



Kohlendioxid – Konzentrationen (CO₂) in ausgewählten Bremer Schulen



Impressum

Kohlendioxid – Konzentrationen (CO₂) in ausgewählten Bremer Schulen

Bericht über ein Untersuchungsprojekt
des Referats Umwelthygiene im Bremer Gesundheitsamt

GBE - Praxisbericht

Herausgeber:

Gesundheitsamt Bremen
Abteilung Gesundheit & Umwelt
Horner Str. 60 – 70
28203 Bremen

Verantwortlich:

Dr. Joachim Dullin (Abt. Gesundheit & Umwelt)

Text:

Ina Schaefer (Ref. Umwelthygiene)
Matthias Ross (Ref. Umwelthygiene)

Bei Frau Stefanie Precht bedanken wir uns ganz herzlich für die Organisation und Durchführung der Untersuchungen im Rahmen ihres Praktikums. Ebenso herzlich bedanken wir uns für die Bereitschaft zur Teilnahme und Unterstützung bei den beteiligten Schulen.

Redaktion:

Winfried Becker (Ref. Kommunale Gesundheitsberichterstattung)
Dr. Bettina Kaiser (Ref. Umwelthygiene)

Kontakt:

Tel.: 0421/361 – 15190
E-Mail: umwelthygiene@gesundheitsamt.bremen.de
Internet: <http://www.gesundheitsamt.info>

Erscheinungsdatum: April 2007

Anmerkung: Neben den umfassenden thematischen Berichten der Kommunalen Gesundheitsberichterstattung erscheinen auch Berichte aus anderen Fachreferaten des Gesundheitsamtes. Diese Berichte aus der Praxis in Zusammenarbeit mit der GBE sollen insbesondere der Fachöffentlichkeit Arbeitsansätze, Projekte und Untersuchungsergebnisse in kompakter Form vorstellen und zur Diskussion beitragen.



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung

Einleitung

1. Gesundheitliche Bedeutung erhöhter CO₂ – Konzentrationen

Wirkungsuntersuchungen
Expositionsuntersuchungen

2. Untersuchungen in Bremer Schulgebäuden

Ansatz und Zielsetzungen
Messplanung und Durchführung

3. Ergebnisse der CO₂ – Messungen in Bremer Klassenräumen

CO₂ – Messungen bei Lüftung nach freier Wahl
CO₂ – Messungen bei Lüftung nach Vorgabe

4. Diskussion und Ausblick

Literatur

Anlagen (nur online unter www.gesundheitsamt.info)

Lüftungsrelevante Charakteristika der beteiligten Schulgebäude
Erhebungsbogen

Zusammenfassung

Aus verschiedenen Untersuchungen ist bekannt, dass die Luftqualität in Unterrichtsräumen – gemessen an der Kohlendioxid-Konzentration (CO₂-Konzentration) - vor allem in den Wintermonaten unzureichend ist. Daraus können bei Lehrenden und Lernenden Müdigkeit oder Konzentrationsschwächen resultieren.

Einfaches Mittel zur Begrenzung der CO₂-Konzentration ist die regelmäßige Lüftung. Zur Frage der Effektivität der Lüftung wurden Untersuchungen in sieben Bremer Schulen durchgeführt. Es ist zu schlussfolgern, dass die alleinige Lüftung in den Pausen grundsätzlich nicht ausreichend ist. Effektiv ist eine Dauerlüftung über weit geöffnete Fenster oder die Dauerkippstellung mehrerer Fenster und zusätzliche Pausenlüftung. Aus energetischen Gründen muss aber die Dauerlüftung bzw. die Dauerkippstellung auf die Monate außerhalb der Heizperiode beschränkt werden.

Mit diesen Ergebnissen soll der Einstieg in einen Dialog mit allen Beteiligten gesucht werden, die für die Lüftung in Schulen verantwortlich sind. Ziel ist die Entwicklung verschiedenster Vorschläge für die Organisation eines adäquaten Lüftungsverhaltens.



Einleitung

In den vergangenen 15 Jahren bezog sich die Diskussion um die Innenraumluftqualität in öffentlichen Gebäuden in der Hauptsache auf Fremd- bzw. Schadstoffe, die durch die Einrichtung und/oder durch Baumaterialien eingetragen wurden. Diese ging häufig einher mit verbesserten Analyseverfahren sowie neuen toxikologischen bzw. epidemiologischen Erkenntnissen.

Seit ca. drei Jahren rücken verstärkt Themen in den Vordergrund, die bereits im letzten Jahrhundert diskutiert wurden, die sozusagen „ein alter Hut“ sind. Schon damals wurde in Publikationen (Burgerstein und Netolitzky 1902; Schumacher 1911) auf Maßnahmen und Erfordernisse zur Raumakustik, zum Raumklima und zur Belüftung von Klassenzimmern hingewiesen, die mit den aktuell geführten Diskussionen noch immer weitgehend übereinstimmen. Dabei entsteht der Eindruck, dass auch durch die Reduktion allgemeiner Standards (z.B. Herabsetzung von Reinigungshäufigkeiten, Verringerung der Raumvolumina, Erhöhung von Klassenfrequenzen) diese Fragestellungen neue Aktualität gewinnen (Eickmann und Herr 2005).

Die Belüftung von Klassenzimmern war schon vor 100 Jahren ein Thema und gewinnt durch die Veränderung verschiedener Standards neue Aktualität.

1. Gesundheitliche Bedeutung erhöhter CO₂-Konzentrationen

Wirkungsuntersuchungen

In Deutschland wurden keine epidemiologischen Untersuchungen durchgeführt, die auf die Frage der gesundheitlichen Wirkungen von CO₂ - Belastungen ausgerichtet sind. Ein Grund dafür kann sein, dass die CO₂ - Konzentration als Indikator für organische Ausdünstungen durch Menschen verwendet wird, ohne selbst toxikologisch besonders bedeutend zu sein.

Die Beurteilung der CO₂-Konzentration in Innenräumen stützt sich stets auf die schon Mitte des 19. Jahrhunderts veröffentlichte „Pettenkofer-Zahl“ von 1000 ppm CO₂ in der Raumluft als Indikator für die Luftqualität. Inzwischen wird zwar anstelle der Pettenkofer-Zahl meist die in der (nicht mehr gültigen) DIN 1946-2 festgelegte Konzentration von 1500 ppm zu Grunde gelegt¹. Allerdings garantiert diese Konzentration im Gegensatz zur Pettenkofer-Zahl keine vollständige Geruchsfreiheit. Der hygienische Zielwert liegt daher nach wie vor bei 1000 ppm.

Auch international gibt es keine ausschließlich auf die CO₂-Belastung bezogene Wirkungsstudie. Dagegen liegen zu Innenraumluft-Bedingungen, gemessen an verschiedenen Faktoren wie Temperatur, relativer Luftfeuchte, flüchtigen organischen Verbindungen (VOC), Stickoxiden (NO_x) etc. Wirkungsuntersuchungen vor. So konnten in eine Literaturstudie von Mendell und Heath (2005) insgesamt 500 Arbeiten, vielfach aus dem amerikanischen Raum, einbezogen werden. Im Ergebnis sehen die Autoren Hinweise dafür, dass sich schlechte Innenraumluft-Bedingungen ungünstig auf die Lernbereitschaft und Leistung der Schülerinnen und Schüler auswirken. Nach Empfehlung der Autoren sollten Abhilfemaßnahmen auch die Belüftung umfassen.

¹ An Stelle der DIN 1946-2 gilt inzwischen die DIN EN 13779: Lüftung von Nichtwohngebäuden. Darin werden unterschiedliche Raumluftqualitätsklassen unterschieden, die u.a. durch die CO₂-Konzentration klassifiziert werden. Für eine mittlere Raumluftqualität (RAL 3) darf die CO₂-Konzentration gegenüber der Außenluft (ca. 400 ppm in Stadtzentren) um 600 –1000 ppm ansteigen. Bei einem Anstieg um mehr als 1000 ppm wird die Raumluftqualität als niedrig (RAL 4) klassifiziert.



Ein aktuelles Projekt des Instituts für interdisziplinäre Schulforschung der Universität Bremen (Tiesler et al. 2006) greift den Zusammenhang zwischen der CO₂-Konzentration in Klassenräumen und der Ermüdung, Leistungsfähigkeit und Aufmerksamkeit von Schülerinnen, Schülern und Lehrkräften auf. Es ist vorgesehen, eine Untersuchung durchzuführen, die die Wirkung einer Verbesserung des Raumklimas (Minderung des CO₂-Gehalts) sowie der Einführung von Kurzpausen auf das Leistungsvermögen erforscht.

Unabhängig der Ergebnisse weiterer Wirkungsuntersuchungen ist aus Sicht des Umweltbundesamtes (2000) unstrittig, dass ab Konzentrationen von 1500 ppm CO₂ z.B. mit Müdigkeit, Konzentrationschwäche sowie mit Belästigungen durch Körpergerüche zu rechnen ist. Weiterhin geben ab dieser Konzentration bereits ca. 35 % der Nutzenden Unzufriedenheiten mit der Luftqualität an (BBGes Berlin 2004).

Es ist unstrittig, dass ab Konzentrationen von 1500 ppm CO₂ z.B. mit Müdigkeit, Konzentrationschwäche sowie mit Belästigungen durch Körpergerüche zu rechnen ist.

Expositionsuntersuchungen

In jüngerer Zeit wurden von Landesbehörden und Kommunen Untersuchungsberichte publiziert, die sich mit der Innenraumluftqualität in Schulen befassen². Neben anderen hygienisch relevanten Faktoren beschäftigen sich diese Projekte mit der CO₂-Konzentration in Klassenräumen, die als übliches Stoffwechselprodukt bei unzureichender Lüftung in Gemeinschaftsräumen schnell ansteigt. In den Untersuchungen wurde die CO₂-Konzentration während des laufenden Unterrichts gemessen, wobei verschiedene Einflussfaktoren, insbesondere die Lüftung, variiert wurden.

Als Ergebnis wurde festgestellt: In den Wintermonaten werden bei einem überwiegenden Teil der Messungen in Klassenräumen während des Unterrichts 1500 ppm CO₂ überschritten. Die gemessenen Konzentrationen variieren in Höhe und Dauer³.

Dieses Ergebnis entspricht im Wesentlichen den Erwartungen: Im Winter wird auf Grund der geringeren Außentemperatur seltener gelüftet als im Sommer. Allerdings wären bei älteren Fenstern auf Grund der Fugenlüftung eher geringere CO₂ - Konzentrationen zu erwarten gewesen. Möglicherweise wird aber gerade bei älteren Fenstern durch Defekte an den Fensterbeschlägen das Lüftungsverhalten zusätzlich erschwert.

Als Abhilfemaßnahmen wird neben Vorschlägen z.B. für eine Senkung der Belegungszahlen und baulichen Maßnahmen (NLGA 2006) insbesondere eine Verbesserung des Lüftungsverhaltens empfohlen. Seitens der Länderarbeitsgruppe Umweltbezogener Gesundheitsschutz (LAUG) wurde im September 2005 entsprechend festgestellt: „... derzeit laufende bzw. bereits abgeschlossene Untersuchungen zur Belastung der Innenraumluft von Schulräumen mit Kohlendioxid und Feinstäuben in mehreren Bundesländern haben übereinstimmend große Defizite hinsichtlich einer ausreichenden Innenraumluftqualität in Schulen aufgezeigt. Empfehlungen der Ländergesundheitsbehörden zum richtigen Lüften und zur Verminderung der Staubbelastung in Schulen werden offensichtlich nicht konsequent umgesetzt. Vor diesem

² BBGes Berlin 2004; Niedersächsisches Landesgesundheitsamt 2006; Stadtgesundheitsamt Frankfurt 2006; Bayrisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit 2006

³ Regressionsanalysen des Niedersächsischen Landesgesundheitsamtes (2002, ergänzende Korrekturen 2004) ergaben die stärksten Zusammenhänge für die Jahreszeit (CO₂ - Konzentration im Winter höher als im Sommer), die Außentemperatur (CO₂ - Konzentration geringer bei höherer Außentemperatur) und dem Alter der Fenster (CO₂ - Konzentration höher bei älteren Fenstern). Deutliche Zusammenhänge zeigten sich auch mit dem Alter der Schülerinnen und Schüler (CO₂ - Konzentration steigt mit dem Alter an).



Hintergrund sehen es die Gesundheitsbehörden als dringend erforderlich an, dass im Schulbereich mehr Verständnis für hygienische Anforderungen an Lüftung und Reinigung hergestellt wird.“

Zur Ausführung der Lüftung hatte das Umweltbundesamt bereits 2000 ausgeführt, dass mindestens in jeder Pause durch Stoßlüftung gelüftet werden sollte. Der Berliner Betrieb für Zentrale gesundheitliche Aufgaben (BBGes) und das Niedersächsische Landesgesundheitsamt empfehlen zusätzlich eine Lüftung vor und nach dem Unterricht. Allerdings wird seitens des BBGes darauf hingewiesen, dass die Stoßlüftung vor Unterrichtsbeginn und in den Pausen zwar eine starke Verringerung der durchschnittlichen CO₂-Konzentrationen bewirkt, die Pettenkofer-Zahl von 1000 ppm aber immer noch zu 2/3 der Unterrichtszeit und der DIN-Wert von 1500 ppm zu ca. 1/3 überschritten werden. Aktuelle Untersuchungen des Stadtgesundheitsamtes Frankfurt (2006) bestätigen diese Ergebnisse, so dass aus hygienischer Sicht zumindest in der Heizperiode nicht nur die konsequente Lüftung während der Pausen, sondern auch zusätzliche Lüftungen während des Unterrichts erforderlich sind.

Die CO₂ – Konzentrationen in Klassenzimmern sind vor allem in den Wintermonaten zu hoch und steigen mit dem Alter der Schülerinnen und Schüler an. Die vorliegenden Erkenntnisse reichen daher aus, um im Sinne des vorbeugenden Gesundheitsschutzes auf eine Verbesserung der Innenraumluft und damit der Lüftung in Gemeinschaftsräumen wie Schulen, Kindertagesstätten etc. hinzuwirken. Aus hygienischer Sicht ist ein regelmäßiger Luftaustausch vor und nach dem Unterricht bzw. in allen Pausen Mindestvoraussetzung für die Begrenzung der CO₂-Konzentration.

2. Untersuchungen in Bremer Schulgebäuden

Ansatz und Zielsetzungen

Alle zuvor angesprochenen Expositionsuntersuchungen belegen eindrucksvoll, dass während der Wintermonate selbst die als Minimalstandard zu bezeichnende Lüftung vor und nach dem Unterricht und in allen Pausen eher unüblich ist. Je nach Klassenstufe bestehen unterschiedliche organisatorische Umsetzungsschwierigkeiten, für die keine einfache Lösung auf der Hand liegt.

Zum Beispiel:

- In Grundschulen wird der Unterricht zunehmend als Block über 2 Unterrichtsstunden (90 min) konzipiert. In den Kurzpausen verlassen die Kinder nicht mehr die Klassenräume.
- In weiterführenden Schulen müssen vor allem die Lehrkräfte, häufig auch die Jugendlichen, die Pausen zum Raumwechsel nutzen. Eine Pausenaufsicht, die aus Sicht der Versicherungsträger wegen der erhöhten Unfallgefahr bei voll geöffneten Fenstern ggf. erforderlich wäre, steht nicht zur Verfügung.
- Wegen der Drehsperren, für die häufig nur an zentralen Stellen Schlüssel existieren, können Fenster nicht voll geöffnet werden. Gleiches gilt für Fenster mit defekten Beschlägen.

Eine ausreichende Lüftung von Klassenräumen ist daher nicht nebenbei, quasi von selbst, zu erzielen. Vielmehr muss die Lüftung (ebenso wie z.B. das Reinigen der Tafel) Teil des Unterrichts werden. Das Niedersächsische Landesgesundheitsamt (2006) schlägt hierfür den Aufbau von Lüftungsdiensten analog der Tafeldienste vor.

Zunächst muss aber über eine entsprechende Informationsarbeit das Verständnis um die Notwendigkeit einer regelmäßigen Lüftung entwickelt werden. Erst in einem zweiten Schritt können dann Vorschläge für ein in den Unterricht integriertes Lüftungsverhalten im Dialog mit den Lehrenden und Lernenden entwickelt und an die individuellen Rahmenbedingungen angepasst werden.



Vor diesem Hintergrund hielten wir es für sinnvoll, einen konkreten bremischen Bezug herzustellen und im Rahmen eines eigenen Untersuchungsprojektes Messergebnisse zu gewinnen, die den Nutzen, aber auch die Grenzen einer konsequenten „Pausenlüftung“ aufzeigen.

Mit den Untersuchungen in Bremer Schulen soll der Einstieg in einen Dialog mit den Lehrenden und Lernenden an Bremer Schulen gesucht werden. Die Untersuchungsergebnisse sollen einerseits als Grundlage für die Information über den Zusammenhang zwischen Raumluftqualität und Lüftung verwendet werden. Andererseits sollen die Ergebnisse Hinweise für den Umfang der erforderlichen Lüftung geben.

Messplanung und Durchführung

Die Messungen erfolgten im Rahmen eines studienvorbereitenden Praktikums (6 Wochen) für den Bachelorstudiengang Public Health/ Gesundheitswissenschaften an der Universität Bremen. Das Praktikum war dem Semesterbeginn vorangestellt, wurde also von August bis September 2006 durchgeführt.

Es wurden sieben unterschiedliche Schulgebäude, die für Bremen „typisch“ sind, ausgewählt:

	Baujahr	Bautyp
1	1868-1880	Klassischer Altbau
2	ca. 1960	H-Bau ⁴ /Hochtrakt
3	1963	H-Bau
4	1969	H-Bau/ Pavillon
5	1975	Schulzentrumsbau
6	1995/96	Schultypenneubau ⁵
7	1998	Neubau

Die Schulleitungen wurden gebeten, in diesen Gebäuden für die Messung je einen unter folgenden Aspekten ausgewählten Klassenraum zur Verfügung zu stellen:

- Ausrichtung möglichst nach Nord-Westen (Vermeidung einer zu hohen Sonneneinstrahlung)
- Lage des Raumes bei Gebäuden mit 2 Etagen im 1.OG
- Lage des Raumes bei mehrstöckigen Gebäuden in der mittleren Etage
- Belegungsdichte, Nutzung und Ausstattung des Raumes sollten „typisch“ für das jeweilige Gebäude sein

In jeder Schule wurde an zwei Tagen in dem ausgewählten Raum gemessen. Die während der gesamten Untersuchung in den Klassen anwesende Praktikantin protokollierte das Lüftungsverhalten. Am ersten Tag wurde „wie gewöhnlich“ gelüftet, also so, wie die Lüftung zu dieser Jahreszeit (Sommermonate) im Allgemeinen gehandhabt wird. Am zweiten Tag wurde die Lüftung nach „Plan bzw. Vorgabe“ durchgeführt. Es wurde vorgegeben, dass vor dem Unterricht und in allen Pausen ein maximaler Luftaustausch (alle Fenster und Türen so weit wie möglich öffnen) durchgeführt wird. Die Dauer der Unterrichtsstunden wurde dabei nicht berücksichtigt, so dass bei Einzelstunden alle 45 min und bei Doppelstunden alle 90 min gelüftet wurde.

⁴ Vielfach in Bremen realisiertes Schulgebäude, dessen Grundriss die Form eines ‚H‘ hat.

⁵ Mitte der 90er-Jahre entwickelter Entwurf, der auf Basis eines additionsfähigen Moduls Grundlage für verschiedene Schulneubauten bildete.



Als Messinstrument wurde das Messgerät TESTO 650 mit CO₂-Fühler sowie Temperatur- und Feuchtefühler verwendet. Die Messwerte wurden über das angeschlossene Notebook für die gesamte Unterrichtszeit aufgezeichnet. Außerdem wurde ein Erhebungsbogen zur Beschreibung des Klassenraums und der Aktivitäten während der Unterrichtszeiten ausgefüllt.

3. Ergebnisse der CO₂- Messungen in Bremer Klassenräumen

Die ausgewählten Klassenräume unterscheiden sich in zahlreichen Faktoren, die direkten oder indirekten Einfluss auf die CO₂-Konzentration ausüben. Dies sind beispielsweise die Anzahl und das Alter der Schülerinnen und Schüler (und damit die CO₂-Abgabe), das Raumluftvolumen, die effektive Lüftungsfläche und der natürliche Luftwechsel des Gebäudes. Weiterhin gibt es auch Einflussfaktoren außerhalb der Gebäude, wie zum Beispiel die Windstärke und die Temperaturdifferenz zwischen der Innen- und Außenluft.

Die Auswertung der Messergebnisse muss sich wegen der geringen Gesamtzahl der untersuchten Gebäude (n=7) auf eine Auswertung zur Häufigkeitsverteilung der gemessenen CO₂-Konzentrationen beschränken. Eine statistische Auswertung hinsichtlich einzelner Einflussfaktoren, wie z.B. der Lüftungsfläche, die für künftige Planungen interessant wäre, ist leider nicht möglich.

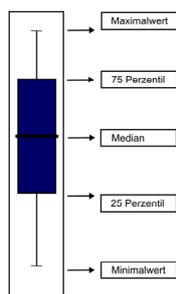
CO₂-Messungen bei Lüftung nach freier Wahl

Entsprechend der Jahreszeit herrschten bereits am Morgen zu Schulbeginn jeweils relativ milde Außentemperaturen, als geringste Temperatur wurden 9,8 °C gemessen. Der maximale Tageswert lag bei 24,6 °C.

Bei Lüftung nach „freier Wahl“ (die Lehrkräfte wurden gebeten, wie sonst auch üblich zu lüften) wurden **in allen Klassen** (in jeweils unterschiedlicher Anzahl) Fenster und/oder Oberlichter **durchgehend auf Kipp gestellt**. Alle beteiligten Lehrkräfte gaben an, dass dies dem üblichen Lüftungsverhalten entspreche und davon nur bei extrem geringen Außentemperaturen abgewichen werde. Teilweise erfolgte eine zusätzliche volle Öffnung der Fenster in den Pausen, je nachdem, ob der Unterricht als Einzel- oder Doppelstunde organisiert ist, alle 45 bzw. 90 Minuten.

Diese Angaben sind für die Sommermonate und unter der Voraussetzung einer geringen Außenlärmbelastung plausibel. Inwieweit tatsächlich in allen Schulen während der Sommermonate eine Dauerkippstellung der Fenster Standard ist, kann aber aus diesen Ergebnissen nicht abgeleitet werden, bzw. ist auf Grund unserer Erfahrungen als eher unwahrscheinlich anzusehen. Möglich ist, dass die Untersuchungssituation zu einem veränderten Lüftungsverhalten geführt hat. Möglich ist außerdem, dass von den Schulleitungen besonders diejenigen Lehrkräfte für die Untersuchung angesprochen wurden, die für Fragen zur Luftqualität ohnehin sensibilisiert sind und daher häufiger oder auch dauerhafter lüften als im Durchschnitt üblich.

Erklärung zu den Boxplot-Diagrammen



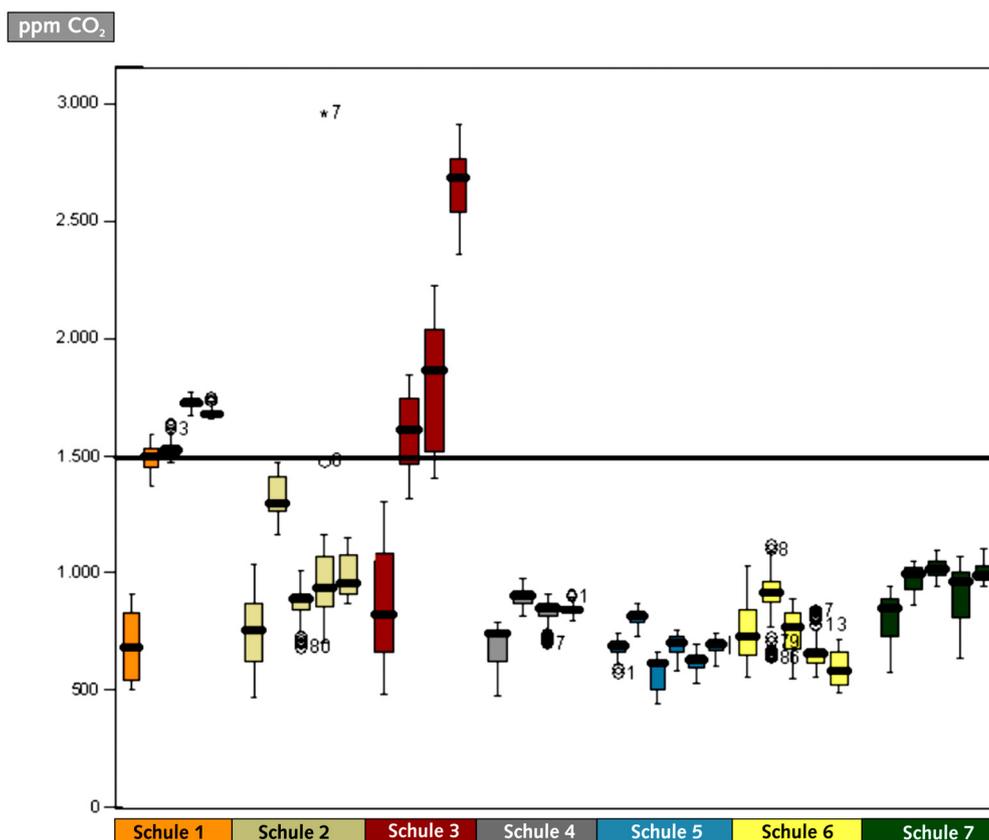
Die CO₂-Konzentrationen werden in einem Boxplot-Diagramm dargestellt. Es zeigt die Lage und Streuung der einzelnen Messwerte an. Die „Box“ umfasst die mittleren 50 % der Messungen, die für die Unterrichtsstunden im 30 sec Takt erhoben wurden. Der Balken in der Box gibt den Median der Messwerte an. Ein Median über 1500 ppm bedeutet, dass dieser Messwert in mehr als der Hälfte der Einzelmessungen und damit zugleich in mehr als der Hälfte der Unterrichtszeit überschritten wird. Neben den beiden Extremwerten (geringste und höchste CO₂-Konzentration) werden ggf. auch Ausreißer (z.B. wenn Schüler bzw. Schülerinnen direkt in das Messgerät gepustet haben) als einzelne Punkte dargestellt.



Die Frage u.a. nach dem Lüftungsverhalten wurde als Sondererhebung im Rahmen der Hospitationen in allen ersten Schulklassen durch den schulärztlichen Dienst des Gesundheitsamtes Bremen im Herbst 2006 gestellt. Nach diesen Ergebnissen wird überwiegend nach Bedarf (85 %) und nicht in festgelegten Abständen („nach Plan“) gelüftet. Eine Stoßlüftung wird nur von 7,4 % der Lehrkräfte und eine Querlüftung nur von 4,8 % der Lehrkräfte durchgeführt. Eine Kippstellung der Fenster ist bei 45 % der befragten Lehrkräfte die Regel (Gesundheitsamt Bremen 2007).

Fraglich ist aber, ob die Kippstellung als übliches Lüftungsverhalten auch im Temperaturbereich zwischen 0 °C und 10 °C (einer noch nicht als extrem kalt zu beschreibenden Außentemperatur) beibehalten wird. Aus unserer Sicht ist wahrscheinlich, dass aus Gründen der Behaglichkeit, aber auch aus energetischen Gründen ⁶ nicht nur bei sehr kalten Außentemperaturen, sondern bereits ab dem Bereich von < 10 °C die Fenster vielfach nicht mehr auf Dauerkipp gestellt werden.

Abb. 1: Lüften nach freier Wahl: Statistische Häufigkeitsverteilung der CO₂-Konzentrationen für einzelne Unterrichtsstunden (Einzel- und Doppelstunden) (n=34)



Wie aus Abbildung 1 ersichtlich, kann die Luftqualität bei „Lüften wie sonst auch üblich“, gemessen an der CO₂-Konzentration und bezogen auf die einzelnen Unterrichtsstunden, während des Sommer bei warmen Außentemperaturen überwiegend als gut bis akzeptabel bewertet werden. In den meisten Unterrichtsstunden (n= 22 entsprechend 65 %) werden auch im Median 1000 ppm CO₂ nicht überschritten.

⁶ Bereits seit 1994 gibt es in Bremen das Projekt 3/4 Plus zur Wasser- und Energieeinsparung an Schulen. Zu diesem Zweck werden eingesparte Energiekosten anteilig an die Schulen ausgeschüttet. Ein Anreiz, der sicher mit zum Erfolg des Projektes beiträgt.

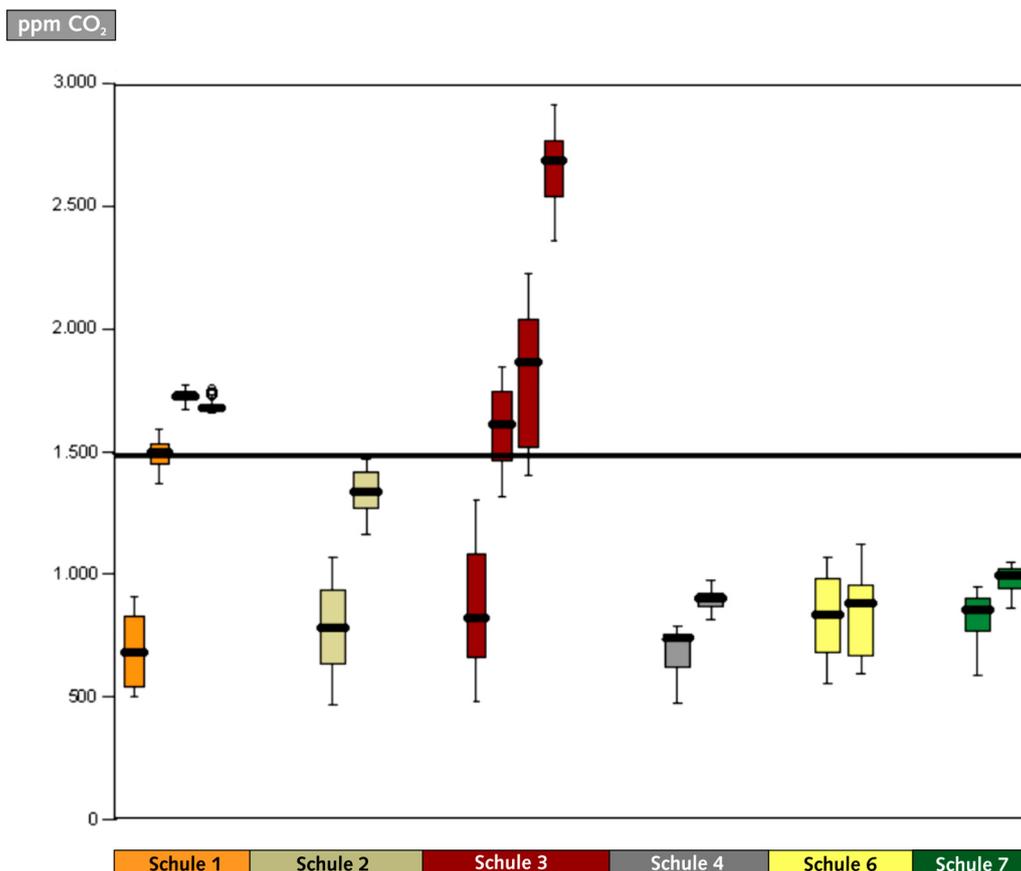


In 7 Unterrichtsstunden (21 %) wurden dennoch im Median CO₂-Konzentrationen > 1500 ppm festgestellt. Bei diesen Unterrichtsstunden handelt es sich um Messungen an relativ warmen, windstillen Tagen (Schule 4), in denen teilweise während des Unterrichts auch getobt wurde (Schule 4), nur einzelne Fenster gekippt wurden (Schule 4 und 7) und auch während der Pausen die Fenster nicht voll geöffnet wurden.

Die Dauerkippstellung der Fenster und der Oberlichter kann im Hinblick auf die CO₂-Konzentration (nicht unter energetischen Aspekten!) als effektiv bewertet werden. Voraussetzung scheint allerdings die Öffnung einer ausreichenden Anzahl Fenster und/oder Oberlichter sowie die zusätzliche Lüftung in den Pausen über weit geöffnete Fenster besonders an warmen, windstillen Tagen zu sein.

Die Bedeutung der zusätzlichen Pausenlüftung mit weit geöffneten Fenstern wird auch deutlich bei einer Betrachtung der CO₂-Konzentrationen im Verlauf von Doppelstunden:

Abb. 2: Lüften nach freier Wahl: Statistische Häufigkeitsverteilung der CO₂-Konzentrationen im Verlauf von Doppelstunden (Blockunterricht über 90 min) (n=8)



Der in Abbildung 2 dargestellte Vergleich der Ergebnisse von Doppelstunden zeigt für den ersten Teil der Doppelstunden (jeweils linke Box) im Median, den Quartilen und den Extremwerten (teils deutlich) geringere Konzentrationen als im 2. Teil der Doppelstunden (jeweils rechte Box pro Schule). Selbst bei dauerhaft gekippten Fenstern steigen somit die CO₂-Konzentrationen im Laufe von Blockstunden vielfach beträchtlich an. In einer Schule (mit nur einem Fenster auf Kipp) werden im 2. Teil der Doppelstunde 2500 ppm im Median überschritten.

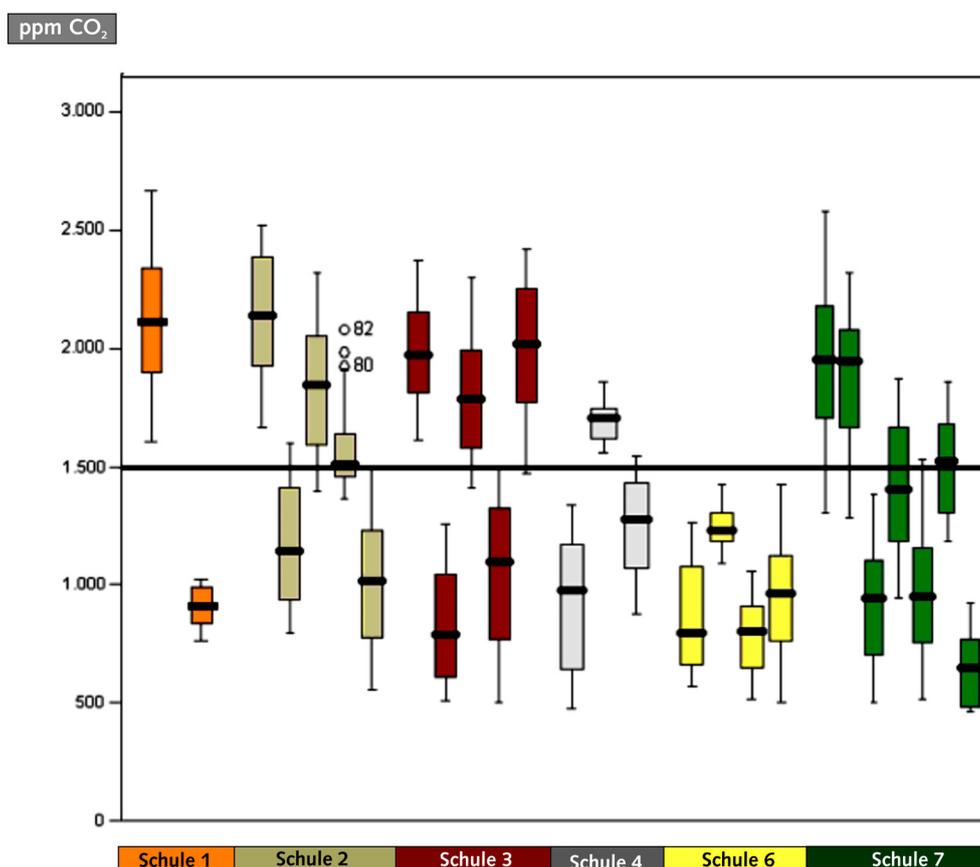


Die CO₂-Konzentration steigt im Laufe von Doppelstunden selbst bei dauerhaft auf Kipp gestellten Fenstern vielfach beträchtlich an.

CO₂-Messungen bei Lüftung nach Vorgabe

Als „Lüftung nach Vorgabe bzw. Plan“ wurde die Empfehlung zur maximalen Lüftung vor dem Unterricht sowie in allen Pausen bei **weit** geöffneten Fenstern realisiert. Die Umsetzung der Empfehlung wurde durch persönliche Anwesenheit sichergestellt, konnte aber auf Grund der baulichen Bedingungen (z.B. waren einige Fenster wegen Defekten an den Beschlägen oder abgeschlossener Drehsperren nicht voll öffenbar) nicht in allen Fällen umgesetzt werden. Außerdem wurde, wie bei den Messungen mit „Lüften wie üblich“, in einigen Schulen der Unterricht als Blockunterricht über 90 Minuten und ohne Pausen durchgeführt.

Abb. 3: Lüften nach Vorgabe: Statistische Häufigkeitsverteilung der CO₂-Konzentrationen für einzelne Unterrichtsstunden (Einzel- und Doppelstunden) (n=26)⁷



Nach Abbildung 3 wird im Median der lufthygienische Zielwert von 1000 ppm nur in 3 der untersuchten Unterrichtsstunden (entsprechend 12%) unterschritten. In 11 Stunden (entsprechend 42%) liegt die CO₂-Konzentration in Unterrichtsstunden im Median zwischen 1000 - 1500 ppm. In 12 Stunden

⁷ Lüften nach Plan wurde jeweils am 2.Tag der Untersuchung an einem Standort durchgeführt: Die Zahl der gemessenen Unterrichtsstunden reduzierte sich an diesen Tagen zufällig, da mehr Stunden ausfielen bzw. es wurde teilweise nur in Halbgruppen unterrichtet, so dass diese Ergebnisse nicht bewertet werden konnten. Außerdem war in einem Klassenraum ein Fensterbeschlag defekt, so dass dieses nicht vollständig geschlossen werden konnte und entsprechend auch diese Ergebnisse verworfen werden mussten.

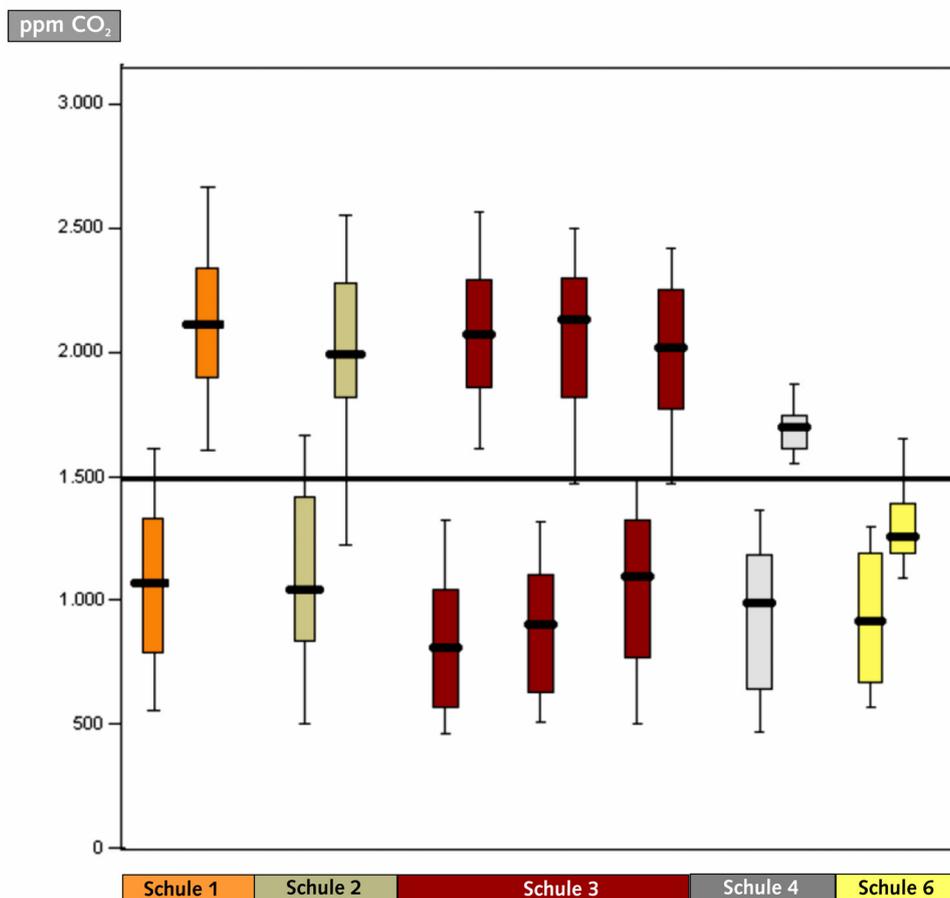


(entsprechend 46 %) werden sogar 1500 ppm im Median überschritten, davon in 6 Stunden sogar auf über 2000 ppm.

Die Messergebnisse zeigen, dass die Pausenlüftung bzw. die konsequente Lüftung vor und nach allen Unterrichtsstunden als Voraussetzung für eine gute bzw. akzeptable Luftqualität in Klassenräumen in der Regel nicht ausreichend ist.

Vor diesem Hintergrund stellen die CO₂-Konzentrationen bei Blockunterricht in Form von Doppelstunden, in denen ohne Unterbrechung unterrichtet wird, zwangsläufig ein besonderes Problem dar:

Abb. 4: Lüften nach Vorgabe: Statistische Häufigkeitsverteilung der CO₂-Konzentrationen im Verlauf von Doppelstunden (Blockunterricht über 90 min) (n=7)



Nach Abbildung 4 liegen die Maximalwerte mit einer Ausnahme in der 2. Hälfte der Doppelstunden immer über 1500 ppm. In vier der sieben untersuchten Doppelstunden liegt der Median über 2000 ppm.

Insbesondere bei Blockunterricht ist die Pausenlüftung selbst bei konsequenter Umsetzung nicht ausreichend.



4. Diskussion und Ausblick

Zusammenfassend kann aus den vorliegenden Untersuchungsergebnissen abgeleitet werden, dass für die Begrenzung der CO₂-Konzentration während des Unterrichts neben der Pausenlüftung auch eine Dauerkippstellung der Fenster durchgeführt werden sollte.

Die Einschränkung der Lüftung auf die Pausenzeiten ist auch bei konventioneller Unterrichtsorganisation über 45 min nicht ausreichend. Zudem sind Doppelstunden hinsichtlich der CO₂-Konzentrationen besonders problematisch zu bewerten. Zugleich haben wir im Laufe der Untersuchung den Eindruck gewonnen, dass diese Unterrichtsorganisation zunimmt und auch in Grundschulen nicht ungewöhnlich ist. Insofern muss gerade hier in der Heizperiode für eine Organisation geworben werden, die kurzzeitiges Lüften während des laufenden Unterrichts vorsieht.

Aus lufthygienischer Sicht wäre zur Begrenzung der CO₂-Konzentration während des ganzen Jahres eine Dauer(quer)lüftung (Fenster weit geöffnet oder zumindest Kippstellung möglichst vieler Fenster und/oder Oberlichter) **und zusätzlich** eine Pausenlüftung mit weit geöffneten Fenstern zu empfehlen. Zu beachten ist allerdings, dass gegen die Dauerkippstellung auch andere Gründe, wie z.B. die Außenlärmbelastung, sprechen können.

Aus energetischer Sicht (und auch, um adäquate Raumlufttemperaturen herzustellen und Zugerscheinungen zu vermeiden) muss dieses Lüftungsverhalten in jedem Fall auf die Zeit **außerhalb der Heizperiode** begrenzt werden. Während der Heizperiode sollten aber neben der Pausenlüftung kurzzeitig auch Fenster während des laufenden Unterrichts weit geöffnet werden.

Für die Diskussion um die Umsetzung eines adäquaten Lüftungsverhaltens mit den Nutzerinnen und Nutzern ergeben sich daher zwei Schwerpunkte:

1. Wie kann während des gesamten Schuljahres die konsequente Durchführung der Pausenlüftung umgesetzt werden? Welche organisatorischen Möglichkeiten gibt es hierfür?
2. Wie kann vor allem in der Heizperiode während des gesamten Jahres eine kurzzeitige Öffnung der Fenster im laufenden Unterricht organisatorisch sichergestellt werden?

Diese Fragen können nicht aus umwelthygienischer Sicht beantwortet werden. Sie sind vielmehr nur mit Hilfe der Schulen selbst zu lösen. Es ist absehbar, dass dabei jeweils die spezifischen Besonderheiten der Standorte berücksichtigt werden müssen. Es wird daher keine einheitliche Antwort oder „Lösung“ geben können, sondern eher einen „Strauß“ an Möglichkeiten, die jeweils individuell anzupassen sind. Als Anknüpfungspunkt sind u.E. die bereits in der Diskussion befindlichen Vorschläge geeignet: Die Organisation von Lüftungsdiensten, die Sensibilisierung über Lüftungsampeln, die Durchführung von Lüftungswettbewerben sowie die Festschreibung von Lüftungsregeln in der Schulordnung und damit einhergehend die Benennung von Verantwortlichkeiten.

Wir freuen uns auf eine lebhafte Diskussion mit allen, die Berührungspunkte zu diesem Thema haben oder direkt davon betroffen sind. Wir wünschen uns, dass mit dieser Untersuchung ein Diskussionsprozess angestoßen wird, der zur Entwicklung verschiedenster Vorschläge und deren Umsetzung für die Organisation eines adäquaten Lüftungsverhaltens und letztlich zu einer besseren Raumluftqualität in Unterrichtsräumen führt.



Literatur

Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (2006). Frische Luft an bayerischen Schulen. Untersuchungen zur Verbesserung der Luftqualität (vorläufige Zusammenfassung). http://www.lgl.bayern.de/gesundheit/umweltmedizin/doc/luft_ergebnisse.pdf [29.11.2006]

Berliner Betrieb für Zentrale Gesundheitliche Aufgaben (BBGes Berlin) (2004). Dicke Luft im Klassenzimmer? Innenraumluftqualität in Berliner Schulen. http://www.bbges.de/content/fileadmin/res_bbges/dicke-luft.pdf [12.02.2007]

Burgerstein L, Netolitzky A (1902). Handbuch der Schulhygiene. Jena: Gustav Fischer

DIN EN 13779 (2005): Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen an Lüftungs- und Klimaanlageanlagen. Berlin: Beuth

DIN 1946-2 Deutsches Institut für Normung (1994): VDI-Lüftungsregeln, Raumlufttechnik – gesundheitstechnische Anforderungen. Berlin: Beuth

Eickmann T; Herr C (2005). Schmutzige Schulen sind ein Zeichen für fehlendes hygienisches Problembewusstsein im öffentlichen Bereich. Umweltmedizin in Forschung und Praxis 10 (5) 5-6.

Gesundheitsamt Bremen (2007). Lüftungsverhalten und Lüftungsmöglichkeiten in Unterrichtsräumen Bremer Grundschulen (unveröffentlichtes Manuskript).

Länderarbeitsgruppe Umweltbezogener Gesundheitsschutz (LAUG) (2005). Ergebnisniederschrift der Sitzung am 19./20. September 2005 in Bremen.

Mendel MJ, Heath GA (2005). Do Indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature. Indoor Air 15: 27-52

Niedersächsisches Landesgesundheitsamt (2006). Schwerpunkt Lufthygiene in Schulen. <http://www.nlga.niedersachsen.de> >Schwerpunktthemen >Lufthygiene in Schulen [01.09.2006]

Schumacher H. (1911). Heizung und Lüftung von Schulen. Gesundheits-Ingenieur 34 (31) 565 – 578.

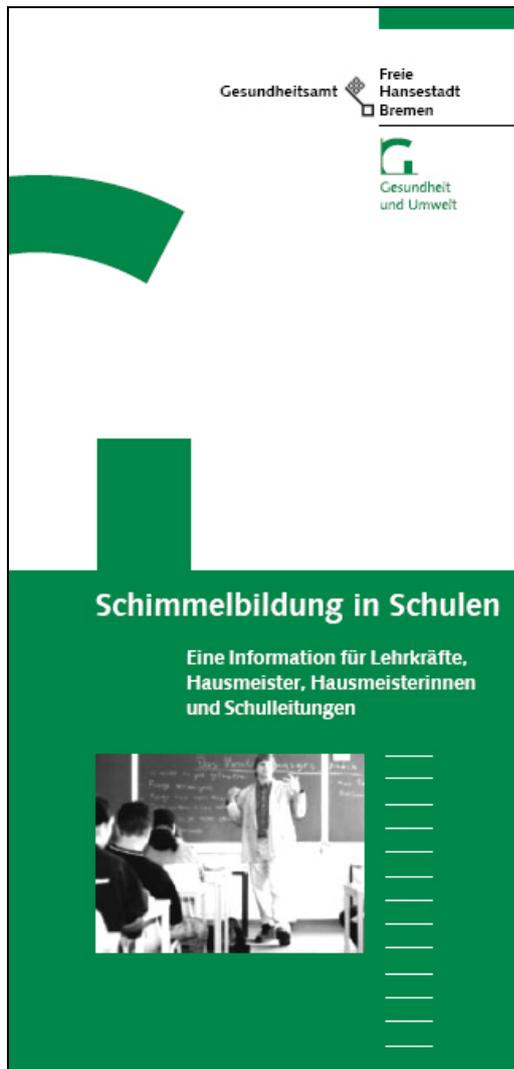
Stadtgesundheitsamt Frankfurt (2006). Innenraumklima in Schulen. http://www.frankfurt.de/sixcms/media.php/738/Feinstaub%20in%20Schulen_Endbericht.pdf [15.11.2006]

Tiesler G, Schönwälder HG, Ströver F (2006). Ermüdung im Schulbetrieb. Konzept für die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen der CO₂-Konzentration und der Aufmerksamkeit von Schülern. Institut für interdisziplinäre Schulforschung. Universität Bremen (unveröffentlichtes Manuskript)

Umweltbundesamt (2000): Leitfaden für die Innenraumluftthygiene in Schulgebäuden. Erarbeitet von der Innenraumluftthygiene-Kommission des UBA. KOMAG Berlin-Brandenburg.



Weitere Veröffentlichungen des Gesundheitsamtes Bremen
zum Thema Luftqualität in Schulen:



http://www.gesundheitsamt.info/print/pdf/flyer_schimmelbildung_in_Schulen.pdf



Gesundheitsamt Freie Hansestadt Bremen

G
Gesundheit
und Umwelt

**Dicke Luft im
Klassenraum - nein danke !**

Luftqualität im Klassenraum
prüfen, bewerten, verbessern



<http://www.gesundheitsamt.info/print/pdf/flyer dicke luft im klassenraum.pdf>

Internetadresse:

www.gesundheitsamt.info

Lüftungsrelevante Charakteristika der beteiligten Schulgebäude

	Schule 1	Schule 2	Schule 3	Schule 4	Schule 5	Schule 6	Schule 7
Baujahr/ Bautyp	BJ 1868-1880 klassischer Altbau	BJ 1960 H-Bau	BJ 1963 H-Bau	BJ 1969 H-Bau/Pavillon	BJ 1975 „70er Jahre Bau“	BJ 1995/96 Neubau	BJ 1998 Neubau
Etage/ Klasse	EG/ 4. Schuljahr	1. OG/ 2.Schuljahr	EG/ 4.Schuljahr	1. OG/ 2.Schuljahr	1. OG/ 5.Schuljahr	1. OG/ 4.Schuljahr	EG/ 6.Schuljahr
Anzahl Schüler	20 (+1)	21 (+1)	20-26 (+1)	22 (+1)	20 (+1)	21 (+1)	22 (+1)
Raumvolumen	258 m ³	243 m ³	213 m ³	222 m ³	210 m ³	264 m ³	184 m ³
V / Person	12,3 m ³	11 m ³	10 – 7,8 m ³	9,6 m ³	10,5 m ³	12 m ³	8 m ³
zu öffnende Fenster /-fläche	3 Fenster, je 1,05 m ² 5 Fenster, je 1,05 m ² (nur Kipp)	4 Fenster, je 1,3 m ² (nur Kipp)	3 Fenster je 0,9 m ² 3 Fenster je 1,54 m ² (nur Kipp)	4 Fenster, je 1,3 m ² (nur Kipp)	4 Fenster je 1,95 m ² (nur voll öffnbar)	4 Fenster, je 1,13 m ²	6 Fenster, je 1,5 m ² (nur Kipp)
Oberlichter (nur Kipp)	-	2, je 1,5 m ²	5, je 0,54 m ²	2, je 1 m ²	4, je 0,39 m ²	-	8, je 0,4 m ²
effektive Lüftungsfläche ¹	5,45 m ²	2,92 m ²	5,07 m ²	2,02 m ²	Tag 1: 8,04 m ² Tag 2: 2,19 m ²	4,62 m ²	4,24 m ²
Querlüftung	NEIN	JA	Nein	JA (theoretisch)	Nein	NEIN	Nein

¹ Die effektive Lüftungsfläche für Fenster, die nur auf Kipp gestellt werden können, wurde errechnet mit einem Excel-Programm, das von einem Kollegen von GTM, Gebäude- und Technikkmanagement zur Verfügung gestellt wurde. Als Öffnungswinkel für Fensterflügel wurde 8 °, als Öffnungswinkel für Oberlichter wurden 15 ° zu Grunde gelegt.

² Aus organisatorischen Gründen mussten die Untersuchungen in der Schule 5 am 2.Tag in einem anderen Klassenraum durchgeführt werden.

lfd. Nr.

Erhebungsbogen CO₂-Messungen

1. **Name, Anschrift**

Schulleitung

2. **Schulart**
- | | |
|---------------|--------------------------|
| Grundschule | <input type="checkbox"/> |
| Förderzentrum | <input type="checkbox"/> |
| Sek1-Schule | <input type="checkbox"/> |
| Gymnasium | <input type="checkbox"/> |
| Berufsschule | <input type="checkbox"/> |

3. **Gebäudetyp** Baujahr G-Code

letzte Sanierung der Fassade:

letzte Sanierung der Fenster:

- Bautyp**
- | | |
|--------------------|--------------------------|
| Klassischer Altbau | <input type="checkbox"/> |
| „H“-Bau/Pavillon | <input type="checkbox"/> |
| Baustil 60 er | <input type="checkbox"/> |
| Baustil 70 er | <input type="checkbox"/> |
| Neubau ab 1990 | <input type="checkbox"/> |
| Sonstiges | <input type="checkbox"/> |
- Wärmedämm-
verbundsystem

4. **Unterrichtsraum** Raum Nr. Etage

Raumvolumenm L.

..... m.B. =m²

..... m.H. = m³

Einrichtung

.....

.....

.....

Skizze zur Raumanordnung



Ausrichtung der Fenster
(vgl. dazu Katasterplan LIBRE)

.....

5.Lüftungsmöglichkeiten

Fensterlüftung
RLT-Anlage
Fenster + RLT

Anzahl der zu öffnenden Fenster	+ Anz. d. Oberlichter
davon feste Elemente	davon feste Elemente
davon voll zu öffnen	davon voll zu öffnen
davon kippbar	davon kippbar
+ Dachluke	

Sind die Fenster abschließbar (Drehfunktion verhindert)?

JA NEIN

Wenn ja, wie wird diese Möglichkeit genutzt?

- werden dennoch nicht abgeschlossen
- sind abgeschlossen / wer hat den Schlüssel?:

Größe je Fenster: Hm
B m
.....m²

Oberlichter Hm
Bm
.....m²

Art der Fenster

Kunststoffrahmen

Holzrahmen

Alurahmen

Gibt es eine Querlüftungsmöglichkeit?

JA, über Fenster

JA, über die Tür

NEIN

Sind die Fensterbänke frei geräumt?

JA

(bitte Foto beifügen)

NEIN

bzw. wegen Brüstungselement dennoch voll zu öffnen

6. Nutzung des Raumes

Klasse übliche Anzahl der Schüler im Klassenraum

Entspricht die Anzahl der Schüler der typischen Anzahl in den anderen Klassen der Schule?

JA

NEIN ,

7. Messbedingungen 1. Tag

Außenklima

Beginn:

Temperatur ° C

Luftfeuchte % r.F.

Ende

Temperatur ° C

Luftfeuchte % r. F.

Windstärke

Windrichtung

(Quelle: www.wetter.com)

8. Messbedingungen 2. Tag

Außenklima

Beginn:

Temperatur ° C

Luftfeuchte % r.F.

Ende

Temperatur ° C

Luftfeuchte % r. F.

Windstärke

Windrichtung

(Quelle: www.wetter.com)

9. Anmerkungen / Sonstiges

Bremen,

Fotos: Gebäude Außenansicht
Klassenraum Einrichtung
Klassenraum Fensterbänke

