

Lüftungsplanung bei Schulhausneubauten und -sanierungen

Informationen und Empfehlungen
für Bauherren

*Frische
Luft für
wache
Köpfe*

Eine Kampagne zur Verbesserung der Luftqualität in Schweizer Schulen von:



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement des Innern EDI
Bundesamt für Gesundheit BAG



Die Gesundheit einer Person wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Neben individuellen Voraussetzungen spielen auch die Umwelt oder die Arbeits- und Lebensbedingungen eine wichtige Rolle. Deshalb ist es dem Bundesamt für Gesundheit (BAG) ein Anliegen, die richtigen Bedingungen für ein gesundes Umfeld zu schaffen.

Besonders bei Kindern und Jugendlichen ist ein gesundheitsförderndes Umfeld ein zentrales Thema. Dazu gehört die Schule, in der sie viel Zeit verbringen. Deshalb hat das BAG die Lern- und Arbeitsbedingungen in Schulen auf verschiedenen Ebenen untersucht.

In einer Studie haben wir nun herausgefunden, dass die Luftqualität in vielen Schweizer Schulzimmern während gewisser Phasen oder zum Teil sogar im Tagesdurchschnitt ungenügend ist. Konkret bedeutet dies: schlechte

Lern- und Arbeitsbedingungen für Schulkinder und Lehrpersonen sowie gesundheitliche Nachteile für Personen mit Allergien und Asthma.

Mit einfachen Verhaltensanpassungen, guter Planung und regelmässigem Dialog zwischen den Nutzern, den Betreibern, den Bauherren und den Eigentümern einer Liegenschaft kann die Luftqualität jedoch massiv verbessert werden. Das BAG stösst diesen Dialog an und macht in der vorliegenden Broschüre auf die Umstände, die empfohlenen Hygienegrenzwerte sowie die Verbesserungsmöglichkeiten im Bereich Infrastruktur aufmerksam. Gleichzeitig gelangen wir an alle Beteiligten, damit sie sich dafür einsetzen, die Luftqualität in Schweizer Schulzimmern zu verbessern.

In dieser Broschüre finden Sie die wichtigsten Informationen zu unseren Untersuchungen sowie Anregungen zur Verbesserung der Luftqualität im Schulzimmer. Wir bedanken uns für Ihr Interesse und Ihr Engagement für die Gesundheit und das Wohl der nächsten Generation.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'R. Charrière'. The signature is fluid and cursive, written in a professional style.

Roland Charrière

Stellvertretender Direktor Bundesamt für Gesundheit,
Leiter Direktionsbereich Verbraucherschutz

Inhalt

1	Ausgangslage	5
1.1	Luftqualität beeinflusst Lernqualität und Gesundheit	6
1.2	Schulzimmer benötigen mehr Frischluft als andere Räume	6
1.3	Luftqualität in Schweizer Schulzimmern ist oft ungenügend	6
2	Grundlagen für die Erarbeitung eines Lüftungskonzepts	7
2.1	Möglichkeiten und Grenzen des Lüftungsverhaltens der Nutzer	8
2.2	Zusammenspiel zwischen Gebäude und Lüftungsverhalten	10
2.3	Entwickeln von gemeinsamer Haltung und verbindlichen Zielen	11
3	Zu beachtende Aspekte bei der Erarbeitung eines Lüftungskonzepts	12
3.1	Zusammenspiel zwischen Lüftungskonzept und Architektur	13
3.2	Genügend Raumvolumen und optimierte Luftströme bei Fensterlüftung	13
3.3	Zusammenspiel zwischen Automatisierungsgrad und Nutzerbedürfnissen	14
3.4	Abstimmung auf Raumbelastung	14
3.5	Abstimmung auf Sommerhitze	14
3.6	Einhaltung von Hygieneanforderungen	15
4	Hintergrundinformationen	16
THEMENBLÄTTER:		
A	Kohlendioxid CO ₂ als Indikator für Raumluftqualität und Lüftung	17
B	Bewertung von Raumluftqualität und Lüftung anhand des CO ₂ -Pegels	18
C	Verlauf der CO ₂ -Pegel in Fenster-gelüfteten Schulzimmern	21
D	Lüftung in Schulen: Situation in der Schweiz	22
E	Mögliche Lüftungssysteme	24
5	Literaturquellen	27

Ausgangslage

1.1 Luftqualität beeinflusst Lernqualität und Gesundheit

Gute Raumluft unterstützt die Leistungsfähigkeit und die Gesundheit der Schülerinnen und Schüler.

Lehren und Lernen braucht gut gelüftete Schulzimmer. Denn je besser die Raumluftqualität ist, desto besser ist die intellektuelle Leistungsfähigkeit von Schülerinnen, Schülern und Lehrpersonen. Dies konnte in wissenschaftlichen Studien wiederholt belegt werden ^[1] → **THEMENBLATT B**. Gut gelüftete Räume sind gut für die Gesundheit. Insbesondere Personen mit Atemwegserkrankungen wie Asthmatiker leiden weniger stark an Beschwerden. Klagen über unspezifische Symptome wie Kopfschmerzen und Reizempfindungen sind seltener.

Das Ziel muss somit sein, während möglichst der gesamten Schulzeit eine gute Raumluftqualität zu erhalten. Zeiten mit schlechter Raumluftqualität sollen möglichst kurz gehalten werden.

1.2 Schulzimmer benötigen mehr Frischluft als andere Räume

Schulzimmer sind dicht belegte Räume; während des Unterrichts befindet sich eine grosse Anzahl von Personen in einem verhältnismässig kleinen Raum. Die Emissionen von Schülerinnen, Schülern und der Lehrperson stellen dann die bedeutendste Belastung der Raumluft dar. ^[2, 3, 4, 5] Es handelt sich dabei um Substanzen aus dem Stoffwechsel wie Kohlendioxid (CO₂) sowie eine Vielzahl von organischen Verbindungen, die über Atmung und Transpiration in die Raumluft gelangen. Hinzu kommen Stoffe aus Kleidung und von Körperpflegeprodukten, Partikel, Viren und Bakterien. Damit sich diese unvermeidbaren Verunreinigungen nicht im Raum ansammeln, muss die belastete, «verbrauchte» Luft durch Lüften aus dem Raum abgeführt und durch eine entsprechende Menge Frischluft ersetzt werden.

Wegen der grossen Anzahl Personen in einem Schulzimmer und der entsprechenden Stärke der Belastung pro Zeiteinheit ist zur Erhaltung einer guten Raumluftqualität auch eine starke Durchlüftung, d. h. der Austausch von grossen Mengen an Luft pro Zeiteinheit notwendig. Wenn der Raum nur über die Fenster gelüftet werden kann, bedeutet dies, dass man sehr häufig und ausreichend lange lüften muss.

1.3 Luftqualität in Schweizer Schulzimmern ist oft ungenügend

In Schweizer Schulzimmern besteht Handlungsbedarf beim Lüften.

Anhand des Indikators CO₂ kann man die Raumluftqualität in Klassenzimmern messen und bewerten und daraus direkte Rückschlüsse auf die Lüftung ziehen → **THEMENBLATT A** → **THEMENBLATT B**. Mittlerweile liegen zahlreiche Untersuchungen aus verschiedenen Ländern vor, die stets denselben Befund ergeben haben: ^[1, 6] Die Raumluftqualität ist häufig ungenügend, und der in Bau- und Lüftungsnormen festgeschriebene Grad der Durchlüftung wird kaum je eingehalten. Dies trifft nicht nur auf Fenster-gelüftete Schulzimmer zu, wo die Raumluftqualität besonders schlecht werden kann → **THEMENBLATT C**. Auch mechanisch gelüftete Schulzimmer genügen den Normen nicht immer.

Eine repräsentative Untersuchung des Bundesamtes für Gesundheit BAG zur Lüftung in Schweizer Schulen hat gezeigt, dass in zwei Dritteln der Schulzimmer die Durchlüftung nicht mehr als ausreichend bezeichnet werden kann, d. h., der Anteil an hygienisch inakzeptablen Luftwerten (CO₂-Pegel über 2000 ppm) betrug mehr als 10% der Unterrichtsdauer → **THEMENBLATT D**. Die Fensterlüftung war dabei die Regel.

Grundlagen für die Erarbeitung eines Lüftungskonzepts

2.1

Möglichkeiten und Grenzen des Lüftungsverhaltens der Nutzer

In Pilotschulklassen führten mit SIMARIA erstellte Lüftungspläne zu einer massiven Steigerung der Luftqualität in Schulzimmern.

In den bestehenden Schulhäusern mit manueller Fensterlüftung ist die Lüftung alleine abhängig vom Verhalten der Nutzer. Durch richtiges Lüften können die Schülerinnen, Schüler und Lehrpersonen die Raumluftqualität in vielen Fällen sofort stark verbessern. Um die Schulen dabei zu unterstützen, hat das BAG die Empfehlung «Das Schulzimmer richtig lüften» für Schulen und Lehrpersonen publiziert. Zusätzlich steht das benutzerfreundliche Simulationstool SIMARIA im Internet zur Verfügung (siehe S. 30–31). Damit können die je nach Raumvolumen und Klassengrösse nötigen Lüftungszeiten flexibel geplant werden (www.schulen-lueften.ch, www.simaria.ch). Erste Versuche mit Pilotschulklassen zeigten vielversprechende Resultate → [THEMENBLATT D](#).

In der Broschüre «Das Schulzimmer richtig lüften» wurden, neben vielen weiteren Informationen, acht essenzielle Lüftungsregeln kommuniziert. Diese sind unten stehend aufgeführt.

- 1** Vor den ersten Lektionen am Morgen und Nachmittag ausgiebig lüften, um die Lektionen mit Aussenluftqualität zu beginnen.
 - 2** Im weiteren Tagesverlauf die grossen und kleinen Pausen vollständig zum Lüften nützen.*
 - 3** Beim Lüften alle Fenster immer vollständig öffnen.
 - 4** Die Schulzimmertür beim Lüften grundsätzlich schliessen.
 - 5** Keine Gegenstände auf den Fenstersims stellen – sie erschweren ein vollständiges Öffnen der Fenster.
 - 6** Beim Lüften mit Durchzug mit offenen Fenstern und offener Schulzimmertür auch die Korridorfenster öffnen.
-  Im Sommer die Räume nachts oder frühmorgens möglichst lange auskühlen lassen.
-  Im Winter zu langes Lüften während der Heizperiode vermeiden.*

* Ideal: die notwendige Lüftungsdauer mit SIMARIA berechnen.

Ist eine manuelle Fensterlüftung geplant, so müssen die Nutzer mit dem von ihnen geforderten Lüftungsverhalten einverstanden sein.

Die konsequente Umsetzung dieser Lüftungsregeln ist nicht immer einfach. Vor allem bei der Implementierung des richtigen Lüftungsverhaltens auf Schulhausebene sind verschiedene Herausforderungen zu bewältigen:

- Regelmässige, genügend lange Lüftungspausen sind mit entsprechenden Raumwärmeverlusten verbunden und stehen in einem Zielkonflikt mit der Energieeffizienz. Schulen können hier unter Druck geraten, wenn dieser Aspekt nicht mit der Bauherren-/Eigentümerseite diskutiert worden ist und eine gemeinsame Haltung besteht.
- Wenn alle Klassen dieselben Luftverhältnisse haben sollen, müssen Lüftungspläne in jedem Schulzimmer des Schulhauses umgesetzt werden. Dies bedingt eine entsprechende Sensibilisierung sowie Informationsarbeit und das Commitment der Lehrerschaft.
- Lüftungspläne sind dort einfacher umsetzbar, wo mehr oder weniger «fixe» Schulzimmer und Klassenlehrer vorhanden sind, also typischerweise in der Unterstufe. Anspruchsvoller wird es, wenn Räume wechselnd von verschiedenen Klassen genutzt werden.
- Flexible Unterrichtszeiten mit flexiblen kurzen Pausen im Schulhaus und nur einer gemeinsamen grossen Pause können zu einem Konflikt mit den nötigen Lüftungszeiten in den Pausen führen: Während des Lüftens findet an kühlen und kalten Tagen ein kurzer aber markanter Temperaturabfall im Raum statt. Wird der Raum verlassen und die Pause draussen an der kühlen Luft verbracht, stört man sich bei der Rückkehr kaum an der kühlen Luft im Zimmer, die sich schnell wieder aufwärmt. Wenn aber Schülerinnen, Schüler und Lehrpersonen in den kurzen Pausen aufgrund flexibler Unterrichtszeiten im Schulzimmer verbleiben bzw. verbleiben müssen, damit sie andere Klassen nicht stören, sind sie durch das Lüften Kälte und Zugluft ausgesetzt. Dies kann zu berechtigten Klagen führen. Und zum Drang, die Fenster rasch wieder zu schliessen.
- Bauliche Gegebenheiten, insbesondere die Grösse der Räume in Bezug auf die Klassengrössen, aber auch die Anordnung und Grösse der Fenster, sowie Wind und Temperaturen beeinflussen die Effektivität des Lüftens und den Grad der Raumluftqualität, der mit Fensterlüften in der Praxis noch erreichbar ist.

2.2 Zusammenspiel zwischen Gebäude und Lüftungsverhalten

Die Umsetzung eines Lüftungskonzepts bei Neubauten und Sanierungen gewährleistet eine gute Raumluftqualität während der gesamten Unterrichtszeit.

In bestehenden Gebäuden mit manueller Fensterlüftung ist es mit der Implementierung eines konsequent umgesetzten Lüftungsplanes möglich, Unterrichtszeiten mit hygienisch inakzeptablen Luftwerten (CO₂-Pegel >2000 ppm) weitgehend zu vermeiden. Eine durchgehend gute Raumluftqualität über die gesamte Unterrichtszeit ist aber nur schwer sicherzustellen. Um dieses Ziel längerfristig sicher zu erreichen, braucht es bauliche Massnahmen und Lösungen, welche die Nutzer bei der Lüftungsaufgabe unterstützen. Steht eine Sanierung an oder ist gar ein Neubau geplant, ist dies der richtige Zeitpunkt, solche Massnahmen zu evaluieren und umzusetzen.

Wird heute neu gebaut oder werden Gebäude saniert, wird die Gebäudehülle nicht nur gut gedämmt, sondern auch gut abgedichtet. Auch neuere Fenster schliessen dicht. Dies verschärft die Lüftungssituation: Das Gebäude ist luftdicht; es unterstützt nicht mehr beim Lüften. Deshalb schreibt die Baunorm SIA 180:2014 Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumluftqualität in Gebäuden generell vor, dass frühzeitig geplant werden muss, wie die nötige Durchlüftung sichergestellt wird. Man spricht in diesem Zusammenhang von einem Lüftungskonzept. Die SIA 180 hält dazu fest:

Die vorliegende Norm gilt für Neubauten und für massgebliche Umbauten an der Gebäudehülle sowie für Umnutzungen der Gebäude.

Im Vorprojekt ist ein Lüftungskonzept entsprechend den Anforderungen zu erstellen. Mögliche Lüftungsprinzipien sind:

- natürliche Lüftung, manuell oder automatisch gesteuert,
- einfache Abluftanlage (mit geplanter Nachströmung),
- mechanische Zu-/Abluftanlage,
und ihre Kombinationen.

Das Lüftungsprinzip muss den Benutzern erlauben, den notwendigen Luftvolumenstrom zu erhalten, sei es durch Lüftungsöffnungen für natürliche Lüftung oder mit mechanischer Lüftung.

Der wesentliche Punkt dabei ist, dass die Lüftung von Gebäuden nicht einfach zufällig erfolgen soll, in dem Sinne, dass das Vorhandensein von Fenstern per se schon ausreichen würde. Auch eine natürliche Lüftung muss geplant werden, und zwar so, dass mit einem vernünftigen Nutzerverhalten die Anforderungen an die Raumluftqualität stets sicher erreicht werden. Funktionierende Konzepte mit natürlicher Lüftung können eine grosse planerische Herausforderung darstellen und erfordern den Einbezug der Nutzenden in den Planungsprozess.

2.3

Entwickeln von gemeinsamer Haltung und verbindlichen Zielen

Als Besteller muss der Bauherr die Anforderungen an die Luftqualität in den Schulzimmern explizit festlegen.

Eine gemeinsame Haltung von Eigentümern, Betreibern und Nutzern zur Wichtigkeit guter Raumluft in Schulzimmern ist entscheidend.

Auch in Schulhäusern hat die dichte Gebäudehülle einen Einfluss auf die Raumluftqualität. Der entscheidende kritische Punkt ist hier aber die hohe Belegung. Allein schon deshalb ist bei jedem Schulhausneubau und jeder umfassenden Sanierung das Erstellen eines Lüftungskonzeptes zwingend erforderlich. Dies ist Aufgabe der Architekten und Lüftungsplaner. Der Grundstein dazu muss jedoch aufseiten des Bestellers gelegt werden: Er muss die konkreten Anforderungen festlegen, die erfüllt werden müssen. Das heisst, er muss als Vorgabe für die Planung die Raumluftqualität definieren, die im Betrieb erreicht werden soll – z. B. eine Raumluftklasse gemäss SIA 382/1 oder einen CO₂-Pegel, der im Normalbetrieb nicht überschritten werden soll. Dies muss für jedes Bauprojekt erfolgen.

In einem ersten Schritt empfiehlt es sich, die Thematik gemeinsam mit allen Beteiligten und Betroffenen offen zu diskutieren – ein runder Tisch mit Vertretern der Nutzerschaft (Schulamt, Schulleiter), dem Eigentümer, den Bauherren (Hochbauamt), dem Betreiber (Immobilienabteilung des Hochbauamtes) und den Verantwortlichen für Energie und Umwelt. Als Grundlage können dieses Dokument und die weiteren Informationen der Kampagne «Frische Luft für wache Köpfe» dienen (www.schulen-lueften.ch). Ziel ist, zu einer gemeinsamen Haltung zu kommen,

- dass die Thematik Lüftung bei jedem Schulhausneubau und -sanierungsprojekt gebührend beachtet werden muss,
- dass die primäre Aufgabe der Lüftung die Sicherstellung einer guten Raumluftqualität unter der Prämisse einer hohen Energieeffizienz ist und
- welche Ziele betreffend die Raumluftqualität anzustreben sind (Empfehlung des BAG siehe → **THEMENBLATT B**).

Die gemeinsame Haltung und die Ziele sollen gegen aussen klar kommuniziert werden. Es sollten stets Mittel für die integrale Planung und Umsetzung eines Lüftungskonzeptes eingeplant werden; die ausreichende Lüftung von Schulzimmern darf kein «Sparposten» sein. Neubau und Sanierungen sollten dem anerkannten Stand der Baukunde entsprechen.

Basierend auf diesem gemeinsam getroffenen Grundsatzentscheid können die Anforderungen für das jeweilige Bauprojekt formuliert werden.

Technische Umsetzungsansätze

Lüftungskonzepte lassen sich unterteilen in Konzepte mit freier Lüftung über die Fenster (manuell oder automatisch), Konzepte mit mechanisch geförderter Luft sowie Kombinationen aus beiden. Welches das geeignete Lüftungskonzept ist, muss für jedes Gebäude neu bestimmt werden. Die «einzig richtige» Lösung gibt es nicht. Es sind jedoch verschiedene Möglichkeiten verfügbar (siehe Beispiele in → **THEMENBLATT E**). Jede Lösung hat ihre Vor- und Nachteile. Die Unterschiede betreffen

- die Leistungsfähigkeit und Kontrollmöglichkeit im Hinblick auf die Raumluftqualität
- die Einfachheit oder Komplexität des Systems
- den Platzbedarf und die Eingriffstiefe
- die Möglichkeiten zur Filtrierung der Aussenluft und zum Schallschutz
- die Möglichkeiten zur Wärmerückgewinnung und energetischen Optimierung
- den Unterhalt/die Wartung sowie
- die Installationskosten, Unterhaltskosten, Energiekosten im Betrieb

3

Zu beachtende Aspekte bei der Erarbeitung eines Lüftungskonzepts

3.1 Zusammenspiel zwischen Lüftungskonzept und Architektur

Durch frühzeitige Integration des Lüftungsaspektes in die Planung ist es möglich, nachhaltige Lösungen zu finden, die sowohl bezüglich Energieeffizienz, Raumluftqualität als auch Kosten optimiert sind.

Bei Schulhausneubauten wird in der Regel zunächst eine Machbarkeitsstudie oder Testplanung durchgeführt. Da es insbesondere bei Konzepten mit natürlicher Lüftung bedeutende Schnittstellen zwischen Lüftungskonzeption und Architektur geben kann, ist es von Vorteil, die Zielwerte der Raumluftqualität in dieser Phase festzulegen und deren Umsetzung zu prüfen. Wird ein Wettbewerb durchgeführt, sind im Wettbewerbsprogramm die geforderte Luftqualität und das Lüftungsverhalten der Nutzenden zu definieren.

Im Vorprojekt finden die wesentlichen Entscheide über Systeme und Lösungen bezüglich Architektur und Technik statt, beispielsweise die Umsetzung des Raumprogrammes oder die Wahl des Heizungssystemes. Hier wird auch über das geeignete Lüftungskonzept entschieden. Ein Systemvergleich ist hierbei hilfreich. Dieser soll bei der Ausschreibung der Planerleistungen explizit verlangt werden. Massgebliche Kriterien sind z. B. Eingriffstiefe und andere bauliche Aspekte, Raumluftqualität/CO₂-Pegel, Energieverbrauch, Investitions- und Betriebskosten.

Falls Konzepte mit manueller Lüftung oder unterstützender manueller Lüftung infrage kommen sollen, müssen die betroffenen Nutzer mit dem von ihnen geforderten Verhalten einverstanden sein. Eigentümer- und Nutzervertreter definieren gemeinsam das Lüftungsregime der Nutzenden und kommunizieren dieses schriftlich der Bauherrenvertretung.

3.2 Genügend Raumvolumen und optimierte Luftströme bei Fensterlüftung

Je mehr Personen und je kleiner der Raum, desto schneller sinkt die Luftqualität.

Bei Konzepten mit natürlicher Lüftung (Fensterlüftung, manuell oder automatisch) sind die Frischluftmengen kurzfristig variabel und nur beschränkt kontrollierbar. Sie werden beeinflusst von Windstärke, Windrichtung, Temperaturdifferenz innen/ausen usw. Die Belegungsdichte ist ein entscheidender Faktor für die Raumluftqualität und die Praktikabilität der Fensterlüftung. Die Raumvolumen pro Person sollten daher genügend gross sein, mit entsprechenden Raumhöhen oder grosszügigen Grundrissen. Die Luftströmungen müssen optimiert sein, z. B. mit raumhohen Fenstern bei einseitiger Lüftung, mit Querlüftung über gegenüberliegende Fenster oder mit Abluft über Schächte oder Kamine. Lösungen mit Schachtlüftung findet man auch bei alten Schulhäusern, die zwischen 1900 und 1940 erbaut wurden.

Die Heizung muss in der Lage sein, den Temperaturabfall nach dem Lüften schnell wieder zu kompensieren. Die sich ergebenden Lüftungs-Wärmeverluste müssen in Kauf genommen werden. Dieser Nachteil kann entkräftet werden, wenn die Heizung mit vollständig erneuerbarer Energie betrieben wird.

3.3 Zusammenspiel zwischen Automatisierungsgrad und Nutzerbedürfnissen

Die Nutzer müssen über die Funktionsweise von automatisierten Systemen informiert sein.

Bei der Wahl von automatisierten Systemen in Gebäuden muss beachtet werden, dass der Mensch ein grundlegendes Bedürfnis hat, seine Raumumgebung den eigenen Bedürfnissen anzupassen. Dies gilt nicht nur für Beleuchtung, Beschattung und Beheizung, sondern gerade auch für die Belüftung. So müssen Fenster stets geöffnet werden können. Einstellungen für stärkere oder schwächere Lüftung sollten ermöglicht werden. Die Nutzer müssen über die Möglichkeiten informiert werden, die Bedienung muss einfach sein, und die technischen Systeme müssen auch wirklich reagieren. Sind diese Punkte erfüllt, hat das einen entscheidenden Einfluss auf die Zufriedenheit und die Akzeptanz gegenüber der Technik. Wird dieses Grundbedürfnis hingegen ignoriert, ist vermehrt mit Unzufriedenheit und Klagen über die Raumbedingungen oder die Lüftung zu rechnen, und zwar unabhängig von objektiv gemessenen Raumluftparametern.^[7]

Aus diesem Grund sind sogenannte hybride Lüftungskonzepte empfehlenswert, bei denen eine mechanische Lüftung einen wesentlichen Teil der Lüftung sicherstellt und die Nutzer zusätzlich eine kurze Fensterlüftung in den Pausen durchführen. Damit beeinflussen sie ihre Raumbedingungen aktiv mit. Unabhängig vom gewählten Lüftungskonzept gilt, dass die Gebäudenutzer die Fenster generell und jederzeit öffnen können.

3.4 Abstimmung auf Raumbelegung

In Schulzimmern ist der Lüftungsbedarf sehr grossen Schwankungen ausgesetzt. Der Raum kann entweder gar nicht oder voll besetzt sein, es können zeitweise auch Halbklassen oder einzelne Schüler anwesend sein. Idealerweise sollte eine automatisierte Lüftung sich diesem wechselnden Bedarf anpassen. Dies führt nicht nur zu einem möglichst energieeffizienten Betrieb, es verhindert auch, dass die Räume an kalten Tagen im Winter überlüftet werden und die Raumluft zu stark austrocknet – weil sehr viel mehr Feuchtigkeit abgeführt wird als von den Anwesenden produziert wird. Zu trockene Luft im Winter ist eine häufig genannte Klage im Zusammenhang mit mechanischen Lüftungen. Mit bedarfsgesteuerter Lüftung und angepassten Temperaturen kann das Problem entschärft und gleichzeitig die Energieeffizienz erhöht werden.

3.5 Abstimmung auf Sommerhitze

Das Lüftungskonzept sollte auch die Bedingungen im Sommer berücksichtigen und sich in den sommerlichen Wärmeschutz einfügen. An heissen Sommertagen ist die thermische Behaglichkeit der kritische Punkt. Gegen Mittag und vor allem am Nachmittag ist die frische Luft von aussen sehr warm. Systeme mit Wärmerückgewinnung können im Sommer auf umgekehrte Weise funktionieren und die Zulufttemperatur ein wenig senken, solange die Raumluft noch vergleichsweise kühl ist. Entscheidend ist aber eine starke Durchlüftung in den späten Nacht- und frühen Morgenstunden, welche die in der Gebäudemasse tagsüber gespeicherte Wärme abführt und sie abkühlt (sogenannte Nachtauskühlung); die Masse wirkt dann in den Tag hinein als Kühler. Zusammen mit einem wirksamen Sonnenschutz kann dies die Überhitzung der Schulzimmer an heissen Sommertagen verhindern. Nachtauskühlung über manuell oder automatisch geöffnete Fenster ist besonders wirksam. Allenfalls kommen weitere Methoden der Kühlung mit geringem Energieverbrauch infrage («free cooling», Kühldecken).

3.6

Einhaltung von Hygieneanforderungen

Gut geplante Lüftungsanlagen sind hygienisch sicher, wenn sie richtig betrieben und gewartet werden.

Bei der Systemwahl ist auch zu berücksichtigen, dass raumlufttechnische Anlagen und Geräte richtig geplant, erstellt, einreguliert, betrieben und gewartet werden müssen. Nicht selten besteht ein Unbehagen gegenüber diesen technischen Lösungen, und es wird befürchtet, dass die Anlagen ein gesundheitliches Risiko darstellen könnten. Wenn aber die wesentlichen Anforderungen der Richtlinie SWKI VA104-01 Hygiene-Anforderungen an raumlufttechnische Anlagen und Geräte beachtet werden, sind Lüftungsanlagen aus gesundheitlicher Sicht sehr sicher und vorteilhaft. Entscheidend ist, dass es hier keine Nachlässigkeiten gibt.

4

Hintergrundinformationen

THEMENBLÄTTER

A

Kohlendioxid CO₂ als Indikator für
Raumluftqualität und Lüftung

B

Bewertung von Raumluftqualität und
Lüftung anhand des CO₂-Pegels

C

Verlauf der CO₂-Pegel in Fenster-gelüfteten
Schulzimmern

D

Lüftung in Schulen: Situation in der Schweiz

E

Mögliche Lüftungssysteme

A

Kohlendioxid CO₂ als Indikator für Raumluftqualität und Lüftung

CO₂ ist ein natürlicher Bestandteil der Umgebungsluft. Es entsteht bei der Verbrennung von kohlestoffhaltigen Substanzen mit Sauerstoff. In Lebewesen entsteht es als Abbauprodukt der Zellatmung. In der Aussenluft liegt der Gehalt momentan bei etwa 400 ppm (Teile pro Million, entspricht 0,04%), mit langsam steigender Tendenz.

In Innenräumen ist CO₂ ein guter Indikator für die vielfältigen Verunreinigungen der Raumluft aus dem Stoffwechsel der Personen, die sich im Raum aufhalten.^[8] Viele dieser Verunreinigungen sind auch geruchlich wahrnehmbar. Es sind diese Körpergerüche, die bei entsprechenden Belastungen den bestens bekannten Eindruck von «stickiger», «abgestandener», «muffiger» Luft vermitteln.^[5, 9] CO₂ dagegen ist geruchlos. Aber es ist einfach zu messen.

Personen im Raum können die CO₂-Konzentration auf ein Mehrfaches des Aussenluftwertes ansteigen lassen. Als weitere CO₂-Quellen im Innenraum kommen nur offene Verbrennungsprozesse infrage wie bei einem Gasherd, die in Schulzimmern meist nicht vorhanden sind. CO₂ eignet sich deshalb besonders gut zur Beurteilung der Raumluftqualität in dicht belegten Räumen wie Schulzimmern.

Es gibt einen gut untersuchten Zusammenhang zwischen dem CO₂-Pegel in einem Raum und der sensorischen Beurteilung der Luftqualität durch Personen, die frisch in den Raum eintreten. Je höher der CO₂-Pegel ist, desto schlechter wird die Luft beurteilt und desto höher ist der Anteil an Personen, die mit der Raumluftqualität unzufrieden sind.^[8] Liegt der CO₂-Pegel zum Beispiel 500 ppm über dem Aussenluftwert (rund 900 ppm im Raum), so wird erwartet, dass 20 % der eintretenden Personen mit der Raumluftqualität unzufrieden sind. Bei 800 ppm (rund 1200 ppm im Raum) sind es bereits 30%. Dies gilt für Gebäude mit ansonsten geringen sensorischen Belastungen («low emission buildings»)^[10] Werden Personen befragt, die sich bereits im Raum befinden und deren Geruchssinn sich adaptiert hat, so können diese kaum unterscheiden, ob der Raum mehr oder weniger stark durchlüftet ist.^[11]

CO₂ ist gleichzeitig auch ein Indikator für die Durchlüftung eines Raumes: Je geringer die Frischluftmenge ist, desto höher liegt der CO₂-Pegel – und desto schlechter ist die Raumluftqualität. Neuere Ansätze rechnen mit der standardisierten Geruchlast einer Person und der sensorischen Beurteilung der Luftqualität bei unterschiedlicher Lüftung. Zusätzliche Anteile sensorischer Belastungen durch Gebäude und Einrichtungen können dabei ebenfalls berücksichtigt werden. Diese Zusammenhänge bilden die einheitliche Basis für die Lüftungsnormen in europäischen Ländern und der Schweiz.^[8, 10] Damit lassen sich Klassen für die Raumluftqualität mit den dazugehörigen CO₂-Pegeln und den dafür notwendigen Frischluftmengen pro Stunde bilden.

B

THEMENBLATT

A

B

M

E

R

Bewertung von Raumluftqualität und Lüftung anhand des CO₂-Pegels

Die Norm SIA 180:2014 Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumluftqualität in Gebäuden nennt als generellen Richtwert für CO₂ in genutzten Räumen einen Bereich von 1000 bis 2000 ppm. Daraus lässt sich ableiten, dass die Raumluftqualität in Gebäuden so beschaffen sein sollte, dass in bewohnten bzw. genutzten Räumen der CO₂-Pegel die obere Limite von 2000 ppm nicht überschreitet. Dies ist vor allem auch für Gebäude mit Fensterlüftung relevant, wo die Lüftung in der Regel nicht kontinuierlich, sondern stossweise erfolgt und der CO₂-Pegel daher stark schwanken kann.

Für mechanisch gelüftete Gebäude, mit glatteren Verläufen der CO₂-Pegel, gilt die Norm SIA 382/1:2014 Lüftungs- und Klimaanlage – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen. Sie nennt Raumluftklassen mit den dafür notwendigen Frischluftstraten (Aussenluftvolumenströme). Als Standard für CO₂-Pegel in Aufenthaltsräumen wie typischen Wohn- und Büroräumen gilt dabei ein Bereich von 1000 bis 1400 ppm bzw. eine Lüfrate von 18 bis 30 Kubikmetern pro Stunde und Person (Raumluftklasse RAL 3). Werden erhöhte Anforderungen an Aufenthaltsräume gestellt, d. h. spezielle Ansprüche an Gerüche, insbesondere für neu eintretende Personen, gilt CO₂-Pegel < 1000 ppm bzw. eine Lüfrate > 30 m³/h pro Person (Raumluftklasse RAL 2).

Ergänzend dazu enthält das Merkblatt SIA 2024:2014 Raumnutzungsbedingungen für die Energie- und Gebäudetechnik die Auslegungskriterien für Lüftungsanlagen bei verschiedenen Nutzungen. Für Schulräume wird eine Lüfrate von 25 m³/h pro Person genannt, wenn eine unterstützende Fensterlüftung erfolgt. Ohne unterstützende Fensterlüftung sind es 30 m³/h.

Die in den SIA-Normen genannten Anforderungen betreffen in erster Linie die empfundene Raumluftqualität und damit lediglich den Komfort und die Hygiene. Im Rahmen von Untersuchungen des sogenannten «Sick Building Syndrome» hat man schon vor Jahrzehnten zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen an Büroarbeitsplätzen durchgeführt. Daraus zeichneten sich weitere Zusammenhänge deutlich ab: ^[12, 13, 14]

Je besser die Durchlüftung in Innenräumen ist,

- desto weniger häufig treten Klagen über unspezifische Symptome wie Schleimhautreizungen, Kopfschmerzen, Müdigkeit auf,
- desto weniger ist die Symptomatik bei Personen mit Atemwegserkrankungen wie Asthmatiker beeinträchtigt und
- desto besser ist die Leistungsfähigkeit

Dies wird auf die Raumluftqualität insgesamt zurückgeführt, die je nach Durchlüftung besser oder schlechter ist. ^[15] Neben den Belastungen durch Personen können sich auch vielfältige Ausdünstungen von Materialien, Gegenständen und Geräten in der Raumluft ansammeln. In Büroräumen und vor allem Wohnräumen sind diese relativ gesehen, d. h. im Verhältnis zum Beitrag der Belastungen durch die Belegung, von grösserer Bedeutung als in Schulräumen. ^[5, 10]

Angetrieben von diesen Erkenntnissen haben sich die Forscher in den vergangenen Jahren nun vermehrt den Schulzimmern zugewandt.^[6, 16] Es wurden Studien durchgeführt, bei denen die intellektuellen Fähigkeiten der Schüler unter unterschiedlichen Lüftungsbedingungen und damit bei unterschiedlich stark verunreinigter Raumluft untersucht wurden. Und sie bestätigten die von Büroarbeitsplätzen bereits bekannten Befunde: Es gibt heute eindeutige Belege, dass sich die intellektuelle Leistungsfähigkeit der Schüler bei guter Durchlüftung des Schulzimmers verbessert.^[1] Gute Luft verkürzte die Reaktionszeit für richtige Antworten. Zum Beispiel lösten Schülerinnen und Schüler in standardisierten Tests mehr Rechenaufgaben pro Zeiteinheit. Sie erbrachten signifikant bessere Leistungen in Addition, Zahlenvergleichen, Grammatik, Lesen und Verstehen. Die Fehlerquote hingegen blieb meist unverändert.^[17, 18, 19] In den methodisch besten bisher verfügbaren wissenschaftlichen Studien betragen die Verbesserungen bis zu 15%.^[1] Zudem wiesen weitere Studien auf eine bessere Atemwegsgesundheit und auf weniger Absenzen hin. Symptome wie Müdigkeit, Schleimhautreizungen und Kopfschmerzen traten seltener auf. Schülerinnen, Schüler und Lehrpersonen mit asthmatischen und allergischen Erkrankungen hatten bei guter Luft deutlich weniger Beschwerden.

Bei der gesundheitlichen Bewertung von Raumluftqualität/CO₂ und Lüftung gibt es – im Gegensatz zu einer toxikologischen Bewertung eines einzelnen Raumluftschadstoffes – keine klare Trennlinie zwischen unschädlich und schädlich; der Übergang ist fließend. Der verfügbare Stand der wissenschaftlichen Kenntnisse zeigt aber klar, dass die Forderungen in den bestehenden Bau- und Lüftungsnormen richtig sind und unbedingt eingehalten werden sollten.

So hat der Ausschuss für Innenraumluftrichtwerte des deutschen Umweltbundesamtes nach eingehender Sichtung der wissenschaftlichen Literatur eine Empfehlung zur hygienischen Bewertung der Kohlendioxidkonzentration in Innenräumen publiziert, die sich mit dem in der SIA-Norm 180 genannten Richtwertebereich deckt: Konzentrationen unter 1000 ppm gelten als «hygienisch unbedenklich», Konzentrationen zwischen 1000 und 2000 ppm als «hygienisch auffällig» und Konzentrationen über 2000 ppm als «hygienisch inakzeptabel».^[20]

Basierend auf den verfügbaren wissenschaftlichen Kenntnissen zu Raumluftqualität, Gesundheit und intellektueller Leistungsfähigkeit und unter Berücksichtigung der geltenden SIA-Normen für Raumluftqualität und Lüftung empfiehlt das Bundesamt für Gesundheit BAG:

- 1. Überschreitungen eines CO₂-Pegels von 2000 ppm sind so weit wie möglich zu vermeiden.**
Bei regelmässigen Überschreitungen sollen Sofortmassnahmen zur Verbesserung der Lüftungssituation getroffen werden.
- 2. Für gesunde Raumluft und gute Lernbedingungen soll der CO₂-Pegel in Schulräumen stets unterhalb von 1400 ppm liegen.**
Bei Schulhausneubauten und -sanierungen soll ein Lüftungskonzept umgesetzt werden, mit dem dieses Ziel erreicht werden kann.

Die Empfehlung setzt voraus, dass keine wesentlichen Schadstoffbelastungen oder Geruchsbelastungen durch Baustoffe, Einrichtungen oder Geräte bestehen. Diese Einflüsse auf die Raumluftqualität sollen primär nicht mit erhöhter Lüftung, sondern durch Massnahmen an der Quelle minimiert werden. Wo dies aber aufgrund der Nutzung nicht oder nur beschränkt möglich ist, z. B. in Werkräumen oder Computerräumen, sind entsprechend höhere Lüftungsraten zu planen.

In seiner neuen Wegleitung zur Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz (ArGV 3, Gesundheitsvorsorge) sieht das Staatssekretariat für Wirtschaft SECO vor, die Klassierung der Luftqualität gemäss Norm und die Beurteilung aus gesundheitlicher Sicht bei verschiedenen CO₂-Konzentrationen in einer Tabelle übersichtlich zusammenzufassen.

Demnach wird die Innenraumluftqualität in belegten Räumen anhand des CO₂-Gehalts wie folgt kategorisiert (Abb. 316–1):

CO ₂ -Gehalt in der Raumluft [ppm]	Klassierung der Luftqualität nach Norm SN546382/1	Luftqualität (CO ₂): Begrifflichkeit «Gesundheitsschutz»
≤ 1000	«hoch» bis «mittel» RAL 1 + RAL 2	gute bis sehr gute Luftqualität¹ Hygienisch unbedenklich
> 1000–1400	«mässig» RAL 3	mässige Luftqualität zunehmende Häufigkeit von Symptomen wie Müdigkeit, Reizungen, Konzentrationsstörung
> 1400–2000	«niedrig» RAL 4	niedrige Luftqualität erhöhte Häufigkeit der oben genannten Symptome und zunehmende Leistungsbeeinträchtigung
> 2000	–	hygienisch inakzeptable Luftqualität Gesundheitsstörungen möglich Handlungsbedarf bei 2000 ppm (Spitzenwert) in natürlich belüfteten Räumen: → Stoss- bzw. Querlüften → bessere Raumbelüftung prüfen mechanisch belüftete Räume: nicht tolerierbare Konzentrationen: → technische Überprüfung der Anlage, Auslegung und Planung usw.

Abb. 316–1: Raumluftkategorisierung (RAL = Raumluftqualität) Begriffe nach Norm SN 546382/1 und Gesundheitsschutz «Pettenkofer»-Zielwert.¹

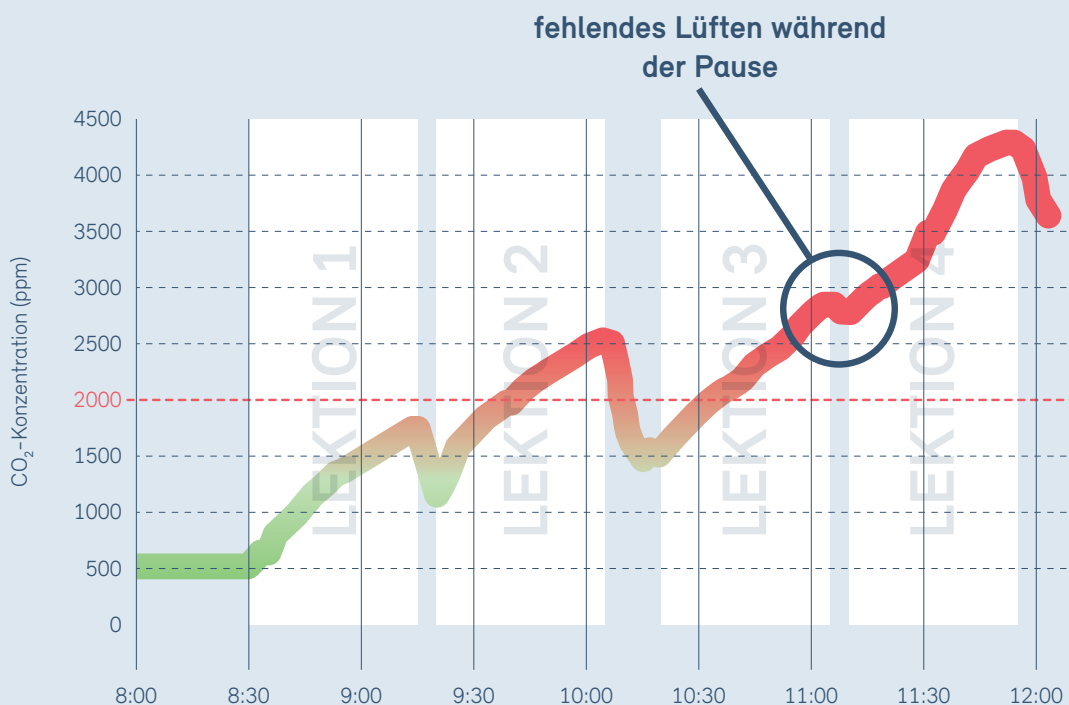
Anmerkung zum «Pettenkofer»-Zielwert: Bereits vor 160 Jahren hat der deutsche Hygieniker Max von Pettenkofer den «Kohlensäuregehalt» bzw. Kohlendioxidgehalt der Raumluft bestimmt und die für eine gute Raumluftqualität notwendige Lüftung erforscht. Er untersuchte insbesondere die Lüftung in Krankenhäusern. Aus seinen Erfahrungen mit gemessenen CO₂-Gehalten und Aussagen bzw. Klagen von Personen zur Qualität der Luft leitete er als Empfehlung ab, dass in Räumen für den beständigen Aufenthalt wie Wohnungen, Spitälern, Alters- und Pflegeheimen, die Luft nicht mehr als 1 Promille (1000 ppm) CO₂ «als Folge der Respiration und Perspiration der Menschen» enthalten solle.^[21]

C

Verlauf der CO₂-Pegel in Fenster-gelüfteten Schulzimmern

In Schulzimmern, die nur über die Fenster gelüftet werden, schwankt die Raumluftqualität im Verlaufe eines Schultages stark; es zeigt sich ein typischer, sägezahnartiger Verlauf des CO₂-Pegels.

Zu Beginn des Unterrichts am Morgen ist die Luftqualität meist noch gut bis sehr gut. Sie verschlechtert sich aber bei geschlossenen Fenstern im Laufe einer Lektion rasch. Das Lüften in den Pausen verbessert die Situation sofort wieder. Häufig wird bei kurzer Pausenlüftung der Ausgangszustand aber nicht wieder erreicht; die Lüftung bzw. die Pause ist zu kurz, um die Raumluft zu erneuern. Die nächste Lektion startet dann mit schlechterer Luftqualität als die vorhergehende. Fehlt die Pausenlüftung ganz, so steigt die Raumluftbelastung ungebremst weiter an. Damit kann die Luftqualität vor allem während der Unterrichtszeiten gegen Mittag oder gegen Abend so schlecht werden, dass die Situation aus hygienischer Sicht als inakzeptabel bewertet werden muss.



Beispiel: Verlauf der CO₂-Konzentration im Schulzimmer während eines Unterrichtsmorgens. Kurze Pausenlüftung um 9 Uhr; lange Pause um 10 Uhr wird nur teilweise zum Lüften genutzt; fehlende Pausenlüftung um 11 Uhr. Grosser Anteil der Unterrichtszeit bei inakzeptablen Luftwerten (CO₂-Pegel >2000 ppm)

D

THEMENBLATT

Lüftung in Schulen: Situation in der Schweiz

In Zusammenarbeit mit Gemeinden der Kantone Bern, Graubünden und Waadt hat das Bundesamt für Gesundheit in den Heizperioden 2013/14 und 2014/15 eine repräsentative Untersuchung durchgeführt. Sie sollte klären, wie gut die Schulen in der Schweiz gelüftet sind. Zur Einschätzung des Luftwechsels wurden in 100 Schulzimmern von 96 Schulgebäuden und Erweiterungsbauten die CO₂-Konzentrationen kontinuierlich über vier Tage gemessen. Dabei war die manuelle Fensterlüftung die Regel: In 90 der 96 Gebäude wurden die Räume ausschliesslich durch die Nutzer von Hand gelüftet.

Die Lüftungssituation wurde mit Kategorien für die gemessenen CO₂-Pegel und deren Anteilen an der Unterrichtszeit bewertet. Im Kontext eines CO₂-Anstieges zwischen zwei Lüftungsintervallen wurde dazu folgende Kategorisierung für die momentanen Werte verwendet:

<1000 ppm	<<hervorragend>>
1000–1400 ppm	<<gut>>
1400–2000 ppm	<<genügend>>
>2000 ppm	<<inakzeptabel>>

Dabei ergab sich folgendes Resultat für die fenstergelüfteten Schulen:

- ➔ In zwei Schulzimmern war die Durchlüftung durchwegs sehr gut; die CO₂-Pegel blieben stets unterhalb 1400 ppm
- ➔ Ein Drittel der Schulzimmer (33 %) war ausreichend gut gelüftet; der Anteil an hygienisch inakzeptablen Luftwerten, d. h. CO₂-Pegel über 2000 ppm, betrug weniger als 10 % der gesamten Unterrichtszeit. Umgekehrt betrug dieser Anteil in zwei Dritteln der Schulzimmer (67 %) mehr als 10 % der gesamten Unterrichtszeit. Hier besteht Handlungsbedarf.
- ➔ In 30 % der Schulzimmer lagen mindestens 30 % der gesamten Unterrichtszeit im Bereich inakzeptabler Raumluftqualität.
- ➔ In 10 % der Schulzimmer lag der Anteil inakzeptabler Raumluftqualität bei 50 % oder mehr.
- ➔ Eine Schulklasse hatte sogar während 92 % der gesamten Unterrichtszeit von vier Tagen eine inakzeptable Raumluftqualität.

Sechs Schulzimmer waren mechanisch gelüftet. In drei davon lag der CO₂-Pegel während fast 90 % der Unterrichtszeit unter 1000 ppm, wobei in einem auch gelegentlich noch über die Fenster gelüftet wurde. In einem Schulzimmer wurde ein CO₂-Pegel von 1400 ppm während 11 % der Unterrichtszeit überschritten.

Bei zwei Schulzimmern mit mechanischer Lüftung wurden 1400 ppm während 43 bzw. 47 % der Unterrichtszeit überschritten, wobei auch Überschreitungen von 2000 ppm beobachtet wurden (5 bzw. 7 % der Unterrichtszeit). Dabei wurde in einem dieser Schulzimmer auch noch über die Fenster gelüftet. Die Luftmengen dieser Anlagen waren entweder ungenügend ausgelegt, oder sie waren schlecht eingestellt.

Erfolg von Sofortmassnahmen

In einer zweiten Phase des Projekts überprüfte eine Versuchsgruppe von 23 Pilotschulklassen die Auswirkungen von Lüftungsplänen, basierend auf einem einfachen Simulationsmodell (SIMARIA, www.simaria.ch). Die Umsetzung von Lüftungsplänen mit SIMARIA führte während der Unterrichtszeit zu einer massiven Zunahme von hervorragender Luftqualität (<1000 bzw. 1000–1400 ppm CO₂).

Von 19 Pilotschulklassen lagen Daten aus der ersten Erhebung vor. Dabei verbrachten diese Schülerinnen und Schüler 18 % der Unterrichtszeit bei hervorragender und 22 % bei guter Raumluf. Während 31 % der Unterrichtszeit war die Luft inakzeptabel. Bei der Zweitmessung nach Veränderung des Lüftungsverhaltens verbrachten die Pilotschulklassen 42 % der Unterrichtszeit bei hervorragender und 28 % bei guter Raumluf. Nur während 9 % der Unterrichtszeit waren die Luftwerte inakzeptabel.

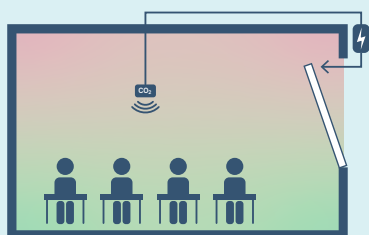
E

THEMENBLATT

Mögliche Lüftungssysteme

Zur Illustration sind im Folgenden einige Beispiele von Lösungsmöglichkeiten stichwortartig aufgeführt. Welche Möglichkeiten sich für ein bestimmtes Neubau- oder Sanierungsprojekt eignen könnten, muss in jedem einzelnen Fall in Zusammenarbeit mit Architekten und Lüftungsplanern eruiert werden.

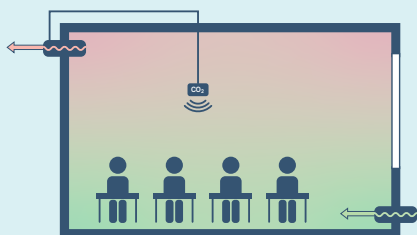
Auf der Website www.schulen-lueften.ch sind konkrete Praxisbeispiele von Schulhäusern aus der Schweiz in jeweils einem Objektblatt ausführlicher dargestellt.



Automatische Fensterlüftung

Hierbei übernimmt ein Motor das regelmässige Öffnen und Schliessen der Fenster, gesteuert z. B. mit Zeitschalter oder Sensoren für CO₂, Wind, Aussentemperatur. Die Steuerung ist anspruchsvoll. Das Öffnen und Schliessen während des Unterrichts kann stören.

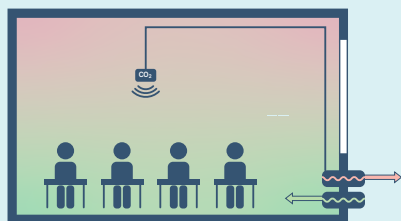
Wärmerückgewinnung, Schallschutz und Filtration sind nicht möglich.



Geregelte Abluftsysteme

Nach Bedarf wird mehr oder weniger verbrauchte Luft aus dem Raum abgesogen, und frische Luft strömt durch Öffnungen in der Fassade in den Raum nach. Passives Nachströmen der Luft kann unter Umständen auf ungewollten Wegen erfolgen.

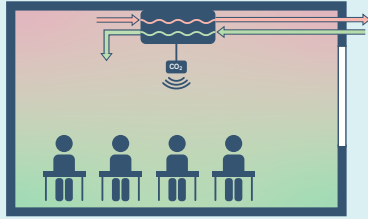
Keine Wärmerückgewinnung; Schallschutz und Filtration sind beschränkt möglich.



Einzelraumgeräte: Lüftungsgerät in Fassade oder Brüstung, «Lüftungsfenster»

Komplette Lüftungsgeräte in einer Einheit, in der Regel mehrere Geräte pro Raum. Wenn Integration im Fenster möglich ist, sind keine zusätzlichen Fassadendurchbrüche nötig.

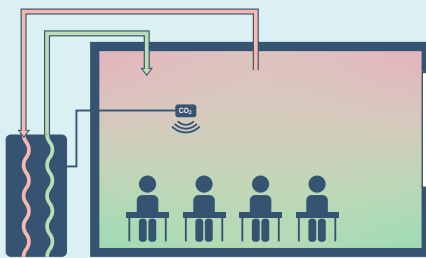
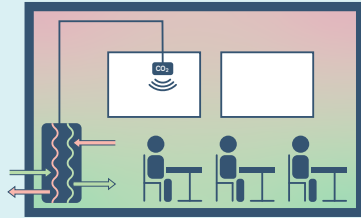
Wärmerückgewinnung, Schallschutz und Filtration sind möglich.



Einzelraumgeräte: Deckengeräte, Wandgeräte, Standgeräte

Komplette Lüftungssysteme in einer Einheit, in der Regel ein Gerät pro Raum. Zuluft und Abluft erfolgen über kurze Kanäle durch die Fassade.

Wärmerückgewinnung, Schallschutz und Filtration sind möglich.



Zentrales Lüftungsgerät

Die Luft wird von einem zentralen Gerät, das mehreren Räumen dient, angesogen und abgeführt. Die Verteilung der Zuluft und Abluft erfolgt über Lüftungskanäle.

Wärmerückgewinnung, Schallschutz und Filtration sind möglich.

Literaturquellen

- [1] Fisk WJ (2017): The ventilation problem in schools: literature review. *Indoor Air* 27: 1039–1051
- [2] Tang X, Misztal PK, Nazaroff WJ, Goldstein AH (2016): Volatile organic compound emissions from humans indoors. *Environmental Science & Technology* 50: 12686–12694
- [3] Braniš M, Řezáčová P, Domasová M (2005): The effect of outdoor air and indoor human activity on mass concentrations of PM₁₀, PM_{2.5}, and PM₁ in a classroom. *Environmental Research* 99: 143–149
- [4] Jacobs JJH, Krop EJM, de Wind S, Spithoven J, Heederik DJJ (2013): Endotoxin levels in homes and classrooms of Dutch school children and respiratory health. *European Respiratory Journal* 42: 314–322
- [5] Wargocki P (2004): Sensory pollution sources in buildings. *Indoor Air* 14 (Suppl 7): 82–91
- [6] Daisey JM, Angell WJ, Apte MG (2003): Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: an analysis of existing information. *Indoor Air* 13: 53–64
- [7] Bischof W, Wiesmüller GA (2007): Das Sick Building Syndrome (SBS) und die Ergebnisse der Pro-KlimA Studie. *Umweltmedizin in Forschung und Praxis* 12: 23–42
- [8] European Collaborative Action «Indoor Air Quality & Its Impact on Man» ECA IAQ (1992): Report No. 11: Guidelines for Ventilation Requirements in Buildings, EUR 14449 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg
- [9] Zhang X, Wargocki P, Lian Z, Thyregod C (2017): Effects of exposure to carbon dioxide and bioeffluents on perceived air quality, self-assessed acute health symptoms and cognitive performance. *Indoor Air* 27: 47–64
- [10] EN 15251 (2007): Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings – addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. CEN, Brussels (SIA 382.706)
- [11] Cain WS, Leaderer BP, Isseroff R, Berglund LG, Huey RJ, Lipsitt ED, Perlman D (1983): Ventilation requirements in buildings—I. Control of occupancy odor and tobacco smoke odor. *Atmospheric Environment* 17: 1183–1197
- [12] Wargocki P, Sundell J, Bischof W, Brundrett G, Fanger PO, Gyntelberg F, Hanssen SO, Harrison P, Pickering A, Seppänen O, Wouters P. (2002): Ventilation and health in non-industrial environments: report from a European Multidisciplinary Scientific Consensus Meeting (EUROVEN). *Indoor Air* 12: 113–128
- [13] Fisk WJ, Mirer MJ, Mendell MJ (2009): Quantitative relationship of sick building syndrome symptoms with ventilation rates. *Indoor Air* 19: 159–165
- [14] Seppänen O, Fisk WJ, Lei QH (2006): Ventilation and performance in office work. *Indoor Air* 16: 28–36
- [15] Wargocki P, Sundell J, Bischof W, Brundrett G, Fanger PO, Gyntelberg F, Hanssen SO, Harrison P, Pickering A, Seppänen O, Wouters P. (2002): The role of ventilation and HVAC systems for human health in non-industrial indoor environments. A supplementary review by EUROVEN group. *Proceedings of Indoor Air 2002*: 33–38

[16] Annesi-Maesano I, Baiz N, Banerjee S, Rudnai P, Rive S (2013): Indoor air quality and sources in schools and related health effects. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B* 16: 491–550

[17] Wargocki P, Wyon DP (2006): Research report on effects of HVAC on student performance. *ASHRAE Journal* 48: 23–26

[18] Bakó-Biró Zs, Clements-Croome DJ, Kochhar N, Awbi HB, M.J. Williams MJ (2011): Ventilation rates in schools and pupils' performance. *Building and Environment* 48: 1–9

[19] Haverinen-Shaughnessy U, Moschandreas DJ, Shaughnessy RJ (2011): Association between substandard classroom ventilation rates and students' academic achievement. *Indoor Air* 21: 121–13

[20] Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörde (Ad-hoc AG IRK/AOLG) (2008): Gesundheitliche Bewertung der Kohlendioxidkonzentration in der Innenraumluft. *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz* 51: 1358–1369

[21] Pettenkofer M (1858): Über den Luftwechsel in Wohngebäuden. Literarisch-Artistische Anstalt der J.G. Cotta'schen Buchhandlung, München



Qualität der Raumluft simulieren

Im Rahmen der Kampagne «Frische Luft für wache Köpfe» hat das BAG den Lüftungssimulator SIMARIA entwickelt. Mit dem Online-Tool zur Simulation der Luftqualität in Schulzimmern können Schülerinnen, Schüler und Lehrpersonen auf einfache Weise die Luftsituation im Schulzimmer ermitteln und ihr Lüftungsverhalten hinsichtlich einer guten Raumluftqualität anpassen. Das ermittelte Lüftungsverhalten kann in Form einer PDF-Datei gespeichert und anschliessend ausgedruckt werden. www.simaria.ch

1 Raumvolumen: Länge 8, Breite 8, Höhe 3. **2** Anzahl Personen im Raum: 18 Personen.

3 Stundenplan: 4 x 45 Min. / 3 x 45 Min.

4 Pausenplan: 3 x 5 Min. + 1 x 15 Min. / 1 x 5 Min. + 2 x 15 Min.

5 Simulation der Luftqualität: Grafik zeigt die Veränderung der Luftqualität im Tagesverlauf.

A Luftqualität über den ganzen Schultag: 60% Gut und vorwiegend gut, 33% Geringe Luftqualität, 7% Mangelnde Luftqualität.

B Luftqualität über den ganzen Schultag: 60%, 33%, 7%.

C Lüftungsplan drucken, Zurücksetzen

Raumvolumen: Länge 8, Breite 8, Höhe 3. **192** m³

SIMARIA kann auf dem Desktop-Computer, dem Tablet oder dem Smartphone angezeigt werden. Auf dem Smartphone ist das Tool am einfachsten in horizontaler Ansicht zu bedienen.

1 Raumvolumen: Länge 8, Breite 8, Höhe 3. **192** m³

2 Anzahl Personen im Raum: 18 Personen

Auf simaria.ch werden in einem ersten Schritt Daten zum Raumvolumen des Schulzimmers und zur Anzahl Personen im Raum (Klassengrösse + Lehrperson) eingegeben.

3 Stundenplan: Vormittag Anzahl Lektionen 4, Nachmittag Anzahl Lektionen 3. Individuelle Lektionsdauer definieren.

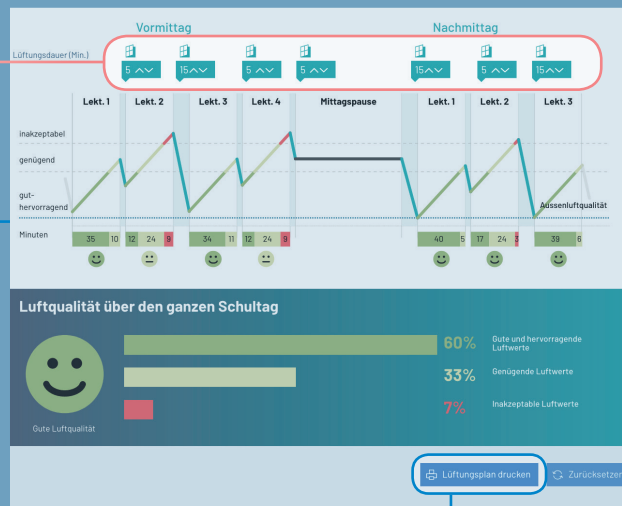
Danach wird für Vor- und Nachmittag je die Anzahl Lektionen definiert. Als Standarddauer sind 45 Minuten vorefasst. Bei Bedarf kann die Lektionsdauer gemäss individueller Planung angepasst werden.

4 Pausenplan: Vormittag Kleine Pause 5, Grosse Pause 15, Anzahl Lektionen bis grosse Pause 2. Nachmittag Kleine Pause 5, Grosse Pause 15, Anzahl Lektionen bis grosse Pause 2. Individuelle Pausendauer definieren.

Auch die Pausenlänge wird erfasst und kann individuell angepasst werden.

In den Feldern für die Lüftungszeiten sind Standardwerte eingetragen. Diese werden durch die effektiven Lüftungszeiten ersetzt.

5



A

Aufgrund der eingegebenen Daten wird die Luftqualität simuliert und als Kurve über den ganzen Schultag angezeigt.

In Prozenten wird dargestellt, wie viel Zeit des Schultags bei welchen Luftwerten verbracht wird. Daraus wird abgeleitet, ob die Luftqualität über den ganzen Schultag gut, genügend oder ungenügend ist.

B

C

Lüftungsplan drucken

Schule, Ort

Zimmer

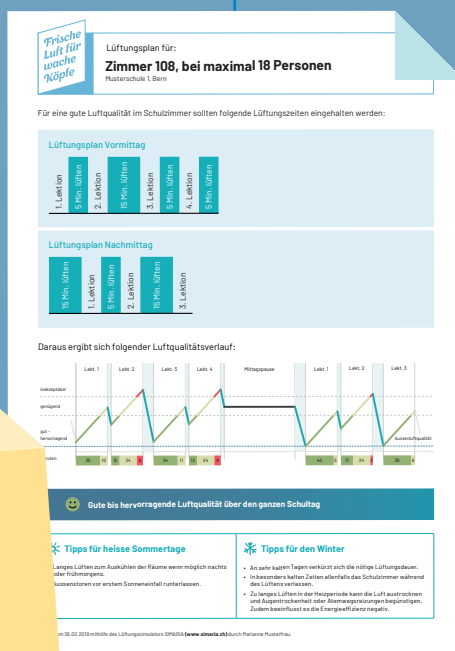
Ihr Name

Abbrechen

Mit Angaben zur Schule und zum Schulzimmer einer Schulklasse wird der Lüftungsplan einem bestimmten Raum zugewiesen.



Der Lüftungsplan stellt die notwendigen Lüftungszeiten am Vor- und Nachmittag sowie den daraus resultierenden Luftqualitätsverlauf auf übersichtliche Weise dar. Er zeigt auf, für wie viele Personen im Raum dieses Lüftungsverhalten geeignet ist. Die daraus hervorgehende Luftqualität über den ganzen Schultag wird mit einem Smiley veranschaulicht.



Ein ausgedruckter, gut sichtbarer Lüftungsplan im Schulzimmer macht das richtige Lüftungsverhalten für alle Schülerinnen, Schüler und Lehrpersonen sofort sichtbar. Der Lüftungsplan ist damit eine wertvolle Unterstützung bei der Strukturierung des Lüftungsprozesses und schafft die notwendige Verbindlichkeit.

Impressum

© Bundesamt für Gesundheit BAG

Herausgeber: Bundesamt für Gesundheit BAG

Im Rahmen der Kampagne zur Verbesserung der Luftqualität in Schweizer Schulen

Publikationszeitpunkt: März 2019

Diese Publikation ist in den Sprachen Deutsch, Französisch und Italienisch verfügbar.
Eine gedruckte Fassung liegt nicht vor.

Konzeption und Gestaltung: moxi ltd., Biel, www.moxi.ch

Weitere Informationen:

www.bag.admin.ch

www.schulen-lueften.ch

www.simaria.ch