

5. Umweltbezogener Gesundheitsschutz und Verbraucherschutz im Gesundheitswesen

5.1 Ausgewählte Schwerpunkte

5.1.1 Gesundheitlich bedenkliche Substanzen in öffentlichen Einrichtungen in Berlin: Abwehr gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch Luftschadstoffe in Berliner Schulen - Messprogramm 2003/2004

Der folgende Beitrag nimmt Bezug auf den Abschlussbericht der Landesmessstelle für Gefahrstoffrecht und Innenraumlufthygiene des Instituts für Lebensmittel, Arzneimittel und Tierseuchen (ILAT) im Berliner Betrieb für Zentrale Gesundheitliche Aufgaben (BBGes).

Der Mensch unserer modernen Industriegesellschaft verbringt 80 - 90 % des Tages in Innenräumen am Arbeitsplatz, zu Hause oder in Verkehrsmitteln. Selbst Freizeitangebote und sportliche Aktivitäten finden zunehmend in geschlossenen Räumen statt. Ein gesundes Raumklima zu gewährleisten und Luftschadstoffe in Innenräumen zu minimieren, muss daher im Sinne des vorbeugenden Gesundheitsschutzes als grundsätzliches Erfordernis angesehen werden.

Vorbeugender Gesundheitsschutz erfordert Gewährleistung eines gesunden Raumklimas

Gestützt auf die „Konzeption der Bundesregierung zur Verbesserung der Luftqualität in Innenräumen“ (Bundesregierung 1992) und das Aktionsprogramm „Umwelt und Gesundheit“ des Bundesministeriums für Gesundheit und des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMG/BMU 1999) wurden in den neunziger Jahren verstärkt in Innenräumen Studien zur qualitativen und quantitativen Erfassung ihrer Belastung mit Luftschadstoffen durchgeführt.

Im Raum Berlin untersuchte im Auftrag des Landesamtes für Arbeitsschutz, Gesundheitsschutz und technische Sicherheit (LAGetSi) die Landesmessstelle am Institut für Lebensmittel, Arzneimittel und Tierseuchen (ILAT) des Berliner Betriebes für zentrale gesundheitliche Aufgaben (BBGes) schwerpunktmäßig *in einem mehrjährigen Messprogramm die Luftgüte in öffentlichen und privaten Innenräumen.*

Wegen der besonderen Schutzbedürftigkeit von Kindern vor umweltbedingten Gesundheitsrisiken und ihrer erhöhten Sensibilität gegenüber luftgetragener Schadstoffe wurde im Winterhalbjahr 2000/2001 die Belastung durch *gesundheitlich relevante Luftverunreinigungen in 74 innerstädtischen Kindertagesstätten* erfasst und problemorientiert ausgewertet (vgl. Schwerpunkt 5.1.1 im Basisbericht 2003/2004).

In Fortsetzung des Schwerpunktprogramms „Gesundheitlich bedenkliche Substanzen in öffentlichen Einrichtungen Berlins“ und vor dem Hintergrund einer sich deutlich verschlechternden Reinigungssituation an Schulen wurden im Winterhalbjahr 2002/2003 zur Ergänzung und Verifizierung der bisherigen Erkenntnisse 40 typische Klassenräume in Grundschulen des Berliner Stadtgebietes und 5 Turnhallen untersucht.

Untersuchung der Luftqualität in Klassenräumen und Turnhallen von Berliner Grundschulen

Durch die „Schulstudie“ konnten die Ergebnisse und Tendenzen aus der „Kita-Studie“ prinzipiell bestätigt und untermauert werden, *nachfolgende Aussagen lassen sich zusammenfassen:*

- Die Bewertung der ermittelten Konzentrationen organischer Schadstoffe aus dem Bereich der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAH), der flüchtigen organischen Verbindungen (VOC/TVOC), der Carbonyle (Formaldehyd, Aceton etc.) sowie des Dieselrußes (EC) ergab eine

Gehalte an Kohlendioxid und Feinstaub signalisieren unzureichende Luftqualität in den Klassenräumen

überwiegend befriedigende Qualität der Innenraumluft. Zur Klärung auffälliger Einzelbefunde wurden Nachuntersuchungen empfohlen.

- Die Konzentration an Kohlendioxid (CO₂) - dem klassischen Leitparameter für die Luftqualität in Innenräumen - und der Gehalt an alveolärem Feinstaub signalisierten insbesondere in den Klassenräumen einen fast durchweg mangelhaften Zustand.

Problemparameter Kohlendioxid

Die Bedeutung von Kohlendioxid (CO₂) als Leitsubstanz menschlicher Ausdünstungen (Stoffwechselprodukte, Gerüche) in Innenräumen wurde bereits Mitte des 19. Jahrhunderts von Pettenkofer erkannt, verbunden mit der Empfehlung, einen Wert von 0,1 Vol.-% (Pettenkoferzahl) aus Gründen der Hygiene nicht zu überschreiten. Diese Empfehlung wird auch heute noch als Richtwert verwendet.

Der vom Umweltbundesamt herausgegebene „Leitfaden für die Innenraumlufthygiene in Schulgebäuden“ (Umweltbundesamt 2000) bezieht sich auf einen Richtwert von 0,15 Vol.-%, der nach DIN 1946 Teil 2 für Räume mit raumlufttechnischen Anlagen eingehalten werden soll. Schon ab 0,07 bis 0,08 Vol.-% CO₂ können Klagen über eine unzureichende Raumluftqualität auftreten, bei einem Wert von 0,15 Vol.-% CO₂ geben bereits ca. 35 % der Raumnutzer Unzufriedenheiten mit der Luftqualität an. Bei höheren Konzentrationen ist mit Müdigkeit und Konzentrationsschwäche sowie einer Belästigung durch Körpergerüche zu rechnen.

Zu hohe CO₂-Konzentrationen in 90 % der untersuchten Schulräume

In etwa 90 % der untersuchten Schulräume lagen im Tagesmittel trotz Pausen und stundenweiser Nichtnutzung die gemessenen CO₂-Konzentrationen oberhalb der Pettenkoferzahl. Während des Unterrichtes ergaben sich in allen Fällen Überschreitungen der Pettenkoferzahl und, mit Ausnahme von zwei Räumen, auch der Vorgaben nach DIN 1946, Teil 2.

Die angetroffenen Lüftungsverhältnisse in den Klassenräumen, in denen Kinder dem Unterricht mit Aufmerksamkeit folgen sollen, erfüllen in aller Regel nicht die Anforderungen der Arbeitsstättenverordnung (ArbstättV 2004, BGBl. Nr. 44) nach „ausreichend gesundheitlich zuträglicher Atemluft“.

Im Vergleich werden für Büroräume mittlere CO₂-Konzentrationen im Bereich von 0,06¹ bis 0,08 Vol.-%² angegeben.

CO₂-Konzentrationen über 0,15 Vol.-% würden nach Arbeitsstättenverordnung alter Fassung (ArbstättV 1975) und der übergangsmäßig noch geltenden Arbeitsstättenrichtlinie (Lüftung - ASR 5) zu beanstanden sein. In Überarbeitung dieser Richtlinien wird ein Handlungswert von 0,14 Vol.-% diskutiert, bei dessen Überschreiten Maßnahmen zur Reduzierung des CO₂-Gehaltes durchzuführen sind.

Problemparameter Feinstaub

Die in der Luft enthaltenen Schwebstoffe gelangen im wesentlichen abhängig von ihrer Größe über die Atemwege unterschiedlich weit in den menschlichen Körper, wo sie am Ort ihrer Ablagerung schädigende Auswirkungen haben können.

Der Begriff „Feinstaub“ ist keiner einheitlichen, streng definierten Staubfraktion oder Partikelgröße zugeordnet und sollte daher nur mit erklärenden Zusätzen verwendet werden.

¹ ProKlimA-Studie (2003): Positive und negative Auswirkungen raumlufttechnischer Anlagen auf Gesundheit, Befindlichkeit und Leistungsfähigkeit. Interdisziplinäre Multicenterstudie. Frauenhofer IRB-Verlag, Stuttgart.

² Schlechter, N. et al. (2004): Beurteilung der Raumluftqualität an Büroarbeitsplätzen. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft, 64 (3), S. 95 - 99.

Von besonderer gesundheitlicher Relevanz sind die Schwebstaubpartikel, die aufgrund ihrer Eigenschaften bis in den alveolären Bereich der Atemwege vordringen können. Der Massenanteil dieser eingeatmeten Partikel wird als alveolengängige Fraktion bezeichnet.

Das *gesundheitsgefährdende Potential einatembarer Schwebstaubpartikel* erfuhr in den letzten Jahren durch zahlreiche Studien verstärkte Anerkennung. Aufgrund welcher pathophysiologischer Wirkungsmechanismen gesundheitsschädigende Effekte durch feine Partikel hervorgerufen werden, ist zum Teil noch Gegenstand aktueller, teils kontroverser toxikologischer Diskussion.

Einen *Zusammenhang zwischen dem Anstieg der Luftbelastung durch atembare Partikel*, die über den Kehlkopf hinaus vordringen (thorakale Partikelfraktion PM 10, PM = particular matter), und *gesundheitlichen Auswirkungen bezüglich Bronchitis und Bronchialasthma* konnte Künzli³ in quantitativer Risikoabschätzung nachweisen.

In epidemiologischen Untersuchungen⁴ ließen sich eindeutige Korrelationen zwischen der Schwebstaubkonzentration in der Umgebungsluft (PM 10, PM 2,5) und Gesundheitseffekten herstellen.

In Bewertung des aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstandes zur gesundheitlichen Wirkung von Partikeln in der Luft wird ausgeführt⁵:

„Langzeit-Exposition gegenüber PM über Jahre oder Jahrzehnte ist mit ernstesten gesundheitlichen Auswirkungen assoziiert. In Hinblick auf die Sterblichkeit gilt dies für die Gesamtmortalität, die kardio-pulmonale und die Lungenkrebsmortalität ebenso wie für die Kindersterblichkeit, woraus sich eine relevante Verkürzung der Lebenserwartung ergibt. Auswirkungen von PM auf die Morbidität wurden für Atemwegssymptome, das Lungenwachstum und die Funktion des Immunsystems gefunden.“

In Bezug auf Kurzzeiteffekte zeigen zahlreiche Studien „signifikante Assoziationen zwischen PM-Exposition und Mortalität und Morbidität. Kardiovaskuläre und respiratorische Erkrankungen sind dabei am wichtigsten. Schon eine kleine Reduktion der PM-assozierten respiratorischen und kardiovaskulären Erkrankungen würde eine große Zahl von Fällen vermeiden.“

In einem Review über Gesundheitseffekte durch Schwebstaub⁶ fasst Schneider die wichtigsten Ergebnisse (WHO, 2003) zusammen:

- Die Evidenz über einen Zusammenhang der Exposition gegenüber Schwebstaub und teilweise schwerwiegender Gesundheitsauswirkungen ist weit stärker als vor wenigen Jahren.
- PM 2.5 ist ein geeigneter Indikator zur Beschreibung der durch PM-Exposition verursachten Effekte, insbesondere in Bezug auf Mortalität sowie Herz- Kreislaufkrankungen.
- Obwohl Feinstaub einen stärkeren Zusammenhang zu gesundheitsschädigenden Auswirkungen zeigt als Grobstaub, gibt es Hinweise, dass auch die grobe Fraktion (PM 10 minus PM 2.5) mit bestimmten Gesundheitsauswirkungen in Verbindung zu bringen ist.
- Bislang konnte keine Schwellenkonzentration abgeleitet werden, unter der keine gesundheitliche Gefährdung anzunehmen ist.

Gesundheitseffekte
durch Schwebstaub
nach WHO-Review

³ Künzli, N. et al. (2001): Quantitative Risikoabschätzung - Luft. In: Handbuch der Umweltmedizin, 22. Erg.-Lfg 7/01, Kap. III - 1.5.2. Ecomed Verlagsgesellschaft, Landsberg.

⁴ Wichmann, H. E. et al. (2002): Gesundheitliche Wirkungen von Feinstaub. Reihe: Fortschritte in der Umweltmedizin. Ecomed Verlagsgesellschaft, Landsberg.

⁵ Arbeitsgruppe „Wirkungen von Feinstaub auf die menschliche Gesundheit“ der KRdL (Kommission Reinhaltung der Luft im VDI) und DIN; Kappos, A. et al. (2003): Bewertung des aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstandes zur gesundheitlichen Wirkung von Partikeln in der Luft. Umweltmedizin in Forschung und Praxis, 8 (5), S. 257 - 278.

⁶ Schneider, J. (2004): Gesundheitseffekte durch Schwebstaub, WHO-Review. Bericht zum Workshop PMx - Quellenidentifizierung am 22./23.01.2004 in Mülheim/Ruhr. Umweltbundesamt, Dessau.

- Bei den Auswirkungen auf die Mortalität handelt es sich nicht (nur) um vorgezogene Sterblichkeit („Harvesting“).
- Es ist davon auszugehen, dass Schwebstaub per se für die Effekte verantwortlich ist.
- Einige Studien zeigen einen Zusammenhang zwischen einer Reduktion der PM-Belastung und einer Abnahme von Gesundheitseffekten.

In Anbetracht der vergleichsweise langen Aufenthaltsdauer der sensiblen Personengruppe Kinder in Innenräumen öffentlicher Einrichtungen wie Kindertagesstätten und Schulen ist eine hohe Belastung der Innenraumluft durch Schwebstaubpartikel von besonderer gesundheitlicher Relevanz.

Die in den untersuchten Schulräumen ermittelten Konzentrationen an alveolengängigem „Feinstaub“ lag mit einem Mittelwert von $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ etwa doppelt so hoch wie in der städtischen Außenluft und in anderen vergleichbaren Berliner Innenräumen (Büroarbeitsplätze und Nichtraucherwohnungen).

Dieser mittlere Gehalt entspricht im Vergleich einer PM 10-Belastung von ca. $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die ab Januar 2005 für Außenluft verbindlichen Grenzwerte von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel bzw. $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM 10 im Tagesmittel (nicht öfter als 35-mal im Jahr) wurden während des Unterrichtsverlaufes in mehr als 90 % der Klassenräume überschritten.

Belastung der Kinder durch Schwebstaub in den Klassenräumen stellt ein gesundheitliches Risiko dar

Vor dem Hintergrund der Einschätzung von Schwebstaub (PM 2,5 und PM 10) als gesundheitlichen Risikofaktor sind die angetroffenen Verhältnisse dringend verbesserungsbedürftig.

Das gilt um so mehr, da Regelungen, die sich auf die Partikelmasse beziehen, feine und ultrafeine Partikel nicht angemessen bewerten. Neuen Erkenntnissen zufolge sind feine Partikel (Durchmesser $< 2,5 \mu\text{m}$) und ultrafeine Teilchen (Durchmesser $< 0,1 \mu\text{m}$) als Schadstoffe zu betrachten (Umweltbundesamt 2000).

Schwerpunktmessprogramm zu den Problemfeldern Kohlendioxid und Lüftung sowie Feinstaub und Reinigung

Aufgrund dieser in ihrem Ausmaß bislang nicht genügend bekannten Situation wurde im Sinne des vorbeugenden Gesundheitsschutzes das *Schwerpunktmessprogramm in zwei ausgewählten Unterrichtsräumen*, deren Luftqualität nach der Voruntersuchung als eher unterdurchschnittlich einzuschätzen war, fortgesetzt mit einer punktuellen Bearbeitung der Problemfelder Kohlendioxid und Lüftung sowie Feinstaub (incl. Partikelzahlen) und Reinigung mit der *Zielstellung*, in praktikabler Weise und angemessenem Aufwand

- die Lüftung derartig zu verbessern, dass Kindern und Lehrern ausreichend frische Atemluft zur Verfügung steht, deren CO_2 -Konzentration 0,15 Vol-% nicht überschreitet und die sog. Pettenkoferzahl von 0,1 Vol-% CO_2 möglichst erreicht,
- die „Feinstaub“-Belastung auf das Niveau normaler Innenräume bzw. der Außenluft zu senken, um in Klassenräumen während des Unterrichtes Bedingungen zu gewähren, die die Einhaltung der ab 01.01.2005 für Außenluft verbindlichen „Feinstaub“-Begrenzungen von maximal $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM 10 ermöglichen.

Dabei sollten aus Gründen gesundheitlicher Vorsorge auch die Partikelzahlen einer näheren Betrachtung unterzogen werden.

Die *Untersuchungen erfolgten im Winterhalbjahr 2003/2004* unter realen Unterrichtsbedingungen jeweils über fünf Wochen (mit mindestens vier Unterrichtstagen pro Woche) nach einem gleichartigen, kontrollierten Protokoll:

1. Woche: Normalbedingungen (Erfassung des Istzustandes)

Keine Einflussnahme auf die in den Klassenräumen normalerweise praktizierte Lüftung und Reinigung. Die Lüftung erfolgte nicht

Untersuchungsprotokoll

Woche	Lüftungsbedingungen	Reinigungsbedingungen
1	normal	normal
2	Stoßlüftung	normal
3	Dauerlüftung	normal
4	normal	nach DIN 77400
5	normal	feuchte Reinigung (täglich)

systematisch, sondern individuell nach dem persönlichen Empfinden von Lehrern und Schülern. Die Reinigung wurde nach dem jeweiligen schulüblichen Reinigungsplan durchgeführt.

2. Woche: Stoßlüftung

Gründliche Lüftung mit Öffnung von Fenstern und Tür vor und nach dem Unterricht sowie in jeder Pause. Während des Unterrichtes wurden die Fenster geschlossen gehalten. In jedem Fall war darauf zu achten, dass durch die Lüftung die CO₂-Konzentration den Wert von 0,10 % deutlich unterschreitet.

3. Woche: Dauerlüftung

Ständige Öffnung von 2 Kippfenstern während des gesamten Unterrichts, gründliche Lüftung vor und nach dem Unterricht.

4. Woche: Reinigung in Anlehnung an DIN 77400

In der im September 2003 veröffentlichten DIN 77400 „Schulgebäude - Anforderungen an die Reinigung“ wird als „Mindestanforderung“ für Klassenräume eine Reinigung 2-mal wöchentlich angegeben:

„Fußboden nicht-textile Bodenbeläge: Entfernen nicht haftender Verschmutzungen 1 x wöchentlich / Entfernen nicht haftender und haftender Verschmutzungen mit vorheriger Grobschmutzentfernung 1 x wöchentlich / Tischoberflächen, Ablagen 2 x wöchentlich“.

Dementsprechend wurden für die untersuchten Klassenräume 2 Reinigungen (jeweils fegen und feucht wischen) veranlasst.

5. Woche: Reinigung feucht (staubbindend)

Tägliches Staub bindendes feuchtes Fegen, gefolgt von üblichem Nasswischen. Es sollte nicht trocken gefegt werden, auch nicht durch Schülerdienste. Es sollte die Staublast und die Möglichkeit der Aufwirbelung als Beitrag zum Schwebstaubgehalt der Luft möglichst gering gehalten werden.

Die Reinigungsbedingungen der 4. und 5. Woche wurden mit den Hausmeistern und Reinigungsmitarbeitern besprochen und im Rahmen der Möglichkeiten hinsichtlich der Durchführung im Zusammenwirken mit den Hausmeistern kontrolliert.

Die Klassenräume entsprachen in ihrer Ausstattung üblichen Standards.

Schule A befindet sich im Bezirk Mitte, am Rande städtisch dichter Bebauung (Spreeufer) und relativ nahe einer sehr verkehrsreichen Straße. Der Klassenraum liegt im 1. Obergeschoss des Neubauflügels der Schule, wobei auch der Altbau nach Entkernung völlig neu hergestellt wurde. Somit kann - auch wenn grundsätzlich die alte Außenfassade erhalten blieb - der gesamte Bau als Neubau eingestuft werden.

Untersuchte Klassenräume von Schulen in den Bezirken Mitte und Pankow

Schule B befindet sich im Bezirk Pankow, in städtisch dichter Bebauung, nahe zweier relativ wenig befahrener Straßen und in der Nähe zu einem S-Bahnhof. Der Klassenraum liegt im 4. Obergeschoss des Altbaugebäudes, vom Treppenhaus durch eine Zwischentür abgegrenzt (vgl. Tabelle 5.1).

Darstellung und Bewertung der Ergebnisse

Kohlendioxid (CO₂) und Lüftung

„Normalbedingungen“

Die „Pettenkoferzahl“ von 0,1 Vol.-% als Richtwert für einen ausreichend gelüfteten Raum wurde in beiden Schulen im Tagesmittel in allen drei Wochen überschritten, in Schule A in der ersten Woche fast während des gesamten Unterrichtszeitraumes, hier überschritten die durchschnittlichen Tageskonzentrationen aus dem Wochenmittel auch die Vorgaben der DIN 1946, Teil 2. In Schule A lagen 75 % und in Schule B etwa 40 % der Messwerte über 0,15 Vol.-%. Die gemessenen CO₂-Konzentra-

Tabelle 5.1:
Charakteristika der auf Luftqualität untersuchten Klassenräume im Schwerpunktmessprogramm in Berlin 2003/2004

Merkmal	Schule A		Schule B	
	Charakteristika	Anmerkungen	Charakteristika	Anmerkungen
Nutzung	ausschließlich Unterricht	auch Musik	Unterricht	Gesangsgruppe 1 x wöchentlich abends
Größe	ca. 69 m ² (8 x 8,6 x 3 m)		ca. 56 m ² (6,1 x 9,2 x 3,9 m)	
Raumvolumen	ca. 206 m ³		ca. 219 m ³	
Lage	Nordost (Fensterfront)	Eckraum	West (Fensterfront)	
Klassenstufe	5		6	
Anzahl der Nutzer/ Nutzerinnen	überwiegend 16 - 18 (Klassenstärke: 18), zeitweise 2 - 6 (Förderunterricht)	je nach Art des Unterrichts zusätzlich 1 Lehrer, 1 Probenehmer	überwiegend 23 - 27 (Klassenstärke: 27), zeitweise weniger, variabel	je nach Art des Unterrichts zusätzlich 1 Lehrer, 1 Probenehmer
Raumvolumen / Fläche	ca. 12 m ³ / Kind ca. 4 m ² / Kind		ca. 9 m ³ / Kind ca. 2,2 m ² / Kind	
Unterrichtsstunden	4 - 7, durchschnittlich 5		4 - 6	teilweise Förderunterricht
Mobiliar	Tafel, Schrank, 4 Regale, 8 Tische		Tafel, Unterschränke, 3 Regale, 18 Tische	
Boden	Linoleum, neu		PVC o. ä., alt	
Türen	2 (Eingang und Notausgang)		1	
Fenster	7 Fensterflügel, Fläche ca. 9 m ²	gut dichtende Thermopfenster	6 Fensterflügel mit Kindersicherung, nur als Kippfenster nutzbar. 6 Oberlichter, davon 2 mit Kippfenstermechanik	Thermopfenster, Fensterfläche ca. 12 m ²
Lüftungsmöglichkeit	2 Fenster (Kipp, Flügel)		6 Fenster (Kipp), 2 Oberlichtfenster (Kipp)	
Reinigung normal	5 x Fegen, 5 x feucht wischen	Fegen durch Schüler nach Unterricht	5 x Fegen, 2 x feucht wischen	kein Fegen durch Schüler
Abstand zur Straße	ca. 50 m	verkehrsreich	ca. 100 m	verkehrsarm
Verkehrsdichte	hoch		gering bis mittel	zusätzlich Flugverkehr
Heizung	Zentralheizung, regelbar		Zentralheizung, regelbar	
Alter des Gebäudes	als Neubau einzustufen		> 100 Jahre	

(Datenquelle: LAGetSi)

tionen ergaben über den betrachteten Zeitraum von drei Wochen einen Tagesmittelwert von 0,20 Vol.-% für Schule A und 0,15 Vol.-% für Schule B.

Stoßlüftung

In Schule A wurden vor und nach dem Unterricht sowie während jeder Pause für ca. 5 Minuten gleichzeitig zwei Fensterflügel und die Eingangstür geöffnet. In Schule B wurden vor und nach dem Unterricht sowie während jeder Pause für ca. 10 Minuten alle verfügbaren Fenster und zwei Oberlichter in Kippstellung (vollständige Fensteröffnung aus Sicherheitsbedenken nicht möglich) sowie die Eingangstür geöffnet. Während dieser Lüftungsphasen konnte der Richtwert nach Pettenkofer deutlich unterschritten werden. Es wurden in Schule A Minimal-Konzentrationen zwischen 0,04 und 0,06 Vol.-% CO₂, in Schule B zwischen 0,05 und 0,06 Vol.-% CO₂ erreicht. Unter diesen Lüftungsbedingungen betrug der durchschnittliche Tagesgehalt (Wochenmittel) 0,13 Vol.-% in Schule A und 0,14 Vol.-% in Schule B.

In Schule A führte Stoßlüftung zu einer erheblichen Verbesserung der Luftqualität. Da die gemessenen Maximalwerte noch immer durchweg über 0,20 Vol.-% lagen und während etwa 1/3 der Unterrichtszeit oberhalb 0,15 Vol.-%, die Pettenkoferzahl hingegen nur während ca. 30 % des Messzeitraums unterschritten wurde, muss die erreichte Luftgüte weiterhin als ungenügend eingestuft werden.

In Schule B führte Stoßlüftung in der beschriebenen Art im Vergleich zu der in diesem Klassenraum angewandten üblichen Lüftungsweise nicht zu erheblicher Verbesserung der Luftqualität. Während etwa 37 % der Unterrichtszeit lagen die CO₂ - Konzentrationen oberhalb von 0,15 Vol.-% im Bereich

ungenügender Luftgüte. Bei der Bewertung dieser Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass der Lüftungsvorgang in Schule B (von niedrigeren Ausgangskonzentrationen unter „Normalbedingungen“ ausgehend) nur über das Öffnen der Fenster in Kippstellung realisiert werden konnte.

Dauerlüftung

Es wurde vor und nach dem Unterricht wie beschrieben stoßgelüftet. Während des gesamten Unterrichtstages einschließlich der Pausen blieb in Schule A ein Kippfenster kontinuierlich geöffnet, in Schule B verblieben die beiden Oberlichtfenster in Kippstellung. Unter diesen Bedingungen betrug der durchschnittliche Tagesgehalt (Wochenmittel) 0,16 Vol.-% CO₂ im Klassenraum der Schule A und 0,12 Vol.-% CO₂ in dem der Schule B.

Die Anfangslüftung ermöglichte in Schule A zwar einen Start in den Tag bei CO₂-Konzentrationen deutlich unterhalb der Pettenkoferzahl von 0,1 Vol.-%, dennoch herrschte während ca. 2/3 der Unterrichtszeit eine ungenügende Luftqualität mit CO₂-Konzentrationen über 0,15 Vol.-%.

Im Klassenraum der Schule B war das Dauerlüftungsverfahren hinsichtlich der CO₂-Belastung am wirksamsten. Der Richtwert nach DIN 1946, Teil 2 wurde im Wochenmittel „nur“ während 16 % der Unterrichtszeit überschritten.

Bei Beurteilung eines Luftgüteindex aus Überschreitungshöhe und -dauer wird deutlich, dass der Maximalwert von 15.000 für eine „gerade noch befriedigende“ Luftqualität unter den Bedingungen der Schule A allein durch Stoßlüftung unterschritten werden konnte, unter den Bedingungen von Schule B nur durch Dauerlüftung. Die individuellen Verhältnisse vor Ort können mithin für die Effektivität eines Lüftungsregimes von erheblicher Bedeutung sein.

„Gerade noch befriedigende“ Luftqualität durch veränderte Lüftungspraxis

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Hinsichtlich der Konzentrationen des klassischen Leitparameters für die Luftqualität in Innenräumen, dem Kohlendioxid (CO₂), bestätigte sich auch mit dieser Untersuchung der mangelhafte Lüftungszustand in Klassenräumen.

Unter „Normalbedingungen“ der üblichen Lüftungspraxis in den Klassenräumen wird nicht nur der Richtwert nach Pettenkofer (0,1 Vol.-%), sondern auch die gesundheitstechnische Anforderung der DIN 1946 (0,15 Vol.-% CO₂) regelmäßig und über weite Teile der Unterrichtszeit überschritten. *Die angetroffenen Lüftungsverhältnisse* in Klassenräumen entsprechen in aller Regel nicht der Arbeitsstättenverordnung und mithin erst recht nicht den Anforderungen an Schulräume. Häufig sind bereits die Anfangskonzentrationen des Kohlendioxides zu hoch, da nach dem Unterricht fast nie und vor dem Unterricht nur selten gelüftet wird. Auch eine Pausenlüftung findet nur unregelmäßig statt. Die Durchführung von Lüftungsmaßnahmen erfolgt eher zufällig bzw. nach individuellen Gesichtspunkten.

Nur mit an die spezifischen Bedingungen der Schulräume angepassten und in der Praxis durchführbaren Lüftungsplänen besteht eine realistische Aussicht auf Verbesserung des mangelhaften Lüftungszustandes. Es ist dringend anzuraten, nicht nur Empfehlungen wie „...bitte besser lüften...“ auszusprechen, sondern Lüftungsanweisungen mit definierten Zielsetzungen zu erstellen und in geeignete *Schullüftungspläne* umzusetzen. Nach den bisher vorliegenden Erkenntnissen ergeben sich folgende Kernpunkte und Qualitätsziele für eine allgemeine Lüftungsanweisung:

Verbesserung der Luftqualität durch Lüftungsanweisungen mit definierten Zielsetzungen

- Luftaustausch durch Stoßlüftung (Querlüftung) vor und nach dem Unterricht mit dem Ziel, annähernd Außenluftqualität zu erreichen. In der Praxis sollten 0,06 Vol.-% CO₂ erreicht werden.
- Lüftung in jeder Pause durch Stoßlüftung (Querlüftung) mit dem Ziel, annähernd Außenluftqualität zu erreichen. Als Mindestziel sollten 0,08 Vol.-% CO₂ erreicht werden.

- Die Einhaltung des Richtwertes nach Pettenkofer (0,1 Vol.-%) sollte als Ziel definiert werden und während der Unterrichtszeit nicht überwiegend überschritten werden.
- Als praktikablere Mindestanforderung sollte der Wert nach DIN 1946, Teil 2 von 0,15 Vol.-% CO₂ als Handlungswert, bei dessen Überschreiten Lüftungsmaßnahmen zur Reduzierung durchgeführt werden müssen, definiert werden.
- Die Durchführung dieser Maßnahmen kann je nach baulichen Bedingungen, Fensterkonstruktionen, räumlichen Voraussetzungen, Schüleranzahl und Unterrichtsorganisation durchaus individuell unterschiedlich sein und muss die klimatischen Bedingungen sowie Zugerscheinungen berücksichtigen.

Für die Beratung bei der Erstellung spezifischer „Schullüftungspläne“ und der Erfolgskontrolle der durchgeführten Maßnahmen sollten das Landesamt für Arbeitsschutz, Gesundheitsschutz und technische Sicherheit (LAGeSi) und die Landesmessstelle im Institut für Lebensmittel, Arzneimittel und Tierseuchen (ILAT) des BGGes mit ihren Erfahrungen und Möglichkeiten zur Verfügung stehen.

Feinstaubbelastung und Reinigung

Alveolengängiger Feinstaub nach Johannesburger Konvention

Die Konzentrationen der alveolengängigen Fraktion während der Unterrichtszeit (Tagesmittelwerte) lagen für Schule A zwischen 41 und 89 µg/m³ und für Schule B zwischen 30 und 213 µg/m³. Der durchschnittliche Gehalt des alveolengängigen Staubes nach Johannesburger Konvention über alle Messungen ohne Unterscheidung der verschiedenen Lüftungs- und Reinigungsbedingungen betrug 61 µg/m³ Innenraumluft in Schule A und in Schule B 73 µg/m³ Innenraumluft. Die mittlere innenraumbedingte Zunahme gegenüber der Außenluft lag für Schule A bei 29 µg/m³, für Schule B bei 43 µg/m³.

- Unter „Normalbedingungen“ und unter den Bedingungen der minimierten Reinigungsaktivität nach DIN 77400 war der mittlere innenraumbedingte Beitrag zur Belastung mit alveolengängigem Staub am höchsten, 41 bzw. 40 µg/m³ für Schule A, 39 µg/m³ bzw. 49 µg/m³ für Schule B.
- Bessere Bedingungen wurden prinzipiell in beiden Schulen durch die Lüftungsmaßnahmen in der 2. und 3. Woche erreicht (Schule A: 26 bzw. 29 µg/m³, Schule B: 28 bzw. 32 µg/m³). Messtage mit außergewöhnlicher Belastung der Außenluft mit 90 bzw. 100 µg/m³ wurden nicht berücksichtigt.
- Die mit Abstand geringste Mehrbelastung gegenüber der Außenluft wurde in Schule A mit 10 µg/m³ in der Woche mit der Staub bindenden feuchten Reinigung festgestellt. Demgegenüber zeigte sich für Schule B überraschenderweise die höchste gemessene Mehrbelastung bei diesem Reinigungsregime (65 µg/m³). Auf Nachfrage bei der Reinigungsfirma wurde eingeräumt, dass das Reinigungskonzept nicht eingehalten wurde. Infolgedessen sind die Staubmesswerte dieser Woche nicht aussagekräftig zu bewerten.

Staubbelastung durch regelmäßige Staub bindende Reinigung zu reduzieren

Abgesehen von der Verbesserung der Staubsituation durch Frischluftzufuhr wird deutlich, dass nur durch die regelmäßige Staub bindende Reinigung unabhängig von der Lüftungssituation die zusätzliche Staubbelastung im Klassenraum in der Nähe der Außenluftkonzentrationen gehalten werden konnte.

Die Gehalte des alveolengängigen Feinstaubes (nach Johannesburger Konvention) in der Luft der untersuchten Schulräume und Turnhallen der vorangegangenen „Schulstudie“ lagen in einer Bandbreite von 17 bis 106 µg/m³ und bei einem Mittelwert von 60 µg/m³ auf deutlich erhöhtem Niveau. Parallel durchgeführte Messungen von Außenluft wiesen demgegenüber einen mittleren Gehalt von 25 µg/m³ auf. Diese relativ hohen Belastungen in Klassenräumen wurden durch die jetzigen Untersuchung mit Mittelwerten an alveolärem Feinstaub von 61 µg/m³ (Schule A) und 73 µg/m³ (Schule B) bestätigt. Die zeitgleich untersuchte Außenluft zeigte einen mit 35 bzw. 30 µg/m³ ebenfalls deutlich niedrigeren Gehalt.

Bei Messungen an Berliner Büroarbeitsplätzen als vergleichbaren Arbeitsstätten ergaben unsere Messungen einen Median von $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alveolengängigem Feinstaub. In der Luft von Nichtraucherwohnungen wurden in den Jahren 1998 und 2000 mittlere Gehalte von 27 bzw. $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alveolengängigen Feinstaubes gemessen, in Raucherwohnungen (ohne direktes Rauchen während der Messung) 66 bzw. $57 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die Luft in Klassenräumen weist im Vergleich zu anderen Innenräumen (Büros, Wohnungen) sowie auch zur städtischen Außenluft eine ca. doppelt so hohe Belastung mit alveolengängigem Feinstaub auf und ist bezüglich dieser Belastung Raucherwohnungen vergleichbar.

Belastung durch Feinstaub in Schulräumen vergleichbar mit der in Raucherwohnungen

Thorakale Fraktion des Schwebstaubes - PM 10

Die Konzentrationen der PM 10 Fraktion wurden während der Unterrichtszeit (Tagesmittelwerte) in einem Bereich zwischen 67 bis $153 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Schule A und zwischen 56 bis $191 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (maximal bei $273 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bei extremer Außenbelastung) in Schule B gemessen. Damit wurde während des Unterrichts an allen Messtagen eine mittlere Belastung durch Schwebstaubpartikel der Fraktion PM 10 deutlich über dem 24-Stunden Grenzwert nach der 22. Bundesimmissionsschutz-Verordnung (BImSchV) für Außenluft von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gefunden. Der durchschnittliche Gehalt der thorakalen Partikel PM 10 über alle Messungen ohne Unterscheidung verschiedener Lüftungs- und Reinigungsbedingungen betrug in Schule A $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, in Schule B $124 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die mittlere Erhöhung gegenüber Außenluft lag bei $62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Schule A und bei $86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Schule B.

- Die höchsten Beiträge zur Staubbelastung durch die Fraktion PM 10 wurden unter Normalbedingungen (Schule A: $92 \mu\text{g}/\text{m}^3$, prozentuale Zunahme 256 %; Schule B $89 \mu\text{g}/\text{m}^3$, prozentuale Zunahme 311 %) und bei reduzierter Reinigungsaktivität nach DIN 77400 gemessen (Schule A: $77 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Zunahme 279 %; Schule B: $99 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Zunahme 730 % bei sehr niedrigen Außenluftgehalten). Die höchste absolute Zunahme mit $118 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (526 %) ergab sich - wie schon bei der alveolengängigen Fraktion ausgeführt - wegen Nichteinhaltung des Reinigungskonzeptes in der nicht bewertbaren 5. Messwoche in der Schule B.
- In der 2. und 3. Woche mit verbesserten Lüftungsbedingungen liegt der Innenraumbeitrag der PM 10 - Fraktion mit etwa $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (165 %) in Schule A und $57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (254 %) bzw. $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (160 %) in Schule B immer noch auf hohem Niveau, signalisiert jedoch eine verbesserte Situation (die Daten der Tage mit extrem hoher Außenbelastung wurden nicht berücksichtigt).
- Unter den Bedingungen Staub bindender Reinigung wurde in Schule A ein deutlich geringerer Innenraumbeitrag mit einer relativ moderaten Erhöhung von $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (45 %) im Wochenmittel beobachtet. Schule B konnte nicht bewertet werden.

Die mittleren Gehalte der der thorakalen Fraktion des Schwebstaubes (PM 10) in der Luft der Schulräume und Turnhallen der vorangegangenen „Schulstudie“ lagen nach Umrechnung aus den Daten der alveolengängigen Fraktion bei ca. $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Parallel durchgeführte PM 10-Messungen von Außenluft wiesen einen mittleren Gehalt von $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf.

Die hohen PM 10-Belastungen in Klassenräumen wurden durch diese Untersuchung mit durchschnittlich $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Schule A) und $124 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Schule B) bestätigt. Die zeitgleich untersuchte Außenluft wies einen mit 37 bzw. $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ebenfalls deutlich niedrigeren Gehalt an PM 10-Staub auf.

Die Jahresmittelwerte des Feinstaubes (PM 10) in der Berliner Außenluft betragen je nach Standort der Messstationen für den städtischen Hintergrund 26 bis $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (SenStadt 2003). Insgesamt weist die Luft in Klassenräumen im Vergleich zur Außenluft eine ca. dreifach höhere Belastung durch die PM 10-Fraktion des Schwebstaubes auf.

PM 10-Belastung in Klassenräumen dreimal höher als in der Außenluft

Der ab 1. Januar 2005 verbindliche Immissionsgrenzwert für PM 10 in der Außenluft von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel bzw. $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in 24 Stunden (35-mal/Jahr) wurde in der vorangegangenen „Schulstudie“ in über 90 % der untersuchten Räume mit Messwerten über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ überschritten. Nach der

jetzigen Studie konnte der BImSchV-Grenzwert unabhängig von Lüftungs- und Reinigungsbedingungen an keinem der Messtage in keiner der beiden Klassenräume eingehalten werden. Lediglich der Grad der Überschreitung konnte durch die Lüftung und den Reinigungsvorgang reduziert werden.

Partikelzahlen / Partikelverteilung

Die *Gesamtzahl der Schwebstaubpartikel* ($> 0,3 \mu\text{m}$) der Raumluft der beiden Klassenräume lag während des Unterrichtes („Tagesmittel“) zwischen 40.000 und 450.000/Liter in Schule A und zwischen 20.000 und 1.200.000/Liter in Schule B. Die größeren Schwankungen der Partikelzahlen in Schule B widerspiegeln stärker schwankende Schwebstaubkonzentrationen der Außenluft mit teils extrem hohen Werten.

- Die höchsten Partikelzahlen wurden in beiden Fällen unter den Bedingungen der Dauerlüftung und die niedrigsten in der Woche mit der geringsten Reinigungsaktivität gemessen.
- Eine Verbesserung ist weder durch intensivierete Lüftung noch verstärkte Reinigung herzustellen.

Haupteinflussfaktor für die Gesamtzahl der Schwebstaubpartikel ist im Bereich der Außenluft zu suchen

Dies legt nahe, dass die Parameter des Innenraumes auf die Gesamtpartikelzahlen nur eine untergeordnete Bedeutung haben und der Haupteinflussfaktor im Bereich der Außenluft zu suchen ist. Eine Betrachtung der Partikelverteilung und entsprechende statistische Korrelationsberechnungen bestätigen diese Vermutung.

- Die Untersuchung der *Partikelverteilung* zeigte, dass der überwiegende Anteil des Schwebstaubes durch sehr feine Partikel mit relativ geringer Masse geprägt ist. 96 % (Schule A) bzw. 93 % (Schule B) aller Partikel entfallen auf die „feinen“ Partikel zwischen $0,3$ und $1,0 \mu\text{m}$. 67 % (Schule A) bzw. 63 % (Schule B) aller gezählten Partikel finden sich allein im Partikelgrößenkanal von $0,3$ bis $0,4 \mu\text{m}$.

Durch enge Korrelation der entsprechenden Messergebnisse in beiden Schulräumen kann geschlossen werden, dass die Partikel im Bereich von 1 bis $10 \mu\text{m}$ für die massenbezogene alveolengängige und thorakale Fraktion die entscheidenden Partikelgrößen sind. Diese Partikel sind überwiegend „innenraumbedingt“ und lassen sich am ehesten durch Lüftung und Reinigung beeinflussen, während die Anzahl sehr feiner Partikel, vorwiegend bis $0,5 \mu\text{m}$, in erster Linie *von der Qualität der Außenluft (Verkehr etc.) abhängt*.

Wegen unzureichender Datenlage noch keine Grenzwerte für feine und ultrafeine Partikel festgelegt

Für eine Bewertung der Anzahlkonzentration feiner Partikel liegen zur Zeit noch keine allgemein gültigen Kriterien vor. Hinsichtlich einer gesundheitsschädlichen Wirkung wird ihnen jedoch steigende Bedeutung zugemessen. Neue Erkenntnisse der Epidemiologie über die Wirkung von Feinstaub und die Bedeutung von Nanopartikeln weisen darauf hin, dass *feine und ultrafeine Partikel als Schadstoffe aufzufassen* sind (Umwelt-

bundesamt 2000). Um Grenzwerte für feine und ultrafeine Partikel in Form einer Begrenzung der Anzahlkonzentration festzulegen, ist die Datenlage zur Zeit noch nicht ausreichend. Die Arbeitsgruppe „Wirkungen von Feinstaub auf die menschliche Gesundheit“ der Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN empfiehlt deshalb „gezielt Untersuchungen zu fördern, die eine bessere Einschätzung der Expositionssituation und der gesundheitlichen Bedeutung ultrafeiner Partikel ermöglichen.“

Auch für eine vergleichende Einschätzung liegen gegenwärtig noch keine geeigneten Daten aus typischen Innenräumen vor. Ebenso fehlen Daten von zeitgleich durchgeführten Partikelzählungen in den Klassenräumen und der umgebenden Außenluft, um den Einfluss der Innenraumbedingungen von denen der äußeren Umgebung abgrenzen zu können.

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Hinsichtlich der Gehalte des alveolengängigen Feinstaubes und der thorakalen Fraktion (PM 10) des Schwebstaubes in der Luft von Klassenräumen bestätigte sich auch in dieser Untersuchung die hohe Belastung durch lungengängige Partikel.

Die Luft in Klassenräumen weist im Vergleich zu anderen Innenräumen (Büros, Wohnungen) sowie auch zur städtischen Außenluft eine *ca. doppelt so hohe Belastung mit alveolengängigem Feinstaub* auf.

Die *PM 10-Fraktion des Schwebstaubes* ist im Vergleich zur Außenluft *ca. dreifach so hoch*. In den beiden jetzt untersuchten Schulen konnte der *Immissionsgrenzwert für die PM 10-Fraktion* von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 h - Mittel) - unabhängig von den praktizierten Lüftungs- und Reinigungsbedingungen - *an keinem der Messtage eingehalten* werden.

Nach den vorliegenden Daten ist die erhöhte *Schwebstaubbelastung in den Schulen im wesentlichen als ein Problem der Innenräume* zu betrachten und nicht auf die Außenluftsituation zurückzuführen.

Vor dem Hintergrund der *als Risikofaktor erkannten gesundheitlichen Relevanz erhöhter „Feinstaub“-Konzentrationen* sind die angetroffenen *Verhältnisse dringend verbesserungsbedürftig*.

Da bislang keine Schwellenkonzentration abgeleitet werden konnte, unter der keine Gefahr für die Gesundheit besteht, *sollte die „Feinstaub“-Belastung nicht nur im Immissionsbereich, sondern auch im Rahmen des öffentlichen Gesundheitsdienstes gemäß Gesundheitsdienst-Gesetz (GDG) insbesondere für empfindliche Bevölkerungsgruppen (Kinder) soweit wie möglich reduziert* werden.

Es scheint daher dringend geboten, in einem ersten Schritt Ziele zu definieren, die das zusätzliche Risiko einschränken bzw. möglichst minimieren:

- Hinsichtlich der „Feinstaub“-Gehalte sollte sowohl für den *alveolengängigen Staub* als auch die *thorakale Fraktion* (PM 10-Staub) der Zustand der *Außenluft als Zielvorgabe* definiert werden.
- Die allgemeinen „*Lüftungsanweisungen*“ bzw. *Lüftungspläne* (vgl. Abschnitt „Kohlendioxid und Lüftung“ dieses Schwerpunktes) *sind einzuhalten*, um durch Frischluftzufuhr bereits eine Senkung der „Feinstaub“-Belastung zu erwirken.
- Die *Staublast* in Klassenräumen sollte *durch angepasste Reinigungsstrategien und -verfahren* verringert, nach Möglichkeit *minimiert* werden:
 - keine Reinigungstätigkeiten von Schülern in Form von trockenem Fegen zur Verringerung der Staublast durch Vermeidung von Aufwirbelungen,
 - tägliche Reinigung mit staubbindenden Verfahren (nur feuchte Reinigungsschritte oder saugende Verfahren mit entsprechender Abluftfilterung),
 - Verringerung des „Schmutzeintrages“ von außen durch möglichst frühzeitiges Abscheiden bereits im Eingangsbereich.
- Eine *Verringerung der Reinigungsaktivitäten in den Schulen* auf die Mindestanforderungen der DIN 77400 („Schulgebäude - Anforderungen an die Reinigung“), wie gegenwärtig vor allem als Einsparmaßnahme diskutiert, beinhaltet nach gegenwärtigem Wissensstand *das Risiko eines erhöhten Innenraumbeitrages zur Schwebstaubbelastung*, deren gesundheitsschädigende Wirkung nicht ausgeschlossen werden kann.
- Da das Erreichen der Zielvorgabe „Außenluftqualität“ in Klassenräumen ein anzustrebendes Kriterium, aber nach den bisherigen Untersuchungen in der Praxis nicht in vollem Umfang umsetzbar ist, sollten *vorläufige Richtwerte bzw. Toleranzen zur Außenluftbelastung im Sinne eines pragmatischen Minimierungskonzeptes* erstellt werden. Hier bieten die Ergebnisse dieser Untersuchungen eine erste Ansatzmöglichkeit.

Zur Minimierung der Staubbelastung in Klassenräumen sollten Zielvorgaben festgelegt werden

Die Untersuchung der *Partikelgrößenverteilung* in der Luft von Klassenräumen zeigte die zahlenmäßige Dominanz der feinen Partikel unter 1,0 µm insbesondere der Fraktionen von 0,3 bis 0,5 µm. *Die Anzahl dieser sehr feinen Partikel ist auch im Innenraum nach den bisherigen Ergebnissen weitgehend abhängig vom Zustand der Außenluft.*

Für Partikelgrößen ab 0,5 µm, insbesondere für den Bereich von 1,0 bis 10 µm, ließ sich eine statistisch signifikante Korrelation zum alveolengängigen „Feinstaub“ und der PM 10-Fraktion und damit eine „innenraumbedingte“ Abhängigkeit nachweisen.

Für eine Bewertung der Anzahlkonzentration feiner Partikel liegen zur Zeit noch keine allgemein gültigen Kriterien vor. Zur Festlegung möglicher Grenz- oder Richtwerte ist die Datenlage noch unzureichend. Nach Empfehlungen der Arbeitsgruppe „Wirkungen von Feinstaub auf die menschliche Gesundheit“ der Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN sind zur ausreichenden Einschätzung der Expositionssituation und der gesundheitlichen Bedeutung feiner und ultrafeiner Partikel weitere vertiefende Untersuchungen erforderlich.

Unter dem Gesichtspunkt des *vorbeugenden Gesundheitsschutzes* und vor dem Hintergrund der *besonderen Schutzbedürftigkeit von Kindern*, die täglich mehrere Stunden in Schulräumen als ihrer „Arbeitsstätte“ verbringen müssen, sollten unabhängig vertiefter Untersuchungen *zumindest die Partikel minimiert werden, die durch Maßnahmen zur Verbesserung der Innenraumluftqualität (Lüftung und Reinigung) im Zusammenhang mit den Schwebstaubfraktionen beeinflusst werden können.*

In zwei mit der Landesmessstelle gemeinsam durchgeführten Veranstaltungen informierte das LAGetSi die zuständigen Gesundheits- und Schulbehörden umfassend über die Ergebnisse der Untersuchungen und vermittelte den *dringenden Handlungsbedarf*.

Im April 2005 organisierten LAGetSi und BBGes ein *Arbeitsforum „Gesunder Tisch - Schulluft“*, zu dem namentlich die zuständigen Vertreter/innen der Schul- und Gesundheitsbehörden eingeladen waren, außerdem Vertreter/innen der Unfallkasse - Abt. Prävention, des Arbeitsmedizinischen Dienstes (AMZV), der Senatsverwaltung für Finanzen, des Gesamtpersonalrates - allgemein bildende Schulen sowie Fachjournalisten ausgewählter Berliner Tageszeitungen. Eine „Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen“ beider Untersuchungsprogramme sowie ein vom BBGes als Tischvorlage erstelltes Arbeitspapier „Vorschläge zur Verbesserung der Innenraumluftqualität und Verminderung gesundheitlicher Risiken in Schulen“ ergänzten die problemorientierten Kurzvorträge und bildeten fundierte Grundlagen zur Diskussion und Meinungsbildung.

Die Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Sport hat aufgrund der vorgestellten Ergebnisse den grundsätzlichen Handlungsbedarf eingeräumt und im September 2005 in einem Rundschreiben an alle Schulleiter, die Schulaufsicht und die zuständigen Bezirksstadträte über die Feinstaubproblematik informiert sowie Handlungsempfehlungen zur Verbesserung der Raumluftqualität in den Schulen gegeben.

5.1.2 Gesundheitsschädliche Verunreinigungen der Außenluft

Beurteilung und Kontrolle der Luftqualität EU-weit einheitlich festgelegt

Die Europäischen Richtlinien zum Schutz vor schädlichen Luftverunreinigungen, ausführlich beschrieben in den Basisberichten 2002 (Kapitel 5, Gesundheitsschädliche Luftverunreinigungen) und 2003/2004 (Schwerpunkt 5.1.2) sind mit der Novellierung der 22. Bundesimmissionsschutz-Verordnung (22. BImSchV) über Immissionsgrenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid, Schwebstaub sowie Partikel-PM 10, Benzol, Kohlenmonoxid und Blei am 11.09.2002, geändert am 13.07.2004 und der 33. BImSchV über Immissionsgrenzwerte für Ozon zur Vermeidung von Sommersmog, Versauerung und Nährstoffeinträgen am 13.07.2004 in nationales Recht überführt worden. Damit wurde für diese Schadstoffe die Grundlage für eine einheitliche Beurteilung und Kontrolle der Luftqualität in allen Städten der Europäischen Union geschaffen.

Wie viele deutsche und europäische Großstädte steht auch *Berlin bezüglich der Einhaltung der strengen Grenzwerte ab 01.01.2005 vor einer Herausforderung*. Wird eine unzulässig hohe Luftbelastung festgestellt, ist ein Luftreinhalteplan zu erstellen.

Da mit der Umsetzung der Luftreinhalteplanung in den Jahren 1994 bis 2000 bereits erhebliche Emissionsminderungen in der Industrie sowie im Hausheizungs- und Verkehrsbereich erzielt worden sind, ist die Belastung der Berliner Luft mit den Schadstoffen Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid und Benzol schon seit Jahren kein Problem mehr. Die Immissionsgrenzwerte für diese Schadstoffe werden überall in Berlin eingehalten bzw. teilweise weit unterschritten. Die Daten hierfür liefert das automatische *Berliner Luftgüte-Messnetz (Blume)* der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung. Die Standorte der Messstationen sowie die gesundheitlich relevanten Kenngrößen der „klassischen“ Luftschadstoffe sind in den Tabellen 5.2.1 - 5.2.5 aufgeführt.

Belastung durch Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid und Benzol in Berlin seit Jahren kein Problem mehr

Durch Verbesserung der Abgastechnik und den Einsatz von erdgasbetriebenen Fahrzeugen in den zurückliegenden Jahren ist es auch gelungen, die *kanzerogenen Dieselrußimmissionen* in den vergangenen sechs Jahren *um etwa 40 % zu reduzieren*. Gemessen an der PM 10-Belastung ist die Wirkung allerdings eher gering, da die Auspuffemissionen von Dieselfahrzeugen weniger als 20 % der PM 10-Feinstaub-Gesamtkonzentration ausmachen.

Verbesserung der Fahrzeugflotte in Berlin

1.000 von 1.400 Linienbussen der BVG und 150 Fahrzeuge der Polizei sind mit Rußfiltern ausgestattet. 1.850 Fahrzeuge fahren mit Erdgas, darunter etwa 800 Taxen, 80 Fahrschulfahrzeuge, 54 Müllfahrzeuge der BSR, 9 Busse von Privatunternehmen, 212 Fahrzeuge der GASAG.

Mit dem Förderprogramm „TUT - Tausend Umwelt-Taxi für Berlin“ wird die Anzahl der erdgasbetriebenen Taxi und Fahrschulfahrzeuge in nächster Zeit auf 1.100 Fahrzeuge ansteigen.

TUT ist ein gemeinsames Projekt des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, der Senatsverwaltung für Wirtschaft, Arbeit und Frauen sowie der Gaswirtschaft. Es wird unterstützt von dem Berliner Taxigewerbe, den Automobilherstellern, dem Automobilhandel sowie den Tankstellengesellschaften.

Im Rahmen des von der EU und dem Senat geförderten Mehrstädte-Programms „TELLUS“ (Transport and Environment alliance for Urban Sustainability) werden in Berlin Nutzfahrzeuge mit Erdgasantrieb, die für die Güterverteilung im Stadtgebiet eingesetzt werden, finanziell gefördert.

Ziel der Europäischen Kommission ist es, *bis zum Jahr 2020 etwa 20 % der herkömmlichen Kraftstoffe* durch die Nutzung von Alternativen *zu ersetzen*.

Feinstaub, Stickstoffdioxid und Ozon

Als Problemfelder der Luftreinhaltung in Berlin bleiben Feinstaub (gemessen als PM 10), Stickstoffdioxid und Ozon.

Feinstaub-PM 10

Die Feinstaubbelastung war 2003 höher als in den zurückliegenden Jahren. Es ist zu beobachten, dass nicht nur an Verkehrsmessstellen Überschreitungen des 24-Stunden-Grenzwertes von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auftraten, sondern erstmals auch an allen Wohngebietsstationen, in den Bezirken Mitte und Pankow sogar an 69 Tagen. An der Stadtautobahn mussten an 117 Tagen Überschreitungen registriert werden.

Vor allem die Monate Januar bis April fielen durch erhöhte Feinstaubkonzentrationen auf. Als Gründe für die höheren Belastungen kommen ungünstige Wetterlagen in Betracht, denn diese Monate waren

durch einen hohen Anteil von Hochdruckwetterlagen und einen überdurchschnittlichen Anteil von östlichen bis südöstlichen Windrichtungen gekennzeichnet.

PM 10-Grenzwerte
2004 unzulässig häufig
überschritten

Die Messwerte aus dem Jahr 2004 zeigen im Vergleich zu 2003 eine deutliche Minimierung der PM 10-Belastung. Der Jahresmittel-Grenzwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ konnte an allen Wohngebiets- und Verkehrsmessstationen der Stadt eingehalten werden. Auch hinsichtlich des 24-Stunden-Grenzwertes hat die Häufigkeit der Überschreitungen 2004 im Vergleich zu den Werten der Jahre 2002/2003 deutlich abgenommen. Allerdings wurde auch 2004 der Grenzwert an den drei Straßenmessstellen unzulässig häufig überschritten. Die Senatsverwaltung für Stadtentwicklung ist deshalb verpflichtet, einen Luftreinhalteplan mit Maßnahmenvorschlägen aufzustellen, die zu einer nachhaltigen Verbesserung der Immissionssituation beitragen müssen.

Aktuelle Daten der WHO zu Gesundheitsgefahren durch Feinstaub:

- Erhöhung des Atemtodrisikos bei Kleinkindern von unter einem Jahr, Ursache für Husten und Bronchitis insgesamt bei Kindern,
- Verminderte Lungenfunktion bei Kindern und Erwachsenen,
- Verkürzung der Lebenserwartung hauptsächlich durch Herz-Lungen-Erkrankungen und möglicherweise von Lungenkrebs.

Die Europäische Union hat daher eine weitere *Verschärfung der Grenzwerte für Feinstaub-PM 10 im Jahre 2010* festgesetzt: Der Jahresmittelgrenzwert wird auf $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ halbiert und der 24-Stunden-Grenzwert darf nicht häufiger als 7-mal im Jahr überschritten werden (bis dahin 35-mal).

Seit 1998 ist die Ermittlung des Feinstaubes-PM 10 im Luftgüte-Messprogramm der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung integriert. Bereits im Jahre 2000 wurden Untersuchungen zur Ermittlung der *Herkunft der Feinstaub-PM10-Belastung und der Verursacheranteile* in Auftrag gegeben:

- lokaler Verkehr 26 % (11 % aus dem Auspuff, 15 % aus Abrieb von Fahrbahnoberflächen, Reifen und Bremsen, Aufwirbelung von Straßenstaub),
- Quellen im übrigen Stadtgebiet 27 % (Industrie, Hausheizung, Staub auf Baustellen, biologisches Material),
- überregionaler Ferntransport 47 % (Industrie, Verkehr, Kraftwerke, Hausheizung, Landwirtschaft, biologisches Material).

Da der Feinstaub sich über weite Strecken - also auch grenzüberschreitend - ausbreitet, stammt ein erheblicher Teil der Konzentrationen aus den Emissionen anderer Länder. Knapp die Hälfte der *PM 10-Belastung in Berlin, nämlich 47 %*, sind nicht „hausgemacht“, sondern *stammen aus o. g. Quellen des Umlandes*. Daraus resultiert, dass die Feinstaubsituation in Berlin nicht allein ein lokales Verkehrsproblem darstellt.

Mit dem Inkrafttreten der neuen - strengeren - Grenzwerte ist die Luftreinhalteplanung, insbesondere im Hinblick auf das Problem der Feinstäube-PM 10, verstärkt in das Interesse der Bevölkerung gerückt.

Verbesserung der
Luftgüte durch Luft-
reinhalte- und Akti-
onsplan für den Zeit-
raum 2005 bis 2010

In dem von der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung vorgelegten Luftreinhalte- und Aktionsplan für den Zeitraum 2005 bis 2010 werden in einer komplexen Herangehensweise die *Feinstaubproblematik umfassend analysiert und realistische Lösungswege zu einer nachhaltigen Verbesserung der Luftgüte* vorgegeben. Die Verminderung der langfristigen Feinstaubkonzentrationen und -belastung hat dabei Priorität.

Aus fachlicher Sicht werden die *Maßnahmenvorschläge*, u. a. die Option, das Befahren der Innenstadt ab 2008 nur noch Dieselfahrzeugen mit Rußfiltern zu gestatten, von der Gesundheitsverwaltung

besonders unterstützt. Damit wären auch die von außen einfahrenden (Fremd-)Fahrzeuge erfasst und nicht nur ein Teil der in Berlin zugelassenen. Kurzfristige Einzelmaßnahmen, wie lokale Verkehrsbeschränkungen, sind dagegen wenig geeignet, die Luftgüte im gesamten Stadtgebiet nachhaltig zu verbessern. Auch die Umsetzung der Maßnahmen im „Stadtentwicklungsprogramm Verkehr (StEP Verkehr)“, über die im Basisbericht 2002 auf Seite 117 informiert wurde, können die Zielstellung der Luftschadstoffminderung wirksam unterstützen. Die dort vorgeschlagenen Maßnahmen wirken grundsätzlich nicht kurzfristig, sondern mittel- und langfristig.

Stickstoffdioxid NO₂

Die NO₂-Belastung 2004 zeigt im Vergleich zu den Daten von 2003 einen leichten Rückgang der städtischen Hintergrundbelastung, während der Verkehrsbeitrag trotz Verbesserungen der Abgasminderungstechnik an Berliner Fahrzeugen im Wesentlichen unverändert sehr hoch ist. Der *Jahresmittelgrenzwert* von 40 µg/m³, der ab 2010 nicht mehr überschritten werden darf, konnte an allen Verkehrsmessstationen *nicht eingehalten* werden, wobei für die Schildhornstraße seit 2001 mit 55 und 59 µg/m³ die höchsten Konzentrationen vorliegen. Hauptverursacher sind die Dieselfahrzeuge, zu etwa 80 % schwere Lkw. Die NO₂-Belastung ist dennoch kein lokales Problem, das durch den Senat im Alleingang zu lösen wäre. Vielmehr müssen im Rahmen der europäischen Abgasvorschriften Abgasgrenzwerte festgelegt werden, die europaweit zu einer tatsächlichen Minderung der NO₂-Konzentrationen in der Praxis führen.

Verkehrsbeitrag
zur NO₂-Belastung
unverändert hoch

Ozon

Die Bildung von Ozon ist ein großräumiges Problem und muss (weiterhin) im nationalen und europäischen Rahmen gelöst werden. Nach reichlich einem Jahrzehnt rückläufiger Ozonspitzenwerte in der Bundesrepublik gab es im Jahre 2003 *mehr Ozon-Schwellenwert-Überschreitungen*. Als Grund hierfür wird die extrem hohe Hitze angegeben. Der von der WHO vorgeschlagene und in der 33. BImSchV festgesetzte Grenzwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit von 120 µg/m³ Ozon als Acht-Stunden-Mittel wurde an den Stadtrandmessstellen in Berlin an bis zu 46 Tagen überschritten. Der EU-Zielwert sieht maximal 20 Überschreitungstage im Jahre 2010 vor. Um Gesundheitsgefahren zukünftig auszuschließen, ist europaweit eine weitere Verringerung des Ausstoßes der Ozon-Vorläufer-substanzen erforderlich.