



MESSUNG DER LUFTQUALITÄT

IN KLASSENÄUMEN

Projekt der
Abteilung Energiemanagement (FM4)

Inhalt

Zusammenfassung	4
1. Messprojekt 1: Ergebnisse bei „normalem“ Lüftungsverhalten.....	6
1.1 Ablauf der Messungen	6
1.2 Vergleich und Wirkungsweise der drei verschiedenen Lüftungsmöglichkeiten.....	6
1.3 Betrachtung des Verhaltens nach Nutzungsende	9
1.4 Eingriff des Nutzers / der Anlage in das Lüftungsverhalten	11
2. Messprojekt 2: Folgeprojekt - Ergebnisse bei gutem Lüftungsverhalten.....	12
2.1 Ausarbeitung und Umsetzung eines Lüftungsplanes	12
2.2 Neubau	12
2.3 Saniertes Bestandsgebäude	13
3. Natürliches Lüftungskonzept an der Schule Klein Flottbeker Weg	15
4. Fazit und Handlungsempfehlungen.....	17
4.1 Lüftungsanlagen.....	17
4.2 Lüftungskonzept von Windowmaster	17
4.3 Manuelle Fensterlüftung	17
Anhang	19

Zusammenfassung

Zur Untersuchung unterschiedlicher Lüftungsmöglichkeiten und zur Beurteilung des Nutzerverhaltens hat das Energiemanagement von SBH | Schulbau Hamburg zwei Messprojekte durchgeführt. Im ersten Messprojekt wurden für einen Zeitraum von drei Monaten in Klassenräumen drei verschiedener Schulen Datenlogger zur Messung der CO₂-Konzentration der Raumluft angebracht. Die Messwerte wurden zwischen dem 01.11.2016 und 31.01.2017, also über die kalte Jahreszeit, aufgenommen. In den drei Schulen lagen jeweils sowohl unterschiedliche Gebäudetypen als auch verschiedene Varianten zur Belüftung vor. In Tabelle 1 sind die Eckdaten dargestellt.

Tabelle 1: Messprojekt 1, Eckdaten der Schulen und Klassenräume

Standort	Gebäude	Lüftungsmethodik
Schule A (Grundschule)	Klassenraum, Kreuzbau saniert	Lüftungsanlage
Schule B (Gymnasium)	Klassenraum, H-Gebäude saniert	Fensterlüftung
	Klassenraum, H-Gebäude saniert	Fensterlüftung
Schule C (Gymnasium)	Klassenraum, Kreuzbau	Windowmaster*
	Klassenraum, Kreuzbau	Windowmaster*

*System zur automatischen Fensterlüftung auf Basis bestimmter Raum- und Außenparameter

Nach Auswertung der Messergebnisse des ersten Messprojektes lagen sowohl bei Nutzung einer konventionellen Fensterlüftung als auch des Lüftungskonzepts von Windowmaster die CO₂-Konzentrationen bis zu 40% der Unterrichtszeit im roten Bereich (>2000 ppm). Es wurde jedoch bei genauerer Betrachtung der Messwerte offensichtlich, dass die negativen Ergebnisse der konventionellen Belüftung aus dem Nutzerverhalten resultieren: Nur sehr selten lüften Lehrkräfte und Schülerinnen und Schülern überhaupt. Die Daten zeigen auch, dass bei gutem Lüftungsverhalten mithilfe einer Stoßlüftung ein Abfall der CO₂-Konzentration von rund 880ppm innerhalb von 5 Minuten erreicht werden kann.

Bei Betrachtung des Raumverhaltens nach Nutzungsende wurde ebenfalls deutlich, wie wichtig ein gutes Lüftungsverhalten der Nutzer ist: Weder bei der konventionellen noch der Windowmaster-Lüftung kann sich Luft in den Klassenräumen allein über natürliche Infiltration über Nacht erholen. Somit kann es vorkommen, dass innerhalb der Schulwochen schon mit einer erhöhten CO₂-Konzentration in den darauffolgenden Schultag gestartet werden muss. Bei der Lüftungsanlage stellte dies kein Problem dar. Für die Wochenenden entstand diesbezüglich bei keiner der drei Varianten eine Problematik. In jedem Fall war es dem Klassenraum möglich, sich allein über natürliche Infiltration zu erholen und zum Montagmorgen einen CO₂-Wert nahe der Umgebungskonzentration (~500 ppm) zu erreichen.

Nach Abschluss des ersten Messprojektes sollten noch weitere Messungen durchgeführt werden, um zu sehen, was eine gute Fensterlüftung erreichen kann und welche CO₂-Konzentrationen hier möglich sind. Dafür wurden zwei Klassenräume ausgewählt: Einer in einem sanierten H-Gebäude, einer in einem Neubau. Die Messungen fanden jeweils für einen Tag (06. und 07.04.2017) statt.

In Tabelle 2 sind die zugehörigen Eckdaten festgehalten.

Tabelle 2: Messprojekt 2, Eckdaten der Schulen und Klassenräume

Standort	Gebäude	Lüftungsmethodik
Schule B (Gymnasium; gleiche Schule B wie oben)	Klassenraum, H-Gebäude saniert	Fensterlüftung
Schule D (Gymnasium)	Klassenraum, Neubau	Fensterlüftung

Die Auswertung der Ergebnisse des zweiten Messprojektes bestätigt die Vermutung aus dem ersten Messprojekt, dass mit einem richtigen Lüftungsverhalten bei manueller Fensterlüftung dauerhaft gute CO₂-Konzentrationen in Klassenräumen erreicht werden können. Selbst bei konventioneller Lüftung mit nur einer Fensterfront im Klassenraum – wie in Neubauten üblich – wurden entsprechende Werte erreicht. Der Median der CO₂-Konzentration lag hier mit 1240 ppm deutlich unter dem SBH-Zielwert von 1500 ppm. Als maximaler Wert wurde lediglich eine CO₂-Konzentration von 1830 ppm erreicht.

Die Messergebnisse des zweiten Messprojektes decken sich außerdem mit den Messergebnissen aus Klassenräumen der Grundschule Klein Flottbeker Weg. Hier wurde ein Konzept zur Fensterlüftung mit gezielter Größe und Anordnung von Lüftungsklappen umgesetzt. Eine gesondert durchgeführte Evaluation hat gezeigt, dass eine dauerhaft gute Luftqualität in Klassenräumen mit Fensterlüftung möglich ist.

1. Messprojekt 1: Ergebnisse bei „normalem“ Lüftungsverhalten

1.1 Ablauf der Messungen

Die Durchführung der Messungen erfolgte vom 01.11.2016 bis zum 31.01.2017. Es ist sehr sinnvoll, einen Zeitraum innerhalb der kalten Jahreszeit auszuwählen, da im Sommer keine großen Probleme hinsichtlich einer schlechten Luftqualität in Klassenräumen entstehen. Die Nutzer öffnen hier aufgrund der höheren Außentemperaturen eher die Fenster und auch eine Kippstellung der Fenster ist außerhalb der Heizperiode nicht problematisch. Als Datenlogger wurde für die Messungen der „DK660 CO₂-Datenlogger“ von Driesen + Kern ausgewählt. Dieser Datenlogger zeichnet nicht nur die CO₂-Konzentration, sondern auch Temperatur und Feuchte im Klassenraum auf.

1.2 Vergleich und Wirkungsweise der drei verschiedenen Lüftungsmöglichkeiten

Die Lüftung an den drei Schulen erfolgt über drei unterschiedliche Lüftungsmöglichkeiten – eine Lüftungsanlage, eine konventionelle Fensterlüftung und ein Lüftungssystem der Firma Windowmaster. Die Lüftungsanlage ist vom Typ FVS der Firma LTG (Baujahr 2011). Das Lüftungssystem der Firma Windowmaster läuft unter dem Namen „NV Comfort“ und bietet eine Regelung des Raumklimas auf Basis der Werte der Innentemperatur, der Raumluftfeuchte und des CO₂-Gehaltes. Werden hier bestimmte Werte überschritten, so werden die Fenster automatisch geöffnet bzw. geschlossen. Dies erfolgt mithilfe einer Kippfunktion der Fenster.

Um die Reaktion des CO₂-Gehaltes im Klassenraum auf die unterschiedlichen Lüftungsmöglichkeiten darzustellen, wurden zu Beginn die aufgenommenen Daten hinsichtlich des Nutzerverhaltens untersucht. Bei steigenden CO₂-Konzentrationen wurde von einer Nutzung, bei langsam sinkenden CO₂-Konzentrationen von einer Nichtbelegung des Klassenraumes und bei stark sinkenden CO₂-Konzentrationen von einem Eingriff des Nutzers bzw. der Lüftungsanlage ausgegangen.

Anhand dieser Auswertung wurden anschließend beispielhaft für jede Lüftungsmöglichkeit Tagesverläufe mit gleichem Belegungsprofil für die unterschiedlichen Schulen betrachtet und in folgender Abbildung dargestellt.

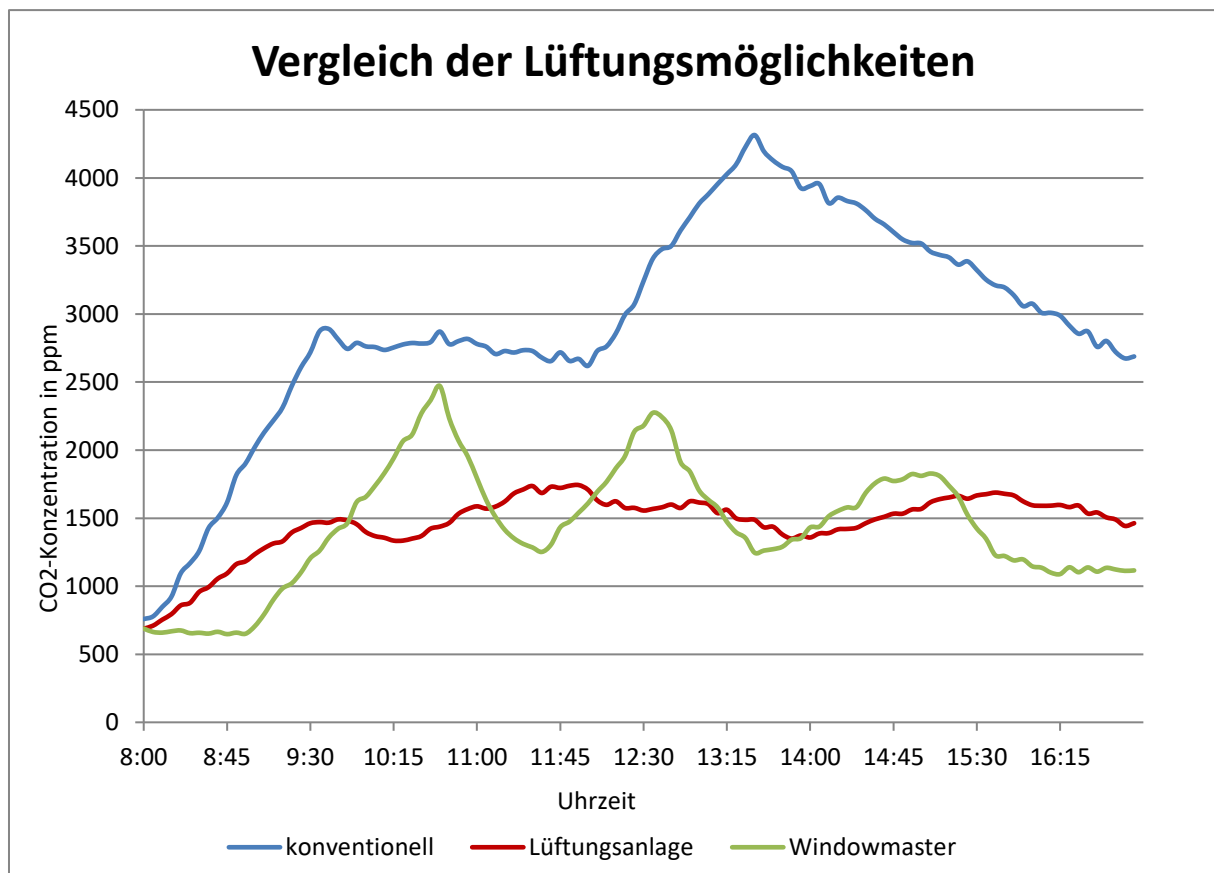


Abbildung 1: Beispielhafter Tagesverlauf der CO₂-Konzentration der unterschiedlichen Lüftungsmöglichkeiten bei gleichem Belegungsprofil des Raumes

Abbildung 1 stellt sehr gut den qualitativen Verlauf der CO₂-Konzentration für die einzelnen Lüftungsmöglichkeiten dar. Während bei der Lüftungsanlage ein relativ konstanter Wert von rund 1500 ppm gehalten wird, ist bei dem Lüftungskonzept von Windowmaster ein häufig an- und absteigender Verlauf zu erkennen, was darauf hindeutet, dass dieser ab einer bestimmten CO₂-Konzentration über einen Lüftungsvorgang eingreift. Bei der konventionellen Fensterlüftung ist während der Nutzung des Klassenraumes ausschließlich ein Anstieg oder ein Stagnieren der CO₂-Konzentration zu erkennen. Dies ist damit zu begründen, dass in diesem Fall durch die Nutzer kein Eingriff über einen Stoßlüftungsvorgang erfolgte. Werden regelmäßige Stoßlüftungen durchgeführt, so kann eine angemessene CO₂-Konzentration im Tagesverlauf erreicht werden. Hierauf soll später noch genauer eingegangen werden. Wird nun der Wochenverlauf der CO₂-Konzentration der drei Lüftungsmöglichkeiten in Abbildung 2 betrachtet, so bestätigen sich die beschriebenen Erkenntnisse.

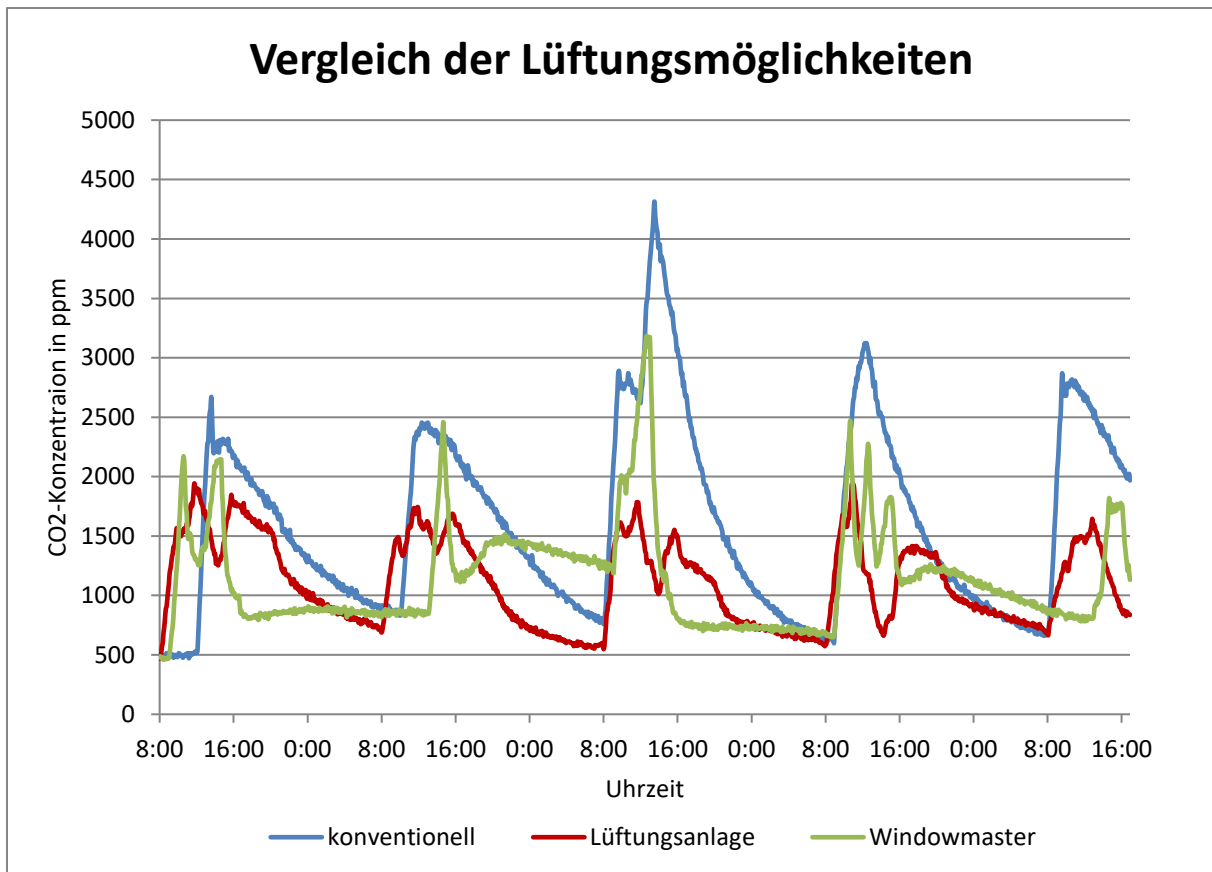


Abbildung 2: Wochenverlauf der CO₂-Konzentration der unterschiedlichen Lüftungsmöglichkeiten

Der qualitativen Auswertung der Messergebnisse soll nun eine quantitative Auswertung folgen. Hierzu wurden die nach Nutzung des Klassenraumes gefilterten Daten verwendet und in unterschiedliche Bereiche der CO₂-Konzentration aufgeteilt. In Abbildung 3 wird deutlich, dass für den Fall der konventionellen Lüftung rund 40% und unter Verwendung des Lüftungskonzepts von Windowmaster ungefähr 25% der Messwerte im roten Bereich, also über 2000 ppm lagen. Betrachtet man die Ergebnisse des Klassenraumes ausgestattet mit einer Lüftungsanlage, so befanden sich hier die Messwerte nur über etwa 2% der Zeit im roten Bereich. Die unterschiedliche Anzahl der Messstunden ergab sich durch die Filterung der Messwerte nach Benutzung der Klassenräume. In den Klassenräumen mit höherer Belegung wurden somit auch mehr Messstunden bzw. Messwerte in die Auswertung miteinbezogen.

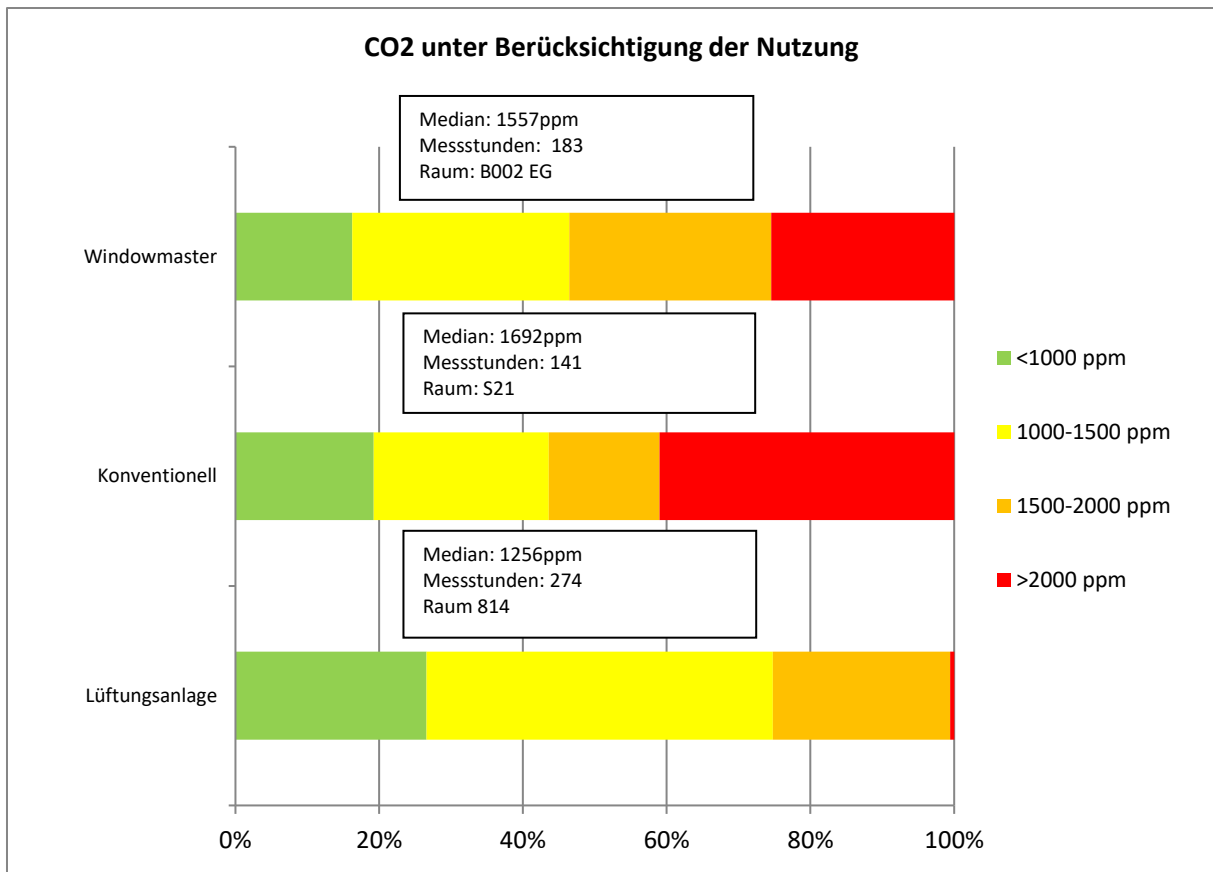


Abbildung 3: Unterteilung der Messwerte bei Nutzung des Klassenraumes in unterschiedliche Bereiche der CO₂-Konzentration

1.3 Betrachtung des Verhaltens nach Nutzungsende

Aus den Messergebnissen wurde beispielhaft jeweils für einen CO₂-Gehalt von 2000 ppm und 1000 ppm nach Unterrichtsende der Verlauf der CO₂-Konzentration über Nacht betrachtet. In Abbildung 4 ist dieser Verlauf für die drei verschiedenen Lüftungsmöglichkeiten dargestellt.

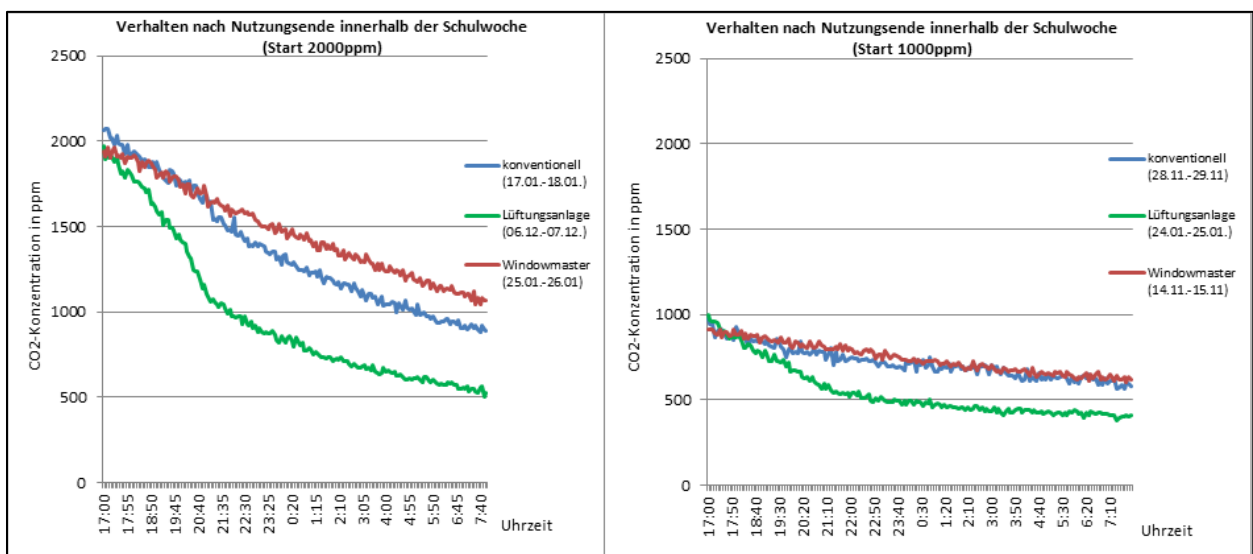


Abbildung 4: Verhalten des Klassenraumes über Nacht für unterschiedliche CO₂-Konzentrationen nach Unterrichtsende

Es wird deutlich, dass auch hier das Nutzerverhalten eine entscheidende Rolle spielt. Ohne kurzes Stoßlüften vor Verlassen des Klassenraumes bei einer CO₂-Konzentration von 2000 ppm nach Unterrichtsende konnte nur mit der Lüftungsanlage bis zum Unterrichtsbeginn am nächsten Morgen eine akzeptable CO₂-Konzentration im Klassenraum erreicht werden. Es war dem Klassenraum nicht möglich, sich allein durch natürliche Infiltration zu erholen. Dies bedeutet, dass bereits zu Unterrichtsbeginn um 8 Uhr am nächsten Morgen mit einer erhöhten CO₂-Konzentration in den Schultag gestartet wurde. Bei den Daten muss berücksichtigt werden, dass es sich bei Schule B um einen sanierten Altbau mit neuen Fenstern handelt. Die verbesserte Dichtigkeit der Fenster kann mit einem Grund für eine geringe natürliche Infiltration darstellen.

Wurde hingegen der Klassenraum nach Unterrichtsende bei einer CO₂-Konzentration von rund 1000 ppm verlassen, so konnten bei allen drei Lüftungsmöglichkeiten bis zum Unterrichtsbeginn am nächsten Morgen CO₂ -Werte nur leicht über der Umgebungskonzentration erreicht werden.

Bei Auswertung der Messergebnisse wurde außerdem klar, dass das Verhalten des Raumes über das Wochenende kein Problem darstellt. Nach Unterrichtsende am Freitag bis über das Wochenende wurde bei jeder der drei Lüftungsvarianten allein über natürliche Infiltration bis zum Wochenstart am Montagmorgen eine angemessene CO₂-Konzentration erreicht.

1.4 Eingriff des Nutzers / der Anlage in das Lüftungsverhalten

Hinsichtlich der verschiedenen Lüftungsmöglichkeiten ergaben sich qualitativ und quantitativ unterschiedliche Eingriffe des Nutzers oder der Anlage.

Lüftungsanlage

Bei der Lüftungsanlage waren kaum direkte Eingriffe erkennbar, da eine Lüftungsanlage dauerhaft in das Lüftungsverhalten eingreift. So wurden hier auch extreme Schwankungen der CO₂-Konzentration vermieden und selten Werte über 2000 ppm erreicht. Der Median der Messwerte lag bei 1256 ppm.

Fensterlüftung

Für die konventionelle Fensterlüftung erfolgten im Messprojekt 1 sehr seltene Eingriffe durch den Nutzer, die Anzahl beschränkte sich hier auf ungefähr sechs sichtbare Lüftungsvorgänge. Wenn hier jedoch ein Lüftungsvorgang durchgeführt wurde, erzielte dieser eine große Wirkung von bis zu 880 ppm Abfall der CO₂-Konzentration innerhalb einer Zeitspanne von 5 Minuten. Da jedoch nur selten gelüftet wurde, erreichte die CO₂-Konzentration häufig sehr hohe Werte, selten sogar bis über 4000 ppm. Es kam somit häufig vor, dass der Raum nach Unterrichtsende bei hohen CO₂-Konzentrationen verlassen wurde. Über Nacht konnte keine Erholung stattfinden und am darauffolgenden Schultag wurde bereits mit einer erhöhten CO₂-Konzentration im Raum der Unterricht begonnen. Wurde diese erhöhte CO₂-Konzentration innerhalb der Schulwoche nie durch einen Luftaustausch ausgeglichen, summierten sich die Werte von Tag zu Tag auf und es entstanden die genannten übermäßig hohen CO₂-Konzentrationen von bis zu 4000 ppm.

Windowmaster

Bei Betrachtung der Messergebnisse unter Verwendung des Belüftungssystems von Windowmaster erfolgten über den Messzeitraum von ungefähr 12 Wochen mehrere deutlich sichtbare Eingriffe in das Lüftungsverhalten. Ein einzelner Lüftungsvorgang erreichte hier jedoch nur einen Abfall der CO₂-Konzentration um bis zu rund 400 ppm innerhalb von 5 Minuten, also verglichen mit einem Lüftungsvorgang bei konventioneller Lüftung weniger als die Hälfte. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei einem Lüftungsvorgang mithilfe des Lüftungssystems von Windowmaster die Fenster nur gekippt, anstatt voll geöffnet zu werden. Damit steht ein sehr viel geringerer Lüftungsquerschnitt zum Luftaustausch zur Verfügung. Der maximale Lüftungsquerschnitt für die konventionelle Fensterlüftung beträgt in diesem Fall 5,784 m², für das Kippen der Fenster über das Lüftungssystem von Windowmaster hingegen nur 3,564 m².

2. Messprojekt 2: Folgeprojekt - Ergebnisse bei gutem Lüftungsverhalten

Um herauszufinden, zu welchen Ergebnissen ein gutes Lüftungsverhalten in Klassenzimmern führt, sollte ein Folgeprojekt zur Messung der CO₂-Konzentration durchgeführt werden. Für dieses Projekt wurden Klassenräume zweier Schulen ausgewählt, in welchen eine konventionelle Fensterlüftung durchgeführt wird. In Schule B fanden bereits im Rahmen des Messprojekts 1 CO₂-Messungen statt. Als zweite Schule wurde mit Schule D ein Neubau ausgewählt, welcher nur mit einer Fensterfront ausgestattet ist und bei welchem damit keine Querlüftung erfolgen kann. Für die Messungen wurden dieselben Datenlogger wie im ersten Messprojekt verwendet. In Schule D wurde am 06.04.2017 und in Schule B am 07.04.2017 gemessen.

2.1 Ausarbeitung und Umsetzung eines Lüftungsplanes

Um eine regelmäßige Durchlüftung der Klassenräume zu erreichen, wurde ein Lüftungsplan ausgearbeitet. Hierbei wurde festgelegt, dass für eine ausreichende Durchlüftung vor und nach jeder Schulstunde, also alle 45 Minuten, jeweils für 5 Minuten eine Stoßlüftung über die vorhandenen Lüftungsquerschnitte erfolgen soll. Ein beispielhafter Lüftungsplan ist im Anhang beigefügt.

2.2 Neubau

In Abbildung 5 ist der Tagesverlauf der CO₂-Konzentration für den Klassenraum des Neubaus von Schule D dargestellt. Es bestand für den gesamten Schultag eine durchgängige Belegung des Klassenraumes, bei der sich ungefähr 25-28 Personen im Raum aufhielten. Die Zeitpunkte der Stoßlüftungsvorgänge sind in Abbildung 5 blau gekennzeichnet. Hierzu wurden alle vier Fenster des Klassenraumes voll geöffnet, wobei ein Fenster einen Lüftungsquerschnitt von ungefähr 0,87 m² aufweist. Insgesamt ergibt sich somit ein Lüftungsquerschnitt von 3,48 m². Die Auswirkungen der einzelnen Lüftungsvorgänge sind im Verlauf der CO₂-Konzentration deutlich zu erkennen. Sobald eine Stoßlüftung durchgeführt wurde, sank die Kurve der CO₂-Konzentration im Klassenraum steil ab und sogar nach Schließen des Fensters wirkte sich die Durchlüftung noch einige Zeit auf die CO₂-Konzentration aus. Durch die Lüftungsvorgänge konnten hier bis zu 630 ppm Abfall bei einem Stoßlüftungsvorgang von 5 Minuten erreicht werden. Weiterhin ist zu sehen, dass die CO₂-Konzentration im Klassenraum insgesamt gering gehalten wurde. Die Konzentration stieg zu keinem Zeitpunkt über 2000 ppm, der maximale Wert liegt bei 1830 ppm und der Median bei Nutzung des Klassenraumes bei 1240 ppm.

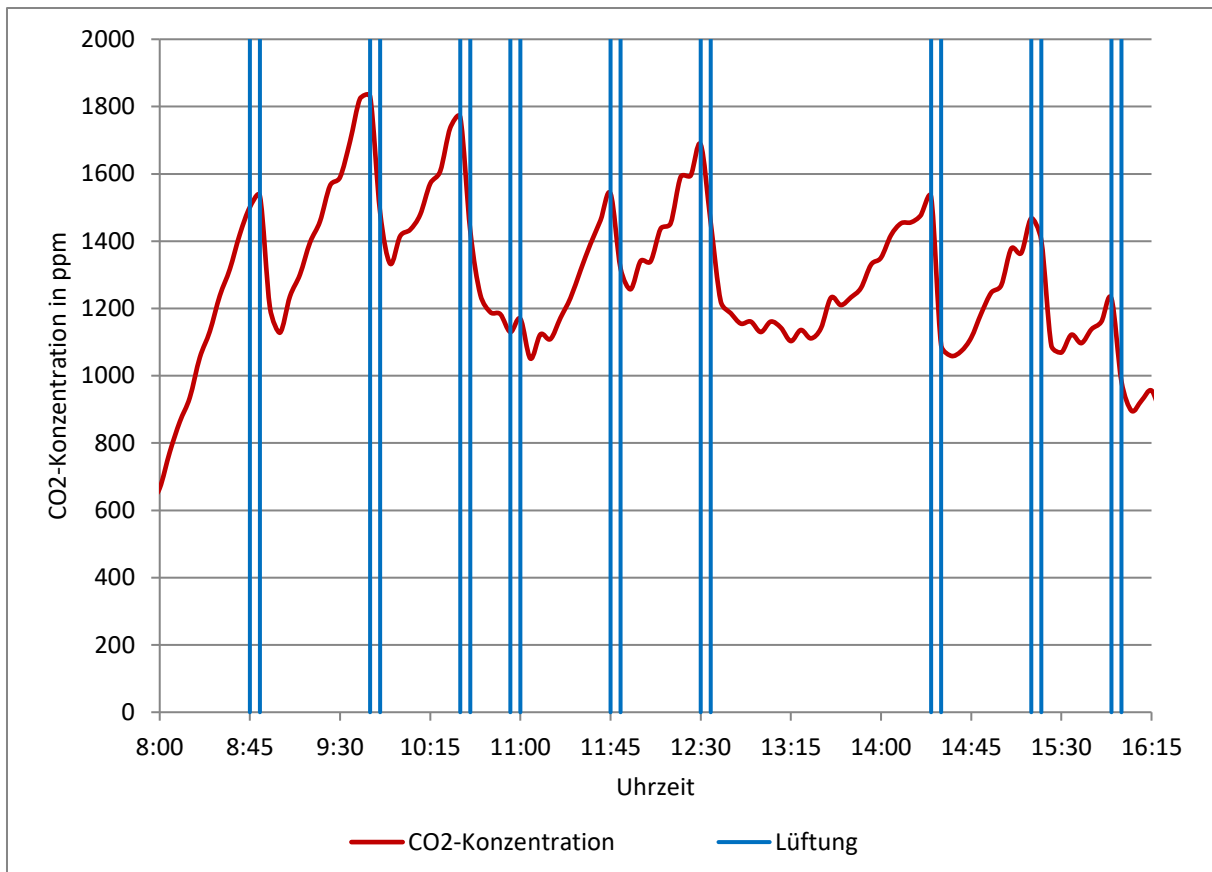


Abbildung 5: Tagesverlauf der CO₂-Konzentration mit Lüftungsvorgängen (blau) im Neubau

Bei Nutzungsende lag die CO₂-Konzentration unter 1000 ppm. Somit kann bis zum darauffolgenden Tag eine sehr gute Luftqualität erreicht werden. Zusätzlich empfiehlt der ausgearbeitete Lüftungsplan auch eine Lüftung vor Beginn der ersten Schulstunde, mit welcher im Klassenraum in jedem Falle ein Absinken auf den Umgebungswert der CO₂-Konzentration vollständig erreicht werden kann.

2.3 Saniertes Bestandsgebäude

Abbildung 6 zeigt den Verlauf der CO₂-Konzentration für zwei Doppelstunden mit einer Belegung von ungefähr 30 Personen in einem Klassenraum des H-Gebäudes von Schule B. Zwischen den Doppelstunden erfolgte eine Belegungspause von 9:30Uhr bis 12:00Uhr, in welcher sich keine Personen im Raum aufhielten. Die Lüftungsvorgänge sind erneut in blau dargestellt. Für die Lüftung in diesem Klassenraum wurden die Fenster an einer Seite des Klassenraumes vollständig geöffnet, wobei diese Fenster insgesamt einen Lüftungsquerschnitt von 7,28 m² aufweisen. An der gegenüberliegenden Wand wurden außerdem während des Lüftens alle fünf vorhandenen Oberlichter gekippt, um eine Querlüftung im Klassenraum zu erzeugen. Auch für diesen Klassenraum wurde die Auswirkung eines einzelnen Lüftungsvorganges auf den CO₂-Gehalt des Raumes deutlich. Pro Lüftungsvorgang konnten hier aufgrund der möglichen Querlüftung sogar 770 ppm innerhalb einer Lüftungsdauer von 5 Minuten erreicht werden. Damit erreichte die CO₂-Konzentration des Raumes zu keinem Zeitpunkt kritische Werte von 2000 ppm.

Es lag zwar in diesem Fall keine durchgängige Belegung vor, jedoch lässt sich anhand der vorliegenden Werte zur Wirkung eines Stoßlüftungsvorganges schlussfolgern, dass sich auch bei einer durchgängigen Belegung des Klassenraumes mit regelmäßigen Stoßlüftungsvorgängen für jeweils 5 Minuten vor und nach jeder Schulstunde der CO₂-Gehalt dauerhaft auf angemessene Werte begrenzen lässt. Als Median der CO₂-Konzentration ergab sich für die Zeit während der Nutzung des Klassenraumes ein Wert von 1097 ppm. Der maximale CO₂-Gehalt für die vorliegende Messung betrug 1500 ppm. Außerdem ist in Abbildung 6 zu sehen, wie schnell der Raum sich bei Nichtbenutzung und vorausgehender Lüftung erholte. Innerhalb der zweistündigen Pause zwischen den beiden Doppelstunden erreichte der CO₂-Wert annähernd die Umgebungsluftqualität.

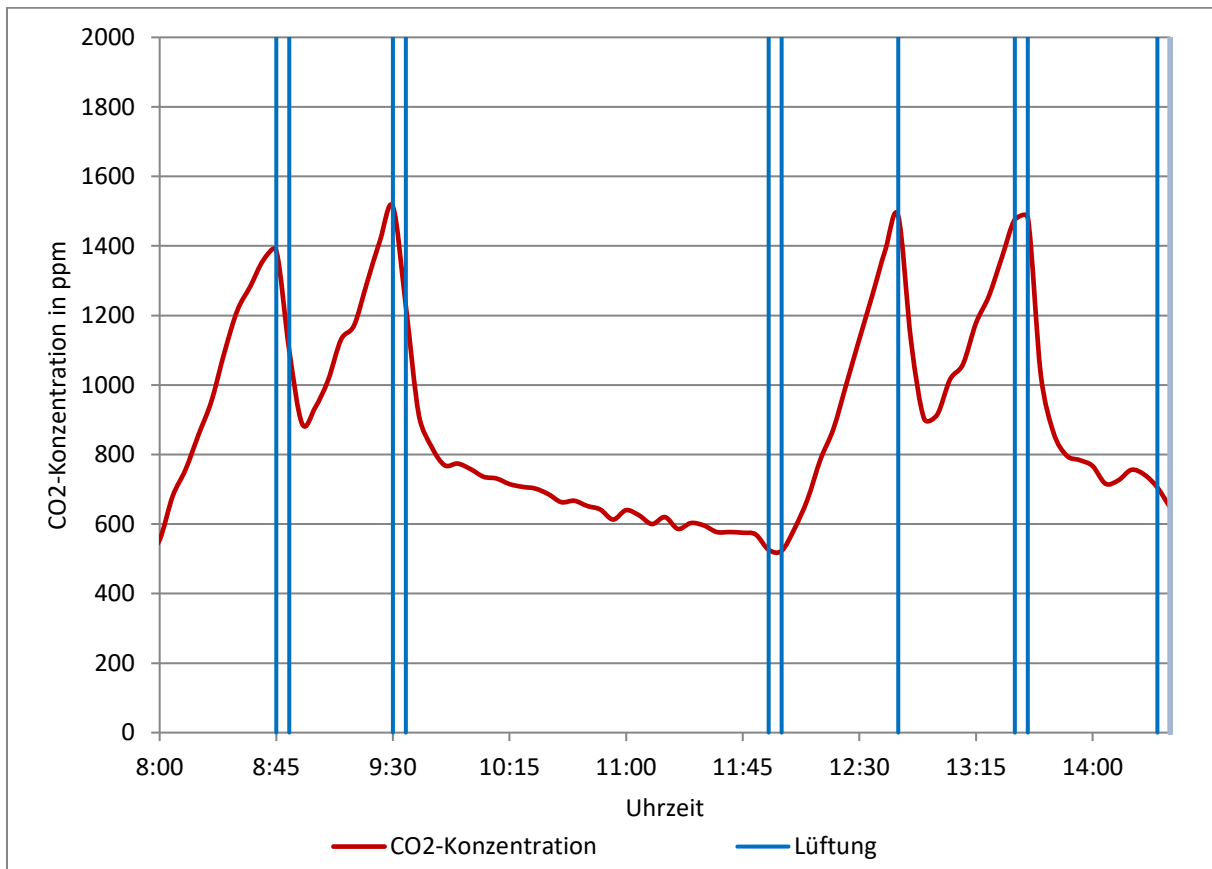


Abbildung 6: Verlauf der CO₂-Konzentration für zwei Doppelstunden mit Lüftungsvorgängen (blau) im Altbau

Auch in diesem Fall wurde durch regelmäßiges Stoßlüften und durch eine Lüftung nach Nutzung des Klassenraumes zum Ende des Schultages ein geringer CO₂-Gehalt von nur rund 800 ppm erreicht. Damit wurde auch hier sichergestellt, dass am darauffolgenden Schultag mit einer angemessenen CO₂-Konzentration in den Unterricht gestartet werden kann.

3. Natürliches Lüftungskonzept an der Schule Klein Flottbeker Weg

Als Beispiel für ein erfolgreich umgesetztes Lüftungskonzept kann die Grundschule Klein Flottbeker Weg genannt werden. Hier wurden verschiedene Lüftungsöffnungen mit Funktionen der Stoßlüftung, Nachtlüftung und Spaltlüftung in die Klassenräume eingebaut. Den Nutzern wurde das Energie- und Lüftungskonzept ausführlich erläutert und ein Schaubild zur Bedienung der Fensterlüftung ausgegeben. Außerdem wurden CO₂-Ampeln in jedem Klassenraum installiert, welche eine erhöhte CO₂-Konzentration anzeigen.

Eine Evaluation der Grundschule Klein Flottbeker Weg hat ergeben, dass das Lüftungskonzept sehr gut funktioniert. Während der Heizzeit wurde die Raumluftqualität in drei Klassenräumen gemessen, und die Ergebnisse zeigten durchweg ein gutes Ergebnis: 41-55% der Messwerte lagen im Bereich unter 1000 ppm, 43-47% zwischen 1000 und 2000 ppm und nur 0-8% der Werte im Bereich über 2000 ppm. In Abbildung 7 sind diese Ergebnisse bildlich dargestellt.

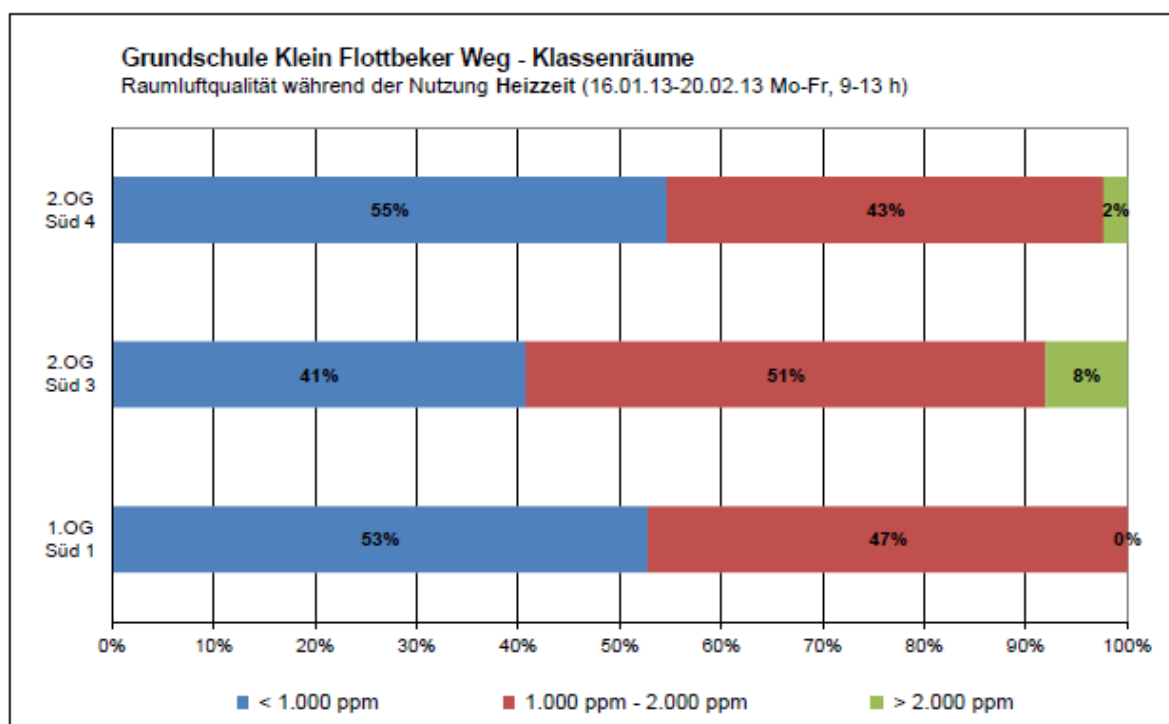


Abbildung 7: Prozentuale Verteilung der Raumluftqualität in der Heizzeit in drei Klassenräumen der Schule Klein Flottbeker Weg¹

In den Abbildungen 8 und 9 ist die Fensteranordnung der Grundschule Klein Flottbeker Weg zu sehen. Für die Nachtlüftung im Sommer oder die Lüftung am Tag bei Regen ist ein großer Flügel mit Wetterschutzlamelle vorgesehen. Außerdem kann bei kalter Außenluft oder bei Wind mit Oberlichtern dosiert gelüftet und Zugluft vermieden werden. Zur Stoßlüftung in den Pausen und im Sommer sind kleine Flügel zur leichten Bedienung für die Schüler vorhanden. Die Lage und Größe der Fenster ist optimal um zum einen eine gute Durchlüftung des Raumes zu erreichen und zum anderen um die Sicherheitsanforderungen einer Schule zu erfüllen.¹



Abbildung 8: Fensteranordnung in der Schule Klein Flottbeker Weg¹

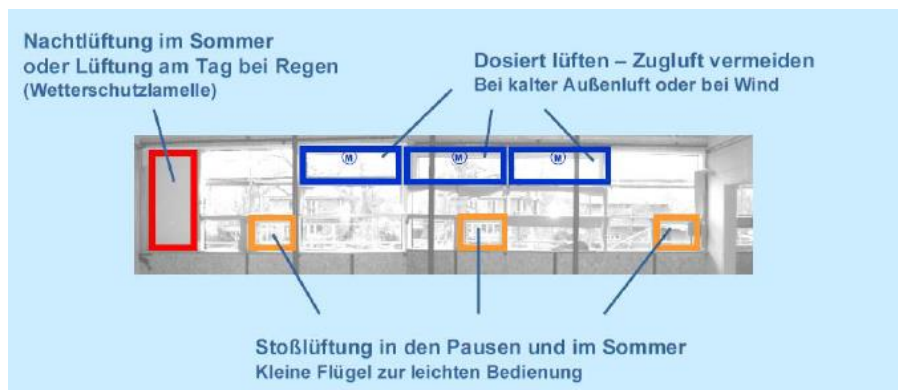


Abbildung 9: Fensteranordnung in der Schule Klein Flottbeker Weg¹

¹ KApus ingenieurbüro vollert, Eckernförde: Neubau GS Klein Flottbeker Weg, Energetisches Monitoring und Raumluftqualität, Endbericht 09.10.2015

4. Fazit und Handlungsempfehlungen

Die Ergebnisse zeigen, dass natürliche Lüftungskonzepte zu dauerhaft guter Luftqualität führen, wenn die Nutzer die vorhandenen Möglichkeiten nutzen und richtig lüften. Auch Lüftungsanlagen können zu guter Luftqualität führen – jedoch weisen sie im Wirtschaftlichkeitsvergleich deutlich höhere Gesamtkosten über den Lebenszyklus auf.

Es lassen sich nun einige Handlungsempfehlungen zu den verschiedenen Lüftungsmöglichkeiten aus der Auswertung der Messergebnisse ableiten.

4.1 Lüftungsanlagen

In dem vorliegenden Beispiel wurde deutlich, dass unter Einsatz einer Lüftungsanlage dauerhaft ein angemessener CO₂-Gehalt in einem Klassenraum aufrechterhalten werden kann. Hinsichtlich des Einsatzes von Lüftungsanlagen sollte jedoch bedacht werden, dass durch diese hohe Wartungs- und Betriebskosten entstehen. Außerdem sollte der Regelung der Lüftungsanlage ausreichend Beachtung geschenkt werden. Um Kosten im Betrieb der Anlage zu sparen, sollten Lüftungsanlagen beispielsweise so gesteuert werden, dass diese zu Wochenend- und Ferienzeiten außer Betrieb sind.

4.2 Lüftungskonzept von Windowmaster

Bei Verwendung des Lüftungssystems von Windowmaster sollte darauf geachtet werden, dass angemessene Voreinstellungen des Systems getroffen werden. Der im Messprojekt 1 vorliegende Fall lässt beispielsweise vermuten, dass als Grenze, ab der das System von Windowmasters eingreift, unter anderem eine CO₂-Konzentration von 2000 ppm gesetzt wurde. Im vorliegenden Beispiel wurde jedoch ebenfalls deutlich, dass diese Grenze zu hoch ausgelegt ist, da bei Nutzung dieses Lüftungssystems nur ein Kippen der Fenster möglich ist und somit nur ein relativ geringer Luftaustausch stattfindet. Die CO₂-Werte sinken somit nicht ausreichend schnell, um insgesamt angemessene Konzentrationen zu erreichen. Außerdem wirft das vorliegende Beispiel Bedenken auf, da oft selbst bei Konzentrationen von 3000-4000 ppm kein ersichtlicher Eingriff des Systems erfolgte. Auch die Auswirkung auf den Heizenergieverbrauch durch dauerhaft gekippte Fenster lässt Bedenken hinsichtlich dieses Lüftungssystems aufkommen.

4.3 Manuelle Fensterlüftung

Messprojekt 1 zeigt, dass eine manuelle Fensterlüftung ohne Stoßlüftungsvorgänge zu einer dauerhaft schlechten Luftqualität in Klassenräumen führen kann, wenn die Nutzer nicht richtig lüften. Bei regelmäßiger Lüftung durch die Nutzer wird jedoch eine gute Luftqualität erreicht. In Messprojekt 2 wurde deutlich, dass sowohl in Alt- als auch in Neubauten bereits durch einen Stoßlüftungsvorgang vor und nach jeder Schulstunde (45 Minuten) für jeweils 5 Minuten ein ausreichend hoher Luftwechsel für eine dauerhaft gute Luftqualität im Klassenraum erreicht wird. Vor allem eine intensive Lüftung kurz vor Beginn des Schultages ist hier sehr hilfreich, da so keine Rückstände der CO₂-Konzentration vom vorhergehenden Schultag einen negativen Einfluss auf die Raumluftqualität ausüben können. Gekippte Fenster können zusätzlich zu den Stoßlüftungsvorgängen zu einer guten Raumluftqualität beitragen, das dauerhafte Kippen von Fenstern ist jedoch im Hinblick auf den Heizenergieverbrauch nur außerhalb der Heizperiode sinnvoll.

Um die Notwendigkeit für eine Durchlüftung des Klassenraumes besser und schneller zu erkennen, sind CO₂-Ampeln, welche die Höhe der CO₂-Konzentration anzeigen und damit Lüftungsempfehlungen geben, sinnvoll. Das Beispiel der Schule Klein Flottbeker Weg zeigt, dass ein solches Gesamtlüftungskonzept mit manueller Fensterlüftung und Integration der Nutzer für eine dauerhaft gute Luftqualität in Klassenräumen sorgt.

Auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse wird das Energiemanagement eine Handreichung für Schulen entwickeln, um eine praktische Hilfestellung bei der Verbesserung des Lüftungsverhaltens zu geben.

Anhang

Lüftungsplan			
Uhrzeit	Vorgang	Dauer	Bemerkung
7:55-08:00	Lüften	5min	
08:00-08:45	Schulstunde	45min	
08:45-08:50	Lüften	5min	
08:45-09:30	Schulstunde	45min	
09:30-09:35	Lüften	5min	nach Bedarf 09:25-09:30Uhr
09:30-10:00	Pause	30min	
09:55-10:00	Lüften	5min	nach Bedarf 10:00-10:05Uhr
10:00-10:45	Schulstunde	45min	
10:45-10:50	Lüften	5min	
10:45-11:30	Schulstunde	45min	
11:30-11:35	Lüften	5min	nach Bedarf 11:25-11:30Uhr
11:30-12:00	Pause	30min	
11:55-12:00	Lüften	5min	nach Bedarf 12:00-12:05Uhr
12:00-12:45	Schulstunde	45min	
12:45-12:50	Lüften	5min	
12:45-13:30	Schulstunde	45min	
13:30-13:35	Lüften	5min	nach Bedarf 13:25-13:30Uhr

13:30-14:00	Pause	30min	
13:55-14:00	Lüften	5min	nach Bedarf 14:00-14:05
14:00-14:45	Schulstunde	45min	
14:45-14:50	Lüften	5min	
14:45-15:30	Schulstunde	45min	
15:30-15:35	Lüften/Pause	5min	
15:35-16:15	Schulstunde	40min	
16:15-16:20	Lüften	5min	
16:15-17:00	Schulstunde	45min	
17:00-17:05	Lüften	5min	nach Bedarf 16:55-17:00