



# Lüftung von Sondernutzungsräumen in Schulen

Leitfaden für die CO<sub>2</sub>-Reduzierung in Sondernutzungsräumen  
in Schulgebäuden im südlichen Oberrheingraben

Ergänzung zum Leitfaden „Natürliche Gebäudeklimatisierung in Klassenzimmern“

Autoren:

Klaus Huber  
Elmar Bollin

Forschungsgruppe net – Nachhaltige Energietechnik, INES - Institut für Energiesystemtechnik der  
Hochschule Offenburg,

Fassung vom 23.06.2016, Offenburg

Diese Veröffentlichung wurde erstellt von der

Forschungsgruppe net (Nachhaltige Energietechnik)  
INES - Institut für Energiesystemtechnik  
Hochschule Offenburg  
Badstraße 24  
77652 Offenburg  
[www.fgnet.hs-offenburg.de](http://www.fgnet.hs-offenburg.de)

Im Auftrag der Stadt Offenburg im Rahmen des vom Innovationsfonds für Klima- und Wasserschutz der  
badenova AG & Co. KG geförderten Forschungsprojekts 2012-10

### **Inhaltliche Eingrenzung / Haftungsausschluss**

Diese Veröffentlichung erhebt bezüglich der Lüftung in Sondernutzungsräumen nicht den Anspruch, auch sämtliche anderen für die Planung und Realisierung von Maßnahmen zur CO<sub>2</sub>-Minderung in Schulgebäuden abzudecken. Sie ist als Ergänzung zum Leitfaden „Natürliche Gebäudeklimatisierung in Klassenzimmern“ [1] zu sehen, die unter <http://fgnet.hs-offenburg.de/publikationen/> heruntergeladen werden kann. Der Inhalt dieser Veröffentlichung wurde mit größter Sorgfalt und nach bestem Wissen und Gewissen zusammengestellt. Hinsichtlich der Verwendung von gezeigten Informationen muss dennoch jeder die Anforderungen von Gesetzen, Normen oder Verordnungen eigenverantwortlich überprüfen. Jegliche Haftung für die Richtigkeit und Vollständigkeit der Inhalte und Daten sowie insbesondere für eventuelle Schäden oder Konsequenzen, die durch die Nutzung des dargestellten Wissensstoffes entstehen, ist ausgeschlossen.

## Inhalt

Einleitung .....	3
1 Ursachen hoher CO <sub>2</sub> -Konzentrationen in Schulen .....	5
1.1 Notwendigkeit der Lüftung in energetisch sanierten Schulen .....	5
1.2 Lüftungskonzepte .....	7
2 Regelstrategien .....	8
2.1 Regelstrategie zur CO <sub>2</sub> -Reduzierung .....	8
2.2 Regelstrategie zur Nachtkühlung .....	10
3 Aufstellung der Lüftungsgeräte .....	11
3.1 Geräuschentwicklung .....	12
3.2 Zuglufterscheinungen .....	12
3.3 Platzbedarf der dezentralen Lüftungsgeräte .....	14
4 Hygieneuntersuchungen .....	16
5 Auslegung der Lüftungsgeräte .....	16
6 Investitionskosten .....	18
7 Energieeffizienz .....	20
8 Nutzerzufriedenheit .....	21
9 Zusammenfassung .....	22
10 Literaturverzeichnis .....	23

## Einleitung

Der sommerliche Wärmeschutz von Schulgebäuden im Oberrheingraben und die Bereitstellung von Kühlenergie wurden bereits untersucht und finden Aufnahme im Leitfaden „Natürliche Gebäudeklimatisierung in Klassenzimmern des südlichen Oberrheins“ [1]. Dieser Leitfaden ist als Ergänzung zum oben erwähnten Leitfaden zu verstehen. Im Rahmen der Arbeiten zur Minderung der sommerlichen Überhitzung wurde durch den Einbau und die damit verbundene kontinuierliche Aufzeichnung der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen der Raumluft festgestellt, dass besonders im Winterhalbjahr eine Verbesserung der Luftqualität erreicht werden muss. Verstärkt wird der Lüftungsbedarf durch die Umstellung vieler Schulen auf den Ganztagschulbetrieb, der bei fehlender Lüftungsaktivität die Qualität der Raumluft stark absinken lässt. Dieser Sachverhalt führt zu schneller Ermüdung durch Sauerstoffmangel und damit signifikant starken Einbruch der Konzentrationsfähigkeit der Schüler [2].

Im Rahmen dieses Leitfadens wird entsprechend des Auftrags im Projekt „Dezentrale, fassadenintegrierte Lüftungsanlagen für energetisch sanierte Gebäude“ [3] hauptsächlich auf die Dezentrale Lüftung von Sondernutzungsräumen eingegangen. Die Räume weisen die Besonderheit auf, dass die Türen aus verschiedenen Gründen geschlossen bleiben müssen. Sondernutzungsräume sind Fachräume für Biologie, Physik, Chemie, Computeranwendungen und Werken, Lehrerzimmer, Sekretariate und Rektorate. Klassenräume bei denen die Türen geöffnet bleiben dürfen, können über die in den untersuchten Gebäuden bereits verfügbare zentrale Abluftanlage in Kombination mit automatisch zu öffnenden Fenstern in den Pausen belüftet werden.

Die eingesetzten dezentralen Lüftungsmaßnahmen belüften entsprechend dieser Rahmenbedingungen einzelne Räume bzw. nebeneinander liegende Räume, die mit einer Anlage erfasst werden können. Entsprechend den Raumsituationen wurden verschiedene Lüftungskonzepte installiert bzw. vorhandene Systeme ergänzt und automatisiert.

Bei diesem Konzept ist eine Einbindung der Nutzer und Hausmeister nur in geringem Umfang notwendig, da das Öffnen der Zimmertüren nicht notwendig ist. Lediglich bei Lösungen mit CO<sub>2</sub>-Ampeln ist ein Eingriff durch die Nutzer zum Öffnen der Fenster notwendig. Bei den automatisierten Anlagen wird allerdings eine Eingriffsmöglichkeit in den Lüftungsbetrieb eingeräumt, damit unangenehme Nebenerscheinungen der Lüftungsanlage temporär beseitigt werden können.

Die Lüftungsmaßnahmen sind, sofern möglich, an die vorhandene Gebäudeautomation angeschlossen. Eine Steuerung der Geräte fand jedoch im Rahmen des Projektes nur in einem Fall mittels Gebäudeautomation statt. In den meisten Fällen funktionieren die Geräte autark indem die CO<sub>2</sub>-Konzentration im Raum erfasst und entsprechend derer die Lüfterleistung der Geräte geregelt wird.

Im Falle des Einbaus von Lüftungsgeräten mit Wärmerückgewinnung wurden nur solche Geräte ausgewählt, die über eine Bypassklappe verfügen und deren Regelung über eine Nachlüftungsfunktion verfügt. Dadurch kann eine sommerliche Überhitzung in den Räumen reduziert werden.

Der vorliegende Leitfaden basiert auf den Ergebnissen des Forschungsprojektes „Dezentrale, fassadenintegrierte Lüftungsanlagen für energetisch sanierte Gebäude“ [3], und geht auf die unterschiedlichen Besonderheiten der Schulgebäude ein. Er belegt an mehreren Beispielen wie gut und unter welchen Randbedingungen die Umsetzung erfolgreich gelingen kann. Die Projektergebnisse sollen somit Schulleitern, Planern und Entscheidungsträgern einen Einblick darüber geben, welche Aspekte für die Ausarbeitung von Ausschreibungsunterlagen und die Begleitung von Bauvorhaben erforderlich sind und mit welchen Kosten bei Investition und Betrieb zu kalkulieren sind. Es besteht kein Anspruch auf Vollständigkeit.

# 1 Ursachen hoher CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in Schulen

Durch die energetische Sanierung von Schulgebäuden bei der auch die Fassade abgedichtet wird, findet in den Räumen ein deutlich geringerer natürlicher Luftwechsel statt als vorher. In Folge dessen reichert sich das ausgeatmete CO<sub>2</sub> der Raumnutzer im Laufe einer Unterrichtsstunde stark an. Wird während den Pausen oder auch schon während des Unterrichts nicht gelüftet, erhöht sich die Konzentration in der darauffolgenden Stunde weiter. Hohe Konzentrationen bauen sich auch häufig bis zum nächsten Tag nicht vollständig ab, sodass am nächsten Tag schon zu Unterrichtsbeginn ein erhöhter Wert vorliegt und zu noch höheren Werten führen kann.

Allgemein wird speziell im Winter wegen niedrigen Außentemperaturen nicht ausreichend gelüftet. Geht man von einem Raumvolumen von 6 m<sup>3</sup>/Pers. aus, wäre, um über eine reine Fensterlüftung in Unterrichtsräumen eine ausreichende Luftqualität zu erreichen, ca. alle 20 Minuten eine Fensterlüftung notwendig [4]. Dies ist im Schulalltag kaum realisierbar.

## 1.1 Notwendigkeit der Lüftung in energetisch sanierten Schulen

Da durch hohe CO<sub>2</sub>-Konzentrationen das Wohlbefinden der Nutzer und deren Konzentrationsfähigkeit stark eingeschränkt sind, sind Lüftungsmaßnahmen unerlässlich. Ohne Lüftungsmaßnahmen treten hohe Konzentrationen wie in Abb. 1.1 zu sehen auf. In diesem Raum wurden CO<sub>2</sub>-Konzentrationen bis 5.000 ppm erfasst. Diese bauen sich ohne Lüftung nur sehr langsam ab, sodass zu Unterrichtsbeginn am nächsten Tag noch Konzentrationen bis 2.000 ppm vorliegen. Nach dem Leitfaden Innenraumhygiene für Schulgebäude des Umweltbundesamtes [5] gelten Konzentrationen zwischen 1.000 ppm und 2.000 ppm als hygienisch auffällig und über 2.000 ppm als inakzeptabel. Ab 2.000 ppm wird empfohlen, weitergehende Maßnahmen und die Belüftbarkeit des Raumes zu prüfen.

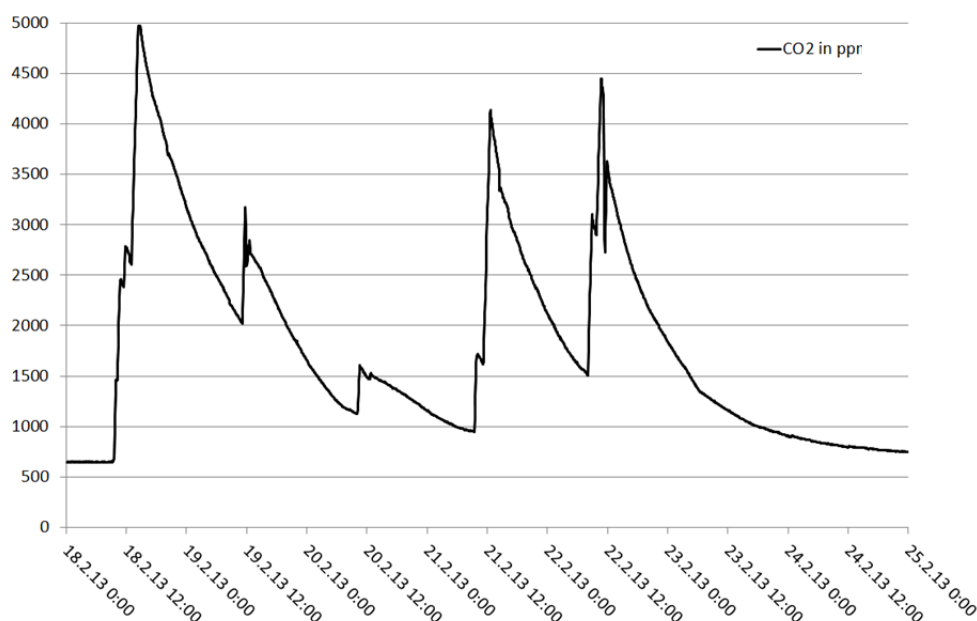


Abb. 1.1: CO<sub>2</sub>-Verlauf in ppm in einem Computerraum in der Woche vom 18.02.2013 bis 24.02.2013

In Abb. 1.2 sind Dauerlinien desselben Raumes mit und ohne Lüftung dargestellt. Mit Lüftung wird eine CO<sub>2</sub>-Konzentration von 1.000 ppm nur noch während 10 % der Messzeit überschritten. Ohne Lüftung war dies während 92 % der Messzeit der Fall. Wurden ohne Lüftung während 35 % der Messzeit CO<sub>2</sub>-Konzentrationen über 2.000 ppm erfasst, wurden mit Lüftung nur noch äußerst selten solch hohe Werte gemessen.

Durch diese Lüftungsmaßnahme konnte also eine deutliche Verbesserung der Luftqualität erreicht werden. Neben CO<sub>2</sub> werden selbstverständlich auch andere Schadstoffe aus dem Raum gelüftet, sodass auch hier eine Verbesserung der Situation gegeben ist.

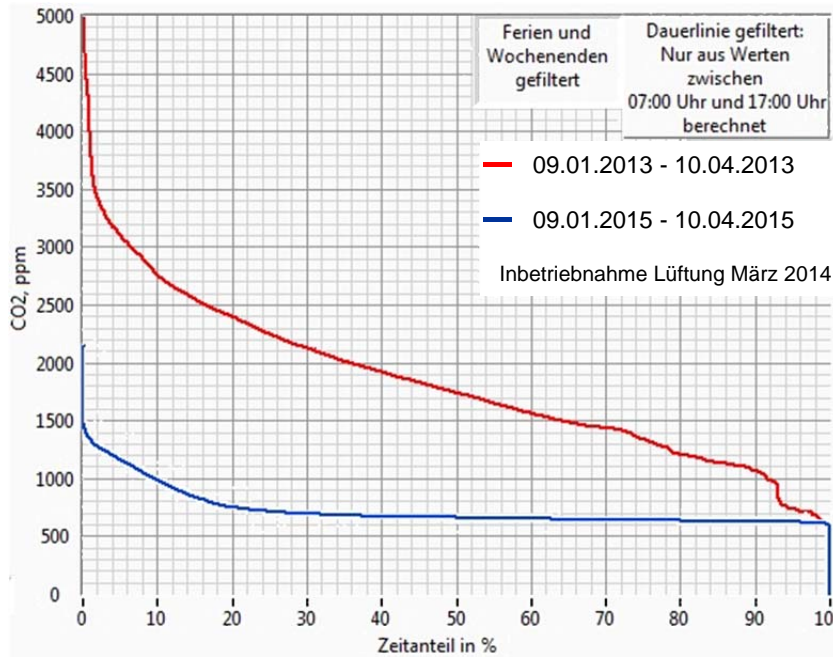


Abb. 1.2. Dauerlinien der CO<sub>2</sub>-Konzentration in einem Computerraum. Die Messwerte wurden gefiltert, sodass nur Messwerte an Schultagen zwischen 7 und 17 Uhr in die Berechnung der Dauerlinien mit einfließen.

## 1.2 Lüftungskonzepte

Zur Raumlüftung kommen die nachfolgenden Konzepte in Betracht. Die im Rahmen des Projektes „Dezentrale Lüftungen“ [3] an den Schulen in Offenburg untersuchten Konzepte sind farblich markiert.

	Rein manuelle Fensterlüftung mit Lüftungsplan oder Unterstützung durch CO <sub>2</sub> -Ampel
	Motorisch unterstützte Fensterlüftung
	Geregeltes Abluftsystem mit motorisch zu öffnenden Fenstern
	Geregelte maschinelle Lüftung mit Wärmerückgewinnung Decken-/Wandgerät
	Geregelte maschinelle Lüftung mit Wärmerückgewinnung Standgerät
	Hybride Lüftung (Kombination aus motorischer Fensterlüftung und maschineller Lüftung)

Abb. 1.3: Mögliche Lüftungskonzepte zur CO<sub>2</sub>-Reduzierung in Schule. Farblich markierte Lüftungskonzepte wurden in Schulen in Offenburg umgesetzt. Die Grafiken wurden freundlicherweise vom Fachverband Gebäude-Klima zur Verfügung gestellt [6].

Die automatisierten Lüftungskonzepte können sowohl dezentral als auch zentral über die Gebäudeautomation (GA) oder kombiniert geregelt werden (Abb. 1.4). Die dezentrale Regelung bietet dabei den Vorteil, dass ein auf das Lüftungsgerät abgestimmter Regler lediglich parametrisiert werden muss. Fehler in den Einstellungen werden so weitgehend vermieden. Nachteilig ist hierbei, dass oft kein zentraler Zugriff auf die Regelparameter möglich ist und nur die vorgegebene Regelstrategie realisierbar ist.

Eine zentrale Regelung über die GA kann nahezu beliebige Regelstrategien beinhalten. Erfahrungsgemäß sind häufig aber mehrere Nachbesserungen der Programmierung erforderlich. Fehler in der Programmierung sind ohne Monitoring nur schwer zu entdecken und bleiben meist unbemerkt.

Eine Kombination aus zentraler und dezentraler Regelung der Lüftungsgeräte erlaubt einen zentralen Zugriff auf einzelne Regelparameter oder übergeordnete Steuerbefehle. Die Geräte können zentral z.B. anhand des Ferienplans zur Energieeinsparung ein- und ausgeschaltet werden. Die verschiedenen Regelgeräte der Hersteller erlauben hier unterschiedliche Zugriffsmöglichkeiten. Teilweise sind Webbrowser mit passwortgeschütztem



Zugriff auf die Regelparameter enthalten. Andere Geräte lassen lediglich übergeordnete Befehle zu, was wiederum die Gefahr der Fehlbedienung verringert.

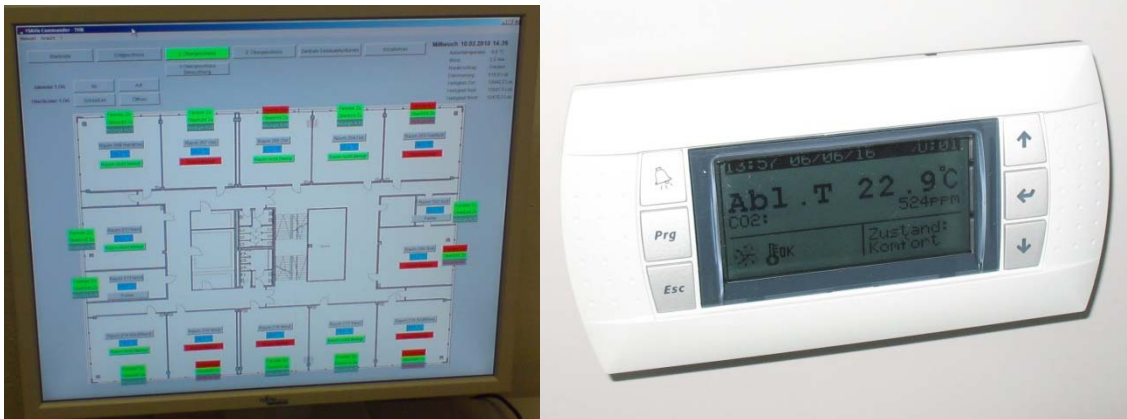


Abb. 1.4: Links Leitfaden mit Gebäudevisualisierung zur zentralen Regelung.  
Rechts Lüftungsregler bzw. Steuergerät zur dezentralen Regelung.

## 2 Regelstrategien

Die nachfolgenden Regelstrategien wurden im Rahmen des Projektes „Dezentrale Lüftungen“ [3] umgesetzt. Bei Lüftungskonzepten mit reiner manueller Fensterlüftung ist selbstredend keine Regelstrategie notwendig. Die Nutzer werden hier angewiesen gemäß einem Lüftungsplan oder anhand der Anzeige einer CO<sub>2</sub>-Ampel die Fenster zu öffnen.

### 2.1 Regelstrategie zur CO<sub>2</sub>-Reduzierung

Zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Konzentration bedarf es lediglich einer sehr einfachen Regelung bei der die Lüfterleistung des Lüftungsgerätes bei ansteigender CO<sub>2</sub>-Konzentration hochgefahren wird. Je nach Lüftungsgerät ist eine stufenlose oder stufige Erhöhung der Lüfterdrehzahl möglich. Meist gibt die interne Regelung des Lüftungsgerätes vor, dass die Lüfter mindestens auf niedrigster Stufe betrieben werden. Die CO<sub>2</sub>-Konzentration bei der in die nächsthöhere Stufe geschaltet wird, sollte sich dabei an den empfohlenen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen aus Abschnitt 1.1 orientieren. Der Zeitraum in dem die erste Stufe in Betrieb ist, sollte aus energetischen Gründen (siehe Abschnitt 0) auf Zeiträume begrenzt werden, in denen potentiell Unterricht stattfindet. Dabei sollte eine Nachlaufzeit eingeplant werden um erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auch nach Unterrichtschluss noch weglüften zu können. Bei einer dreistufigen Steuerung sollte vor Erreichen von 2.000 ppm in die höchste Lüfterstufe geschaltet werden.

Für stufenlose Lüfterregelungen gelten die gleichen Parameter innerhalb derer die Lüfter in der Leistung angepasst werden.

Eine andere Regelstrategie ist, dass maximale Rücksicht auf die Nutzer genommen wird, wenn unangenehme Begleiterscheinungen wie Zugluft und Geräuschentwicklung im Vorfeld bereits anzunehmen sind. Über einen Präsenzmelder wird dann die Lüftung nur dann frei gegeben, wenn der Raum leer ist. Mit einem Außentemperaturfühler kann bei Lüftungskonzepten ohne Wärmerückgewinnung zudem geprüft werden, ob durch die Lüftung Begleiterscheinungen wie Zugluft durch kalte Frischluft oder ein Wärmeeintrag bei hohen Außentemperaturen zu erwarten sind. Die Lüftung kann dann bei moderaten Außentemperaturen freigegeben werden, wenn Personen im Raum sind.

Durch diese sehr nutzerfreundliche Regelstrategie sind zeitweise erhöhte CO<sub>2</sub>-Werte in Kauf zu nehmen. Eine Lüftung erfolgt aufgrund der Restriktionen teilweise nur außerhalb der Unterrichtszeiten und erlaubt damit oft keine Lüftung während Personen im Raum sind.

Diese Regelstrategie wurde in einem Lehrerzimmer (Abb. 2.1) umgesetzt. Bereits bei ersten Tests der vorhandenen Abluftanlage in Verbindung mit automatisierten Oberlichtern wurde festgestellt, dass anwesende Lehrer relativ schnell die Lüftung wieder ausschalteten. Bei Einschalten der Lüftung und Öffnen der Oberlichter entsteht bei kalter Außentemperatur Zugluft, die durch manuelles Ausschalten der Lüftung vermieden wird. Es wird dadurch eine höhere Akzeptanz und weniger unangenehme Nebenerscheinungen erwartet, was sich auch bei der durchgeführten Nutzerbefragung bestätigte.

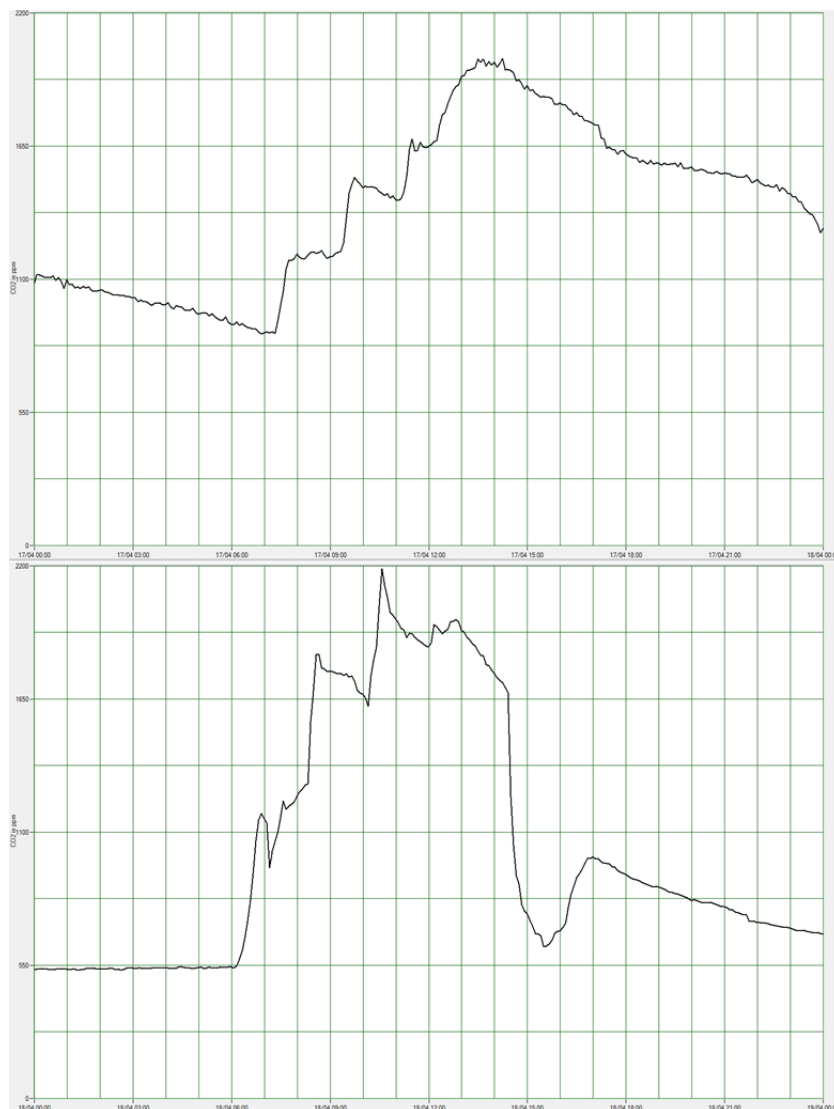


Abb. 2.1: Typischer Verlauf der CO<sub>2</sub>-Konzentration in einem untersuchten Lehrerzimmer oben am 17.04.2013 ohne und unten am 18.04.2016 mit automatisierter Lüftung. Typisch ist der stufige Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration, der ohne Lüftung nur langsam abklingt. Rechts wird die Lüftung um ca. 15 Uhr aktiv und reduziert die Konzentration rapide. Vorher war die Lüftung aufgrund anwesender Personen im Raum und niedriger Außentemperatur inaktiv.

Zur Verbesserung der Akzeptanz werden einfache Eingriffsmöglichkeiten durch den Nutzer empfohlen, die sich nach einiger Zeit selbst wieder zurücksetzen. Placeboschalter, die eine Eingriffsmöglichkeit nur vorgaukeln, werden nicht empfohlen, da diese die Akzeptanz durch die Nutzer eher verringern. Das Vertrauen in die technischen Systeme, das Gebäude und den Betreiber geht dabei verloren [4].

Im Projekt „Dezentrale Lüftungen“ [3] wurde den Nutzern bei einigen Geräten über einen Taster am Lehrerpult (Abb. 2.2) oder im Lehrerzimmer die Möglichkeit eingeräumt, bei unangenehmen Nebenerscheinungen der Lüftungsgeräte wie Geräusentwicklung oder Zugluft die Geräte temporär ausschalten zu können. Bei einer Umfrage unter den Lehrern zeigte sich, dass einige Lehrer unangenehme Zuglufterscheinungen bemängeln, der Taster den Lehrern aber nur teilweise bekannt war. Durch einen Aushang im Lehrerzimmer wurde daraufhin gezielt auf diese Möglichkeit des manuellen Eingriffs in die Regelung hingewiesen. Der Taster wird bei Pausenbeginn automatisch zurückgesetzt, sodass kein weiterer Eingriff durch den Lehrer notwendig ist und die Lüftung des Raums in der Pause gewährleistet ist.



Abb. 2.2: Taster am Lehrerpult zur temporären Deaktivierung des Lüftungsgerätes

## 2.2 Regelstrategie zur Nachtkühlung

Die meisten am Markt angebotenen Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung verfügen über eine Bypassklappe und eine Schaltung zur Nachtauskühlung. Dabei wird bei hohen Raumtemperaturen der Wärmeübertrager im Gerät umgangen und nachts Außenluft zur Kühlung des Raums ohne Vorwärmung in den Raum eingebracht. Dadurch wird eine energieeffiziente Raumkühlung realisiert, die keinerlei Investitionskosten außer der ohnehin benötigten Lüftungsanlage bedarf. Nähere Details können dem Leitfaden „Natürliche Gebäudeklimatisierung in Klassenzimmern“ [7] entnommen werden.

### 3 Aufstellung der Lüftungsgeräte

Lüftungsgeräte sind so anzuordnen, dass negative Begleiterscheinungen vermieden werden oder nur reduziert in Erscheinung treten. Leider ist dies nicht immer in ausreichendem Maß möglich. Wo dies nicht gewährleistet werden kann, sollte in jedem Fall eine Einrichtung zur temporären Abschaltung des Lüftungsgeräts installiert werden und die Nutzer in geeigneter Form darüber informiert werden. Folgende Normen, Leitfäden, Verordnungen und Richtlinien sind für die Anforderungen an Hygiene und Raumklima relevant.

Tab. 3.1: Für den Einbau von Lüftungsgeräten relevante Normen, Leitfäden, Verordnungen und Richtlinien

Norm/Richtlinie	Titel	Relevanz für Lüftungsanlagen in Schulen
DIN EN 15251	Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik	Auslegung Raumluftqualität Akustik Energieeffizienz
DIN EN 13779	Lüftung von Nichtwohngebäuden - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlageanlagen und Raumkühlsysteme	Auslegung Planung
DIN 18041	Hörsamkeit in Räumen - Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung	Akustik / Lärmschutz
DIN 4109	Schallschutz im Hochbau; Anforderungen und Nachweise	Akustik / Lärmschutz
VDI 6022	Raumlufttechnik, Raumluftqualität - Hygieneanforderungen an Raumlufttechnische Anlagen und Geräte	Gerätehygiene
VDI 6040	Raumlufttechnik - Schulen - Anforderungen (VDI-Lüftungsregeln, VDI-Schulbaurichtlinien)	
Leitfaden	Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden des Umweltbundesamtes	Umfassend
EnEV	Energieeinsparverordnung	Energieeffizienz
DIN V 185599	Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung	Energieeffizienz Berechnungsgrundlagen

### 3.1 Geräuscentwicklung

Um Geräusche durch die Lüftungsanlage zu reduzieren, sollten diese möglichst in einem anderen Raum oder unter der Deckenverkleidung installiert werden. Die Lüftungsgeräte entwickeln teilweise eine erhebliche Geräuschkulisse, die den Unterricht oder arbeitende Lehrer stören können. Die VDI-Richtlinie 2081 gibt Richtwerte für den maximalen Schalldruckpegel durch Lüftungsanlagen von 35 dB(A) bei hohen und 40 dB(A) bei niedrigen Anforderungen an. Die Geräusche werden aber von verschiedenen Personen unterschiedlich stark wahrgenommen, weshalb auch bei Einhaltung der genannten Richtwerte Beschwerden möglich sind. Außerdem hat auch die akustische Situation im Raum Einfluss auf das Geräuschempfinden. Diese wird durch andere Geräte wie PCs oder Beamer, Geräusche der Nutzer und die Akustik des Raums selbst beeinflusst. So wird eine Lüftungsanlage während einer Klassenarbeit unter Umständen als deutlich störender empfunden, als wenn Geräte wie ein Beamer, oder PCs in Betrieb sind. Die Schlussfolgerung, dass in Räumen in denen schon viele Geräuschquellen vorhanden sind und schon ein hoher Lärmpegel besteht, eine Lüftungsanlage nicht mehr ins Gewicht fällt ist allerdings nicht zulässig.

Außerdem kann das gleiche Gerät je nach Akustik der Räume in verschiedenen Räumen, in Abhängigkeit von der Nachhallzeit und der Nutzung des Raumes, als unterschiedlich stark störend empfunden werden.

Im Projekt „Dezentrale Lüftungen“ [3] hat sich ein Schalter zur temporären Abschaltung der Lüftungsanlage bewährt.

### 3.2 Zuglufterscheinungen

Zuglufterscheinungen gehören ebenfalls zu den potenziell negativen Auswirkungen einer Lüftungsanlage. Diese können bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten über 0,18 m/s bis 0,22 m/s und / oder niedriger Zulufttemperatur entstehen. Dabei ist anzumerken, dass im Sommer bei hohen Raumtemperaturen Zugluft durchaus auch als angenehm empfunden werden kann, da die Körperabwärme besser abtransportiert wird. Da in Klassenräumen und Lehrerzimmern, aufgrund der dichten Belegung, hohe Luftwechselraten (bis 900 m<sup>3</sup>/h) notwendig sind, sind niedrige Strömungsgeschwindigkeiten oft nur schwer zu realisieren. Je nach Art des Lüftungsgerätes ist auch kaum zu verhindern, dass zumindest an einzelnen Plätzen Zuglufterscheinungen entstehen. Insbesondere bei Lüftungskonzepten ohne Vorwärmung der Zuluft, entstehen diese bei Außentemperaturen unterhalb der Raumtemperatur.

Im Projekt „Dezentrale Lüftungen“ [3] hat sich hier besonders eine Lösung bewährt, bei der die Zuluft über einen großen Querschnitt in den Raum eingebracht wird (siehe Abb. 3.1). Die Zuluft wird über die gesamte dem Raum zugewandte Oberfläche des Quellauslasses in den Raum eingebracht. Mit einer geschätzten luftdurchlässigen Oberfläche von 2 m<sup>2</sup> ergibt sich bei einem Luftdurchsatz von ca. 600 m<sup>3</sup>/h eine Strömungsgeschwindigkeit von 0,08 m/s die sich bei Ausbreitung in den Raum noch verringert. In Kombination mit der über den Wärmetauscher vorgewärmten Zuluft, sollten Zuglufterscheinungen höchstens in Ausnahmefällen auftreten. Die verbrauchte Abluft wird in der dem Quellauslass diagonal gegenüberliegenden Ecke unter der Decke abgesaugt. Damit breitet sich die tendenziell kühlere Zuluft in Bodennähe im Raum aus, steigt bei Erwärmung durch Personen, Heizung, Geräte oder direkte solare Einstrahlung auf und wird oben abgesaugt. Das Lüftungsgerät selbst ist zur Reduzierung von Schallemissionen in einem Nebenraum untergebracht.



Abb. 3.1: Quellauslass im Computerraum einer untersuchten Schule

Eine andere Lösung, bei der der Luftaustausch über ein Deckengerät realisiert wurde (Abb. 3.2), bläst die Zuluft unterhalb der Decke in den Raum. Diese soll an der Decke entlang in den Raum strömen und Zuglufterscheinungen sollten so nicht entstehen. Bei diesem Gerät kam es allerdings zu Klagen wegen Zugluft, da die Zuluft direkt vor dem Lehrerpult in den Raum abfällt und zu Zuglufterscheinungen führt. Durch den Taster zur temporären Abschaltung des Gerätes, können die Nutzer bei unangenehmer Zugluft das Gerät direkt ausschalten. Aufgrund der räumlichen Situation war eine aufwendige Installation wie in Abb. 3.3 hier nicht möglich. Durch das Anbringen eines Zuluftrohres mit mehreren Ventilen, durch die die Luft nicht nur punktuell in den Raum eingebracht wird, könnten sich die Zuglufterscheinungen deutlich reduzieren lassen. Alternativ wäre hier auch ein Schlauch aus Fließ möglich, der die Luft über die gesamte Schlauchoberfläche in den Raum einbringt.



Abb. 3.2: Deckenlüftungsgerät bei dem Zuglufterscheinungen auftreten

Das bereits zuvor in Abschnitt 2.1 erwähnte Lüftungskonzept ohne Vorwärmung der Zuluft wurde regelungstechnisch so realisiert, dass bei Anwesenheit von Personen die Lüftung inaktiv bleibt. Ohne Vorwärmung der Zuluft kommt es bei Außentemperaturen unterhalb der Raumtemperatur verstärkt zu Zuglufterscheinungen.

Bei Lüftungskonzepten mit manueller Fensterlüftung sind temporäre Zuglufterscheinungen vorprogrammiert. Diese sind für den Nutzer durch schließen des Fensters aber sehr leicht zu beseitigen.

### 3.3 Platzbedarf der dezentralen Lüftungsgeräte

Die verschiedenen Lüftungsgeräte haben aufgrund Ihrer Bauart und Installationsweise sehr unterschiedliche Platzbedarfe. Brauchen Decken-/Wandgeräte zwar einerseits keinen Stellplatz, brauchen sie andererseits aber einen geeigneten Platz unter der Decke oder an der Wand, möglichst direkt an der Fassade um Frisch- und Fortluft mit kurzen Rohren realisieren zu können. Je nach räumlicher Situation und Gerätebauart können diese Geräte ohne weitere Verrohrung die Zuluft über Lüftungsschlitze an den Geräteseiten in den Raum einbringen (Abb. 3.2). Nachteilig ist hierbei, dass die Luft auf derselben Raumhöhe eingebracht wird, auf der sie auch abgesaugt wird.

Ein im Projekt „Dezentrale Lüftungen“ [3] installiertes Deckengerät (Abb. 3.2) hat bei einem maximalen Luftvolumenstrom von 900 m<sup>3</sup>/h ein Gerätevolumen von 0,824 m<sup>3</sup>. Ein anderes eingesetztes Deckengerät hat bei maximalem Volumenstrom von 1.100 m<sup>3</sup>/h ein Gerätevolumen von 0,786 m<sup>3</sup> (Abb. 3.3). Die Geräte können bei vorhandenen abgehängten Decken oberhalb der Abhängung eingebaut werden oder mit Zu- und Abluft über Rohrleitungen in einem Nebenraum untergebracht werden.



Abb. 3.3: Deckenlüftungsgerät mit zusätzlicher Verrohrung für Zu- und Abluft.

Standgeräte benötigen eine Aufstellfläche direkt an der Fassade um Frisch- und Fortluft über kurze Wege an die Außenluft anschließen zu können. Die beispielhafte Standfläche eines Gerätes mit 900 m<sup>3</sup>/h maximalem Luftdurchsatz beträgt bei 1.500 mm Breite 0,9 m<sup>2</sup>. Die Höhe dieses Gerätes beträgt 2.000 mm. Standgeräte bieten den Vorteil, dass die Frischluft in Bodennähe in den Raum einströmen und oben wieder abgesaugt werden kann. Aufgrund des Platzbedarfes an der Wand sind diese aber oft nicht oder nur mit Einschränkungen realisierbar. Dieser Gerätetyp kann aufgrund der Möglichkeit, Zu- und Abluft über Rohrleitungen in den Raum einzubringen auch in einem Nebenraum untergebracht werden. Diese Variante mit Quellauslass am Boden wurde im Projekt „dezentrale Lüftungen“ für die Biologieräume überprüft aber verworfen. Bei Installation im Raum wären alle Schränke entfallen. Bei Installation im Nebenraum hätte der Platz für die notwendige Verrohrung nicht ausgereicht.



Abb. 3.4: Standlüftungsgerät mit Quelllüftung (Quelle: Energenio GmbH. Eine Marke der Maico Gruppe)

Eine weitere Gerätebauart sind Brüstungsgeräte. Diese können aufgrund Ihrer Bauart direkt in oder vor der Fensterbrüstung verbaut werden. Selbstverständlich muss die Brüstung des zu belüftenden Raumes deren Einbau zulassen oder nicht bereits durch z.B. Regale oder Heizkörper belegt sein. Aufgrund der kompakten Bauart sind außerdem oft mehrere Geräte notwendig um den notwendigen Luftwechsel zu realisieren. Der Einbau muss im zu belüftenden Raum erfolgen. Der Anschluss von Zu- und Abluft über Rohrleitungen ist nur in Ausnahmefällen möglich.

Bei reinen Abluftgeräten ist der Platzbedarf deutlich geringer oder entfällt, da die Geräte ohne Wärmeübertrager im Vergleich deutlich kompakter sind. Sie können häufig in die Fassade oder Decke des Raums integriert werden und sind nur durch ein Lüftungsgitter sichtbar. Für die Nachströmung der Zuluft werden häufig Fenster automatisiert geöffnet, für die kein zusätzlicher Platzbedarf besteht.

Lüftungskonzepte mit CO<sub>2</sub>-Ampel haben selbstredend nahezu keinen Platzbedarf. Sie benötigen lediglich einen Stellplatz für die Ampel auf einem Tisch oder Fensterbrett, oder können an der Wand befestigt werden. Es ist je nach Modell höchstens ein Stromanschluss in Form einer Steckdose notwendig.



## 4 Hygieneuntersuchungen

Im Rahmen des Projektes „Dezentrale Lüftungen“ [3] wurden mikrobiologische Hygieneuntersuchungen nach VDI 6022 durchgeführt. Dabei zeigten sich, bei allen untersuchten Geräten an mindestens einer der beprobten Stellen, hygienische Mängel. Allerdings enthielt bei allen außer einem Gerät die Zuluft, die effektiv in den Raum eingebracht wird, weniger Kolonien bildende Einheiten (KBE) an Bakterien und Pilze als die angesaugte Außenluft. Durch die Filter im Lüftungsgerät werden Keime zurückgehalten und führen damit zu einer geringeren Keimzahl als in der Außenluft. Treten höhere Keimzahlen in der Zuluft auf, als in der Außenluft, bestehen hygienische Mängel im Gerät z.B. an den Filtern.

Durch das Hygieneinstitut wurden auch Hinweise zur Gerätesicherheit und Einhaltung der Vorgaben in VDI 6022 hinsichtlich Gerätehygiene gegeben. Hierbei zeigten sich Mängel z.B. im Bereich der Oberflächen, die mit der Zu- bzw. Frischluft in Kontakt kommen. Diese waren bei einem Gerät aus porösem Polystyrol gefertigt, sodass das Gerät nur mit erhöhtem Aufwand hygienisch gereinigt werden kann. Auch im Bereich der Gerätesicherheit wurde z.B. auf nicht gesicherte Geräteabdeckungen an der Unterseite und Ähnliches hingewiesen.

Schlussfolgernd kann festgehalten werden, dass regelmäßige Reinigung, Wartung und Filterwechsel der Geräte unerlässlich für einen gefahrlosen Betrieb der Geräte ist. Die Untersuchungsintervalle der VDI 6022 sind ebenfalls einzuhalten um den Erfolg der Reinigung der Geräte zu dokumentieren und um Problembereiche des Gerätes erkennen und eliminieren zu können.

## 5 Auslegung der Lüftungsgeräte

Für die Dimensionierung der Lüftungsgeräte gibt es unterschiedliche Ansätze, die auch im Status-Report 22 des Fachverbandes Gebäude-Klima e.V. [6] aufgeführt sind. Diese Berechnungsmethoden basieren auf den Normen DIN EN 13779 und DIN EN15251.

Bei Auslegung nach DIN EN 13779 wird für eine einen Zielwert von ca. 1.000 ppm CO<sub>2</sub> ein Lüftungsvolumenstrom von ca. 36 m<sup>3</sup>/h pro Schüler angenommen. Die Kategorie der Raumluftqualität ist dabei frei wählbar und reicht von IDA 1 mit größer 400 ppm CO<sub>2</sub> bis IDA 4 mit größer 1.000 ppm CO<sub>2</sub> über dem Außenluftniveau. Bevorzugt werden die Kategorien IDA 2 und IDA 3 angewandt.

Nach DIN EN 15251 werden auch die Gebäudeemissionen in die Berechnung des Luftvolumenstroms flächenbezogen mit einbezogen. Dabei werden sehr schadstoffarme, schadstoffarme, und nicht schadstoffarme Gebäude unterschieden. Die Ziel-Luftqualität wird in drei Kategorien eingeteilt. Kategorie I steht hier für hohe Anforderungen und Kategorie III für niedrige Anforderungen an die Luftqualität. Ausgehend von einem Schadstoffarmen Gebäude, in der Kategorie II für die Ziel Luftqualität, ergibt sich ein Luftvolumenstrom von 30 m<sup>3</sup>/h pro Person, bei einer Fläche von 2 m<sup>2</sup>/Person (Tab. 5.1 Zeile 5)

Laut Passivhausinstitut ist ein Luftvolumenstrom von 15 – 20 m<sup>3</sup>/h pro Person ausreichend [8]. (siehe Tab. 5.1 Zeile 6)

Zum Vergleich wurde in Tab. 5.1 Zeile 8 ein Lüftungsbedarf von 40 m<sup>3</sup>/h für IDA 2 nach DIN EN 13779 angenommen.

Außer der CO<sub>2</sub>-Belastung soll auch die sommerliche Überhitzung durch die Lüftungsgeräte reduziert werden. Dabei wird ein doppelter Luftwechsel als ausreichend angenommen. Das bedeutet: Das Raumvolumen wird rechnerisch zweimal pro Stunde ausgetauscht (Tab. 5.1 Zeile 7). Leider liegen hierzu wegen Fehlfunktion des Gerätes und der Insolvenz der Installationsfirma noch keine Erkenntnisse vor bzw. liegen für die Lüftungsgeräte nur Messdaten der Winterperiode vor.

Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass eine korrekte Gerätefunktion erst nach einer Einregulierungs- und Optimierungsphase zu erreichen ist. Wegen der unterschiedlichen Anforderungen in der Sommer- und in der Winterphase ist für diese Optimierungen ein Zeitraum von deutlich mehr als einem Jahr realistisch. Bei Ausschreibungen und Ingenieurverträgen sollte diese Optimierung im laufenden Betrieb explizit verlangt und nach der Installation auch durchgesetzt werden.

Die jeweils angegebene Personenzahl ist in den Unterrichtsräumen und im Lehrerzimmer die Anzahl der Sitzplätze. In den Verwaltungsräumen wurde von jeweils maximal vier Personen ausgegangen.

Die verschiedenen Berechnungsmethoden nach den DIN-Normen zeigen bei den angenommenen Randbedingungen keine gravierenden Unterschiede. Lediglich die Berechnung des Lüftungsbedarfs für die Nachtkühlung liegt deutlich unter den anderen Werten.

Eine einfach zu bedienende Auslegungshilfe, wird von Niedersächsischen Landesgesundheitsamt zur Verfügung gestellt (Abb. 5.1). Anhand einzugebender Parameter wie Personenanzahl, Raumvolumen, Luftwechselrate u.a. wird der zu erwartende CO<sub>2</sub>-Verlauf im Raum berechnet und im Kurvendiagramm dargestellt. Der Onlinerechner ist unter <http://www.co2-modell.nlga.niedersachsen.de/index.php> verfügbar.

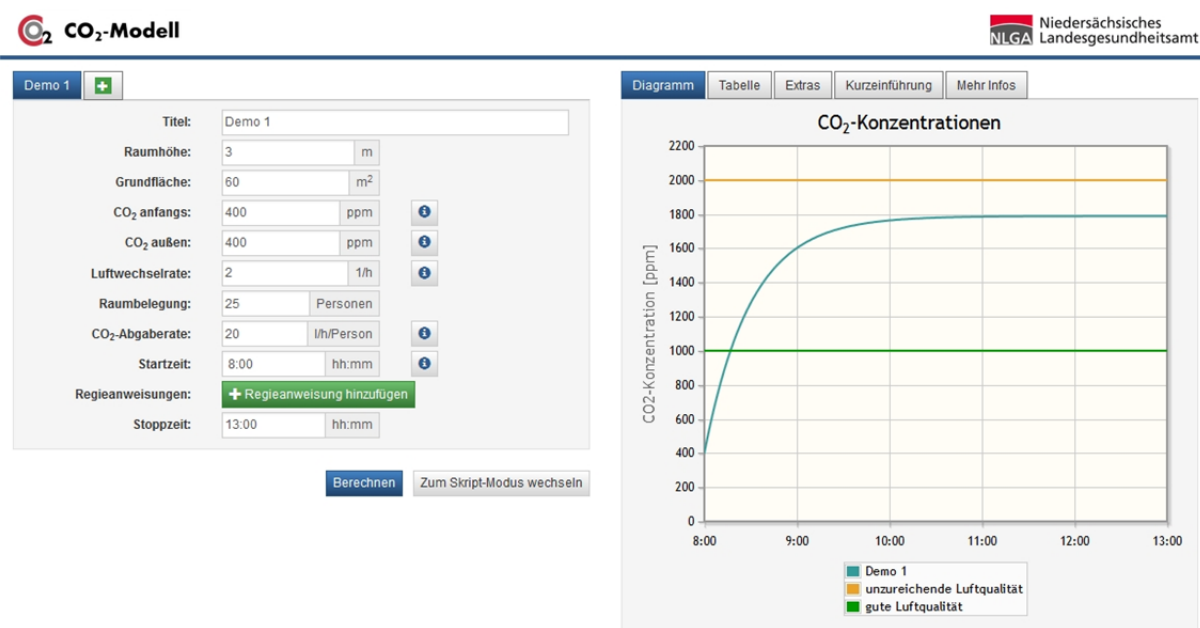


Abb. 5.1: Screenshot des Onlinerechners CO<sub>2</sub>-Modell des Niedersächsischen Landesgesundheitsamtes zur Auslegung von Lüftungsanlagen (Mit freundlicher Genehmigung des niedersächsischen Landesgesundheitsamtes)

Tab. 5.1: Auslegung der Lüftungsgeräte in den Schulen des Projektes „Dezentrale Lüftungen“ [3].

		Lehrer- zimmer	Rektorat	Sekreta- riat	Kon- rektorat	Computer- raum	Bioraum 300	Bioraum 317
1	Fläche in m <sup>2</sup>	97,31	21,94	22,24	20,44	73,77	87,09	82,92
2	Raumhöhe in m	3,25	2,5	2,5	2,5	3,12	3,46	3,46
3	Volumen in m <sup>3</sup>	316	55	56	51	230	301	287
4	Personenzahl	50	4	4	4	30	30	30
5	25 m <sup>3</sup> /(Pers*h) + 5 m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> *h) Volumenstrom in m <sup>3</sup> /h	1737	210	211	202	1119	1185	1165
6	20 m <sup>3</sup> /(h Person)	1000	80	80	80	600	600	600
7	Doppelter Luft- wechsel in m <sup>3</sup> /h	633	110	111	102	460	603	574
8	40 m <sup>3</sup> /Pers.	2000	160	160	160	1200	1200	1200

## 6 Investitionskosten

Für die in den Schulen im Projekt „Dezentrale Lüftungen“ [3] umgesetzten Lüftungskonzepte sind die in Tab. 6.1 aufgelisteten Kosten entstanden. In den Kosten sind neben den reinen Anlagenkosten, die Kosten für Montage, Nebenarbeiten (z.B. Kernbohrungen) und Planung enthalten.

Es zeigt sich eine sehr große Bandbreite bei den Kosten, die sich aufgrund der sehr unterschiedlichen Lüftungskonzepte ergibt.

Die Lüftungsampeln in den Büroräumen der THR sind die mit 420 € pro Ampel mit großem Abstand günstigste Variante. Neben den Hardwarekosten fallen lediglich Kosten für die Montage der CO<sub>2</sub>-Ampel und evtl. eine Steckdose in Reichweite der Ampel an. Die Montage beschränkt sich dabei auf das Anbringen eines Nagels oder einer Schraube an der Wand zum Aufhängen. Für die mit CO<sub>2</sub> gering belasteten Verwaltungsbüros der THR, sind die CO<sub>2</sub>-Ampeln, u.a. aufgrund der festgestellten hohen Nutzerzufriedenheit (Kapitel 0) eine kostengünstige, leicht umsetzbare und bedarfsgerechte Alternative zu automatisierten Lüftungsgeräten. Nachteilig wirkt sich hier allerdings aus, dass bei jeder Fensterlüftung immer viel warme Luft an die Umgebung verloren geht und der Raum bei zu langer Lüftung auskühlt. Außerdem wird die CO<sub>2</sub>-Konzentration nur in geringerem Maße, als mit automatisierten Lösungen gesenkt. Inwiefern CO<sub>2</sub>-Ampeln in Unterrichtsräumen geeignet sind, war nicht Bestandteil dieses Projektes.

Die Kosten für die Einbindung der Abluftanlage der THR in die Gebäudeautomation (GA) mit 1.217 € haben nur eine geringe Aussagekraft. Die Kosten für den Lüfter, die automatischen Fensteröffner, den Präsenzmelder und die benötigten Temperaturfühler sowie

der Einbau dieser Geräte sind nicht enthalten. Die Kosten fallen damit deutlich günstiger aus, als bei den neu installierten Lüftungsgeräten mit Wärmerückgewinnung (WRG). Allerdings würden die Kosten dieses Anlagentyps incl. der bereits vorhandenen Anlagenbestandteile wahrscheinlich günstiger ausfallen. Nachteilig ist aber auch hier der hohe Wärmeverlust über die Abluft und die niedrige Temperatur der Zuluft im Winter.

Die drei Lüftungsanlagen in den Biologieräumen (21.259 €) und dem Computerraum (26.638 €) fallen naturgemäß am teuersten aus und bewegen sich trotz der unterschiedlichen Lüftungsanlagentypen und dem unterschiedlichen Installationsaufwand preislich auf ähnlichem Niveau. Beim Computerraum waren vier Kernbohrungen notwendig. Außerdem musste ein Luftkanal für die Zuluft über die gesamte Raumlänge verlegt werden. In den Biologieräumen wurde keine Kernbohrung benötigt und eine Verrohrung war aufgrund des Gerätetyps nicht notwendig. Zum Anschluss des Gerätes an die Außenluft wurde ein Oberlicht durch eine Platte mit passenden Bohrungen ersetzt.

Tab. 6.1: Kosten für die in den untersuchten Schulen installierten Lüftungskonzepte

Lüftungskonzept	Einzelkosten	Gesamtkosten
Einbindung Abluftanlage in GA	1.217 €	1.217 €
CO <sub>2</sub> -Ampeln	420 €	1.260 €
Lüftungsanlage mit WRG	26.638 €	26.638 €
Lüftungsanlagen mit WRG Biologie	21.260 €	42.520 €

Eine abschließende Bewertung der Wirtschaftlichkeit der realisierten Anlagentypen ist aufgrund der überschaubaren Anlagenanzahl nur bedingt möglich.

Dennoch kann festgehalten werden, dass die jeweils technisch und wirtschaftlich optimale Lösung stark von den Randbedingungen CO<sub>2</sub>-Belastung, Nutzersensibilität und Raumsituation abhängt. In Räumen mit geringer CO<sub>2</sub>-Belastung und niedriger Nutzerzahl, wie in den untersuchten Verwaltungsräumen, haben sich die CO<sub>2</sub>-Ampeln, u.a. aufgrund der niedrigen Investitionskosten, sehr bewährt.

Im Lehrerzimmer konnte aufgrund der nutzerfreundlichen Regelung die Luftqualität nicht im erhofften Maß verbessert werden (siehe Kapitel 2.1). Dennoch war die Entscheidung für die Aufrüstung der bestehenden Abluftanlage richtig, da die Maßnahme preisgünstig umgesetzt werden konnte und auch ohne Lüftung keine extremen Werte wie in den Unterrichtsräumen aufgetreten sind.

Die Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung sind für Unterrichtsräume am besten geeignet, da damit durch die vorgewärmte Zuluft, Zuglufterscheinungen deutlich reduziert werden. Eine nutzerfreundliche Regelung wie im erwähnten Lehrerzimmer ist hier nicht zu empfehlen. Die CO<sub>2</sub>-Konzentration steigt in Unterrichtsräumen sehr rapide, sodass auch während des Unterrichts gelüftet werden muß.

## 7 Energieeffizienz

Ein entscheidender Parameter für die Auswahl des richtigen Anlagentyps ist dessen thermische und elektrische Effizienz. Daraus ergeben sich ein Teil der Betriebskosten, die sich aus Wartungs-, Reinigungs- Energiekosten zusammensetzen. Bei Geräten mit Wärmerückgewinnung fallen außerdem noch Kosten für Hygieneinspektionen nach VDI 6022 an. Diese lagen im Projekt „Dezentrale Lüftungen“ [3] bei 238,- € pro Gerät. Die Inspektionen sind bei Geräten mit Wärmerückgewinnung ohne Luftbefeuchtung alle drei Jahre durchzuführen.

Die Wartungsverträge der Geräte mit Wärmerückgewinnung verursachen Kosten zwischen 160 € und 300 € pro Gerät und Jahr.

Der Stromverbrauch hängt in erster Linie vom Lüftungstyp ab. CO<sub>2</sub>-Ampeln schneiden dabei selbstredend am besten ab, da lediglich für die Mess- und Anzeigeräte Strom benötigt wird.

Reine Abluftgeräte benötigen tendenziell weniger Strom als Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung, da in diesen zwei Lüfter verbaut sind und durch den Wärmeübertrager ein hoher Druckverlust von den Lüftern überwunden werden muss. Außerdem werden oft noch Lüftungsrohre verbaut, die einen zusätzlichen Druckverlust generieren.

Die Regelparameter haben einen entscheidenden Einfluss auf den Stromverbrauch. Laufen die Geräte generell mit einer Grundleistung, wenn sie aktiviert sind, sollten sie außerhalb der Unterrichtszeiten für die CO<sub>2</sub>-Lüftung deaktiviert werden. Nach Unterrichtschluss sollte allerdings eine Nachlaufzeit von ein bis zwei Stunden einkalkuliert werden. An Wochenenden und in den Ferien gilt dies ebenfalls. Die Deaktivierung des Lüftungsgerätes kann, falls dies in der Regelung des Gerätes selbst nicht vorgesehen ist, über eine vorhandene Gebäudeautomation realisiert werden.

Hersteller- und auch gerätespezifisch unterscheiden sich Geräte mit Wärmerückgewinnung, auch in der elektrischen Leistungsaufnahme bei ähnlicher Lüftungsleistung und Bauart. Dementsprechend sollte hier besonderes Augenmerk drauf gelegt werden. Im Projekt „Dezentrale Lüftungen“ [3] wurde beispielsweise ein Gerät eingesetzt, das bei Grundlast (30 % Lüfterleistung) 15 Watt an elektrischer Leistung aufnimmt, ein anderes Gerät mit ähnlicher Lüfterleistung benötigt ca. 360 W bei Grundlast.

Ebenso sollte bei Grundlast das Lüftungsgerät nur wenig Luft bewegen, da die Wärmeverluste stark vom Volumenstrom und wie bei Stromverbrauch von der Betriebsdauer abhängen. Die Lüftungsgeräte setzen aber häufig einen kontinuierlichen Betrieb auf niedrigster Stufe voraus, der bei manchen Geräten zeitgesteuert unterbrochen werden kann. Daraus können hohe Wärmeverluste resultieren.

Daher wird empfohlen Lüftungsgeräte einzusetzen, die nicht kontinuierlich auf niedriger Stufe laufen. Die Geräte sollten in Abhängigkeit von der CO<sub>2</sub>-Konzentration den Lüfterbetrieb starten. Dafür ist ein außerhalb des Gerätes platzierter CO<sub>2</sub>-Sensor notwendig, der auch bei ausgeschaltetem Lüfter die CO<sub>2</sub>-Konzentration korrekt erfassen kann. Eine Zeitsteuerung verursacht meist höhere Wärmeverluste und Stromverbräuche.

## 8 Nutzerzufriedenheit

Für den Einsatz von Lüftungsgeräten ist entscheidend, dass diese auf eine hohe Akzeptanz und Zufriedenheit der Nutzer mit den Geräten stoßen. Vorbehalte gegenüber Lüftungen sind teilweise schon vor dem Einbau vorhanden und können durch Geräuschentwicklungen oder Zuglufterscheinungen durch die eingebauten Anlagen noch verstärkt werden.

Daher ist dringend darauf zu achten, dass die Geräte möglichst geringe Auswirkungen auf das Wohlbefinden der Nutzer haben. Zugluft und Geräuschemissionen sind gering zu halten (Kapitel 0). Außerdem sollten die Nutzer möglichst früh informiert werden um deren Bedenken berücksichtigen zu können. Geräte mit denen die Nutzer unzufrieden sind, führen zu Unmut und schlimmstenfalls zum permanenten Ausschalten auf Druck der Nutzer.

Eine höhere Akzeptanz der Geräte kann durch Eingriffsmöglichkeiten in den Anlagenbetrieb erreicht werden. Hierzu wurden die bereits beschriebenen Taster installiert, mit denen die Geräte temporär deaktiviert werden können. Wichtig ist hierbei, die Nutzer über diese Eingriffsmöglichkeit zu informieren. Bei einer Umfrage unter den Lehrern, die die Räume nutzen, wurde mehrfach bemängelt, dass Zuglufterscheinungen auftreten. Der Taster zum temporären Deaktivieren der Anlage, war aber nur einer Person bekannt. Durch einen Aushang wurden die Lehrer daraufhin gezielt nochmals auf den Taster hingewiesen. Insgesamt wird die Luft nach Aktivierung der Lüftungsanlagen durchschnittlich als um fast 1,5 Schulnoten besser eingeschätzt als vorher. Von den befragten Lehrern sind 4 eher zufrieden und 3 eher unzufrieden, was auf die Zuglufterscheinungen zurückgeführt wird. Durch den Hinweis auf den Taster sollte die Zufriedenheit verbessert worden sein.

Eine sehr hohe Zufriedenheit wurde in den Räumen mit CO<sub>2</sub>-Ampel (Bürräume Verwaltung) erreicht, da die befragten Nutzer die Ampeln als Empfehlung „etwas für Ihre Gesundheit zu tun“ empfinden [3]. Bedenken im Vorfeld gegenüber einer automatisierten Lüftungsmaßnahme konnte damit begegnet werden.

Im Lehrerzimmer mit Abluftgerät wird die Raumluft, im Vergleich zu vor dem Einbau, etwas besser eingeschätzt und es fühlen sich 2 von 16 Personen durch die Lüftung gestört. Insgesamt sind 10 Personen eher zufrieden mit der Anlage und 2 Personen eher unzufrieden. Diese tendenziell positive Resonanz ist sicher teilweise auf die nutzerfreundliche Regelung wie sie in Kapitel 2.1 beschrieben ist zurückzuführen. Dabei wird die Lüftung bei anwesenden Personen nur dann aktiviert, wenn moderate Außentemperaturen vorliegen.

## 9 Zusammenfassung

Im Rahmen des Projektes „Dezentrale Lüftungen“ [3] wurden mehrere Sondernutzungsräume in Schulen mit dezentralen Lüftungsmaßnahmen ausgestattet, um die CO<sub>2</sub>-Belastung der Räume zu reduzieren. Es handelt sich dabei um Verwaltungsbüros, Lehrerzimmer und Fachräume. Diese Räume, deren Türen aus verschiedenen Gründen abgeschlossen werden müssen, konnten nicht in das Lüftungskonzept des Vorgängerprojektes zur natürlichen Gebäudeklimatisierung integriert werden. Dieses setzt, aufgrund des zentralen Abluftkonzeptes, das Öffnen der Türen und Oberlichter in den Unterrichtsräumen, zum Nachströmen der Frischluft voraus.

Vor Umsetzung der Lüftungsmaßnahmen wurde in den Räumen die CO<sub>2</sub>-Belastung erfasst. Es zeigte sich dabei, dass in Verwaltungsbüros und Lehrerzimmern nicht unbedingt Lüftungsmaßnahmen erforderlich sind. Dementsprechend wird empfohlen, im Falle der Nachrüstung von Lüftungsmaßnahmen, vorher über einen längeren Zeitraum im Winter zu erfassen, um die Notwendigkeit von Lüftungsmaßnahmen zu prüfen. Der CO<sub>2</sub>-Verlauf gibt auch darüber Aufschluss, welche Lüftungsmaßnahme jeweils geeignet ist.

Auch nach Einbau der Lüftungsgeräte wurde das Monitoring fortgesetzt um den Erfolg der Maßnahmen zu prüfen und fehlerhafte Reglereinstellungen feststellen zu können.

In den Räumen wurden neben Lüftungsgeräten mit Wärmerückgewinnung auch reine Abluftgeräte installiert bzw. vorhandene Geräte automatisiert. Außerdem fanden CO<sub>2</sub>-Ampeln in schwachbelasteten Räumen mit ein oder zwei Arbeitsplätzen Anwendung.

Aus den Ergebnissen des zugehörigen Monitorings und den Erfahrungen, die im Zusammenhang mit dem Einbau der Anlagen gemacht wurden, wurde dieser Leitfaden erarbeitet. Er gibt Auskunft zu Auslegung, Platzbedarf, Regelstrategie, Kosten und Energiebedarf der Geräte und auch Wärmeverluste durch die Geräte und gibt Empfehlungen für Neuinstallationen. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Nutzerzufriedenheit, die untersucht und hier berücksichtigt wurde.

## 10 Literaturverzeichnis

- [1] J. da Costa Fernandes, E. Bollin, M. Niederklostermann, T. Feldmann und H.-J. Schneble, „Natürliche Gebäudeklimatisierung in Klassenzimmern Leitfaden für die Überhizungsminderung an Schulgebäuden im südlichen Oberrheingraben,“ Offenburg, 2013.
- [2] A. Greml, E. Blümel, A. Gössler, R. Kapferer, W. Leitzinger, J. Suschek-Berger und P. Tappler, „Evaluierung von mechanischen Klassenzimmerlüftungen in Österreich und Erstellung eines Planungsleitfadens,“ Wien, 2008.
- [3] K. Huber, E. Bollin, H.-J. Schneble und F. Gresens, „Dezentrale, fassadenintegrierte Lüftungsanlagen für energetisch sanierte Gebäude,“ Offenburg, 2016.
- [4] R. T. Hellwig, M. Hackl und C. Nocke, „Lüften in Schulen, Bessere Lernbedingungen für junge Menschen,“ BINE Informationsdienst, Karlsruhe, 2015.
- [5] I. d. UBA, „Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden,“ Berlin, 2008.
- [6] Fachverband Gebäude-Klima e.V. (kostenloser download unter [www.fgk.de](http://www.fgk.de)), „Status-Report 22 Lüftung in Schulen,“ Fachverband Gebäud-Klima, Bietigheim-Bissingen, 2011.
- [7] H.-J. Schneble, J. da Costa Fernandes, M. Niederklostermann und E. Bollin, „Natürliche Gebäudeklimatisierung in Klassenzimmern,“ Offenburg, 2013.
- [8] O. Kah, T. Schulz, S. Winkel, J. Schnieders, Z. Bastian und B. Kaufmann, „Leitfaden für energieeffiziente Bildungsgebäude,“ Passivhausinstitut, Darmstadt.
- [9] J. Egert, „Schimmelpilze im Innenraum: Wachstumsbedingungen, gesundheitliche Gefährdung, Bekämpfung,“ in *Feuchtetag '99*, Berlin, 1999.

Das Projekt wurde im Auftrag der Stadt Offenburg durchgeführt und vom Innovationsfonds für Klima- und Wasserschutz der badenova AG & Co. KG unter dem Förderkennzeichen 2012-10 gefördert.