß an Besonnung, kaum Windeinflüsse 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.

Dem Schutz vor thermischer Belastung der Klassenräume im Sommer durch Überhitzung der Räume durch Sonneneinwirkung und hohe Außentemperaturen kommt in Schulgebäuden aus mehreren Gründen eine hohe Bedeutung zu, nämlich:

- ▶ In Klassenräumen hält sich während der Unterrichtsstunden (vor allem bei größeren Klassenstärken) eine relativ hohe Anzahl von Personen auf engerem Raum auf. Dies hat eine Wärmeabgabe zur Folge, die als interne Wärmelast wirkt.
- ▶ Aus Kostengründen sind die Raumhöhen in modernen Schulen gegenüber früher niedriger geworden. Große Raumhöhen sind nicht mehr üblich. Dies reduziert das Luftvolumen und die physiologische Wärmeabgabemöglichkeit per Konvektion.

- ▶ Aus gestalterischen Gründen haben sich in der modernen Schulgebäude-Architektur größere Fensterflächen etabliert. Diese können aber im Sommer zu unwillkommener Sonneneinstrahlung führen.
- ▶ Im Innenausbau sind leichte Trennwände und (aus akustischen Gründen) abgehängte Decken üblich geworden, die fast keine Wärmespeicherfähigkeit mehr besitzen, so dass sich die Räume im Sommer in unerwünschter Weise aufheizen.

Hinzu kommt, dass die möglichen Auswirkungen des Klimawandels, die heute erst in Ansätzen zum Tragen kommen, spätere Schulgenerationen weitaus mehr belasten werden als heute. Der winterliche Wärmeschutz ist dann möglicherweise nicht mehr das Hauptproblem, sondern der Schutz gegen Überhitzung der Räume im Sommer.

Die Vielzahl der Ursachen lässt vermuten, dass es auch viele Einflussparameter gibt, mit denen man der sommerlichen Sonneneinstrahlung wirksam begegnen kann. Einige dieser Parameter sind in den folgenden Abschnitten näher beschrieben.

Die **Orientierung des Gebäudes** und damit die Orientierung der fensterhaltigen Hauptfassaden des Gebäudes sind entscheidend. Nord-Süd-Fassaden verhalten sich günstig, Ost-West-Fassaden ungünstig. Südfassaden weisen im Sommer – entgegen landläufiger Meinung – keine starke Einstrahlung auf, weil die Sonne zur Mittagszeit im Süden steil im Zenit steht und deshalb die Fassade nur tangierend trifft. Westfassaden werden hingegen am Nachmittag bei flacherem Sonnenstand fast senkrecht von Solarstrahlung getroffen, was Westräume hoch belastet. Hinzu kommt, dass zur Nachmittagszeit (16 bis 17 Uhr) im Sommer auch die Außenlufttemperaturen am höchsten sind, so dass die sommerliche Raumwärme praktisch nicht „hinaus gelüftet“ werden kann; man trägt beim Lüften zu diesem Zeitpunkt eher noch Wärme in das Klassenzimmer hinein. Für Ostfassaden gilt Ähnliches in den Morgenstunden. Nach Osten hin ausgerichtete Räume sind meistens schon bei Unterrichtsbeginn vorerwärmt oder vorweg „aufgeheizt“. Man kann Osträume aber – im Gegensatz zu Westräumen – morgens gut lüften, weil die morgendliche Außenluft im Sommer meist noch relativ kühl ist. Nordräume weisen die geringste Sonneneinstrahlung auf, nämlich fast keine direkte, sondern nur diffuse. Die diffuse Sonnenstrahlung beschert den Nordräumen aber eine exzellente, blendfreie Natur-Beleuchtung; deshalb werden Kunst-Ateliers auch vorwiegend nach Norden orientiert. Oberlichter weisen im Sommer extrem hohe Sonneneinstrahlungen auf. Fenster gen Norden werden in der energiesparenden Bauweise allerdings selten eingebaut, weil man im Winter und in den Übergangsmonaten die Erwärmung der Räume durch die Sonne als passive Wärmeenergiequelle nutzen möchte.

Die **Größe der transparenten Fensterfläche** spielt eine entscheidende Rolle bei der sommerlichen Erwärmung. Übergroße Glasflächen mit mehr als 40 bis 50 % Glasanteil in der Fassade sind nicht zu empfehlen. Zusammen mit den dann nötigen Sonnenschutzvorrichtungen kosten sie auch ein Mehrfaches von nichttransparenten Wandflächen aus traditionellen Baustoffen.

Große Glasflächen benötigen – orientierungsabhängig – **Sonnenschutzvorrichtungen**. Eine Sonnenschutzvorrichtung muss, wenn Sie energetisch wirksam sein soll, außen liegen. Innen liegende Vorrichtungen sind energetisch in der Regel wirkungslos; sie können allenfalls einen Blendschutz, nicht aber einen (energetischen!) Wärmeschutz liefern. Sonnenschutzvorrichtungen können starr oder beweglich sein. In der Regel ist eine starre Vorrichtung – z. B. in Form eines Vordaches – nur bei Südorientierung richtig (falls dort überhaupt nötig), weil das Vordach die dort steil aus dem Zenit einfallende Strahlung abhält. Gleichzeitig reduzieren feststehende Sonnenschutzvorrichtungen aber den Tageslichteinfall in die tiefer im Raum gelegenen Bereiche. Ost- und Westfenster benötigen bewegliche Vorrichtungen. Bei Nordfassaden ist kein Sonnenschutz erforderlich (wohl aber bei nordost- und nordwestlichen Orientierungen im Sommer um frühmorgendliche und spätabendliche Aufheizung zu verhindern!). Bewegliche Vorrichtungen können von Hand oder automatisch gesteuert werden. Bei Ostfassaden sollten sie automatisch steuerbar sein, weil die dortigen Sensoren bereits kurz nach Sonnenaufgang (um ca. 5 Uhr) ansprechen müssen. Sonnenschutzgläser sind im Schulbau nicht zu empfehlen; Gläser mit einer hohen Lichttransmission, moderatem, nicht wärmegewinnoptimiertem g-Wert (Gesamtenergiedurchlassgrad) der Verglasung und mit außen liegendem Sonnenschutz sind vorzuziehen. Die Sonnenschutzwirkung wird durch den sog. „Gesamtenergiedurchlassgrad“ gekennzeichnet; er ist für die Sonnenschutzvorrichtung zusammen mit der Verglasung durch ein Prüfzeugnis einer akkreditierten Prüfanstalt nachzuweisen.

Glas-Atrien oder Foyers mit Glasdächern bedürfen zur richtigen Planung und Ausführung der Einschaltung bauphysikalischer Experten. Horizontale Glasdächer empfangen im Sommer die stärkste solare Einstrahlung von allen Bauteilen. In extremen Fällen können dies bis zu 1000 W/m^3 zur Mittagszeit sein. Sonnenschutzvorrichtungen in Form von außen liegenden Sonnensegeln oder dergleichen sind hier unerlässlich. Die Segel dürfen aber die im Dach installierten Öffnungen zur Lüftung oder zur Entrauchung nicht blockieren. Die außen liegende Sonnenschutzvorrichtung muss im Winter so geschützt werden, dass sie durch Schnee oder gefrierendes Wasser nicht beschädigt wird. Ähnliches gilt für Photovoltaik-Elemente, die im Dach angebracht werden. Die Photovoltaik-Elemente geben an ihrer Rückseite nach innen hin relativ hohe Wärmeströme ab. Dies wird häufig unterschätzt;

sie wirken im Sommer in unerwünschter Weise wie eine zusätzliche stark strahlende Deckenheizung, wenn sie nicht mit Abstand aufgebracht und mit Außenluft hinterlüftet werden.

Wärmespeichernde Bauteile im Gebäudeinneren (massive Wände und Decken) dämpfen die sommerliche Raumerwärmung. Wichtig sind dabei die Innenbauteile; die Speicherwirkung der (neben den großen Glasflächen) noch verbleibenden Außenwandreste ist vernachlässigbar. Man kann die von außen kommende sommerliche Sonneneinstrahlung somit durch richtige Dimensionierung der Innenbauteile abwehren. Die Oberflächen massiver Innenbauteile dürfen, wenn sie zur Wärmespeicherung dienen sollen, nicht mit wärmedämmenden Schichten abgedeckt werden, weil die eingestrahelte Energie sonst nicht aufgenommen werden kann. Teppiche oder untergehängte Decken reduzieren z. B. die Speicherkapazität einer Betondecke. Auch der Einsatz sog. Phasenwechselmaterialien (PCM) kann helfen, die Überwärmung der Klassenräume untertags zu vermeiden. Je nach eingestelltem Umschlagpunkt (z. B. 25°C) werden diese wachsähnlichen Materialien geschmolzen, Wärme wird aufgenommen ohne weitere Temperaturerhöhung dieser Materialien. Die „Entladung“ kann nachts durch Lüftung erfolgen.

Die tagsüber in den Innenbauteilen gespeicherte Wärme muss durch eine verstärkte **Nachtlüftung** wieder aus dem Raum abgeführt werden. Geschieht dies nicht, dann „schaukelt“ sich von Sommertag zu Sommertag die Raumtemperatur immer weiter auf. Glücklicherweise ist die nächtliche Außenlufttemperatur im hiesigen Klima (in Innenstadtlagen ist dies oft nicht der Fall) auch im Sommer meist niedrig, so dass eine Raumabkühlung durch Nachtlüftung möglich wird. Die nächtliche Durchlüftung der Schulräume muss allerdings durch große Öffnungen sichergestellt sein, die witterungs- und einbruchssicher gestaltet werden oder durch den Hausmeister überwachbar sind. Alternativ kann bei zu erwartenden hohen sommerlichen Außentemperaturen auch eine frühmorgendliche Lüftung der Räume bereits wirksam sein und eventuell leichter organisiert werden.

Man erkennt, dass der Schutz vor sommerlicher Aufheizung von Schulräumen durch eine Fülle von Maßnahmen erreichbar ist, wobei im Einzelfall nicht alle Maßnahmen gleichzeitig ergriffen werden müssen, wohl aber einzeln oder in Kombination sinnvoll ausgewählt werden sollten. Anleitung gibt unter anderem die DIN 4108 (Teil 2) (aufgrund der hohen internen Lasten bedingt durch die hohe Personenzahl in Klassenzimmern, kann die Einhaltung der in DIN 4108 (Teil 2) angegebenen Maximaltemperaturen einschließlich der geringen Überschreitungszeit nicht erwartet werden).

Wie hoch darf die Raumlufttemperatur in Schulräumen im Sommer sein?

Wegen der im Sommer zulässigen Raumlufttemperaturen in Schulen und Büros gibt es regelmäßige Auseinandersetzungen zwischen Gebäudebetreibern und Betroffenen. Nach der Arbeitsstätten-Verordnung gibt es zwar eine Soll-Empfehlung (nicht aber eine Muss-Vorschrift!), dass die Raumlufttemperatur an Arbeitsstätten den Wert von 26°C nicht übersteigen sollte. Für die sommerliche Raumerwärmung gilt aber der allgemeine bauphysikalische Grundsatz, dass es in hiesigen geografischen Breiten tagsüber im Sommer in Innenräumen vorübergehend heiß sein kann. Der bauphysikalische Grundsatz kann in fast allen Fällen eingehalten werden, wenn von Beginn der Bauplanung an den in diesem Abschnitt (C-2.2) genannten Einflussparametern konsequent Rechnung getragen wird. Die strikte Einhaltung einer 26°C-Empfehlung würde auch in Schulen den Einsatz von raumluftechnischen Anlagen mit Kühlung voraussetzen

C-2.3 Lüftungstechnik

Freie Lüftung:

Dies ist die Fensterlüftung oder auch „freie“ oder „natürliche“ Lüftung genannt bei der keine Lüftungsanlagen oder sonstige Lüftungstechniken verwendet werden.

Die Bevorzugung freier Lüftung stellt – in Schulen – häufig einen Kompromiss dar zwischen Aufwand und Erfolg. Klassenräume lassen sich 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 dafür gesorgt werden, dass während und am Ende der Unterrichtsstunde die hygienischen Erfordernisse für Kohlendioxid eingehalten werden (vgl. Abschnitt B-1). Es ist deshalb auch im Winter unerlässlich, dass während der Pausen konsequent gelüftet wird, bei langen Unterrichtsstunden und sehr hoher Raumbelastung auch zwischendurch.

Bei Warmwetterperioden sollten Oberlichter oder Kippfenster nachts geöffnet bleiben (wenn aus Einbruchschutzgründen möglich), damit eine bessere Auskühlung der Räume erreicht wird.

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:

Eine mechanische Lüftung (Lüftungsanlage) bietet den Vorteil, dass nutzerunabhängig eine bestimmte Mindestluftwechselzahl eingehalten wird. Mechanische Lüftung hat außerdem den energetischen Vorteil, dass sie mit einer Wärmerückgewinnungsanlage verbunden werden kann. 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 EN 13779 und VDI 6022.

Die mechanische Lüftung kann helfen, in den Sommermonaten bei nächtlicher Intensivlüftung zur Gebäudeabkühlung beizutragen (vgl. Anmerkungen zur Nachtkühlung in Abschnitt C-2.2).

C-2.4 Anforderungen an die Akustik

Auch in der besten Schule lässt es sich nicht unterrichten, wenn die Sprachverständlichkeit der Lehrerinnen und Lehrer aufgrund akustischer Mängel im Gebäude leidet. Nicht nur das Vermeiden von Lärmeinwirkungen von außen ist wichtig. Ebenso wichtig sind bauliche und gestalterische Anforderungen in und am Gebäude, um die Akustik im Gebäude zu verbessern.

Die akustische Gestaltung von Schulen und Unterrichtsräumen zielt auf die Schaffung optimaler Bedingungen, um die Gesundheit und die Leistungsfähigkeit der Schülerinnen und Schüler zu fördern und nicht zu beeinträchtigen. Dies gilt für die Nutzung und Nutzbarkeit der Unterrichtsräume, abhängig vom jeweiligen Umfeld (Schulgebäude, Umgebung), jedoch unabhängig von pädagogischer Konzeption und individuellen Voraussetzungen der Kinder. Ein weiterer wesentlicher Aspekt der nachhaltigen akustischen Gestaltung von Unterrichtsräumen ist die Betrachtung der Akustik als integrierender und unverzichtbarer Bestandteil der Gebäudegestaltung.

Anwendungsbereich:

Die akustische Gestaltung betrifft die bau- und raumakustischen Eigenschaften des gesamten Schulgebäudes, d. h.:

- ▶ allgemeine Unterrichtsräume,
- ▶ besondere Unterrichtsräume (Musik, Sport etc.),
- ▶ Aufenthaltsräume einschließlich
- ▶ Flure und Treppenhäuser.

Nur durch diese Gesamtbetrachtung (siehe Bild 2) sind optimale Arbeits- und Lernbedingungen zu erreichen. Die bauakustischen Eigenschaften umfassen den Schallschutz von Wänden (außen, innen), Decken, Dächern, Türen und Fenstern gegenüber Geräuschen (z.B. Verkehrslärm außen sowie Sprache, Musik etc. innen), von Decken gegenüber Trittschall (z.B. gehende Personen einschließlich Bewegen von Stühlen etc.) sowie gegenüber Geräuschen von haustechnischen Anlagen und Installationen.

Die raumakustischen Eigenschaften umfassen die gegenseitige Sprachverständlichkeit sowie den Beitrag des Raumes zur Verstärkung oder Dämpfung von Geräuschen, insbesondere von Sprache.

Physikalisch bedingt beeinflussen sich die bau- und raumakustischen Eigenschaften gegenseitig in unterschiedlichem Maße. So hängt z. B. der resultierende Schallschutz zwischen benachbarten Räumen sowohl von der Schalldämmung der Wandbauteile als auch von der akustischen Dämpfung in den Räumen ab.

Akustische Kenngrößen und -zahlen:

A) Schallschutz

Die bauakustischen Kenngrößen und ihre jeweiligen Grenzwerte sind in den Tabellen 9 bis 11 zusammengestellt.

Tabelle 9: Erforderliche Mindestschalldämmung (bewertetes Schalldämm-Maß $R'w$) von Bauteilen zwischen Räumen in Schulgebäuden, nach DIN 4109

Bauteil	zwischen Unterrichtsräumen und...	Min. Schalldämm-Maß $R'w$ [dB]
Wände	Unterrichtsräumen	47
Wände	besonderen Unterrichtsräumen (Musik, Sport, Werkstätten etc.)	55
Wände	Fluren	47
Wände	Treppenhäusern	52
Türen	Fluren	32

Tabelle 10: Maximaler Trittschallpegel (bewerteter Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$) in Räumen von Schulgebäuden, nach DIN 4109

Bauteil	zwischen Unterrichtsräumen und...	Max. Norm-Trittschall-pegel $L'_{n,w}$ [dB]
Decken	Unterrichtsräumen	46
Decken	besonderen Unterrichtsräumen (Musik, Sport, Werkstätten etc.)	46
Decken unter Fluren		53

Tabelle 11: Maximaler Geräuschpegel (kennzeichnender Schalldruckpegel LA,F) in Unterrichtsräumen, verursacht durch haustechnische Anlagen, Installationen sowie sonstige Anlagen im Schulgebäude, in Anlehnung an DIN 4109

Geräuschwirkung in ...	Max. Schalldruckpegel (Summenpegel) LA,F [dB(A)]
Unterrichtsräumen	30
besonderen Unterrichtsräumen (Musik, Sport, Werkstätten etc.)	35

Die Werte in Tab. 11 gelten nur tagsüber, d.h. während des Schulbetriebs. Geräusche mit auffälliger Charakteristik, z.B. einzelne oder zeitlich wiederkehrende Lautstärkespitzen oder -unterschiede sowie hervortretende Einzeltöne, sind grundsätzlich zu vermeiden.

Bezüglich des Schallschutzes gegenüber Außenlärm gelten für die Außenbauteile des Schulgebäudes die Anforderungen nach DIN 4109. Dabei müssen insbesondere verkehrs- oder anderweitig bedingte Geräusche berücksichtigt werden, die zeitlich wiederkehrende Lautstärkespitzen oder -unterschiede sowie hervortretende Einzeltöne aufweisen.

B) Raumakustik

Die traditionell am besten bekannte Kenngröße zur Beschreibung der akustischen Eigenschaften von Innenräumen ist die Nachhallzeit. Die raumabhängig einzuhaltenden Werte, zutreffend für den unbesetzten Raum, sind in Tab. 12 zusammengefasst. Die Werte gelten für den üblichen Hörfrequenzbereich, d.h. für die Oktavbänder von 63 Hz bis ca. 8 KHz (Mittelfrequenzen)

Tabelle 12: Empfohlene Nachhallzeit-Werte einschließlich Toleranz in Räumen von Schulgebäuden

Raumart	Nachhallzeit T in s
Unterrichtsräume (mit einem Volumen unter 300 m ³)	empfohlen 0,5 ± 0,05 s
Unterrichtsräume, Sport-, Turn- und Schwimmhallen (abhängig vom Volumen)	nach DIN 18041 „Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen“

Eine hohe Sprachverständlichkeit ist in Schulen wichtig. Die in Tabelle 12 genannten Nachhallzeiten weichen daher geringfügig von den in der DIN 18041 genannten ab. Zur Einstellung der Nachhallzeit sollten nicht nur hoch schallabsorbierende Decken verwendet werden. Eine geeignete Ergänzung stellt der rückseitige Wandbereich unter der Decke dar.

Bei größeren Sporthallen und ähnlich genutzten großen Räumen sollte in jedem Fall eine fachgerecht festgelegte Nachhallzeit eingehalten werden, welche die oftmals vielgestaltigen Nutzungsarten der Halle berücksichtigt. Für besondere Veranstaltungs- und Musikräume, z.B. Aulen, wird eine gesonderte Betrachtung und Behandlung der Raumakustik empfohlen.

Empfehlungen für weitere Räume in Schulgebäuden sind Tab. 13 zu entnehmen. Sie zielen weniger auf gute Sprachverständlichkeit, sondern vielmehr auf eine Bedämpfung der dort mitunter sehr lauten Geräusche.

Tabelle 13: Empfohlene Nachhallzeit-Werte einschließlich Toleranz in Räumen von Schulgebäuden (vgl. auch Bilder 2 und 3)

Raumart	Nachhallzeit T in s
Flure, Treppenhäuser	$T = V/1000 \text{ m}^3 + 0,8$

In der Berechnungsformel ist V das zusammenhängende, z.B. durch Türen begrenzte Volumen in m^3 . Die berechneten Werte sind für einen Bereich von ca. 100 m^3 bis 800 m^3 heranzuziehen. Anhaltswerte für kleine oder größere Volumina sind in Bild 2 dargestellt.

Neben der Nachhallzeit bestimmt der Störgeräuschpegel im Raum die akustischen Eigenschaften. Zumindest die außerhalb des jeweiligen Raumes verursachten Störgeräusche sind durch die Eigenschaften im Absatz „A“ (Schallschutz) berücksichtigt.

Allgemeine Hinweise zur praktischen akustischen Gestaltung:

Die in diesem Leitfaden beschriebene akustische Qualität ist sowohl für bestehende als auch für neue Schulgebäude von Bedeutung. Alle genannten Kenngrößen sind bei sachgemäßer Planung mit kommerziell verfügbaren Bauteilen problemlos umsetzbar. Dies gilt auch im Kontext der übrigen baulichen und bauphysikalischen Ansprüche an Schulgebäude.

In Normen, Richtlinien und anderer Literatur ist eine Fülle und Vielfalt von baulichen Gestaltungsmöglichkeiten zu finden, die sowohl alle Schallschutzaspekte (z. B. DIN 4109) als auch die Einstellung der raumakustischen Bedingungen (z. B. DIN 18041) betreffen. In vielen Fällen, insbesondere bei Neubauten und größeren Sanierungs- oder Erweiterungsmaßnahmen, sollte möglichst ein Akustik-Fachmann hinzugezogen werden.



Bild 2: Raumakustische (1 – Nachhallzeit) und bauakustische (2 – Schallschutz von Wänden etc., 3 – Trittschallschutz von Decken, 4 – Schallschutz von Außenbauteilen, 5 – Geräusche von haustechnischen Anlagen) Einflüsse auf die Qualität von Schulgebäuden

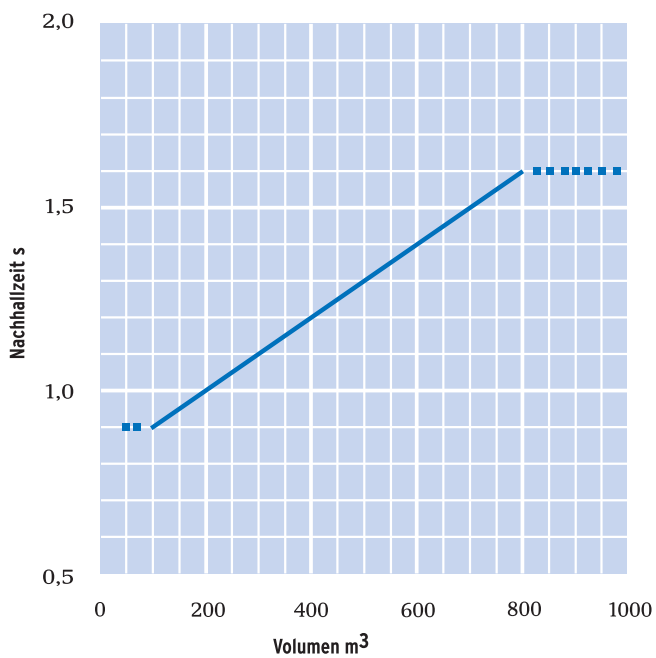


Bild 3: Empfohlene Nachhallzeit-Werte in Abhängigkeit vom Volumen für Flure und Treppenhäuser in Schulgebäuden

TEIL D: Vorgehensweisen in Beschwerdefällen

D-1 Grundsätzliche Vorgehensweisen

In diesem Teil werden exemplarisch Beschwerdefälle (Kasuistiken) dargestellt. Die Aufmerksamkeit auf Innenraumprobleme in Schulen, Kindergärten und Tagesstätten wird in der Regel anlassbezogen sein, in den meisten Fällen aufgrund einer Beschwerdesymptomatik oder eines besonderen Vorkommnisses. Anlass können aber auch gezielte Nachfragen aufgrund von Medienberichten oder Routinekontrollen bzw. vorsorgliche Untersuchungen sein.

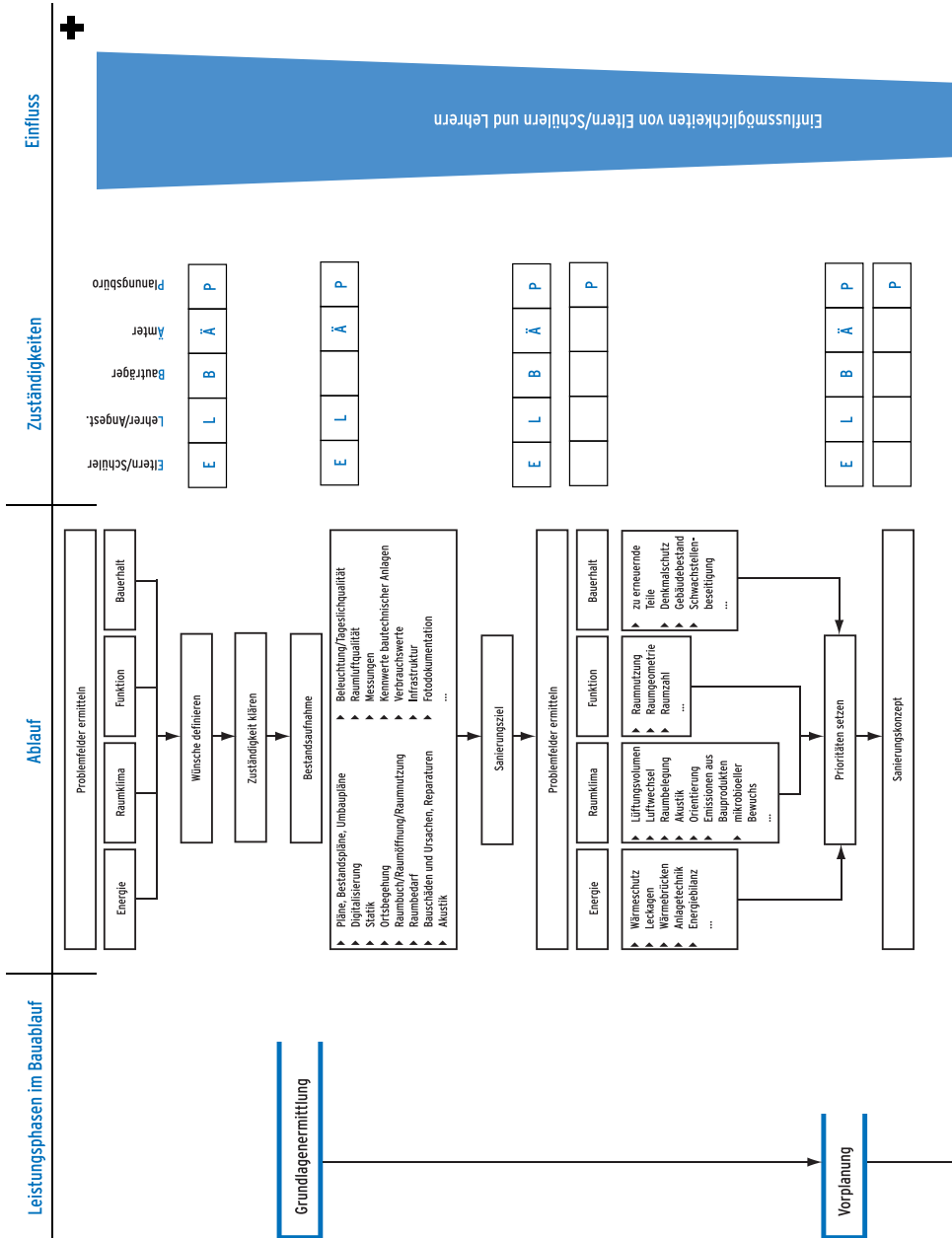
In den meisten Fällen werden von den Trägern der Einrichtungen als primäre Ansprechpartner die Einrichtungen des öffentlichen Gesundheitsdienstes, also die Gesundheits- und Umweltämter bemüht, der arbeitsmedizinische Dienst bzw. der zuständige Unfallversicherungsträger. In diesen Fällen sollte ein strukturiertes Vorgehen erwartet werden, das in der Regel zu einer rationalen und rationellen Lösung der Problematik führt, die im Rahmen der Risikokommunikation bei den Betroffenen zur Akzeptanz führen sollte.

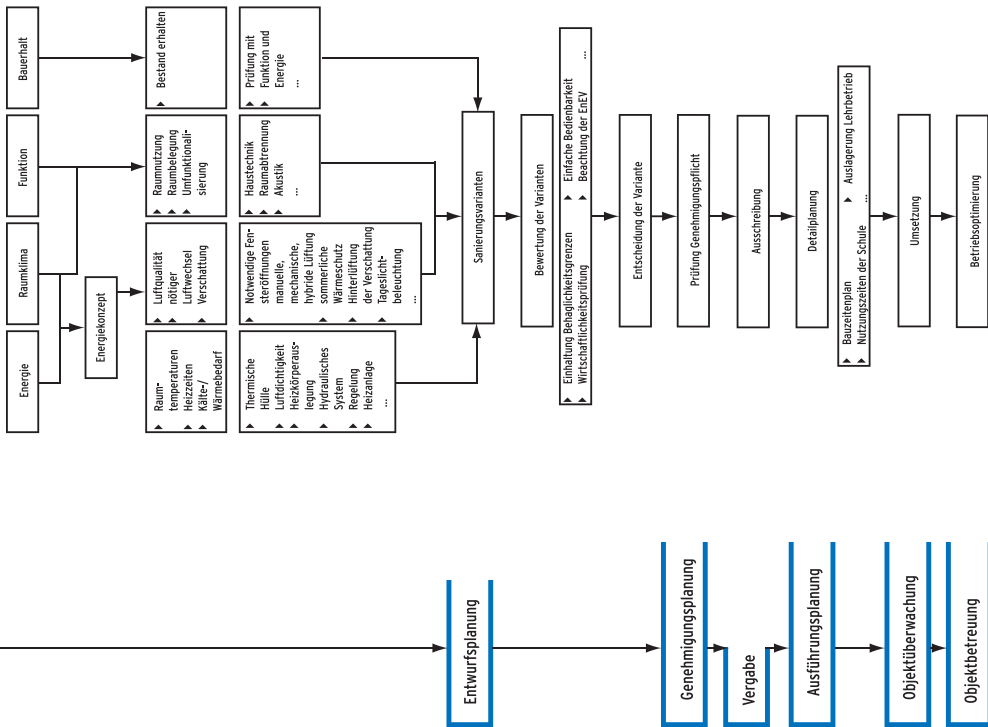
Oftmals schwieriger gestaltet sich die Situation, wenn durch ungeeignete Messungen und überzogene Bewertungen ein erheblicher Handlungsbedarf konstatiert wird und sich daraus weitreichende, nicht angebrachte Folgeuntersuchungen und Sanierungsempfehlungen ableiten.

Die folgenden Kasuistiken sind im Sinne eines strukturierten Vorgehens gegliedert und behandeln den Anlass (z. B. Beschwerden), die Bestandsaufnahme (Ortsbegehung, Befragung, Bauunterlagen, Aktenlage), das weitere Vorgehen durch Untersuchungen (Messungen, Erhebungen), die Bewertung der Ergebnisse, die daraus resultierenden Handlungsempfehlungen und Maßnahmen und das erreichte Ergebnis (weitere Nutzung, Akzeptanz).

Als Verfahrensvorschlag bei Beschwerdefällen kann das folgende Ablaufschema, das die einzelnen Schritte verdeutlicht, verstanden werden. Dabei kommt es darauf an, dass frühzeitig kompetenter Sachverstand der Gesundheitsbehörden hinzugezogen wird und durch Transparenz des Verfahrens die Verantwortlichen (Träger, Baubehörde, Arbeitsmedizin, Unfallversicherungsträger etc.) und Betroffenen (z. B. Eltern, Nutzer) gleichermaßen einbezogen werden; alle Beteiligten sollten überdies 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 in den Entscheidungsprozess einzubinden und Externe (Messinstitute, Sanierer, Handwerker etc.) zur Qualitätssicherung (z. B. Mindestanforderungen an Messungen) zu verpflichten sowie eine Endkontrolle und Abnahme, ggf. mit allen Beteiligten, durchzuführen (Erfolgskontrolle).

Bild 4: Ablaufschema/Vorgehensweisen im Beschwerdefall, siehe folgende Doppelseite.





D-2 Kasuistiken

D-2.1 Mineralfasern aus abgehängter Deckenkonstruktion

Anlass / Behördenkontakt: Beteiligung des Gesundheitsamtes durch den Träger wegen Gesundheitsbeschwerden von Lehrern.

Bestandsaufnahme: Klagen von Lehrern über Augenreizungen, Halskratzen und Jucken der Haut.

Ortsbegehung: Im Lehrerzimmer abgehängte Lamellen-Deckenkonstruktion. Als Schallschutz liegen ohne Rieselschutz Mineralwollematten auf den Lamellen auf. Die Lüftungsanlage bläst die Zuluft direkt in die Zwischendecke oberhalb der Ebene der Lamellen und Dämmplatten ein. Es finden sich erhebliche Staubablagerungen auf den Schränken.

Untersuchungen: Eine Untersuchung auf Fasern (gemäß VDI 3492) ergab eine Zusammensetzung Mineralfasern mit einem KI von < 30 und eine Einstufung in die Kategorie K2. Raumluftmessungen ergaben einen Anteil lungengängiger anorganischer Fasern („WHO-Fasern“) von $7000 / \text{m}^3$.

Bewertung: Die Konstruktion wird als mangelhaft und unzulässig bewertet (kein Rieselschutz, Überströmung mit Zuluft). Die Faserfreisetzung ist deutlich erhöht (bis zu mehreren 1000 Fasern je m^3), da die bautechnische Konstruktion nicht dem Stand der Technik entspricht.

Empfehlungen: Entfernung der offenen Matten unter Beachtung der Arbeitsschutzauflagen und Ersatz durch unproblematisches Material mit Rieselschutz. Änderung der Zuluftführung in den Raum durch Auslassöffnungen in der Ebene der Lamellen, bzw. Stilllegung der Lüftungsanlage. Regelmäßige Feuchtreinigung der Räume, Verwendung von Staubsaugern mit Feinstaubfiltern (HEPA-Filter).

Maßnahmen und Ergebnis: Risikokommunikation mit Schulleitung und Lehrern, Erläuterung der toxikologischen Bewertung von künstlichen Mineralfasern. Freimessung nach Durchführung der Sanierung ($< 500 \text{ F}/\text{m}^3$). Seitdem keine Beschwerden mehr.

D-2.2 Chlornaphthalin in Schulpavillons

Anlass/Behördenkontakt: Rückfrage an das Gesundheitsamt durch den Schulträger (Gemeinde) wegen Geruchsbelästigungen vermutlich wegen eines Schimmelpilzbefalls nach Durchfeuchtungsschäden in einem Schulkomplex.

Bestandsaufnahme: Es handelt sich um einen in den 1970er-Jahren errichteten Schulkomplex in Fertigbauweise. Durch undichte Flachdächer war es zu Wasserschäden in den Räumen gekommen. Seit geraumer Zeit waren Geruchsbelästigungen aufgetreten, die mit den Durchfeuchtungen in Verbindung gebracht wurden. Vom örtlichen Hygieneinstitut waren bereits Schimmelpilzmessungen vorgenommen worden mit dem Ergebnis einer erhöhten Keimzahl in der Raumluft. Keine Erklärung für die Geruchsbelästigungen. Von Schulkindern wurde über brennende Augen, Hautbrennen, Halskratzen und Kopfschmerzen geklagt. Die Eltern berichteten über einen an der Kleidung der Kinder „anhaltenden“ Geruch („Schulmief“).

Untersuchungen: Raumluftanalysen ergaben ein unauffälliges Muster der üblichen VOC, als Besonderheit zusätzlich Chlornaphthaline (CN) in einer Größenordnung bis zu $50\mu\text{g}/\text{m}^3$. Weitere Messungen ergaben eine deutliche Temperaturabhängigkeit und einen Konzentrationsbereich für Naphthalin von $1\text{--}5\mu\text{g}/\text{m}^3$ und für Mono- und Dichlornaphthalin zwischen 2 und $50\mu\text{g}/\text{m}^3$. Durch die Probennehmer wurde ein „muffiger“ Geruch vermerkt. Untersuchungen von Materialproben identifizierten als Quelle der CN wasserfeste Spanplatten vom Typ V 100 G. Weitere Nachforschungen beim Hersteller ergaben für die Spanplatten die werkseitige Verwendung des Holzschutzmittels Basileum SP 70, welches Chlornaphthalin enthält.

Bewertung: Die Bewertung erfolgte anhand eines vorläufig abgeleiteten Richtwertes (Eingriffswert) von $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ und eines umwelthygienischen Zielwertes wegen der Geruchsbelästigung und der glaubhaft beobachteten Befindlichkeitsstörungen von $20\mu\text{g}/\text{m}^3$.

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

Maßnahmen: Gemeinderat und Lehrer- und Elternschaft wurden in öffentlichen Informationsveranstaltungen vom Gesundheitsamt gemeinsam mit den Fachämtern über die Sachverhalte informiert.

Ergebnis: Die Gemeinde entschloss sich wegen des Alters (bei Errichtung geplante Nutzungszeit 20 Jahre) und der hohen Kosten einer Sanierung zum Abbruch der Schule und errichtete einen Neubau in Massivbauweise.

D-2.3 Geruchsbelästigung in Klassenräumen nach den Großen Ferien

Anlass/Behördenkontakt: Beteiligung des Gesundheitsamtes durch den Träger wegen eines auffälligen „Chemie-Geruches“ in 8 Klassenräumen einer Grund- und Hauptschule.

Bestandsaufnahme: Es handelt sich um Räume im Altbauteil einer Grund- und Hauptschule, der nach Angaben der Schulleitung schon ca. 100 Jahre alt sei und bisher noch nie wegen Gesundheits- oder Geruchsbeschwerden auffällig geworden war. Vor 2 Jahren waren die alten Kastenfenster durch moderne Kunststofffenster ersetzt worden. Zu Beginn der Sommerferien wurde der Parkettfußboden – wie gewohnt – durch das Reinigungspersonal mit einem Flüssigwachs gebohnt. Aus dem Sicherheitsdatenblatt ist zu entnehmen, dass das Produkt-Naphtha (Erdöl, aromatenarm) enthält.

Ortsbegehung: Altbau in sehr gutem Erhaltungszustand mit altem, gut erhaltenem Parkettboden. Starker Geruch nach „Bohnerwachs“.

Untersuchungen: Innenraumluftmessungen mittels aktiver Probennahme (NIOSH-Röhrchen) über 4 Stunden, nachdem über Nacht Türen und Fenster geschlossen gehalten wurden. Ergebnis: Sehr hohe Lösemittelkonzentrationen in allen 8 Räumen mit TVOC-Gehalten zwischen 10 und 23 mg/m³. Der Richtwert RW II wurde für die Substanzgruppe der Alkane und Aromaten sowie für Naphthalin überschritten. Das Profil der Raumluft stimmt mit der Zusammensetzung des Bohnerwachses überein, wobei der intensive Geruch auf Alkylaromaten zurückgeführt wird, die als Bestandteile des Lösemittels eine niedrigere Geruchsschwelle als die Alkane aufweisen.

Bewertung: Nach den Empfehlungen der Ad-hoc-Arbeitsgruppe IRK/AOLG (vgl. Abschnitt B-2) ist die Belastung in die „Kategorie 5“ einzustufen: TVOC-Werte zwischen > 10 und 25 mg/m³ werden als hygienisch inakzeptabel eingestuft. Die Raumnutzung ist in der Regel zu vermeiden, ein Aufenthalt ist allenfalls vorübergehend täglich (pro Tag weniger als 1 Stunde) und bei Durchführung verstärkter regelmäßiger Lüftungsmaßnahmen zumutbar. Bei Werten > 25 mg/m³ ist von einer Nutzung abzusehen. Aus der RW II-Überschreitung ergibt sich ein unverzüglicher Prüfbedarf, z. B. im Hinblick auf Maßnahmen und Entscheidungen zur Verringerung der Exposition. Die Nachmessung zur Überprüfung der Innenraumluftqualität erfolgt unter Nutzungsbedingungen.

Als Ursache der Geruchsbelastung ließ sich die Anwendung des Bohnerwachses zu Beginn der Ferien feststellen, die über einen längeren Zeitraum nachwirkte, da nach der Pflegemaßnahme in den Ferien keine aktive Lüftung erfolgte. Durch den Einbau von dicht schließenden Fenstern

reichte der natürliche Luftwechsel im Gegensatz zu früheren Jahren nicht mehr aus, um den Lösemittelgeruch aus der Raumluft zu entfernen.

Empfehlungen: Da keine Ausweichmöglichkeiten bestanden, wurde die Nutzung der Räume unter der Auflage besonders intensiver Lüftungsmaßnahmen bis zum Ergebnis der Kontrollmessungen empfohlen.

Maßnahmen und Ergebnis: Es wurden umgehend Nachmessungen unter Nutzungsbedingungen veranlasst. Das Ergebnis erbrachte Konzentrationen für TVOC zwischen 0,06 und 0,4 mg/m³. Die Raumluftbelastungen für Naphthalin lagen zwischen 3 und 10 µg/m³ und damit im Bereich zwischen RW I und RW II. Die Vergleichsmessungen TVOC unter Standardbedingungen (ohne vorherige Lüftung und Fenster über Nacht geschlossen) zeigten einen deutlichen Abfall (vorher 23 jetzt 1,5 mg/m³).

In einer Risikokommunikation mit Schulleitung und Lehrern, Elternvertretung, Schulträger und Bauamt wurden die Ergebnisse erläutert und die weitere Nutzung unter konsequenter Einhaltung von Lüftungsmaßnahmen als tolerierbar bewertet. Es wurden Nachkontrollen in 4 Wochen vereinbart und empfohlen, zukünftig ein Bohnerwachs ohne Aromatenanteil zu verwenden und im Nachgang der Fußbodenpflege für eine ausreichende Lüftung zu sorgen. Mit dem Hersteller wurde Kontakt aufgenommen, mit der Empfehlung, die Gebrauchsanweisung durch Hinweise auf erhöhte Lüftungsanforderungen nach der Anwendung zu erweitern und die Zusammensetzung, der in der Rezeptur verwendeten Lösemittel, zu prüfen, da entgegen der Angaben vermutlich doch ein aromatenhaltiges Produkt zum Einsatz kam.

Zwei Monate nach dem Vorfall wurde von dem Hersteller mitgeteilt, dass bei der Rezeptur entgegen den eigenen Vorgaben ein anderes Lösemittel verwendet wurde. Die fehlerhaft hergestellte Charge wurde aus dem Handel genommen.

D-2.4 Jahrelange Raumlufthbelastung durch Einsatz von lösemittelhaltigem Reinigungsmittel auf Parkettboden

Anlass/Behördenkontakt: Anruf des Schulleiters 10 Wochen nach Grundreinigung wegen terpentinartigem Geruch.

Ortsbegehung: Zweigeschossiger Anbau (Baujahr 2000) an eine Grund- und Hauptschule mit 4 Klassenräumen sowie 1 Gruppen- und 1 Computerraum. Fußboden bestehend aus unversiegeltem Lamellenparkett (robust, mehrfach abschleifbar).

Sachverhalt: Während der Sommerferien 2003 Grundreinigung mit „C4“, einem Lösemittel zum – so der Hersteller – „mühelosen Entfernen alter Wachsschichten, Öl, Fett, Schmiere“, danach Hartglanzwachs. Gleiche Behandlung aller Räume außer Computerraum, besonders intensiver Geruch in einem Klassenraum im Erdgeschoss.

Untersuchungen: Erstmessung im Klassenraum auf VOC-Gehalt. Ansaugung von ca. 600 Litern Luft. Probe bereits „überladen“, keine Auswertung möglich. Die Nachmessung auf VOC ergab für die Summe der VOC zwischen 7 und 40 mg/m³. Analyse des Reinigungsmittels „C4“ ergab ein übereinstimmendes Spektrum der VOC. Vergleichsmessungen im Altbau waren ohne Auffälligkeiten. In den Folgejahren wiederholt Messungen in allen betroffenen Räumen unter Standard- und Nutzungsbedingungen (bis zu 17 Messungen in einem Klassenraum).

Die Nutzung der Räume unterlag einer strengen Lüftungsvorgabe, die relativ gut eingehalten wurde.

Ergebnis: Das Profil der Analysen blieb immer ähnlich und nahm nur sehr langsam ab (Alkane, Terpene). Unter Nutzungsbedingungen waren die Werte immer deutlich geringer. Über den gesamten Untersuchungszeitraum gab es keine Beschwerden wegen gesundheitlicher Beeinträchtigungen. Im anfangs am meisten belasteten Klassenraum war auch am längsten ein Lösemittelgeruch feststellbar. Letzte Messungen im Februar 2006 lagen in der Größenordnung unter 1 mg/m³.

Maßnahmen: Trotz Deklaration „Einsatzbereich: lösemittelbeständige Bodenbeläge, z. B. unversiegeltes Parkett“, wurde empfohlen dieses Mittel auf Holzböden, besonders bei Vorhandensein von Ritzen und frei zugänglichen Holzschnittflächen, nicht einzusetzen. Ein entsprechender Hinweis an den Hersteller die Deklaration des Produkts entsprechend zu ändern, blieb bis heute unbeantwortet.

Empfehlung: An die Schule: Konsequentes Lüften beibehalten. Ein vorher im Labor analysiertes Spezial-Fußbodenöl bei sparsamem Oberflächenauftrag verwenden. An die Gebäudereinigung: Das Mittel „C4“ ist in dem betreffenden Bereich nicht mehr einzusetzen.

D-2.5 Raumlufbelastung durch Dicarbonsäuredimethylester (DCE)

Anlass/Behördenkontakt: Information des Fachdienstes Gesundheit durch den Schulträger nachdem durch ein Auftragslabor ungewöhnliche Raumlufkontaminationen festgestellt wurden. Das Labor bezog sich hierbei auf die in der Handreichung zur Bewertung von Innenraumlufschadstoffen der Ad-hoc AG IRK/AOLG ausgesprochene Empfehlung bei erhöhten Werten das zuständige Landesamt einzuschalten. Anlass für die Messungen waren Klagen über Gesundheitsbeschwerden bei Kindern und Lehrern.

Ortsbegehung: Grundschule in gutem Erhaltungszustand mit Teppichböden in den Klassenräumen. Unangenehmer „süßlicher“ Geruch in einem vor einem halben Jahr renovierten Gebäudetrakt. Die anderen früher sanierten Gebäudbereiche waren unauffällig.

Sachverhalt: Im zweiten Halbjahr 2007 wurde dieser Gebäudeteil nach dem gleichen Muster wie andere Abschnitte in den Jahren zuvor renoviert und der Teppichboden neu verlegt. Vom Architekten war in der Ausschreibung ausdrücklich die Verwendung umweltverträglicher Produkte vorgegeben worden. Nach der Renovierung wurde bereits über Geruchsbelästigungen und Gesundheitsbeschwerden (Reizungen der Atemwege) geklagt. Der Geruch wurde zunächst als renovierungsbedingt und wegen der Produktauswahl und der Informationen auf den Sicherheitsdatenblättern als gesundheitlich unauffällig bewertet. Nachdem die Klagen über ein halbes Jahr fortbestanden, wurden schließlich Innenraumlufmessungen bei einem Umweltlabor in Auftrag gegeben.

Untersuchungsergebnisse. In den betroffenen Räumen wurde bis auf deutlich erhöhte Konzentrationen von Dicarbonsäuremethylestern (Summe $\sim 1500 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ein sonst unauffälliges VOC-Profil (sonstige VOC ca. $300\text{--}400 \mu\text{g}/\text{m}^3$) gefunden.

Ergebnis: Das Profil der Analysen war in den Räumen, die ein halbes Jahr zuvor saniert worden waren, ähnlich (C4-C6 Dicarbonsäuredimethylester zwischen $600\text{--}1600 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Unter Nutzungsbedingungen mit intensivem Lüften waren die Werte geringer (unter $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Maßnahmen: In einer vorläufigen Bewertung wurde durch das zuständige Landesamt ein vorläufiger Richtwert (Eingriffswert) von $500\mu\text{g}/\text{m}^3$ und ein Zielwert von $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ für die Summe der C4-C6 Dicarbonsäuredimethylester (CAS 95481-62-2) abgeleitet. Wegen der Überschreitung und der geäußerten Gesundheitsbeschwerden wurden sofort alle verdächtigen Räume aus der Nutzung genommen. Es wurden weitere Messungen zur Klärung des Umfangs der Kontamination und Quellen-/Ursachenaufklärung veranlasst einschließlich von Bohrkernen und Materialproben. Die Eltern wurden durch einen Elternbrief über den Sachverhalt informiert und es wurde ein Fragebogen zur Erfassung von Gesundheitsbeschwerden bei Kindern in den betroffenen und in unbelasteten Räumen (Kontrollgruppe) verteilt. Innerhalb einer Woche wurden von 350 Fragebögen 230 zurückgegeben und ausgewertet. Danach zeigte sich im Vergleich zu den Kontrollräumen bei den Kindern in den belasteten Räumen eine erhöhte Prävalenz von Nasenreizungen, Halskratzen und Heiserkeit, Husten und Luftnot sowie Kopfschmerzen. Die bei den exponierten Kindern erhöhten und auffälligen Gesundheitsbeschwerden waren plausibel auf die Toxizität der Dicarbonsäureester zurückzuführen. Die Ergebnisse der Untersuchungen und der Befragung wurden auf einer Schulversammlung öffentlich erläutert. Die Eltern berichteten dort bereits über einen Rückgang der Beschwerden. Eine zweite Befragung erfolgte 3 Wochen später. Die Beschwerden hatten sich nach Verlassen der Räume bei den Kindern innerhalb dieser Zeit zurück gebildet und lagen auf dem Niveau der Kontrollgruppe.

Empfehlung: Keine Nutzung der Räume bis die Ursache der Kontamination identifiziert und beseitigt wurde. Da die DCE als Raumlufschadstoffe erstmalig auffällig wurden, wurde eine entsprechende Mitteilung nach § 16 ChemG und das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) gemacht. Der Fall wurde in der Folgezeit weiter unter Beteiligung des Handwerksunternehmens und des Herstellers der verwendeten Bauprodukte aufgearbeitet. Als Ursache konnte die Verwendung einer Polyurethan-Ausgleichsmasse beim Fußbodenaufbau mit einem hohen Anteil an DCE ermittelt werden. Die Verwendung der Dicarbonsäureester in Innenräumen muss nach den vorliegenden Erfahrungen als kritisch angesehen werden.

Das Beispiel zeigt, dass bei auffälligen Innenraumkontaminationen mit „neuen“ Stoffen und bei Vorliegen von Gesundheitsbeschwerden sofort die zuständigen Fachinstitutionen eingeschaltet werden sollten und dass es – trotz der Vorgaben umweltfreundliche Produkte zu verwenden – immer wieder zu ungewöhnlichen und in diesem Fall sogar gesundheitsschädlichen Raumlufkontaminationen kommen konnte.

D 2.6 Gesundheitsbeschwerden in einem Neubau trakt einer Grundschule

Anlass: 2 Jahre nach Bau eines neuen Schultraktes mit insgesamt 4 Klassenräumen und 2 Mehrzweckräumen traten Ende September/Anfang Oktober erstmals in auffälliger Weise Beschwerden bei Schülern und Lehrern auf. Die Eltern berichteten, dass 10 Kinder unter starken bis sehr starken Symptomen litten und dass 9 der 10 Kinder gute bis sehr gute Schüler/innen seien. Folgende Beschwerden wurden gemeldet: Starke Kopfschmerzen (6 Kinder), Bauchweh und Übelkeit (7 Kinder), Peribronchitis (1 Kind), Hauterscheinungen bzw. Allergien ungeklärter Ursache (2 Kinder), Augenbrennen und Augenrötungen (3 Kinder). Die Hautreaktionen erstreckten sich auf die Beine und zeitweise auch auf Gesicht und Hals. Die Kinder hatten zum Teil eine große Anzahl von Fehltagen. Ein Kind wurde wegen der extremen Kopfschmerzen von den Ärzten auf einen Tumor untersucht- mit negativem Befund. Auffällig war, dass die Beschwerden erst in der Heizperiode auftraten und 4 der besonders betroffenen 10 Kinder unmittelbar neben der Heizung saßen. Auch auffällig war, dass z.B. die Augenrötungen stets in der Schule begonnen hatten und am Nachmittag nachließen. Die Kinder waren alle in ärztlicher Behandlung und es konnte keine Ursache erkannt werden. Organische Ursachen schlossen die Ärzte aus. Die Lehrer klagten über Kopfschmerzen und Reizungen von Hals und Stimme.

Maßnahmen: Nachdem die ersten Beschwerden bei der Stadtverwaltung eingegangen waren, wurde eine arbeitsmedizinische Institution beauftragt Luftmessungen (Passivsammler) durchzuführen. Es wurden keine Auffälligkeiten festgestellt. Bei den insgesamt 6 Luftmessungen wurden allerdings ausschließlich Toluol, Xylol und Ethylbenzol analysiert. Der Leiter des Kreisgesundheitsamtes gab aufgrund der Messwerte „Entwarnung“.

Verlauf: Die Beschwerden nahmen im Laufe der folgenden 3 Jahre kontinuierlich zu, vor allem litten immer mehr Kinder der „neuen Klassen“ in diesem Trakt über Beschwerden. Schließlich weigerten sich die Eltern von 16 Kindern, dass ihre Kinder weiter im Neubau unterrichtet werden sollten. Insgesamt 5 Lehrer/innen dokumentierten zu diesem Zeitpunkt schriftlich die auftretenden Beschwerden, insbesondere Kopfschmerzen, aber auch Schluckbeschwerden, Kratzen im Hals, Hautrötungen. Die Klassen wurden in andere Räume im Altbau umquartiert; die Beschwerden klangen bei Lehrern und Schülern komplett ab.

Untersuchungen: Nachdem 3 1/2 Jahre seit den ersten Raumluftmessungen vergangen waren, wurden weitere Untersuchungen beauftragt. Nach einer Begehung des Objektes wurde zunächst eine VOC-Luftmessung mit Aktiv-

kohle- und Silikagel-Sammlern und eine MVOC-Luftmessung mit Aktivkohle-röhrchen durchgeführt (aktive Probenahme). Es ergaben sich Hinweise auf mikrobielle Schäden (Nachweis der Hauptindikatoren 1-Octen-3-ol, 3-Methylfuran und Dimethyldisulfid). Die VOC-Luftmessung ergab eine sehr niedrige TVOC-Gesamtkonzentration von $230\mu\text{g}/\text{m}^3$, allerdings mit $24,2\mu\text{g}/\text{m}^3$ eine auffällige Konzentration an 2-Ethyl-1-hexanol, was auf eine hydrolytische Zersetzung der Weichmacherverbindung DEHP zurück geführt wurde. Die Messung mit Silikagel-Sammelröhrchen ergab $109\mu\text{g}/\text{m}^3$ 2,6-Di-*t*-butylkresol.

Es wurden insgesamt 7 Materialproben vom Dämmstoff (Polystyrol) und den Trennlagen (Folie und Pappe) aus den Fußböden entnommen und mikrobiologisch analysiert. In fünf der sieben Proben wurde ein massiver mikrobieller Befall nachgewiesen, besonders stark im Dämmmaterial mit 850.000 KBE/g Schimmelpilzen (*Aspergillus versicolor*, *Penicillium* spp., *Acremonium* sp.) und 14.000.000 KBE/g Bakterien (*Actinomyceten* und *Bacillus* spp.). Emissionsanalysen der Fußbodenmaterialien (PVC mit Kleber und Spachtelmasse) ergaben eine auffällige Emission von 2-Ethyl-1-hexanol. Bei der Öffnung des Fußbodens wurde festgestellt, dass unter der Dämmschicht auf dem Fußboden hohe Feuchtigkeit vorlag und dass es deutlich bis stark muffig aus dem Fußboden roch.

Die Ursache der erhöhten Feuchtigkeit konnte nach längerer Recherche ermittelt werden. In diesem Fall waren keine baulichen Mängel der Auslöser, sondern die Reinigungskräfte, die bei der wöchentlichen Feuchtreinigung jedes Mal sehr große Mengen an Wasser auf die PVC-Böden ausschütteten und das Wasser bevorzugt mittels „Schiebern“ an den Fußbodenrand beförderten. Das Wasser lief in die offene Randfuge.

Empfehlung: Die Fußböden wurden aufgrund der Befunde saniert. Die Beschwerden gingen daraufhin zurück. Über insgesamt 12 Monate wurden die MVOC-Konzentrationen in der Raumluft kontrolliert, die erst nach etwa einem Jahr Hintergrundniveau erreichten. Da die Beschwerden nach der Sanierung trotz der anfangs noch höheren MVOC-Konzentrationen vollständig abgeklungen waren, ist dies ein deutlicher Hinweis, dass die MVOC nicht unmittelbar zu den Symptomen führten, sondern lediglich einen Indikator für die mikrobiellen Schäden darstellten.

TEIL E: Sanierungsrichtlinien und -verfahren

Aufgrund der seit den 1980er-Jahren offenbar gewordenen Schadstoffbelastungen in Gebäuden erarbeitete die Projektgruppe „Schadstoffe“ der Bauministerkonferenz (Arbeitsgemeinschaft der für Städtebau, Bau- und Wohnungswesen zuständigen Minister der 16 Länder – ARGEBAU) in der Folgezeit eine Reihe von Sanierungsrichtlinien. Diese wurden in der Mehrzahl der Bundesländer als Technische Baubestimmung verbindlich eingeführt und sind insofern bei Sanierungen – auch in Schulen – generell zu beachten. Darüber hinaus veröffentlichte die ARGEBAU über das deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) die PAK-Hinweise (Juni 2000), die als unverbindliche Empfehlung bei der Sanierung von mit teerhaltigen Klebern verlegten Parkettböden herangezogen werden können. Die erwähnten Richtlinien und Empfehlungen werden nachfolgend kurz dargestellt.

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. Eine überarbeitete Fassung wurde im Januar 1996 bekannt gemacht und nachfolgend von allen Bundesländern als technische Baubestimmungen bauaufsichtlich eingeführt.

In dieser Richtlinie 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, mittelfristig 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/m³ Luft liegen.

Für die meisten in Frage kommenden Schulgebäude, die in den 1960er- und 1970er-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):

1. „Sanierungsmaßnahmen müssen als in sich geschlossenes Konzept vom Beginn der Arbeiten bis zur Entsorgung der Abfälle entsprechend den geltenden Regelungen geplant werden.
2. 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.
3. Schutzmaßnahmen während der Sanierung sind stets erforderlich.“

Für die Sanierungen sind die Bauämter zuständig, die nach Punkt (2) kompetente Firmen heranziehen. Bei noch nicht erfolgter Sanierung ist unbedingt darauf zu achten, dass es durch Wartungs-, Reinigungs- oder Instandhaltungsarbeiten nicht zu einer Faserfreisetzung in die Raumluft kommt.

E-2 Polychlorierte Biphenyle

Nachdem das Problem der Kontamination von Gebäuden mit PCB – hauptsächlich ausgelöst durch PCB-haltige Fugendichtstoffe, die bis Mitte der 1970er-Jahre hergestellt und verwendet wurden – 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 enthält eine gesundheitliche Bewertung, nennt Sanierungsverfahren, bewertet deren Dringlichkeit und gibt Hinweise auf die gültigen Arbeitsschutzbestimmungen sowie eine Übersicht über einschlägige Gesetze und Verordnungen zur Entsorgung PCB-belasteter Produkte. Außerdem werden Empfehlungen für die analytische Bestimmung der PCB in der Raumluft ausgesprochen. Die Richtlinie wurde in den Mitteilungen des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt Nr. 2, 1995, S. 50–59) publiziert. Sie ist in den meisten Ländern als Technische Baubestimmung bauaufsichtlich eingeführt worden, wenn auch teilweise mit erheblichen Änderungen, 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 Ausrüstun-

gen 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 Richtlinie genannten Zielwerte abgesenkt werden, so ist darüber hinaus die Sanierung von Sekundärquellen erforderlich. Die häufig großflächigen Sekundärquellen (z.B. Wände und Decken) können beschichtet, räumlich abgetrennt oder auch abgetragen werden.

Nach einer Sanierung sollte die PCB-Konzentration in der Raumluft im Jahresmittel $0,3\mu\text{g}/\text{m}^3$ Luft möglichst nicht überschreiten. 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 zur Bestimmung von PCB in der Innenraumluft enthält die VDI-Richtlinie 4300 Blatt 2.

E-3 Pentachlorphenol

Im Jahr 1996 wurde von der Projektgruppe Schadstoffe der ARGEBAU eine Richtlinie für die Bewertung und Sanierung PCP-belasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden (PCP-Richtlinie) erarbeitet. Die Richtlinie wurde in den Mitteilungen des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt Nr. 2, 1997, S. 6–15) veröffentlicht. Auch die PCP-Richtlinie wurde in den meisten Ländern bauaufsichtlich eingeführt.

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 angewendet wurden oder ob gegebenenfalls nach anderen PCP-Quellen zu suchen ist. Sind Holzschutzmittel verwendet worden, so sind nach dem erwähnten Ablaufschema abgestufte Prüfungen des Staubes, der behandelten Hölzer sowie der Raumluft erforderlich. Aufgrund der vorgegebenen Grenzwerte ist daraus die Sanierungsentscheidung abzuleiten. Als Sanierungsmaßnahmen kommen – sofern konstruktiv möglich – 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 $< 0,1 \mu\text{g PCP}/\text{m}^3$ Raumluft angestrebt werden. Der Sanierungserfolg sollte durch eine Bestimmung des PCP-Gehaltes der Raumluft 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 früheren 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.

E-4 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe

Im Jahr 2000 erarbeitete die Projektgruppe Schadstoffe der ARGEBAU die „Hinweise für die Bewertung und Maßnahmen zur Verminderung der PAK-Belastung durch Parkettböden mit Teerklebstoffen in Gebäuden (PAK-Hinweise)“. Sie wurden in den Mitteilungen des DIBt Nr. 4 (2000) S. 114–123 veröffentlicht.

Die hauptsächlich in den 1950er-Jahren, aber vereinzelt auch noch bis in die 1970er-Jahre zur Verklebung von Stabparketten verwendeten Teerkleber traten in den 1990er-Jahren in den Blickwinkel der Öffentlichkeit, nachdem hauptsächlich in Gebäuden der ehemals von US-Streitkräften in Deutschland genutzten Wohnungen erhöhte PAK-Konzentrationen festgestellt wurden, die auf den Kleber unter schadhafte Parkettböden zurückgeführt werden konnten. Da die schwer flüchtigen PAK hauptsächlich an Staub angelagert vorkommen, kam die Projektgruppe zu folgender Einschätzung: „Für den Fall der PAK-Belastung durch teerhaltige Parkettklebstoffe kann keine Gefahrenschwelle festgelegt werden, von der über Vorsorgemaßnahmen hinaus Maßnahmen baurechtlich zwingend geboten sind. Die Ad-hoc-Arbeitsgruppe hält jedoch das Auftreten bestimmter BaP-Konzentrationen aus hygienischen Gründen für unerwünscht ...“

Benzo(a)pyren (BaP) gilt dabei als Leitsubstanz für die Gruppe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe.

Die Projektgruppe ging davon aus, dass in der Regel eine Instandsetzung des schadhafte Parkettbodens durch Schließen der defekten Fugen und anschließende Versiegelung ausreicht und nur in schweren Fällen eine vollständige Entfernung des Parkettbodens und Entfernen bzw. Absperren des teerhaltigen Klebstoffes notwendig ist. Für die Bewertung des Sanierungserfolgs kam die Projektgruppe zu folgender Einschätzung:

1. In Aufenthaltsräumen sollten expositionsminimierende Maßnahmen eingeleitet werden, wenn die Hausstaubkonzentrationen 100 mg BaP/kg Frischstaub überschreiten.
2. Bei Wohnungen oder anderen Räumen, in denen sich Säuglinge oder Kleinkinder über einen längeren Zeitraum regelmäßig mehrere Stunden am Tag aufhalten und in denen nutzungsbedingt Expositionen über Staub zu erwarten sind, wie z. B. in Kindertagesstätten oder Heimen, sollten expositionsminimierende Maßnahmen bereits durchgeführt werden, wenn die Hausstaubkonzentrationen 10 mg BaP/kg Frischstaub überschreiten.

In begründeten Einzelfällen wurden zusätzliche medizinische Untersuchungen empfohlen. Die PAK-Hinweise enthalten darüber hinaus Empfehlungen zu Arbeitsschutzmaßnahmen und zur Entsorgung PAK-haltiger Abfälle.

Anhang 1:

Muster-Hygieneplan für Schule

(basierend auf dem Grundmuster des Hygieneplans der Stadt Frankfurt)

Nach § 36 Abs. 1 Infektionsschutzgesetz (IfSG) sind Schulen verpflichtet, in Hygieneplänen innerbetriebliche Verfahrensweisen zur Einhaltung der Infektionshygiene festzulegen, um Infektionsrisiken zu minimieren. Die Ausarbeitung der Pläne soll in folgenden Schritten erfolgen:

- ▶ Analyse der Infektionsgefahren
- ▶ Bewertung der Risiken
- ▶ Risikominimierung
- ▶ Festlegung von Überwachungsverfahren
- ▶ Überprüfung des Hygieneplans
- ▶ Dokumentation und Schulung.

Der folgende Muster-Hygieneplan gibt Anregungen für die Ausarbeitung eines den konkreten Gegebenheiten angepassten Hygieneplans der jeweiligen Schule.

Reinigungsplan

Der Reinigungsplan ist entsprechend den konkreten Gegebenheiten (glatter wischbarer Fußboden oder Teppichboden) der jeweiligen Schule entsprechend den Vorgaben der DIN 77400 „Reinigungsdienstleistungen – Schulgebäude – Anforderungen an die Reinigung“ sowohl für das Schulgebäude und die zugehörigen Sporteinrichtungen zu erstellen (siehe auch A-2 Reinigungsmaßnahmen).

Dabei sind folgende Bereiche zu berücksichtigen:

- ▶ der Eingangsbereich,
- ▶ die Verkehrsflächen des Erdgeschosses und die Treppen bis zum ersten Obergeschoss
- ▶ die übrigen Flure und Treppen
- ▶ Klassenzimmer
- ▶ Sanitär- und Waschbereiche inklusive der Umkleieräume
- ▶ Lehrerzimmer, Sekretariate sowie Verwaltungs-, Büro- und Besprechungsräume.

- ▶ Lagerräume
- ▶ Turnhallen
- ▶ Küchen zur Schülerverpflegung, Lehrküchen und Speiseräume.

Mindestens einmal im Jahr ist eine Grundreinigung und Grundpflege in allen Räumen der Schule durchzuführen. Für die routinemäßige Reinigung sowie für die Grundreinigung bzw. Grundpflege sind nur Reinigungsmittel zu verwenden, von denen keine gesundheitliche Gefährdung ausgeht. Werden mehrere unterschiedliche Reinigungsmittel genutzt, ist zu kontrollieren, ob sich die Mittel in ihrer Wirkung nicht gegenseitig aufheben und dass bei Mischung untereinander keine gesundheitlich bedenklichen Substanzen entstehen.

„Kuschelecken“ in Schulen sollten möglichst vermieden werden. Sind solche in Schulen aber trotzdem vorhanden, ist sicher zu stellen, dass diese wöchentlich sachgerecht gründlich gereinigt werden.

Lüftungsplan

Verfügt die Schule über keine technische Lüftung, sind die Klassenzimmer während des Schulbetriebs mindestens nach jeder Schulstunde (45 min) und vor sowie nach Ende des Unterrichts möglichst quer zu lüften. Die Schulleitung legt fest, wer nach jeder Schulstunde das Klassenzimmer lüftet und wie gelüftet wird. In unteren Klassenstufen sollte hierfür der anwesende Lehrer verantwortlich sein. In höheren Klassenstufen können für diese Funktion Schüler eingeteilt werden.

Da der Mensch über kein Sinnesorgan verfügt, mit dem er den CO₂-Gehalt in der Luft wahrnehmen kann, kann eine Lüftungssampel ein Mittel zur Visualisierung der Raumluftqualität sein. Auf diese Weise kann ein „Lüftungs-Verhaltenstraining“ durchgeführt werden.

Neben der regelmäßigen Wartung sind vorhandene Raumlufttechnische Anlagen (RLT-Anlagen) gemäß der technischen Regeln (VDI 6022 – Hygiene-Anforderungen an Raumlufttechnische Anlagen und Geräte) zu kontrollieren. Einer besonderen Kontrolle bedürfen die Anlagenteile in denen Feuchte in Form von Wasser oder kondensierendem Wasser vorliegt, wie z. B. Befeuchter oder Wärmetauscher.

Lärminderungsplan

In Schulen kann der Lärm durch die Umgebung (Straßen-, Schienen- und Flugverkehr, industrielle Tätigkeiten), durch schlechte Raumakustik oder durch die Schüler selbst ein besonderes Problem darstellen. Die Arbeitsstät-

tenverordnung schreibt für Arbeitsplätze mit überwiegend geistiger Tätigkeit einen Mittelungspegel von 55 dB(A) vor.

1. Umgebungslärm

Mögliche Maßnahmen zur Verringerung der Verkehrslärmeinwirkung von viel befahrenen Straßen:

- ▶ Stoßlüftung statt Dauerlüftung zur Verringerung des Lärmeintrags von Außen
- ▶ Einbau von Schallschutzfenstern.

2. Raumakustik

Die Sprachverständlichkeit wird in erster Linie durch die Nachhallzeit beeinflusst. Die akustischen Eigenschaften eines Raumes werden objektiv durch die Messung der so genannten Nachhallzeit erfasst und beurteilt. Die Nachhallzeit in einem Klassenraum sollte im Bereich von 0,5 Sekunden liegen. Durch die Ausstattung eines Raumes mit schallabsorbierenden Materialien verringert sich die Nachhallzeit, die Akustik wird optimiert. Einfache Maßnahmen zur Verbesserung der Raumakustik:

- ▶ Dämpfen des Fußbodenkontakts der mobilen Möblierung
- ▶ Filzunterlagen unter Stühlen und Tischen anbringen
- ▶ Quietschende Schubladen ölen
- ▶ Einbringen von schallabsorbierenden Einrichtungsgegenständen
- ▶ Vorhänge und Gardinen an den Fenstern anbringen
- ▶ Wandteppiche oder Korkplatten (z.B. Pinnwände) aufhängen
- ▶ Wandverkleidung anbringen, vom Fußboden bis ca. 1,5 Meter Höhe. (Absprache mit Schulamt oder Hochbauamt nötig).
- ▶ Deckenverkleidung überprüfen, ggf. Anbringen schallabsorbierender Decken- und Wandverkleidung. (Absprache mit Schulamt oder Hochbauamt nötig).
- ▶ Der Einsatz leiserer Geräte (z.B. Bildschirmarbeitsplätze mit leisem Lüfter).

Beim Neubau von Schulgebäuden, bei Sanierungen und Renovierungen sowie beim Vorliegen von Beschwerden ist DIN 18041 „Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen“, in der Neufassung von April 2004 zu berücksichtigen.

3. Organisatorische und pädagogische Empfehlungen

- ▶ Aufstellen von Regeln zum Hören und Zuhören
- ▶ Thematisierung von „Lärm und Lärmwirkungen“ im Unterricht (Materialien hierzu sind bei der Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung, BZgA, kostenlos erhältlich)
- ▶ Einsatz visueller Hilfsmittel zur Lärmreduzierung, z.B. „Soundear“ oder „Lärmampel“
- ▶ Reduzierung der Gruppengröße
- ▶ Unterbrechen von Doppelstunden durch Kurzpausen
- ▶ Training zur Verbesserung des Sozialverhaltens
- ▶ Langsames Sprechen zur Verbesserung der Sprachverständlichkeit
- ▶ Auf Sichtkontakt zwischen Sprecher und Zuhörer achten
- ▶ Bei nachlassendem Konzentrationsvermögen Bewegungsübungen anbieten
- ▶ Sprechtraining zur Stimmbandschonung für Lehrkräfte
- ▶ Stressbewältigungsprogramme für Lehrkräfte.

Wasserhygiene

In Schulen können **Duschen** in Sportanlagen und Lehrschwimmbecken bezüglich der Belastung mit Legionellen ein besonderes Problem darstellen. Zur Legionellenprophylaxe sind Duschen, die nicht täglich genutzt werden, täglich durch ca. 5-minütiges Ablaufenlassen von Warmwasser (maximale Erwärmungsstufe mindestens auf 60°C einstellen) zu spülen. Kalkablagerungen an den Duschköpfen sind in den erforderlichen Zeitabständen zu entfernen. Über die Notwendigkeit regelmäßiger bakteriologischer Untersuchungen auf Legionellen sollte das Gesundheitsamt einbezogen werden.

Wird **Trinkwasser** zur Zubereitung von Lebensmitteln oder Getränken genutzt, ist das Stagnationswasser vor der Nutzung ablaufen zu lassen.

Die Badewasseraufbereitung in **Lehrschwimmbecken** ist entsprechend den Vorgaben der DIN 19643 vorzunehmen. Es ist sicher zu stellen, dass von Schwimm- und Badebeckenwasser keine gesundheitlichen Gefährdungen ausgehen. Das Infektionsschutzgesetz (§ 37) liefert hierfür die gesetzliche Grundlage: „Schwimm- oder Badebeckenwasser in Gewerbebetrieben, öffentlichen Bädern sowie in sonstigen nicht ausschließlich privat genutzten Einrichtungen muss so beschaffen sein, dass durch seinen Gebrauch eine

Schädigung der menschlichen Gesundheit, insbesondere durch Krankheitserreger, nicht zu besorgen ist“.

Besondere Aufmerksamkeit kommt diesbezüglich der sachgerechten Desinfektion des Badewassers zu. Der in der DIN 19643 vorgegebene Grenzwert für Trihalogenmethane von 20 µg/l ist einzuhalten. Es ist sicherzustellen, dass das mit der Bädertechnik befasste Personal regelmäßig im Bereich der Bädertechnik aus- und fortgebildet wird. Hierbei sind auch die Empfehlungen des UBA/der Badewasserkommission (siehe Bundesgesundheitsbl-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz 9, 2006) und weitere Hygieneempfehlungen zu berücksichtigen.

Warzeninfektionen in Schwimmbädern und Turnhallen Sporthallen

Neben den allgemein verbreiteten Fußpilzkrankungen wird manchmal auch das Auftreten von Warzen im Zusammenhang mit der Benutzung von Schwimmbädern und Sporthallen beobachtet. Warzen und Dellwarzen gehören zu den häufigsten von Viren verursachten Hauterkrankungen. Sie können in jedem Alter auftreten, allerdings sind Warzen, insbesondere Dellwarzen, unter Kindern und Jugendlichen besonders häufig.

Die Warzenviren werden üblicherweise durch direkten oder indirekten Kontakt übertragen. Dies kann durch Körperberührung, aber auch durch das gemeinsame Benutzen von Handtüchern, Badeschuhen etc. oder den Kontakt mit Hautschuppen auf dem Fußboden geschehen. Ordnungsgemäß desinfiziertes Schwimmbeckenwasser spielt in der Übertragung keine Rolle, da die Erreger durch das im Wasser vorhandene Chlor inaktiviert werden. Eine Übertragung findet eher durch feuchte Sitzflächen und Fußböden im Bereich der Beckenumläufe und in Dusch- und Umkleidekabinen statt, wenn diese zuvor von einem Warzen- oder Fußpilzträger benutzt wurden. Daher werden in öffentlichen Bädern diese Flächen mindestens einmal täglich desinfiziert.

Maßnahmen zur Verhütung der Übertragung (Prophylaxe):

- ▶ Lehrer, insbesondere Sport- und Schwimmlehrer sowie Kindergartenpersonal sollten über die Übertragungswege informiert sein.
- ▶ Eltern sollten ebenfalls informiert sein und ihre Kinder über entsprechende Maßnahmen aufklären. Fußsohlen und Zwischenzehnräume der Kinder sollten öfters kontrolliert werden.
- ▶ Vor dem Baden sollte eine gründliche Körperreinigung durchgeführt werden, damit das im Wasser enthaltene Chlor nicht durch organische Substanzen (Schweiß, Fette) seine desinfizierende Wirkung verliert.

- ▶ In Hallenbädern und Garderoben sind Badeschuhe zu tragen
- ▶ Die gemeinsame Benutzung von Handtüchern, Cremes etc. durch mehrere Personen ist zu vermeiden
- ▶ Bei nicht abgeheilten Pilz- und Warzenerkrankungen der Füße ist das Barfußbetreten in Gemeinschaftseinrichtungen zu unterlassen
- ▶ Der behandelnde Arzt sollte über die Teilnahme am Schwimm- oder Sportunterricht, sofern dieser Körperkontakt, Barfußlaufen oder Duschen einschließt, entscheiden (eventuell schriftliche Bescheinigung)
- ▶ Betreiber von Schwimmbädern, Saunen und Sporteinrichtungen haben eine tägliche, ggf. mehrmalige Reinigung der Gänge, der Dusch- und Umkleieräume sowie sonstiger Barfuß begangener Bereiche durchzuführen bzw. zu veranlassen
- ▶ Nach Beendigung des Betriebs in Schwimmbädern, Saunen und Sporteinrichtungen sind alle barfuß begangenen Flächen mit einem auf Viruzidie geprüften Desinfektionsmittel desinfizierend zu reinigen. Das Mittel sollte im Scheuer-/Wischverfahren angewendet werden. Ein Versprühen alleine ist nicht ausreichend, da hierdurch Hautschuppen nicht wirksam entfernt werden.

Küchen

Lehrküchen und Küchen für die Schulverpflegung sind bezüglich der in ihnen einzuhaltenden Hygieneanforderungen gleich zu behandeln. Personen, die an einer Infektionserkrankung im Sinne des § 42 Infektionsschutz-Gesetz (IfSG) oder an infizierten Wunden oder an Hautkrankheiten leiden, bei denen die Gefahr besteht, dass Krankheitserreger über Lebensmittel übertragen werden, dürfen in der Küche nicht beschäftigt werden.

Das Küchenpersonal ist gemäß 43 IfSG einmal jährlich über die Tätigkeitsverbote zu belehren.

Das Küchenpersonal ist einmal jährlich lebensmittelhygienisch zu schulen.

Eine **Händedesinfektion** für die in der Küche Beschäftigten ist in folgenden Fällen erforderlich:

- ▶ bei Arbeitsbeginn
- ▶ nach Pausen
- ▶ nach jedem Toilettenbesuch
- ▶ nach Schmutzarbeiten

- ▶ nach Arbeiten mit kritischen Rohwaren (z. B. rohes Fleisch, Geflügel)
- ▶ nach Husten oder Niesen in die Hand, nach jedem Gebrauch des Taschentuches.

Es dürfen nur geprüfte und für wirksam befundene Präparate eingesetzt werden. Im Falle der Händedesinfektionsmittel sind diese Präparate aus der Desinfektionsmittelliste der Deutschen Gesellschaft für Hygiene und Mikrobiologie zu wählen.

Für die Durchführung der Händereinigung und Händedesinfektion im Küchenbereich sind Wandspender an Waschbecken bereitzustellen. Seifen- und Desinfektionsmittelspender sind wöchentlich auf deren Füllstand hin zu überprüfen. Vor Neubefüllung der Spender sind diese zu reinigen. Für Flüssigseifen und Desinfektionsmittel sind Originalgebinde zu verwenden.

Durchführung sollte beschrieben werden:

Bsp.: Alle Innen- und Außenflächen einschließlich Handgelenke, Fingerzwischenräume, Fingerspitzen, Nagelfalze und Daumen müssen mit einbezogen und 30 Sekunden Einwirkzeit eingehalten werden. Die benötigte Desinfektionsmittelmenge beträgt etwa 3 bis 5 ml (eine Hohlhand voll).

Die **Fußböden** im Küchenbereich sind täglich zu reinigen. Für spezielle Tätigkeiten (z. B. Bodenreinigung) ist Schutzkleidung zur Verfügung zu stellen. Die Schutzkleidung ist täglich sowie bei Bedarf zu wechseln.

Eine **Flächendesinfektion** ist erforderlich bei:

- ▶ Arbeiten mit kritischen Rohwaren (z. B. rohes Fleisch, Geflügel)
- ▶ nach Arbeitsende auf Oberflächen, auf denen tierische Lebensmittel verarbeitet wurden.

Das Desinfektionsmittel wird auf die betreffende Fläche aufgebracht und mit einem Tuch oder Schwamm mit mechanischem Druck verteilt (Scheuer-Wisch-Desinfektion). Die Einwirkzeit des Desinfektionsmittels ist vor erneuter Benutzung der Fläche abzuwarten. Flächen, die mit Lebensmittel in Berührung kommen, sind danach mit klarem Wasser abzuspülen.

Um einem Qualitätsverlust von **Lebensmitteln** durch den Befall mit Schädlingen vorzubeugen, sind Lebensmittel sachgemäß zu verpacken (z. B. Umverpackungen, Eimer) und die Verpackungen mit dem Anbruchsdatum/ Verarbeitungsdatum und einer Inhaltskennzeichnung zu versehen.

Folgende betriebseigene Kontrollen der Lebensmittel sind durchzuführen:

- ▶ Wareneingangskontrolle auf Verpackung, Haltbarkeit, diverse Schäden an Waren
- ▶ tägliche Temperaturkontrollen in Kühl- und Gefriereinrichtungen (Kühlschrank < 8 °C, ***Gefrierschrank < -18 °C)
- ▶ wöchentliche Überprüfung des Mindesthaltbarkeitsdatums von Lebensmitteln
- ▶ Aufbewahrung von Rückstellproben bei selbst zubereiteten Speisen für 96 Std. getrennt nach Komponenten in Gefriereinrichtungen.

Tierische Schädlinge (Parasiten)

Tierische Schädlinge können in Schulen sowohl als Parasiten Menschen selbst befallen, wie z. B. Läuse, oder als Schädlinge in Schulräumen vorkommen. Der Befall von Kindern mit Kopfläusen ist ein immer wieder auftretendes Problem in Schulen. Die Bekämpfung des Kopflausbefalls erfordert eine enge Zusammenarbeit zwischen Eltern, Schule und Gesundheitsamt. Jeder Läusebefall wird nach § 34 IfSG schriftlich (per Post, Fax oder Email) namentlich an das Gesundheitsamt gemeldet. Für das Verhalten beim Auftreten von Läusen ist ein genauer Verfahrensplan festzulegen.

Beispiel:

- ▶ Wird ein Läusebefall bei einem Kind festgestellt, sollte das Kind (nach Absprache mit den Eltern) möglichst umgehend nach Hause geschickt werden, um die Behandlung einzuleiten. Ist das nicht möglich, z. B. weil die Eltern nicht erreichbar sind, kann das Kind bis zum Ende des regulären Aufenthaltes in der Einrichtung bleiben. Enge Kontakte in den folgenden Stunden sollen durch diskrete Maßnahmen vermieden werden.
- ▶ Die Schule informiert im Einvernehmen mit dem zuständigen Gesundheitsamt die Eltern bzw. die Erziehungsberechtigten der Klasse über das Auftreten der Läuse. Jede Diskriminierung betroffener Kinder ist dabei zu vermeiden.
- ▶ Die Eltern werden aufgefordert, ihr Kind gründlich zu untersuchen und bei Befall, nach ärztlicher Verordnung, die Behandlung durchzuführen. Gleichzeitig sollte eine Untersuchung und gegebenenfalls Mitbehandlung aller Kontaktpersonen (Familie, Freundeskreis etc.) erfolgen.
- ▶ Erfolgt die Behandlung des Kopflausbefalls mit einem vom RKI empfohlenen Mittel (ärztliche Verschreibung empfehlenswert, auch bezüglich Kostenübernahme durch Kassen) unmittelbar und

entsprechend den Angaben im Beipackzettel, können die betroffenen Kinder, je nach Befall, bereits am Tag nach der Erstbehandlung die Schule wieder besuchen, wenn die Eltern mit dem Rückantwortschreiben die korrekte Durchführung dieser Maßnahme bestätigen oder ein Arzt eine Weiterverbreitung der Kopfläuse mit hoher Sicherheit ausschließen kann. Die Rückmeldung soll zeitnah, spätestens nach drei Tagen dem Klassenlehrer übergeben werden. Den Eltern soll unbedingt vermittelt werden, dass eine zweite Behandlung innerhalb von 8–10 Tagen erforderlich ist.

- ▶ Liegt die Rückmeldung innerhalb dieser Frist nicht vor, sollte die Einrichtung nach Möglichkeit versuchen, die Eltern betroffener Kinder (z.B. telefonisch) zu kontaktieren. Ggf. sollen sie zur Kontrolluntersuchung aufgefordert werden. Wenn einzelne Eltern trotz erhaltener Information nicht zur Kooperation bereit sind, kann sich aus dem Schulgesetz eine Rechtsgrundlage für weitere Maßnahmen (Elterngespräch, Schulfähigkeitsuntersuchung) ergeben.
- ▶ Das IfSG schreibt vor, dass die Wiederaufnahme in die Einrichtung erfolgen soll, sobald nach „ärztlichem Urteil“ eine Weiterverbreitung der Verlausung nicht mehr zu befürchten ist. Das IfSG fordert keine schriftliche Bescheinigung. In der Praxis ist davon auszugehen, dass der Arzt dem Patienten bei Einleitung der Behandlung mitteilt, ab wann keine Ansteckungsgefahr besteht. Eine ärztliche Bescheinigung sollte vorgelegt werden, wenn dasselbe Kind innerhalb von 4 Wochen erneut von Kopfläusen befallen wird.
- ▶ Bei gehäuftem Auftreten von Kopfläusen in einer Schule ist insbesondere die Beratung der Eltern und die Kontrolle der Rückantwortschreiben zu intensivieren. Dies betrifft sowohl die Rückmeldungen der betroffenen Kinder als auch die Rückmeldungen der Kontakt-Kinder. Nur wenn alle Eltern der Kontakt-Kinder rückmelden oder anderweitig, z.B. telefonisch, die Läusefreiheit ihrer Kinder bestätigen, kann sichergestellt werden, dass die Information alle Eltern erreicht hat und dadurch evtl. noch unerkannte Läusefälle behandelt werden. Der Umfang und die Art der Beratung und der Maßnahmen sind im Einvernehmen mit dem zuständigen Gesundheitsamt festzulegen, das in Abhängigkeit von der Situation die Einrichtung bei der Durchführung der notwendigen Maßnahmen unterstützt.

Küchenbereiche sind bezüglich des Befalls mit tierischen Schädlingen besonders gefährdet. Küchen sind daher regelmäßig auf **Schädlingsbefall** zu kontrollieren. Bei Befall sind Schädlingsbekämpfungsmaßnahmen nach dem Stand der Technik durch eine Fachfirma zu veranlassen. Dabei ist besonders

darauf zu achten, dass die Lebensmittel nicht mit dem Schädlingsbekämpfungsmittel in Kontakt kommen.

Lebensmittelabfälle müssen in verschließbaren Behältern gelagert werden. Die Behälter sind nach jeder Leerung zu reinigen. Abfalllager müssen sauber und frei von tierischen Schädlingen gehalten werden können. Küchenfenster, die ins Freie geöffnet werden können, sind mit Insektengittern auszustatten.

Infektionskrankheiten

Von Bakterien und Viren kann durch Übertragung infektiöser Keime von Mensch zu Mensch durch Tröpfchen- oder Kontaktübertragung eine hygienische Gefährdung ausgehen. Die Übertragung von z.B. Influenza, Scharlach (*Streptococcus pyogenes*) oder Keuchhusten (*Bordetella pertussis*) ist allerdings kein Problem, welches spezifisch für Schulräume ist. Zur Vermeidung sollten die einschlägigen Vorgaben des Robert-Koch-Instituts (z.B. Hinweise für Ärzte, Leitungen von Gemeinschaftseinrichtungen und Gesundheitsämtern zur Wiederzulassung in Schulen und sonstigen Gemeinschaftseinrichtungen, Aktualisierte Fassung vom Juli 2006. Erstveröffentlichung im Bundesgesundheitsblatt 44 (2001): 830–843) beachtet und die Hände- und Hustenhygiene mit den Kindern trainiert werden.

Erste-Hilfe

Bagatellwunden vor dem Verbinden mit Leitungswasser (Trinkwasser) säubern. Der Ersthelfer hat dabei Einmalhandschuhe zu tragen und sich vor sowie nach der Hilfeleistung die Hände zu desinfizieren. Die Art der Verletzung ist in das Unfallheft im Erste-Hilfe-Kasten einzutragen. Die Eltern sind über die Ursache, Art und Schwere der Verletzung zu informieren. In der Nähe des Erste-Hilfe-Kastens ist darüber zu informieren, wer in diesem Bereich Ersthelfer ist und welcher Arzt (Telefonnummer angeben) bei größeren Unfällen hinzu zu ziehen ist. Diese Informationstafel sollte auch Angaben darüber enthalten, wie man sich bei Vergiftungen (Giftnotrufnummer angeben) sowie Bränden zu verhalten hat.

Überprüfung des Erste-Hilfe-Inventars:

Geeignetes Erste-Hilfe-Material enthält gemäß der Unfallverhütungsvorschrift „GUV Erste Hilfe 0.3“:

- ▶ großen Verbandskasten mit Füllung nach DIN 13169
- ▶ kleinen Verbandskasten mit Füllung nach DIN 13157.

Zusätzlich ist der Verbandskasten mit einem alkoholischen Desinfektionsmittel zur Händedesinfektion in einem fest verschließbaren Behälter auszustatten. Verbrauchte Materialien (z. B. Einmalhandschuhe oder Pflaster) sind umgehend zu ersetzen, regelmäßige Bestandskontrollen der Erste-Hilfe-Kästen sind durchzuführen. Insbesondere ist das Ablaufdatum des Händedesinfektionsmittels zu überprüfen.

Behandlung kontaminierter Flächen

Mit Blut, Erbrochenem oder anderen potentiell infektiösen Körperflüssigkeiten kontaminierte Flächen sind unter Verwendung von Einmalhandschuhen mit einem desinfektionsmittelgetränkten Tuch grob zu reinigen und die betroffene Fläche anschließend nochmals zu desinfizieren.

Verhalten bei Auftreten hygienischer Probleme

Treten in einer Schule „klassische“ hygienische Probleme auf oder werden Belastungen mit Innenraumschadstoffen vermutet oder nachgewiesen, ist als erstes der Schulträger zu informieren. Von diesem wird das zuständige Gesundheitsamt und der zuständige Arbeitsmedizinische Dienst informiert. Gemeinsam leiten diese Institutionen die notwendigen Maßnahmen des erforderlichen Krisenmanagements ein. Dieses Krisenmanagement schließt die Information der Lehrer, der Schüler und der Eltern mit ein. Sind umwelthygienische oder bauphysikalische Untersuchungen bzw. die Einbeziehung weiterer Sachverständiger erforderlich, ist dies vom Schulträger nach Abstimmung mit dem zuständigen Gesundheitsamt und dem zuständigen Arbeitsmedizinischen Dienst zu veranlassen. Der Schulträger hat sich von der erforderlichen Kompetenz der hinzugezogenen Dienstleister zu informieren. Über die Ergebnisse entsprechender Untersuchungen sind die Lehrer, Schüler und Eltern zu informieren.

Anhang 2: Stichwortverzeichnis

Symbole

1.1.1-Trichlorethan	45
2-Ethylhexanol	44
α -Pinen	43
β -Pinen	43
δ -3-Caren	43

A

Abgehängte Deckenkonstruktion	66
Abluftanlagen	24
Abzugshauben	35
Acetophenon	45
Acrolein	45
Acrylgewebe	46
Ad-hoc AG	56
Ad-hoc-Arbeitsgruppe	13, 38, 48, 62
Adipate	55
AgBB	75
AgBB-Bewertungsschema	31, 75
Aktinomyzeten	70
Akustik	95
Akustikdeckenplatten	66
Akustische Kenngrößen	97
Akustische Qualität	100
Aldehyde	23, 44
Aliphaten	42
Alkane	42
Alkene	43
Alkohol	44, 82
Alkydharzlacke	82
Allergene	71, 68
Allgemeine hygienische Anforderungen	17
Aminoplastmischleimharze	52
Anforderungen an die Akustik	95
Anorganische Gase	37
AOLG	13
Aromaten	43

Aromatische Verbindungen	43
Asbest	63, 64
Asbesthaltige Bauprodukte	64
Asbestose	65
Asbestprodukt	65
Asbest-Richtlinie	65
Ausgasungszeit der Stoffe	32

B

Badewasseraufbereitung	28
Bakterien	70
BaP	59, 118
Basisschema	
Innenraumrichtwerte	48
baulicher Schallschutz	17
Bauprodukt	31, 75, 76
Bauproduktengesetz	75
Beleuchtung durch Tageslicht	17
Benzaldehyd	45
Benzo(a)pyren	59, 118
Benzol	43
Beschwerdefälle	103
Beton	77
Bewertung für Kohlendioxid	38
Bewertung von VOC-Konzentrationen	48
Biobeständigkeit	67
Biologische Stoffe	68
Biolösliche KMF-Dämmstoffe	67
Blauer Engel	82
Bodenbeläge	85
Bodenbelagsklebstoffe	83, 84
Brom	27
Bromierte Verbindungen	54
Bronchien	59
Büromöbel	86
Butanon	45
Butanonoxim	47
Butylacetat	45

C

Chemieunterrichtsräume	34
chemische Holzschutzmittel	57
Chlor	27
Chloranisol	45
Chlorgas	27
Chlornaphthalin in	
Schulpavillons	107
Clophen A50	56
Clophen A60	56
CMR-Stoffe	35
CO ₂	25
CO ₂ -Gehalt der Außenluft	37
CO ₂ -Konzentrationen	38, 39
CO ₂ -Problem	39
Container	8
Cyclohexanon	45

D

Desinfektion des	
Badebeckenwassers	27
Desinfektionsmittelzusätzen	24
Desinfektionsnebenprodukte	27
Desinfizierende Reinigung	20
Di-2-ethylhexyl-phthalat (DEHP)	54
Dicarbonsäuredimethylester	111
Dichlofluamid	57
Digestorien	35
Di-iso-butyl-phthalat (DiBP)	54
Diisocyanate	52
Di-iso-nonyl-phthalat (DINP)	54
Dimethylformamid	46
DIN 77400	19
Di-n-butyl-phthalat (DBP)	54
Dispersionsfarben	83
Druckgeräte	35
Dunstabzug	34

E

EG-Bauprodukten-Richtlinie	75
ELF-Farben	83
EMICODE	81

Emissionsarme	
Bodenbelagsklebstoffe	84
EN 13779	39
Energieeinsparverordnung	
(EnEV)	7, 11
Erkrankungen durch Warzen	28
Erste-Hilfe-Inventar	130
Essensausgabestellen	22
Ester	45
Ethanol	44
Ethylacetat	45

F

Faserstäube	63
feine Partikel	35
Feinstaub	59
Feinstaubbelastung	60
Feinstaubquellen	60
Fensterlose Räume	12
Fensterlüftung	26, 94
Feuchteschäden	70
Flächendesinfektion	22, 20, 127
Flammschutzmittel	36, 53
Flüchtige organische	
Verbindungen	41
Flure	20
Formaldehyd	44, 52, 53
Formaldehydarm	79
Formaldehydemissionen	52
Formaldehydfrei	79
Freie Lüftung	94
Fugendichtungsmassen	55
Furfural	45

G

Gasherde	34
Gebäudeklima	87
Gefahrstoffverordnung	8
Gerüche	30
Geruchsaktive flüchtige	
organische Verbindungen	47

Geruchsbelästigung in Klassenräumen	108	I	
Geruchsemissionen	31	Immissionsbelastungen aus der Umgebungsluft	17
Gesamtgehalt an flüchtigen organischen Verbindungen	50	Innenraumluftqualität in Schulen	7
Gesamt-Hygieneplan	24	IRK	13
Gesamt-PCB	56	Isobutanol	44
Gesundheitliche Bewertung von Feinstaub in Innenräumen	62	Isobutylacetat	45
Gesundheitliche Wirkung von Stäuben	60	Isocyanate	79
Gesundheitsbeschwerden in einem Neubautrakt	113	Isopropanol	44
Glasdächer	92	K	
Glaswolle	65	Kalksandsteine	77
Glutardialdehyd	23	Kanzerogenitätsindex (KI-Index)	66
Glykole	44	Kasuistiken	103
Glykolether	44, 82	Ketone	45
Glyoxal	23	Kippfenster	94
größerer Feinstaub	59	Klassenzimmer	21
H		Klebstoffe	85
Halogenierte organische Verbindungen	45	Kleiderablagen	18
Händedesinfektion	126	Kleine Baumaßnahmen	29
Harnstoff-Formaldehydleinharze	52	KMF	63, 65
Hausstaubmilben	68	KMF-Fasern kritischer Größe	66
HCHO	52	Kohlendioxid (CO ₂)	25, 37
Heizung	18	Kohlenmonoxid (CO)	37, 40
Holz	57, 78	Kohleöfen	58
Holzbearbeitungsmaschinen	33	Konservierungsmittel	83
Holzlasuren	82	Konvektion	88
Holzschutzmittel	46, 78	Kopfläuse	71
Holzstaub	33	Kopierer	35
Holzverkleidungen	57	Kritische Fasern	63
Holzwerkstoffe	52, 58	Küchen	22, 126
Holzwerkstoffplatten	79	Künstliche Mineralfasern (KMF)	63, 65
Hygienische		Kuschelecken	21
„Grundanforderungen“	17	L	
Hypochlorit-Verbindungen	27	Laborräume	18, 34
		Lacke	82
		Laminatböden	76
		Laserdrucker	32, 62
		Läusebefall	71

Legionellen	28, 70	N	
Lehrerzimmer	22	Nachhallzeit	99
Lehrküchen	34	Nachtlüftung	93
Lehrschwimmbecken	26	Naphthalin	43
Lichtverhältnisse	11	Nasswischen	19
Limonen	43	Natürliche Lüftung	94
Lindan	58	Natürlicher Luftwechsel	25
Linoleum	22, 45	n-Hexanal	44
Linoleum-Bodenbeläge	76	Nonan	42
Lösemittelhaltige Reinigungsmittel		Notwendige Luftaustausch	25
auf Parkettboden	110		
Luftbefeuchter	70, 73	O	
Lüften	21, 24	Octadecan	42
Lüftungsanforderungen für		Olefine	43
Werkstätten	33	Organischer	
Lüftungstechnik	94	Phosphorsäureester (POV)	54
Lüftungstechnisches Konzept	11	OSB-Platten	79
Luftwechselzahl	25	OVOC	47
Lungenbläschen	59	Ozon (O ₃)	35, 37, 41
Lungenkrebs	65		
Lungenkrebsrisiko	74	P	
		PAH	58
M		PAK-Belastung durch	
Mauerziegel	77	Parkettböden	118
Mechanische Lüftung	95	PAK-Konzentrationen	118
Mechanischer Verwirbelungen	60	PAK-Leitsubstanz	59
Melamin-Formaldehydharze	52	Parkettlackierung	82
Mesothelium	65	Partikel	36
Methylpolysiloxane	46	Partikelgröße	60
Mikroorganismen	69	PCB	53, 54, 116
Mindestanforderungen an die		PCB-freie Bauteile	55
Reinigung von Schulgebäuden	19	PCB-haltige	
Mindestreinigungshäufigkeiten	20	Fugendichtstoffe	116
Mineralfasern aus abgehängter		PCB-haltige Kleinkondensatoren	55
Deckenkonstruktion	106	PCB-Kongenerne	55
Mineralwolle	65	PCB-Richtlinie	56, 116, 117
Mineralwolle-Produkte	68	PCB-Sanierungen	57
Möblierung	18	PCP	118
Mono- bis Trichlornaphthaline	45	PCP-haltigen Materialien	117
Mono- und Dichlornaphthaline	58	PCP-Richtlinie	57, 117
MVOC	46	p-Dichlorbenzol	45
Mykotoxine	72	Pentachlorphenol	57, 117

Pettenkoferzahl	37
Phenol-Formaldehydleimharze	52
Phosphorsäureestern	54
Phthalate	54
PM 2,5	62
Polychlorierte	
Biphenyle (PCB)	53, 55, 116
polycyclische aromatische	
Kohlenwasserstoffe (PAK)	53, 58, 118
Polyurethan-Klebstoffe	52
Porenbetonsteine	77
Presskorkprodukten	45
Propanol	44
Propenal	45
Propiconazol	57
Pseudomonas aeruginosa	28
Putzmörtel	77

Q

Quaternäre	
Ammoniumverbindungen	23
QUATS	23
Querlüftung	25

R

Radon	73
Radonrisikos in Innenräumen	74
Rauchentwicklung	33
Raumakustik	98
Raumakustischen Eigenschaften	96
Raumausstattung	86
Raumluftbelastung durch	
Dicarbonsäuredimethylester	111
Raumlufttemperaturen	94
Reinigungsintervalle	19
Reinigungsmaßnahmen	19, 20
Reinigungsmittel	23
Renovierungen	29
Richtwert I (RW I)	13, 49
Richtwert II (RW II)	13, 48
Rohbau	76

S

Sanierungsbedarf	11
Sanitäreinrichtungen	22
Schallschutzkonstruktionen	67
Schimmelpilzbefall	69
Schimmelpilze	69
Schimmelpilzschäden	46, 69
Schimmelpilzwachstum	
in Schulen	69
Schulmöbeln	86
Schwebstaub	59
Schwer flüchtige organische	
Verbindungen (SVOC)	53
Sedimentierte Partikel	60
Sekretariate	22
Silikatfarben	83
Siloxane	46
Solare Einstrahlung	92
Sonnenschutzvorrichtungen	92
Spanplatten	58, 79
Speiseräumen	22
Spritzasbest	64
Staub	59
Steinwolle	65
Stickstoffdioxid (NO ₂)	37, 40
Stickstoffmonoxid (NO)	40
Stickstoffoxide (NO _x)	40, 34
Strahlenbelastung	73
Strahlungswärme	88
Styrol	43
SVOC	31, 41, 53

T

Tabakrauch	12, 58
Tallharzen	84
Tallöle	84
Tebuconazol	57
Teer	59
Teerhaltige Kleber	59
Teerprodukte	59
Teppichbeläge	21
Terpenalkohole	44

Tetradecan	42	Waschbereiche	22
Texanol	45	Wechsel der Tonerkartuschen	36
Tierallergene	68	Weichmacher	53, 54
Titandioxid	83	Werkstätten	33
Toiletten	18	Werkunterricht	61
Toluol	43	Wirkstoffe in Holzschutzmitteln	53
Tonerpartikel	35		
Topfkonservier-Inhaltsstoffen	83	Z	
Tragende Holzbauteile	78	Zimmerspringbrunnen	73
Transparenten Fensterfläche	92		
Treppenhausbereiche	20		
Trihalogenmethane	27		
Tuberkulose-Bakterien	70		
Turnhallen	22		
TVOC	41		
TVOC-Beurteilung	50		
TVOC-Wert	50		

U

Ultrafeine Partikel	35
Ultrafeinstaub	35, 59
Umkleideräume	22
Umluft	95
Umweltzeichen Blauer Engel	30
Undichte Fenster	11
Unspezifische Beschwerden	48
Unterrichtsräume	17, 21

V

Verbrennungsprozessen	62
Verdunstung	88
VOC	31, 36, 41, 48
VOC-Emissionen	30, 31
VVOC	41

W

Wandfarben	83
Wärmeleitung	88
Wärmeproduktion einer Person	88
Wärmespeichernde Bauteile	93
Warmwassertemperaturen	71
Waschbecken	23, 24

Tabelle 6: Hygienische Bewertung von TVOC-Werten und daraus resultierende Empfehlungen für Maßnahmen (Umweltbundesamt 2007)				
Stufe	Konzentrationsbereich [mg/m³]	Hygienische Bewertung	zu klärende Fragen	Empfehlungen
1	≤ 0,3 mg/m³	▶ Hygienisch unbedenklich. In der Regel keine Beschwerden.	▶ Liegen Richtwertüberschreitungen vor?	▶ Keine weiteren Maßnahmen.
		▶ Hygienisch noch unbedenklich, soweit keine Richtwertüberschreitungen für Einzelstoffe bzw. Stoffgruppen vorliegen.	▶ Liegen Richtwertüberschreitungen vor? Liegen auffällige Referenzwertüberschreitungen vor?	▶ Ausreichend Lüften besonders nach Renovierungsarbeiten.
		▶ In Einzelfällen Beschwerden oder Geruchswahrnehmungen, z. B. nach kleineren Renovierungsmaßnahmen oder Neumöblierungen in den letzten Wochen.	▶ Sind die raumklimatischen Bedingungen (Luftwechsel, Temperatur, Luftfeuchte) einwandfrei?	▶ VOC-Quellen ermitteln (z. B. Begehung des Raumes). ▶ Verwendung von Putz- und Reinigungsmitteln überprüfen. ▶ Nachmessungen zur Kontrolle von Richtwertüberschreitungen unter Nutzungsbedingungen (s. Kap. 9).
2	> 0, 3–1 mg/m³	▶ Hygienisch auffällig.	▶ Liegen Richtwertüberschreitungen vor?	▶ Richtwertüberschreitungen umgehend durch Nachmessung unter Nutzungsbedingungen kontrollieren und bei der Bewertung die Hinweise in Kap. 4 berücksichtigen.
		▶ Nutzung bei Räumen, die regelmäßig genutzt werden, nur befristet akzeptabel (< 12 Monate).	▶ Liegen auffällige Referenzwertüberschreitungen vor?	▶ Auffällige Referenzwertüberschreitungen auf gesundheitliche Relevanz prüfen.
		▶ Innerhalb von ca. 6 Monaten sollten TVOC-Konzentration deutlich unter den anfangs gemessenen TVOC-Wert abgesenkt werden.	▶ Sind die raumklimatischen Bedingungen (Luftwechsel, Temperatur, Luftfeuchte) einwandfrei?	▶ In jedem Fall: Quellensuche durchführen und Lüftungsverhalten überprüfen: intensiv lüften und ggf. Nutzungs- und Lüftungsbedingungen festlegen. ▶ Kontrollmessung bzw. Nachmessung nach ca. 1 Monat empfohlen (unter Nutzungsbedingungen).
3	> 1–3 mg/m³	▶ Fälle mit Beschwerden oder Geruchswahrnehmungen, z. B. nach größeren Renovierungsarbeiten.	▶ Liegt nach 12 Monaten trotz der beschriebenen Bemühungen die TVOC-Konzentration weiterhin über 1 mg/m³, so sind adäquate Sanierungsmaßnahmen in die weitere Planung aufzunehmen.	▶
4	> 3–10 mg/m³	▶ Hygienisch bedenklich	▶ Liegen Richtwertüberschreitungen vor?	▶ Richtwertüberschreitungen umgehend durch Nachmessung unter Nutzungsbedingungen kontrollieren und bei der Bewertung die Hinweise in Kap. 4 berücksichtigen.
		▶ Nutzung bei Räumen, die regelmäßig genutzt werden, nur befristet akzeptabel (< 1 Monat).	▶ Liegen auffällige Referenzwertüberschreitungen vor?	▶ Auffällige Referenzwertüberschreitungen auf gesundheitliche Relevanz prüfen. Toxikologische Bewertung von Einzelstoffen oder Stoffgruppen erforderlich.
		▶ Die TVOC-Konzentration sollte innerhalb eines Monats unter 3 mg/m³ abgesenkt werden.	▶ Sind die raumklimatischen Bedingungen (Luftwechsel, Temperatur, Luftfeuchte) einwandfrei?	▶ In jedem Fall: Quellensuche durchführen und intensiv lüften und ggf. Nutzungs- und Lüftungsbedingungen festlegen und geeignete Minimierungsmaßnahmen veranlassen. Ein ggf. notwendiger Aufenthalt ist nur mit zeitlicher Beschränkung pro Tag über einen vom Gesundheitsamt vorzugebenden maximalen Zeitraum (pro Tag stundenweise/zeitlich befristet) tolerabel. ▶ Kontrollmessung bzw. Nachmessung nach ca. 1 Monat empfohlen (unter Nutzungsbedingungen).
5	> 10–25 mg/m³	▶ Liegt nach 1 Monat trotz der beschriebenen Bemühungen die TVOC-Konzentration weiterhin über 3 mg/m³, so sind adäquate Sanierungsmaßnahmen in die weitere Planung aufzunehmen.		
		▶ Hygienisch inakzeptabel.	▶ Liegen auffällige Referenzwertüberschreitungen vor?	▶ Richtwertüberschreitungen umgehend durch Nachmessung unter Nutzungsbedingungen kontrollieren und bei der Bewertung die Hinweise in Kap. 4 berücksichtigen.
		▶ Raumnutzung möglichst vermeiden. Ein Aufenthalt ist allenfalls pro Tag stundenweise/zeitlich befristet zulässig.	▶ Liegen Richtwertüberschreitungen vor?	▶ Auffällige Referenzwertüberschreitungen auf gesundheitliche Relevanz prüfen. Toxikologische Bewertung von Einzelstoffen oder Stoffgruppen erforderlich.
		▶ Bei Werten oberhalb von 25 mg/m³ ist eine Raumnutzung zu unterlassen.	▶ Sind die raumklimatischen Bedingungen (Luftwechsel, Temperatur, Luftfeuchte) einwandfrei?	▶ In jedem Fall: Quellensuche durchführen und intensiv lüften und Nutzungs- und Lüftungsbedingungen festlegen und geeignete Minimierungsmaßnahmen veranlassen. Ein ggf. notwendiger Aufenthalt ist nur mit zeitlicher Beschränkung pro Tag über einen vom Gesundheitsamt vorzugebenden maximalen Zeitraum (pro Tag stundenweise/zeitlich befristet) tolerabel. ▶ Kontrollmessung bzw. Nachmessung innerhalb von 1 Monat (unter Nutzungsbedingungen).
	> 10–25 mg/m³	▶ Die TVOC-Konzentration sollte innerhalb eines Monats unter 3 mg/m³ abgesenkt werden.		▶ Wird durch Minimierungsmaßnahmen 10 mg/m³ im betrachteten Zeitraum zwar unterschritten, eine Konzentration von 3 mg/m³ allerdings weiterhin überschritten, gelten die Maßnahmenempfehlungen wie unter Stufe 4. Liegt nach 1 Monat trotz der beschriebenen Bemühungen die TVOC-Konzentration weiterhin über 10 mg/m³, so sollte die Raumnutzung unterbleiben und es sind adäquate Sanierungsmaßnahmen zu veranlassen.

Kontakt:
Umweltbundesamt
Postfach 1406
06813 Dessau-Roßlau
Internet: www.umweltbundesamt.de
E-Mail: info@umweltbundesamt.de
Gedruckt auf 100% Recyclingpapier