

Luftqualität und Lüftung in Schulen

H.-D. Neumann

1 Einleitung

„Ich bin auf das Lebendigste überzeugt, dass wir die Gesundheit unserer Jugend wesentlich stärken würden, wenn wir in den Schulhäusern, in denen sie durchschnittlich fast den fünften Teil des Tages verbringt, die Luft stets so gut und rein erhalten würden, dass ihr Kohlensäuregehalt nie über 1 Promille anwachsen könnte“, das stellte Max von Pettenkofer für die Luftqualität in Klassenräumen bereits im Jahr 1858 fest. Seitdem hat sich in Schulen viel verändert. Die Aufenthaltszeit in Klassenräumen für unsere heutige Jugend ist länger, der natürliche Luftaustausch ist wegen dichter Fenster und Türen geringer und die Baustoffe und Einrichtungsgegenstände enthalten mehr Chemie. Ist die Sorge von Max von Pettenkofer heute vielleicht noch viel dringlicher als damals? Um diese Frage zu beantworten, haben sich die Unfallkasse Nordrhein-Westfalen und ihre Vorgängerinstitutionen über mehrere Jahre mit der Luftqualität in Schulen hinsichtlich biologischer, chemischer und physikalischer Belastungen befasst. Um normale Umgebungsbedingungen in Klassenräumen zu erfassen, wurden u. a. folgende Parameter bestimmt:

- flüchtige organische Komponenten (VOC),
- Aldehyde,
- mikrobiell verursachte flüchtige organische Komponenten (MVOC),
- Kohlenstoffdioxid (CO₂),
- Raumklimaparameter,
- Schimmelpilze im Zwei-Monats-Frischstaub.

An dieser Stelle soll auf die Ergebnisse der ersten vier genannten Parameter eingegangen werden. Die Untersuchung erfolgte in 111 Schulen mit 379 Klassenräumen, verteilt auf alle Schularten. Bei der Untersuchung wurde wie folgt vorgegangen:

Dr.-Ing. Heinz-Dieter Neumann,
Unfallkasse Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf.

- Lüftung der Räume am Vortag,
- Messung der Raumgrundbelastung von VOC, Aldehyden, CO₂, MVOC,
- Messung von VOC und CO₂ in einer Schulstunde mit Schülern ohne Lüftungsmaßnahmen,
- Intervention durch Stoßlüftung über Fenster und Türen,
- Messung von VOC und CO₂ in einer Schulstunde mit Schülern mit Lüftung über Fenster in Kippstellung.

2 Aldehyd- und VOC-Belastungen

Die Top Ten nach Zahl und Höhe der Messwerte für flüchtige organische Komponenten (VOC) und Aldehyde sind in **Tabelle 1** im Vergleich zur Luft in Büroräumen dargestellt. Wie man sieht, ist die Summe der flüchtigen organischen Komponenten in unbelasteten Klassenräumen deutlich niedriger als in Büroräumen. Dieses gilt auch für einige der Einzelkomponenten. Vergleichbar sind dagegen die Werte von Formaldehyd, der allerdings nicht zu den VOC zählt und somit auch nicht im Summenwert der VOC (TVOC-Wert) enthalten ist. Ferner liegt der ermittelte 90-Perzentilwert für TVOC deutlich unter dem Leitwert des Umweltbundesamtes (UBA) für hygienische Bedenklichkeit in Höhe von 1 000 µg/m³. Auch die Innenraumrichtwerte des UBA werden als 90-Perzentilwert bei Weitem nicht tangiert.

Bild 1 zeigt, dass in Räumen mit baulichen oder einrichtungstechnischen Unregelmäßigkeiten deutliche Abweichungen von diesen Hintergrundwerten zu verzeichnen sind. Doch man sieht auch, dass gute Lüftung zu einer deutlichen Verringerung der Konzentration im Raum führt. Insbesondere der letzte Aspekt stellt jedoch ein Problem unter dem Aspekt der Probenahmestrategie nach DIN EN ISO 16000-1 dar. Demnach ist es in Räumen, für die Lüftungsanweisungen vorliegen (z. B. in Schulen und Kindergärten), vor der Messung ein vollständiger und typischer Nutzungszyklus abzuwarten. Dieser würde dann üblicherweise maximal eine Schulstunde betragen – eine Suche nach der Ursache für die Abweichung, wie sie ansonsten bei einer Messung in natürlich belüfteten Räumen notwendig wäre, bräuchte gar nicht mehr stattzufinden. Dieses sollte aber

Tabelle 1. VOC und Formaldehyd: TOP Ten nach Zahl und Höhe in Klassenräumen im Vergleich zur Büroräumluft (ohne Siloxane).

Name	90-%-Wert Klassenraum		90-%-Wert Büroraum	
	Anzahl Messwerte	Konzentration in µg/m ³	Anzahl Messwerte	Konzentration in µg/m ³
TVOC	349	631	471	1 000
Formaldehyd	371	57	419	60
2-(2-Butoxyethoxy)-ethanol	270	29	554	5
Toluol	353	26	607	64
Butan-1-ol	319	25	600	31
2-Ethylhexan-1-ol	321	22	401	18
Hexanal	342	22	173	63
Limonen	352	20	608	27
2-Butoxyethanol	321	20	563	15
2-Phenoxyethanol	269	20	564	5

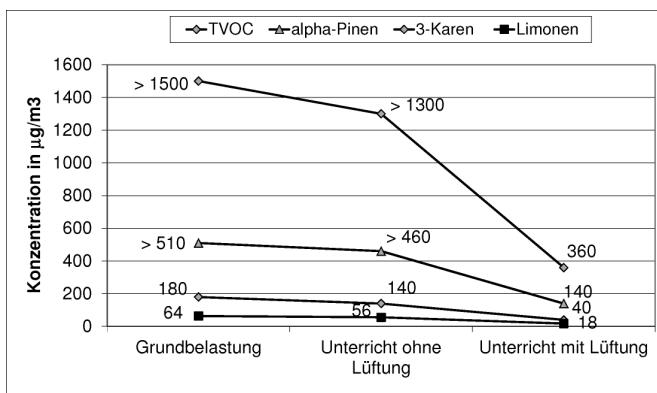


Bild 1. Schadstoffreduzierung durch Stoßlüftung in der Pause und anschließender Kipplüftung.

Tabelle 2. Übersicht über ermittelte Hauptindikatoren von MVOC in Klassenräumen.

Name	Anzahl Messwerte n	n > a. B.	50-%-Wert in ng/m³	90-%-Wert in ng/m³
2/3-Methyl-1-butanol	379	356	125	435
1-Octen-3-ol	379	366	210	665
3-Octanon	379	336	145	455
3-Methylfuran	379	163	15	55
Dimethyldisulfid	379	145	5	35
Summe Hauptindikatoren	379	371	655	1517
Summe MVOC	379	379	1819	4044

gerade in Bereichen, in denen sich Kinder und Jugendliche aufhalten, nicht der Standard sein. In Schulen und Kindertageseinrichtungen ließe sich dann jedes Problem „wegmessen“.

3 MVOC-Belastungen

Vermeintlich mikrobiell verursachte flüchtige organische Komponenten, sog. MVOC, entstehen u. a. als Stoffwechselprodukte von Schimmelpilzen. Sie dienen häufig der Ermittlung von verdecktem Schimmelpilzbefall. Bestimmt werden u. a. etwa zehn Hauptindikatoren im Konzentrationsbereich ng/m³. Die Ergebnisse der Hauptindikatoren und des Gesamtsummenwertes sind in Tabelle 2 dargestellt.

Als Bewertungsschema zur Interpretation von MVOC wird der Schimmelpilzleitfaden des Landesgesundheitsamtes Baden-Württemberg herangezogen. Demnach gelten folgende Bewertungen:

- Ein Hauptindikator $> 100 \text{ ng/m}^3$ und
- $500 \text{ ng/m}^3 < \Sigma \text{ Hauptindikatoren} < 1000 \text{ ng/m}^3$: Mikrobieller Befall sehr wahrscheinlich.

Unter Berücksichtigung dieses Bewertungsschemas wäre in 50 % der untersuchten Räume ein mikrobieller Befall sehr wahrscheinlich gewesen. Es gab jedoch keinen Hinweis darauf, dass dieses der Fall war. Die Verwendung der MVOC zur Ermittlung von verdecktem Schimmelpilzbefall erscheint somit zumindest sehr fraglich.

4 CO₂-Belastungen

Die bedeutendste Luftverunreinigung in Klassenräumen wird immer noch von den Menschen selbst erzeugt, nämlich das bereits von Pettenkofer angemahnte Kohlenstoffdioxid CO₂. Das UBA unterscheidet hier drei Zielwertempfehlungen bzw. Leitwertbereiche:

- $< 1000 \text{ ppm}$: hygienisch unbedenklich,
- 1000 bis 2000 ppm: hygienisch auffällig – Lüftungsmaßnahmen,
- $> 2000 \text{ ppm}$: hygienisch inakzeptabel – weitergehende Maßnahmen prüfen.

Die Mittelwerte über alle Räume und Schulstunden mit unterschiedlichen Belegungs- und Lüftungszuständen sind

Bild 2 zu entnehmen. Wie das Bild zeigt, ist während der Schulstunde ohne Lüftung bei Anwesenheit von Schülern eine deutliche Zunahme der CO₂-Konzentration zu verzeichnen. Die Zielwertempfehlungen des UBA können bei ausschließlicher Stoßlüftung in den Pausen nicht eingehalten werden. Dies wird auch in Bild 3 deutlich, in dem die dabei im Mittel auftretende CO₂-Konzentration über mehrere Schulstunden aufgetragen ist. Zusätzlich gelüftet werden kann z. B. durch eine weitere Stoßlüftung zur Hälfte der Unterrichtsstunde oder durch Fenster in Kippstellung während der Unterrichtsstunde.

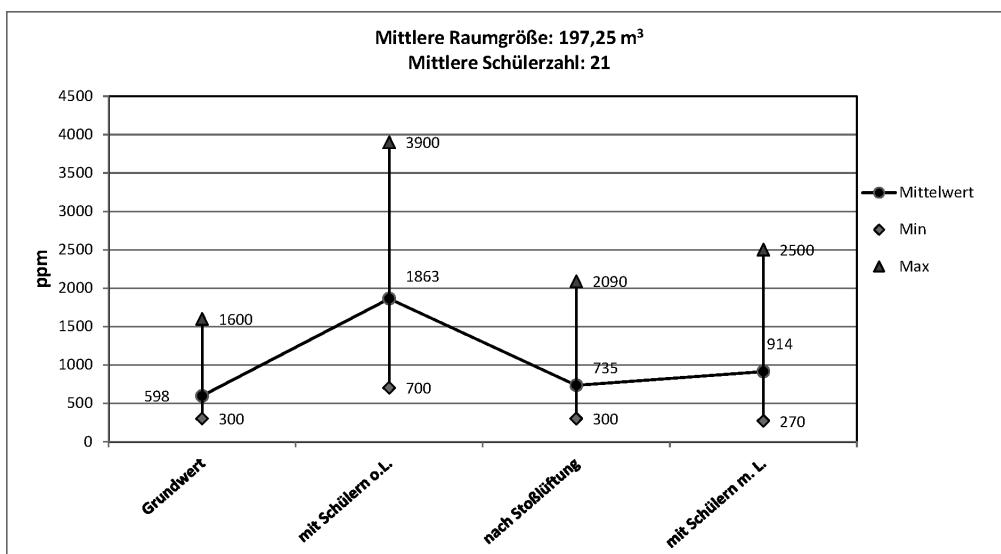


Bild 2. CO₂-Konzentrationen gemittelt über alle Klassenräume in Abhängigkeit von unterschiedlichen Lüftungs- und Belegungssituationen (o. L. = ohne Lüftung, m. L. = mit Lüftung).

Bei Kipplüftung ist nicht unbedingt eine große Fensterfläche erforderlich (Bild 4). Im Winterhalbjahr reicht zum Erhalt einer hygienisch unbedenklichen Luftqualität im Mittel eine freie Fensteröffnung von ca. 1 m². Im Sommerhalbjahr sorgt eine mittlere Fensteröffnung von 1,8 m² dafür, dass die CO₂-Konzentration im Unterricht nur geringfügig ansteigt. Damit wird deutlich, dass man mit einer wesentlich geringeren freien Lüftungsöffnung, als sie im Entwurf der Arbeitsstättenrichtlinie A 3.6 mit 0,35 m² pro Person gefordert wird, für eine vernünftige Luftqualität in Klassenräumen sorgen kann. Alternativen sind mechanische Lüftungen, deren Wirkung z. B. Bild 5 zu entnehmen ist.

Durch eine solche Lüftung, sei es in Form einer zentralen Klimaanlage im Gebäude oder in Form einer raumbezogenen Lösung, lassen sich Konzentrationen von 1 000 ppm CO₂ dauerhaft einstellen.

5 Zusammenfassung

Die VOC- und Aldehyd-Konzentrationen in Klassenräumen sind im Regelfall niedriger als in Büroräumen und unterschreiten die Ziel- und Richtwerte des UBA deutlich. Problematisch ist dagegen die CO₂-Belastung bei mangelnder Lüftung, wie bereits zu Pettenkofers Zeiten. Durch natürliche Lüftung mittels Stoßlüftung in den Pausen und Fenster in Kippstellung während des Unterrichts oder alternativ eine weitere Stoßlüftung zur Hälfte der Unterrichtsstunde lässt sich jedoch eine gute Luftqualität in Klassenräumen einstellen. Die notwendige freie Fensterfläche bei Fenstern in Kippstellung hält sich dabei in Grenzen. Dauerlüftung über Fenster in Kippstellung entspricht nach allgemeiner Ansicht jedoch nicht dem Energiespargebot. Die Stoßlüftung wird bevorzugt, ist im Unterricht häufig jedoch nicht praktikabel. Alternativen in Form von mechanischer Lüftung sind möglich.

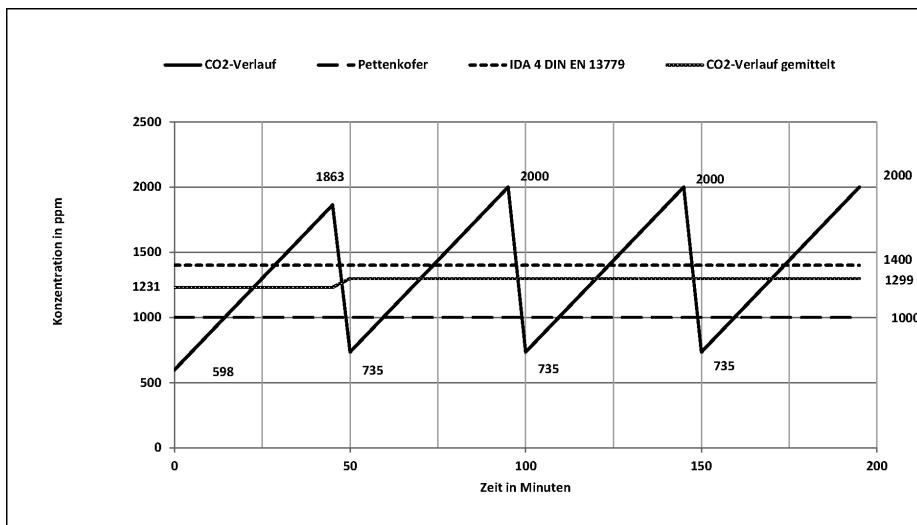


Bild 3. Abschätzung der mittleren CO₂-Belastung in Klassenräumen mit Stoßlüftung nach jeder Schulstunde.

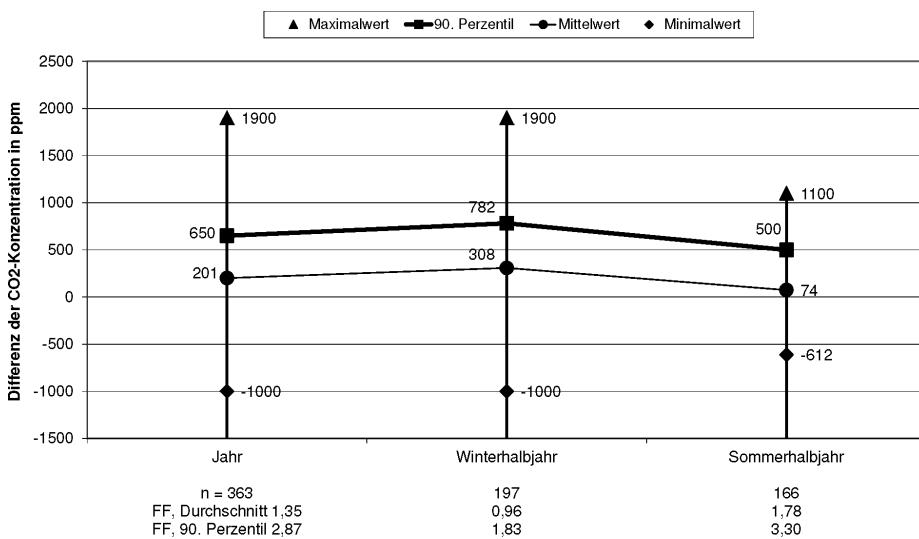


Bild 4. CO₂-Anstiege bei Fenster in Kippstellung halbjahresbezogen (FF: Fensterfläche).

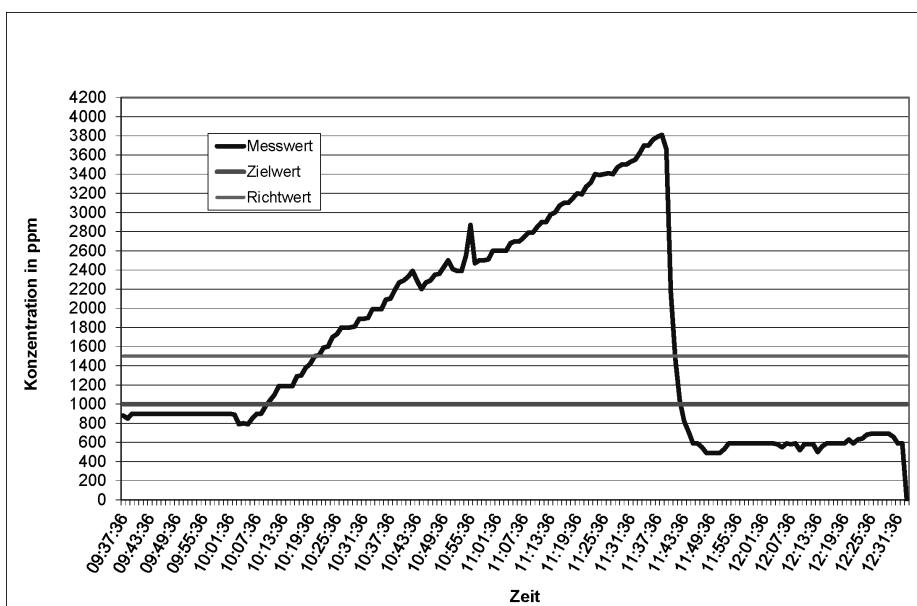


Bild 5. CO₂-Belastungen in einer Grundschulklassie bei ausgeschalteter und eingeschalteter Klimaanlage mit zwischenzeitlicher Stoßlüftung.