In Klassenzimmern ist Kohlendioxid normalerweise der begrenzende Faktor hinsichtlich der Luftqualität. Wie hoch darf die Kohlendioxidkonzentration sein, und wie viel Zuluft benötigt man pro Person?

Mehr Luft!

Donald Sigrist

Da der Lüftungswärmeverlust bei zunehmender Wärmedämmung der Gebäudehülle an Bedeutung gewinnt, werden die Gebäude tendenziell immer luftdichter. Dafür sorgt vor allem auch die Norm SIA 180 (1998) – sie fordert kurz und bündig: »Grundsätzlich muss die Gebäudehülle luftdicht sein«. In Gebäuden mit so hoher Belegung wie Schulbauten kann deshalb die Luftqualität sehr schnell in einen nicht mehr akzeptablen Bereich sinken – sofern die Räume nicht ausreichend belüftet werden.

Wenn man davon ausgeht, dass nur schadstofffreie oder -arme Baustoffe und Einrichtungen verwendet werden, hängt die Luftqualität in einem Klassenraum nur von der Aussenluftqualität und den Stoffwechselprodukten der Nutzenden ab. Wegen seiner physiologischen Wirkung wird die Konzentration von Kohlendioxid (CO_2) als Leitgrösse verwendet.

In einem Reinluftgebiet enthält die Aussenluft etwa 370 ppm CO_2, belastete Stadtluft bis zu 700 ppm. Die Norm SIA 382/1 von 1992 setzt den Grenzwert für Schulbauten bei 1500 ppm CO_2. Für die mechanische Lüftung sieht sie einen Volumenstrom von 12 bis 15 m³/h P vor. Damit sollte sich in der Regel der Grenzwert in Klassenzimmern einhalten lassen, auch wenn ausschliesslich mechanisch gelüftet wird.

1500 ppm sind zu viel

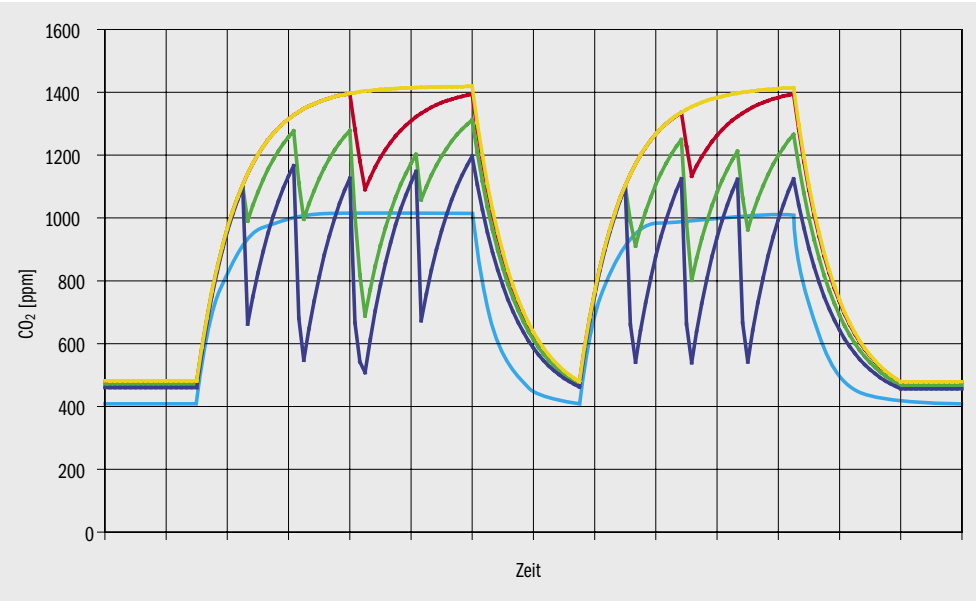
Schon 1992 wies aber die ECA (European Collaborative Action) in ihren »Guidelines for ventilation requirements in buildings« darauf hin, dass der Grenzwert von 1500 ppm CO_2 zu hoch ist. In den Untersuchungen zum COST-Projekt 613 (Coopération européenne dans le domaine de la recherche scientifique et technique) stuften etwa 25 % der Testpersonen die Luftqualität bereits bei 1000 ppm als nicht befriedigend ein. Bei höheren Werten traten vereinzelt Müdigkeit und Konzentrationsschwächen auf. Dies wird in der neuen CEN-Norm prEN 13779 mit einem tieferen Grenzwert und höheren Luftwechselraten berücksichtigt. Auch die neue Fassung der SIA 382/1, die auf der erwähnten EU-Norm basiert, wird wahrscheinlich höhere Luftvolumenströme fordern.

Zum Thema Raumluftqualität in Schulen hat die Stadt Zürich 2003 bei der Hochschule für Technik + Architektur Luzern (HTA) und der Empa Dübendorf Untersuchungen in Auftrag gegeben. Anlass hierfür gab ein nach dem Minergie-Standard erstellter Schulneubau. Dessen Lüftung war nach SIA 382/1 auf 15 m³/h P ausgelegt. Die Nutzenden waren angewiesen worden, wegen der mechanischen Lüftung auf Fensterlüftung zu verzichten. Weil in der Folge aber verschiedene Klagen bezüglich mangelnder Luftqualität eingingen, lag es nahe, der Situation auf den Grund zu gehen.

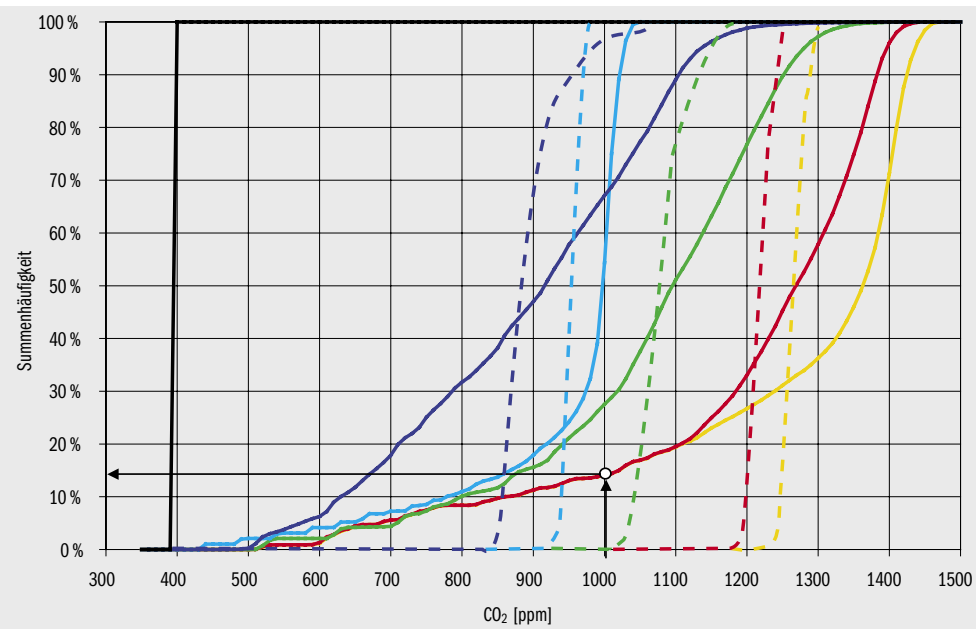
Im Rahmen der Untersuchungen wurden die CO_2-Konzentrationen von der HTA vor Ort gemessen. Auf Basis dieser Daten hat die Empa für die Referenzräume verschiedene Lüftungsregimes simuliert. Obschon sich die Untersuchungen auf ein konkretes Objekt beziehen, enthält der Schlussbericht einige sehr interessante Ergebnisse, die sich generell auf Schulgebäude übertragen lassen.

15 m³ sind zu wenig

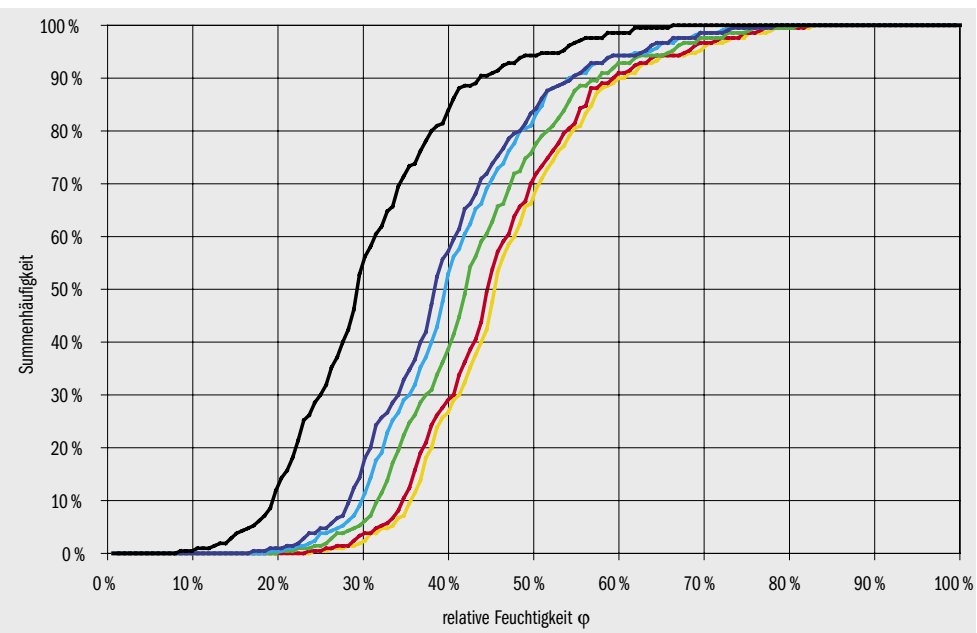
Beispielsweise zeigte sich, dass bei ausschliesslich mechanischer Lüftung mit 15 m³/h P der derzeit gültige Grenzwert von 1500 ppm CO_2 zwar einzuhalten ist (Bild 1). Die nach heutigen Kenntnissen erforderlichen 1000 ppm werden bei diesem Luftvolumenstrom aber nur während etwa 14 % der Belegungszeit (gemäss Normstundenplan) eingehalten (Bild 2). Wird mit



Tagesverlauf der CO_2-Konzentration in normal belegtem Klassenzimmer. Rahmenbedingungen: Aussentemperaturen 3 °C bis 4 °C, zusätzliche Fensterlüftung nur über eine Fassadenseite, Windstille.
■ 15 m³/h P, ohne Pause, Fenster geschlossen
■ 15 m³/h P, mit Pause, Fenster geschlossen
■ 15 m³/h P, Kippfenster in allen Pausen geöffnet
■ 15 m³/h P, Drehfenster in allen Pausen geöffnet
■ 25 m³/h P, ohne Pause, Fenster geschlossen
(Quelle Grafiken: Empa)



Summenhäufigkeiten der CO_2-Konzentrationen bei verschiedenen Lüftungsregimes. Rahmenbedingungen: Aussentemperaturen 3 °C bis 4 °C, zusätzliche Fensterlüftung nur über eine Fassadenseite, Windstille.
■ 15 m³/h P, ohne Pause, Fenster geschlossen
■ 15 m³/h P, mit Pause, Fenster geschlossen
■ 15 m³/h P, Kippfenster in allen Pausen geöffnet
■ 15 m³/h P, Drehfenster in allen Pausen geöffnet
■ 25 m³/h P, ohne Pause, Fenster geschlossen
■ Zuluft
gestrichelt: Tagesmittelwerte



Summenhäufigkeiten der Luftfeuchtigkeit bei verschiedenen Lüftungsregimes. Rahmenbedingungen: Aussentemperatur 3 °C bis 4 °C, zusätzliche Fensterlüftung nur über eine Fassadenseite, Windstille.
■ 15 m³/h P, ohne Pause, Fenster geschlossen
■ 15 m³/h P, mit Pause, Fenster geschlossen
■ 15 m³/h P, Kippfenster in allen Pausen geöffnet
■ 15 m³/h P, Drehfenster in allen Pausen geöffnet
■ 25 m³/h P, ohne Pause, Fenster geschlossen
■ Zuluft

25 m³/h P gelüftet, lassen sich 1000 ppm im Tagesmittel einhalten.
Bei bestehenden Anlagen mit 15 m³/h P lässt sich die lufthygienische Situation durch zusätzliches konsequentes Fensterlüften deutlich verbessern. Wie die Simulation zeigt, kann die CO_2-Konzentration schon durch zehnminütiges Öffnen von drei grossen Drehfenstern während der Pausen deutlich unter 1000 ppm gedrückt werden. Im Tagesmittel werden so die 1000 ppm nur an einigen Tagen überschritten. Hingegen zeigte sich auch, dass im selben Raum vier geöffnete Kippfenster als Ergänzung zur mechanischen Lüftung bei weitem nicht reichen.
Die Befunde zur zusätzlichen Fensterlüftung gelten für den Fall, dass die Aussentemperatur zwischen 3 °C und 4 °C liegt und nur über eine Fassadenseite gelüftet wird. Durch gleichzeitiges Öffnen der Zimmertüren oder Fensterlüftung an verschiedenen Fassadenseiten lässt sich der Luftwechsel erhöhen. Der Effekt der Querlüftung ist für den allgemeinen Fall aber nicht zu quantifizieren.

Das Kreuz mit der Feuchte

Für ein »gesundes« Klima ist aber ausser dem CO_2-Gehalt auch die relative Luftfeuchtigkeit wichtig. Die Empfehlungen für die optimale Luftfeuchtigkeit in beheizten Räumen gehen teilweise weit auseinander. Wohl sind sich die Fach- und Normengremien ziemlich einig, dass 60 % rel. Luftfeuchte nicht andauernd überschritten werden sollten. Beim Minimalwert reichen die Empfehlungen von 30 % bis gegen 50 % im Tagesmittel.
Einig ist man sich auch, dass länger andauernde Luftfeuchten unter 25 % gereizte Schleimhäute, gerötete Augen und trockene Haut zur Folge haben können. Die SIA-Empfehlung 382/1, wie auch die neue prEN 13779 fordern ein Tagesmittel von minimal 30 %. Dieser Wert darf aber während »weniger Tage« unterschritten werden. Genaue Angaben oder Richtlinien zur Anzahl dieser Tage fehlen jedoch in beiden Normwerken.
Das Problem zu trockener Raumluft stellt sich hauptsächlich in der kalten Jahreszeit. Dann sinkt die relative Feuchte infolge des Austausches von Raumluft durch trockene Aussenluft rasch unter die kritischen Werte. Hohe Volumenströme haben eine dementsprechend schnelle Austrocknung der Schulräume zur Folge.
Die Simulationen der Schulräume zeigten Folgendes: Wird die Luftwechselrate zum Einhalten der 1000 ppm CO_2 auf 25 m³/h P erhöht, unterschreitet das Tagesmittel der relativen Feuchtigkeit die geforderten 30 % an etwa 20 Tagen der Heizperiode (Bild 3). Wird mit 15 m³/h P und Drehfenstern gelüftet, sind es sogar 30 Tage.

Da staunt die Schülerin: Bestimmung der Lüftungswirkung mit Tracergasmessungen. (HTA Luzern)

Quellen

Empa Dübendorf: Bericht Nr. 429 680, »Simulationsberechnungen zum Projekt: Planungshilfsmittel und Checklisten für Lüftungsanlagen von Schulhäusern«, 12.06.03
Auskunft: heinrich.gugerli@hbd.stzh.ch

Fachhochschule Mainz: »Mögliche Auswirkungen einer energetischen Optimierung auf die Luftqualität in Schulen«, 2003

COST Project 613, Report No. 11: Guidlines for ventilation requirements in buildings. EUR 14449 EN (1992)

Wie man sieht, lassen sich das Feuchtigkeits- und das CO_2-Kriterium also nicht gleichzeitig einhalten. Ein Kompromiss wäre die Reduktion des Volumenstromes bei tiefen Aussentemperaturen. Dadurch verringert sich die Anzahl Tage mit zu tiefer Luftfeuchtigkeit. Gleichzeitig muss jedoch in Kauf genommen werden, dass die 1000 ppm CO_2 im Tagesmittel an einigen Tagen überschritten werden.
Bei Unterbelegung der Räume verschärft sich das Feuchteproblem noch. Eine Person gibt in der Stunde etwa 52 Gramm Feuchtigkeit ab. Meist sind Schüler(innen) und Lehrer(innen) die einzigen Feuchtigkeitsquellen in einem Schulzimmer. Deshalb fällt im Halbklassenunterricht die Hälfte der intern produzierten Feuchte weg, der Volumenstrom der Lüftung wird aber in vielen Fällen nicht reduziert.

Guter Rat

Aufgrund der Untersuchungsresultate muss man also annehmen, dass die Luftqualität in Schweizer Schulzimmern eher schlecht ist. Schulhäuser ohne mechanische Lüftung dürften generell noch schlechter abschneiden als solche mit. Dort hängt das Innenraumklima alleine davon ab, ob die Lehrperson konsequent für die Fensterlüftung in den Pausen sorgt. Und das dürfte eher die Ausnahme denn die Regel sein.
Die Autoren der Untersuchungsberichte geben für die Planung und den Betrieb von Schulhäusern verschiedene Empfehlungen ab. Für Neubauten schlagen sie unter anderem vor:

- Die mechanische Lüftung soll auf 25 bis 30 $m^3/h\,P$ ausgelegt werden. Aus energetischen Gründen ist die Kombination von mechanischer Lüftung mit 15 $m^3/h\,P$ mit ergänzender Fensterlüftung nicht zu empfehlen. Bei effizienten mechanischen Lüftungssystemen ist der zusätzliche Energiebedarf für den höheren Luftwechsel meist geringer als der Verlust durch zusätzliche Fensterlüftung.
- Bei Lüftungsanlagen soll die Wärmerückgewinnung nach Möglichkeit immer mit Feuchteübertragung realisiert werden.
- Besonders Räume mit stark variierender Belegungsdichte sollten mit einer Bedarfsregelung via CO_2-Sensoren ausgerüstet werden. Hierfür eignen sich beispielsweise einfache 2-Punkt-Regelungen. Bei tiefen Aussentemperaturen liesse sich der obere Schwellenwert für die CO_2-Konzentration bis 1500 ppm heben. Steigt der CO_2-Gehalt bei Überbelegung über diesen Wert, kann in den Pausen die Fensterlüftung als letztes Mittel eingesetzt werden. Kann keine Bedarfsregelung realisiert werden, soll die Anlage wenigstens zweistufig ausgelegt sein, damit der Volumenstrom der Lüftung bei tiefen Aussentemperaturen und während dem Halbklassenunterricht reduziert werden kann.

Für bestehende Schulhäuser mit mechanischen Lüftungen, die weniger als 25 $m^3/h\,P$ leisten, empfehlen die Autoren Folgendes:

- Bei Normalbelegung ist in den Pausen zusätzliches Lüften durch Drehfenster notwendig; die minimal zu öffnenden Fensterbreiten in Abhängigkeit der Aussentemperatur zeigt Tabelle 1. Kippfenster reichen zum Einhalten von 1000 ppm CO_2 in den meisten Fällen nicht.
- An Tagen mit sehr tiefen Aussentemperaturen soll die Fensterlüftung reduziert werden. Damit werden Tiefstwerte bei der relativen Luftfeuchtigkeit vermieden.
- An warmen Tagen soll auch während der Unterrichtszeit über die Fenster gelüftet werden, sofern die Lärmbelastung dies zulässt. Dabei gilt es darauf zu achten, dass im Aufenthaltsbereich keine Zugerscheinungen auftreten.

Die Stadt Zürich jedenfalls hat Konsequenzen gezogen und setzt die neuen Erkenntnisse seit 2003 bereits um. In ihren »Zielvereinbarungen Raumluftqualität« verlangt sie 1000 ppm CO_2 als maximalen Tagesmittelwert. 1500 ppm sind nur noch als Spitzenwert erlaubt. Und bei Neubauten werden 25 $m^3/h\,P$ empfohlen.

Minimal zu öffnende Fensterbreiten in Schulräumen mit 15 $m^3/h\,P$ mechanischer Lufterneuerung, einer Pausenlänge von 8 Minuten je Unterrichtsstunde und einer Belegung von 20 Personen. Rahmenbedingungen: Aussentemperaturen 3 °C bis 4 °C, zusätzliche Fensterlüftung nur über eine Fassadenseite, Windstille.

Aussentemperatur	Fensterhöhe [m]			
	1,0	1,5	2,0	
15 °C	5,0	2,7	1,8	Fensterbreite [m]
10 °C	3,5	1,9	1,3	
5 °C	2,9	1,6	1,0	
0 °C	2,5	1,3	0,9	