



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement des Innern EDI
Bundesamt für Gesundheit BAG

Abt. Chemikalien, Fachstelle Wohngifte

Bericht zu Projekt und Datenerhebung

Luftwechsel in Schweizer Schulen

Version:1.0, VAC, Bericht Februar 2022, Layout August 2025



Luftwechsel in Schweizer Schulen

Bericht zu Projekt und Datenerhebung



Claudia Vassella
Fachstelle Wohngifte, Bundesamt für Gesundheit BAG

«Die Gesundheit ist ein Zustand des vollständigen körperlichen, geistigen und sozialen Wohlergehens und nicht nur das Fehlen von Krankheit oder Gebrechen.»

Verfassung der Weltgesundheitsorganisation WHO



Abb. 2 Undichter Altbau (Symbolbild)

Das Projekt «Luftwechsel in Schweizer Schulen» enthält drei Teile: Messungen der Luftqualität in Schulzimmern wurden im Rahmen einer **Querschnittsstudie** (Teil 1, 2013-2015) und einer **Interventionsstudie** (Teil 2, Heizperiode 2016/17) durchgeführt. Basierend auf den Ergebnissen und Erfahrungen aus diesen Untersuchungen wurde eine **Sensibilisierungskampagne** für die Zielgruppen Schulen und Bauherren von Schulhäusern durchgeführt (2019-2022).

Manuelle Fensterlüftung ist auch heute noch die am meisten verbreitete Lüftungsform in Schulhäusern. Allerdings stösst sie in den meist hoch belegten Schulzimmern an ihre Grenzen. Als wir das Projekt in Angriff nahmen, war diese Tatsache, sowie die grosse Bedeutung einer guten Durchlüftung für Gesundheit und Lerneffizienz bei der Allgemeinbevölkerung und bei vielen Fachleuten aus der Baubranche wenig bekannt.

Zunächst ging es darum, die Lüftungssituation in Schweizer Schulen mittels einer Querschnittsstudie zu erheben. Die während des Unterrichts gemessenen CO₂-Pegel dienten als Mass für die Durchlüftung. Dabei ergab sich ein überraschend schlechtes Bild: In mehr als zwei Dritteln der Schulzimmer mit manueller Fensterlüftung war die Durchlüftung ungenügend (Überschreitung des hygienischen Grenzwerts für CO₂ von 2000 ppm gemäss Norm SIA 180:2014 während mehr als 10 % der Unterrichtszeit).

In der anschliessenden Interventionsstudie zeigten wir, dass es möglich ist, die empfohlenen Lüftungsziele im Schulalltag mit zweckmässigen Lüftungsregeln zu erreichen¹. Die Lüftungsregeln waren in den Schulalltag integrierbar und setzten effizientes Lüften voraus.

Mithilfe der Kampagne «Frische Luft für wache Köpfe» wurden schliesslich die Allgemeinbevölkerung, die Medien und die von der Problematik betroffenen Zielgruppen «Schulen und Bauherren von Schulhäusern» in zwei Wellen bezüglich der Luftwechsel-Problematik in Schulen sensibilisiert. Das Projekt «Luftwechsel in Schweizer Schulen» des Bundesamts für Gesundheit BAG wurde in Zusammenarbeit mit den Kantonen Bern, Graubünden, Waadt, Zürich und 20 Gemeinden aus diesen Kantonen durchgeführt.

¹ Die Lüftungsregeln waren in den Schulalltag integrierbar und setzten effizientes Lüften voraus (keine gekippten Fenster oder Dauerlüften).

Inhalt

Querschnittsstudie (Teil 1)	5
1 Zusammenfassung	5
1 Résumé	6
1 Sintesi	8
2 Einleitung	10
3 Durchführung	11
3.1 Organisation und Kommunikation	11
3.2 Auswahl von Kantonen, Gemeinden, Gebäuden und Schulzimmern	11
3.3 Messungen	14
4 Resultate	19
4.1 Durchlüftung in 100 Schulzimmern während 4 Tagen	19
4.2 CO₂-Pegel verschlechtern sich im Laufe des Schultags	21
4.3 In allen Kantonen ähnlich hohe Maxima	21
4.4 Tendenziell tiefere Schadstoffbelastungen in undichten Altbauten	22
4.5 Lärm erschwert das Fensterlüften	24
4.6 Teils weitere Abklärungen bei Asbest und Formaldehyd	24
4.7 Durchwegs erfreuliche Resultate bei Radon, Schimmel und NO₂	25
4.8 Offene Fragen bei den Formaldehydmessungen	26
5 Diskussion	27
6 Literatur	29
Interventionsstudie (Teil 2)	30
7 Untersuchungen im Anschluss an die Querschnittstudie	30
7.1 Ergebnisse der Interventionsstudie zum richtigen Lüften in Kürze	30
7.2 Ausführliche Darstellung der Interventionsstudie	32
7.3 Formaldehydmessungen zur Untersuchung von Sommer-Extrapolationen und Lüftungsmassnahmen	32
Sensibilisierungskampagne	33
Dank	34

Querschnittsstudie (Teil 1)

1 Zusammenfassung

Gesundes und effizientes Lernen setzt eine ausreichende Frischluftzufuhr im Unterrichtsraum voraus. Die vorliegende Studie von BAG, Kantonen (BE, GR, VD) und Gemeinden sollte klären, wie gut die Schulen in der Schweiz gelüftet sind. Ergänzend wurden weitere Schadstoffe analysiert sowie Fragebogenerhebungen zum Gebäude und zum Lüftungsverhalten der Schulklassen durchgeführt. Zur Einschätzung des Luftwechsels wurden die Kohlenstoffdioxidkonzentrationen (CO₂) in 100 Schulzimmern von 96 Schulgebäuden und Erweiterungsbauten kontinuierlich über vier Tage gemessen.

²Die 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 ³	«hervorragend»
1000-1400 ppm	«gut»
1400-2000 ppm	«genügend»
>2000 ppm	«inakzeptabel»

Dabei ergab sich folgendes Resultat für die 94 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 Raumlufthqualität.
- In 10 % der Schulzimmer lag der Anteil inakzeptabler Raumlufthqualität bei 50 % oder mehr.
- Eine Schulklasse hatte sogar während 92 % der gesamten Unterrichtszeit von vier Tagen eine inakzeptable Raumlufthqualität.

Obschon gut konzipierte automatische Lüftungslösungen problemlos die erforderliche Durchlüftung sicherstellen, war dies in drei von sechs Fällen nicht der Fall. Dennoch lag die mittlere CO₂-Konzentration in diesen «mechanisch» gelüfteten Schulzimmern etwa 520 ppm tiefer als bei den 94 Schulzimmern, die ausschliesslich durch manuelles Öffnen der Fenster («natürlich») gelüftet wurden.

In undichten Altbauten waren die Formaldehydkonzentrationen, die Geruchsbelastungen und der Anteil der inakzeptablen Durchlüftung deutlich niedriger als in dichten Altbauten.

² Die Lüftungsregeln waren in den Schulalltag integrierbar und setzten effizientes Lüften voraus (keine gekippten Fenster oder Dauerlüften)

³ «ppm» bedeutet «parts per million» und entspricht der Teilchenkonzentration in der Luft.

In 14 Schulen fanden die Schadstoffdiagnostiker/innen in einem kleinen Perimeter bestehend aus dem begutachteten Schulzimmer, dem angrenzenden Korridor und der benachbarten WC-Anlage asbestverdächtige Materialien, bei welchen weitere Abklärungen zur Vermeidung von Risiken empfohlen wurden. In 2 von 100 Schulzimmern kam es zu einer Überschreitung des Formaldehyd-Richtwerts von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, worauf wir den Gemeinden verstärktes Lüften und die Identifikation der Quellen empfohlen.

Alle in den Schulzimmern gemessenen Werte des radioaktiven Radongases, das aus dem Bauuntergrund in die Gebäude eindringt, lagen unter dem vom BAG empfohlenen Richtwert von $300 \text{ Bq}/\text{m}^3$. In keinem einzigen Schulhaus lagen im untersuchten Perimeter relevante Feuchtigkeits- und Schimmelprobleme vor (Kat.2). Die NO_2 -Werte in den Schulzimmern überschritten weder den deutschen Kurzzeit-Innenraumrichtwert von $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (7-Tage-Richtwert, AG IRK/AOLG 1998), noch lagen die Aussenluftwerte in einer Grössenordnung, bei der eine Fensterlüftung nicht empfohlen wird ($45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel, SIA 382/1).

Die Studie zeigt, dass in Schulzimmern mit spontaner manueller Fensterlüftung hohe CO_2 -Werte üblich sind. Dies traf zu, obwohl den Lehrpersonen eine gute Raumluftqualität wichtig war und die meisten Schulklassen regelmäßig lüfteten. Das BAG empfiehlt, dass die Schulklassen als zeitlich beschränkte Sofortmassnahme vermehrte Lüftungsanstrengungen unternehmen. Sobald Gebäudesanierungen anstehen, sollen unbedingt die geltenden Baunormen umgesetzt werden: Ein Lüftungskonzept und daraus abgeleitete bauliche Massnahmen sollen eine durchwegs gute Durchlüftung in den Schulzimmern sicherstellen (SIA 180:2014). Eine gute Durchlüftung ist nicht nur zur Abführung der unvermeidbaren Belastung durch Personen nötig. Sie ist auch wirksam in Bezug auf die Minderungen von anderen Schadstoffbelastungen in Schulzimmern.

1 Résumé

Un apport d'air frais suffisant dans la salle de classe est indispensable aussi bien pour la santé des élèves que pour l'efficacité de leur apprentissage. La présente étude réalisée par l'Office fédéral de la santé publique (OFSP), en collaboration avec certains cantons (BE, GR, VD) et communes, visait à évaluer la qualité de l'aération dans les écoles suisses. Par ailleurs, différents polluants ont été analysés et des sondages ont été effectués concernant les bâtiments et la manière dont l'aération se déroulait au sein des salles de classe. Afin d'évaluer les échanges d'air, les concentrations de dioxyde de carbone (CO_2) ont été mesurées en continu pendant 4 jours dans 100 salles de classe de 96 bâtiments et extensions scolaires.

La qualité de l'aération a été catégorisée en fonction des différents taux de CO_2 mesures durant les périodes d'enseignement. En tenant compte d'une hausse de la teneur en CO_2 entre deux périodes d'aération, la catégorisation suivante a été utilisée pour les valeurs momentanées :

< 1000 ppm	« excellent »
1000-1400 ppm	« bon »
1400-2000 ppm	« suffisant »
> 2000 ppm	« inacceptable »

Les résultats suivants ont été obtenus dans les 94 écoles ventilées manuellement :

- L'aération s'est avérée de très bonne qualité dans deux salles de classe, où la teneur en CO₂ est en tout temps restée inférieure à 1400 ppm.
- Elle s'est avérée suffisante dans un tiers des locaux (33 %), où la durée durant laquelle des valeurs inacceptables sur le plan de l'hygiène - à savoir une teneur en CO₂ supérieure à 2000 ppm ont été mesurées - est restée inférieure à 10 % du temps d'enseignement. À l'inverse, cette durée s'est révélée supérieure à 10 % du temps consacré à l'enseignement dans deux salles de classe sur trois (67 %). Dans ces cas, une action s'impose.
- Dans 30 % des salles de classe, la qualité de l'air intérieur s'est avérée inacceptable durant 30 % ou plus du temps total d'enseignement.
- Elle a atteint 50 %, voire plus, dans 10 % des classes.
- Dans une salle de classe, la qualité de l'air intérieur s'est même avérée inacceptable durant 92 % du temps consacré à l'enseignement.

Lorsqu'ils sont bien conçus, les systèmes de ventilation automatique fournissent sans problème l'aération nécessaire. Pourtant, trois salles de classe sur six dotées de tels systèmes ne présentaient pas les valeurs requises. Dans ces salles de classe aérées « mécaniquement », la concentration moyenne de CO₂ était néanmoins inférieure d'environ 520 ppm à celle des 94 salles de classe aérées uniquement par ouverture manuelle des fenêtres (« naturellement »).

Les concentrations de formaldéhyde, les odeurs et le pourcentage d'aération inacceptable étaient nettement plus faibles dans les bâtiments anciens non étanches que dans les bâtiments anciens étanches.

Dans 14 établissements, les spécialistes en diagnostic des polluants ont trouvé des matériaux susceptibles de contenir de l'amiante, sur un périmètre couvrant la salle de classe expertisée, le couloir adjacent et les toilettes voisines ; des investigations supplémentaires ont été recommandées afin d'éviter tout risque. La valeur indicative de 120 µg/m³ pour le formaldéhyde ayant été dépassée dans 2 salles de classe sur 100, nous avons recommandé aux communes d'aérer davantage et d'identifier les sources.

Des mesures ont également été effectuées concernant le radon, un gaz radioactif qui s'infiltre dans les bâtiments depuis le sous-sol de la construction. Les valeurs constatées dans les salles de classe étaient toutes inférieures à la valeur indicative de 300 Bq/m³ recommandée par l'OFSP. Aucun bâtiment scolaire ne présentait de problèmes d'humidité ou de moisissures importants dans le périmètre examiné (cat. 2). Les proportions de dioxyde d'azote (NO₂) dans les salles de classe n'ont pas dépassé la valeur indicative à court terme, déterminée par l'Allemagne, de 60 µg/m³ pour l'air intérieur (valeur indicative sur 7 jours, AG IRK/AOLG 1998), et les valeurs de l'air extérieur ne se situaient pas dans un ordre de grandeur pour lequel la ventilation par les fenêtres est déconseillée (45 µg/m³ en moyenne annuelle, SIA 382/1).

L'étude montre que les concentrations de CO₂ sont généralement élevées dans les salles de classe équipées d'une fenêtre pour une aération manuelle spontanée. Cela s'est avéré malgré le fait que les enseignants accordaient une grande importance à la qualité de l'air ambiant et que la plupart des salles de classes étaient aérées régulièrement. L'OFSP recommande que les classes redoublent d'efforts en matière d'aération à titre de mesure immédiate et temporaire. Dès que des travaux de rénovation sont prévus, les normes de construction en vigueur doivent impérativement être respectées : un concept de ventilation et les mesures architecturales qui en découlent doivent garantir une bonne ventilation dans toutes les salles de classe.

(SIA 180:2014). Une bonne ventilation n'est pas seulement nécessaire pour évacuer la pollution inévitable causée par les personnes. Elle est également efficace pour réduire d'autres pollutions dans les salles de classe.

1 Sintesi

Un apprendimento sano ed efficiente richiede un apporto sufficiente di aria fresca nell'aula scolastica. Scopo del presente studio dell'Ufficio federale della sanità pubblica (UFSP), dei Cantoni (BE, GR, VD) e dei Comuni era di rilevare la qualità dell'areggiamento delle scuole in Svizzera. Inoltre, sono stati analizzati altri inquinanti e sono state effettuate rilevazioni mediante questionari sull'edificio e sulle modalità di areggiamento delle aule scolastiche. Per stimare il ricambio d'aria, è stata misurata in modo continuativo per quattro giorni la concentrazione di anidride carbonica (CO₂) in 100 aule scolastiche di 96 edifici scolastici e dei relativi ampliamenti.

La situazione relativa al ricambio di aria è stata valutata mediante categorie per i livelli di CO₂ misurati, secondo la loro distribuzione durante le lezioni. Nel contesto di un aumento di CO₂ tra due intervalli per il ricambio di aria, per i valori registrati è stata utilizzata la seguente categorizzazione:

< 1000 ppm	«ottimo»
1000-1400 ppm	«buono»
1400-2000 ppm	«sufficiente»
> 2000 ppm	«insufficiente»

Per le 94 scuole areggiate per mezzo di finestre, i risultati emersi sono stati i seguenti:

- in due aule il ricambio di aria era costantemente molto buono, in quanto il livello di CO₂ non superava mai i 1400 ppm;
- un terzo delle aule (33 %) era ben areggiato e, sul totale del tempo di lezione, i valori dell'aria insufficienti dal punto di vista igienico, ossia con livelli di CO₂ superiori ai 2000 ppm, rappresentavano meno del 10 per cento. Al contrario, in due terzi delle aule (67 %), sono stati registrati valori insufficienti per più del 10 per cento del tempo di lezione, il che ha evidenziato una necessità d'intervento;
- nella 30 per cento, la qualità dell'aria ambiente si collocava nella fascia dell'insufficienza per almeno il 30 per cento dell'intero tempo di lezione;
- nel 10 per cento delle aule, la qualità dell'aria ambiente si situava nella fascia dell'insufficienza per il 50 per cento del tempo di lezione o più;
- in un'aula, infine, durante i quattro giorni la qualità dell'aria è risultata insufficiente addirittura per il 92 per cento dell'intero tempo di lezione.

Anche se le soluzioni di ventilazione automatica ben progettate garantiscono senza problemi il ricambio d'aria necessario, non è stato così in tre casi su sei. Ciononostante, la concentrazione media di CO₂ in queste aule scolastiche ventilate «meccanicamente» è stata inferiore di circa 520 ppm a quella delle 94 aule con ventilazione «naturale» aprendo manualmente le finestre.

Negli edifici vecchi non ermetici le concentrazioni di formaldeide, gli odori sgradevoli e la quota di ricambio d'aria inaccettabile sono stati significativamente inferiori rispetto agli edifici vecchi ermetici.

In 14 scuole gli addetti alla diagnostica degli inquinanti hanno rinvenuto in un piccolo perimetro, costituito dall'aula esaminata, dal corridoio confinante e dal WC adiacente, materiali sospettati di contenere amianto, per i quali sono stati raccomandati ulteriori accertamenti per evitare rischi. In due aule scolastiche su 100 è stato superato il valore indicativo di formaldeide di $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, per cui è stato raccomandato ai Comuni di intensificare la ventilazione e di identificare le fonti.

Tutti i valori di radon, un gas radioattivo che penetra negli edifici dalle fondamenta, misurati nelle aule scolastiche sono stati inferiori al valore indicativo raccomandato dall'UFSP di $300 \text{ Bq}/\text{m}^3$. In nessun edificio scolastico sono stati riscontrati problemi rilevanti di umidità e muffa (cat. 2) nel perimetro esaminato. I valori di NO_2 nelle aule scolastiche non hanno superato il valore indicativo di $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per brevi periodi negli ambienti chiusi stabilito dall'Ufficio federale dell'ambiente tedesco (valore indicativo su 7 giorni, AG IRK/AOLG 1998) e i valori dell'aria esterna non hanno raggiunto un ordine di grandezza per il quale la ventilazione aprendo le finestre non è raccomandata (media annua di $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$, SIA 382/1).

Lo studio dimostra che, nelle aule scolastiche con ventilazione manuale spontanea, sono comuni livelli elevati di CO_2 . Ciò era corretto nonostante gli insegnanti attribuissero grande importanza alla qualità dell'aria interna e la maggior parte delle classi arieggiasse regolarmente i locali. L'UFSP raccomanda che, come misura immediata e temporanea, nelle classi scolastiche vengano intensificati gli sforzi di ventilazione. Non appena saranno necessari lavori di ristrutturazione degli edifici, sarà indispensabile applicare le norme edilizie vigenti: un progetto di ventilazione e le misure edilizie che ne derivano devono garantire una buona ventilazione in tutte le aule scolastiche (SIA 180:2014). Una buona ventilazione non è necessaria solo per eliminare l'inevitabile inquinamento causato dalle persone, ma è anche efficace nel ridurre altri inquinanti presenti nelle aule scolastiche.

2 Einleitung

Schulgebäude gehören zu den wichtigsten öffentlichen Bauten einer Gemeinde. Bis heute prägen Schulen das Ortsbild und nehmen eine repräsentative Rolle ein. Doch Schulen sind auch Funktionsbauten, in welchen es als zentrale Anforderung möglich sein muss, optimal zu lernen und zu lehren.

WICHTIGER LUFTWECHSEL

Gesundes und effizientes Lernen und Lehren ist der einfache Nenner für eine ganze Anforderungsliste, die ein Schulhaus erfüllen muss. Sie beginnt mit der Konzeption der Räume und der Sicherheit im Gebäude. Eine Reihe von Anforderungen betreffend Licht, Akustik, Beschattung, Temperatur und Luftströmungen sind zu berücksichtigen. Daneben muss das Gebäude die Vorgaben für die Energieeffizienz erfüllen. Bei alledem findet die Tatsache noch zu wenig Beachtung, dass eine gute Raumlufte ebenfalls eine wichtige Voraussetzung für gesundes und effizientes Lernen ist.

Um einzuschätzen, ob genügend frische Luft für die anwesenden Personen vorhanden ist, bietet sich die Messung der Kohlendioxidkonzentration (CO_2) an. Der Zusammenhang ist einfach: Die Menschen im Raum wandeln beim Atmen Sauerstoff in CO_2 um. Befinden sich viele Menschen im Raum, entsteht rasch viel CO_2 . Dieses addiert sich zum CO_2 welches aus der Aussenluft stammt (etwa 0.04%, = 400 ppm) und in jedem Raum vorhanden ist – der CO_2 -Pegel im Raum steigt an. Beim Lüften wiederum sinkt der Pegel ab. Misst man den Verlauf des CO_2 -Pegels während mehrerer Schultage, lässt sich so die Durchlüftung im Schulzimmer verfolgen. Dabei wird jedes Öffnen der Fenster im Winter auch durch einen unverkennbaren Temperatur- und Feuchtigkeitsabfall sichtbar.

Doch CO_2 ist nur ein gut messbarer Stoff aus dem Stoffwechsel neben weiteren. Die Schülerinnen und Schüler geben auch zahlreiche organische Verunreinigungen über die Atmung und die Haut an die Raumlufte ab. Von Materialien und Einrichtungsgegenständen werden Schadstoffe in die Raumlufte freigesetzt. So können verleimte Holzwerkstoffe das Reizgas Formaldehyd abgeben. Personen im Raum geben auch Wasserdampf an die Raumlufte ab, und eine schlechte Durchlüftung in Gebäuden mit kalten Aussenwänden fördert Kondensationen und Schimmelwachstum, welche wiederum biologische und chemische Verunreinigungen in die Raumlufte abgeben. Auch die Konzentration des krebserregenden Radongases aus dem Bauuntergrund steigt bei unzureichender Durchlüftung tendenziell an. Eine schlechte Durchlüftung beeinträchtigt die Gesundheit der Gebäudenutzerinnen und -nutzer. Sie ist mit selbst berichteten gebäudebezogenen Kopfschmerzen, Konzentrations- und Schlafstörungen eng assoziiert (Sick-Building-Syndrom). Asthmasymptome nehmen zu und bestimmte Krankheitserreger werden leichter übertragen. Verbrauchte Luft senkt auch die Lerneffizienz. So sind erste Leistungseinbussen bereits bei CO_2 -Konzentration von 800 ppm erkennbar, was einer Verdoppelung der Aussenluftkonzentration entspricht. Bei noch deutlich höheren CO_2 -Pegeln, wie sie häufig in Schulzimmern gemessen werden, ist die Leistung bereits um bis zu 20 % vermindert (Haverinen et al. 2011).

SUBJEKTIVE WAHRNEHMUNG

Nicht selten führt uns die subjektive Wahrnehmung an der Nase herum. Es gibt Schulen mit manueller Fensterlüftung, bei welchen das Raumklima an heissen Sommertagen als unerträglich empfunden wird. Das liegt meist daran, dass ein wirksamer Schutz vor der Sonneneinstrahlung und eine effiziente Nacht- oder Morgenaus Kühlung fehlen. Solche Schulzimmer sind an heissen Tagen besonders schlecht gelüftet und stickig. Verständlicherweise wird diesen Schulen generell eine schlechte Raumluft attestiert, was nicht zutreffen muss.

Genauso wenig ist bei Schulen mit als gut empfundenem Raumklima garantiert, dass die Durchlüftung gut ist. Eine Messung des CO₂-Pegels im belegten Raum ist hierzu ein besseres Mass.

3 Durchführung

3.1 Organisation und Kommunikation

Die Fachstelle Wohngifte des BAG war für die Leitung und Planung des Gesamtprojekts verantwortlich. Dazu gehörten die Auswahl und Information der betroffenen Kantone (Kantonale Erziehungs- und Gesundheitsdirektionen), die Auswahl und Anfrage von Partnergemeinden, die Kommunikation mit Beteiligten und Partnern, die Festlegung der Auswertungskriterien und die Bewertung des Handlungsbedarfs. Die Messungen wurden im Rahmen einer WTO-Ausschreibung vergeben. Zusammen mit den beauftragten Messfirmen CSD-Ingenieure SA und Ganz Klima GmbH⁴ wurde das Vorgehen vor Ort erarbeitet. Die Sektion Radiologische Risiken des BAG betreute die Radonmessungen. Das Institute of Mathematical Statistics and Actuarial Science, Universität Bern unterstützte die Fachstelle Wohngifte BAG bei der Datenauswertung. Das Projekt stützte sich auf das Chemikaliengesetz ChemG, Art. 29 (Information zur Innenraumluft) und Art. 37 (Grundlagenbeschaffung und Forschung).

In möglichen Partnergemeinden (Informationen über die Auswahl siehe 4.2) wurden sowohl die Leiterinnen und Leiter der Schulämter als auch die für die Bildung zuständigen Gemeinderätinnen und Gemeinderäte kontaktiert. Die weitere Zusammenarbeit erfolgte mit einer von der Partnergemeinde bestimmten Kontaktperson. Die Messfirma wurde vor Ort meist von einer Hauswartin, einem Hauswart oder einer Lehrperson unterstützt. Diese bereiteten die Schulzimmer für die Messungen vor, ermöglichten den Zugang zu den Schulzimmern und schickten NO₂-Diffusionsröhrchen und Radon-Dosimeter nach Messende an die Messfirma zurück. Bei Handlungsbedarf – zum Beispiel bei einer Überschreitung des Formaldehyd-Richtwerts oder wenn asbestverdächtige Materialien weitere Abklärungen erforderten - wurden die Gemeinden und die kantonalen Chemikalienfachstellen umgehend informiert.

Am 10. und 24. Juni 2015 fanden in Bern und Chur Nachmittagstagungen für die beteiligten Gemeinden, Schulen und kantonalen Stellen statt. Die damals verfügbaren Resultate wurden vorgestellt und diskutiert. Daneben kamen auch ausgewiesene lokale Experten zu Wort.

3.2 Auswahl von Kantonen, Gemeinden, Gebäuden und Schulzimmern

KANTONE UND GEMEINDEN

⁴ <https://www.aramis.admin.ch/>, Projektnummer 13.003449

Neben der Waadt als frankophonem Kanton, der mit vielen kleinen Gemeinden eine typische Schweizer Gemeindestruktur aufweist, fiel die Wahl auf Graubünden als relativ dünn besiedeltem Kanton mit Gemeinden in höheren Lagen und auf den Kanton Bern als Kanton mit einer grossen Zentrumsstadt.

Die Auswahl der Gemeinden erfolgte daraufhin möglichst repräsentativ für die Schweiz in Bezug auf die Gemeindegrösse, den Gemeindetyp «städtisch und ländlich» und die Landessprachen Deutsch und Französisch. Als Basis dazu wurden statistische Daten des Bundesamtes für Statistik BFS der Jahre 2010 und 2012 verwendet.

In der Schweiz gibt es eine hohe Anzahl kleiner Gemeinden. Das führt dazu, dass beispielsweise in Gemeinden mit 2'000-4'900 Einwohnern, trotz der geringen Einwohnerzahl, 25 % der ständigen Bevölkerung der Schweiz leben. Um dieser Situation gerecht zu werden, stand die Anzahl der in jeder Grössenklasse durchgeführten Messungen in direktem Verhältnis zum Anteil der Bevölkerung in dieser Gemeindegrössenklasse. So waren in Gemeinden mit 2'000-4'900 Einwohnern 25 % der Messungen vorgesehen. Letztlich wurden aber 27 % der Messungen in diesen Gemeinden ausgeführt (vgl. rechte Spalte von Tabelle 1). Gemeinden mit weniger als 1000 Einwohnerinnen und Einwohnern wurden, nicht in die Studie aufgenommen, da sie i.d.R. keine eigenständigen Schulgemeinden sind. Auch einkommensstarke Gemeinden wurden nicht berücksichtigt.

27 % der Messungen wurden im französischen und 73 % im deutschen Sprachgebiet durchgeführt, was dem Verhältnis der jeweiligen Bevölkerungsgruppen nahekommt (24 % zu 76 %, BFS 2012; darüber hinaus wurde das Verhältnis zwischen städtischen und ländlichen Gemeinden berücksichtigt).

Gemeindegrösse (Einwohner)	Graubünden	Bern	Waadt	Anzahl gemessene Schulzimmer
>100'000		Gemeinde 1		12
50'000 – 99'999	Gemeinde 2			-
20'000 – 49'999			Gemeinde 3	10
				8
10'000 – 19'999		Gemeinde 4		8
		Gemeinde 5		10
5'000 – 9'999	Gemeinde 6			6
			Gemeinde 7	6
2'000 – 4'999		Gemeinde 8		4
			Gemeinde 9	4
	Gemeinde 10			3
		Gemeinde 11		4
			Gemeinde 12	4
		Gemeinde 13		4
	Gemeinde 14			4
1'000 – 1'999			Gemeinde 15	3
	Gemeinde 16			3
		Gemeinde 17		3
			Gemeinde 18	2
	Gemeinde 19			2
Anzahl Gemeinden	6	7	6	
Anzahl Messungen	28	45	27	100

Tabelle 1. Studiengemeinden und Anzahl gemessene Schulzimmer nach Kanton und Gemeindegrössenklassen

SCHULHÄUSER UND SCHULZIMMER

Es wurden nur öffentliche Gemeindeschulen mit Klassen in der obligatorischen Schulzeit für die Studie berücksichtigt. Nicht vertreten waren Gymnasien, Privatschulen und Kindergärten.

Der Fokus lag auf einer möglichst breiten Auswahl von undichten bis energetisch dicht sanierten Gebäuden und neu erstellten «Minergiebauten». Dabei wurden Gebäude mit unterschiedlichem Baujahr, Sanierungsjahr oder unterschiedlicher Konstruktion ausgewählt. Erweiterungsbauten zu bestehenden Schulhäusern wurden zusätzlich in die Studie aufgenommen, sofern sich die Bauten in Bezug auf lüftungsrelevante Kriterien unterschieden.



Abb. 3 Schulzimmer in ländlicher Umgebung mit kleiner Klassengrösse

Erwartungsgemäss war die Schülerdichte pro Raumvolumen in kleinen Gemeinden geringer als in grossen. Wo immer möglich wurden deshalb Schulzimmer mit gemeindeüblicher Schülerdichte bevorzugt. In 59 von 100 Schulzimmern wurde meist nachmittags in reduzierter Klassengrösse unterrichtet (Angabe der Lehrpersonen).

Wir gehen davon aus, dass die in die Studie eingeschlossenen Schulzimmer die Schweizer Volksschulen insgesamt gut abbilden und eine gewisse Verallgemeinerung der Resultate zulässig ist.

3.3 Messungen

CO₂ ZUR EINSCHÄTZUNG DER DURCHLÜFTUNG

In genutzten Räumen ist CO₂ ein bewährter Indikator für den Luftwechsel.



Abb. 4 Kohlendioxid-Messgerät

Die Messung von CO₂ erfolgte passiv nach dem 2-Kanal-Infrarot-Absorptionsprinzip, mit einer Genauigkeit von $\pm 50 \text{ ppm} + 2 \% \text{ des Messwerts}$.

Die CO₂-Konzentration wurde in den Schulzimmern jeweils von Montagmorgen bis Donnerstagabend kontinuierlich erfasst und aufgezeichnet. Lehrpersonen wurden gebeten, den Raum in dieser Zeit wie üblich zu nutzen und zu lüften. Die Resultate beziehen sich nur auf die genutzte Zeit, d.h. die effektive Unterrichtszeit.

RADON

Das radioaktive Gas Radon ist ein Schadstoff aus dem Bauuntergrund, der laut Schätzungen in der Schweiz jährlich 200-300 Lungenkrebstodesfälle fordert (BAG 2022). Höchste Werte werden während der Heizperiode und in tiefen Stockwerken, insbesondere in Kellergeschossen gemessen. Die Auswahl der Schulzimmer war in Bezug auf das Stockwerk zufällig.



Abb. 5 Radon-Dosimeter

Die Messungen erfolgten mit Dosimetern der Marke Landauer Nordic während einer Dauer von i. d. R. 12 Wochen in der Heizperiode (in wenigen Ausnahmen längere Messdauer). Bei der Platzierung der Dosimeter im Schulzimmer wurde auf eine ungehinderte Luftzirkulation und auf die Einhaltung von Mindestabständen von einem Meter zu Fenstern und Türen geachtet.

Der Radon-Grenzwert lag während der Durchführung der Studie bei $1'000 \text{ Bq/m}^3$ (StSV 2014, SR814.501). Bei einer Überschreitung ist eine Sanierung obligatorisch. Dem gegenüber lag der Richtwert für Neubauten bei 400 Bq/m^3 , wobei das BAG schon damals empfahl, bei Sanierungen, Renovationen und Neubauten möglichst tiefe Radonkonzentrationen anzustreben.

FORMALDEHYD

Spanplatten und andere verleimte Holzwerkstoffe können Formaldehyd enthalten. Auch wenn der Stoff in modernen Holzwerkstoffen in tieferen Konzentrationen vorkommt als in älteren, kann es bei grossflächiger Verwendung neuer Holzwerkstoffe in Innenräumen gleichwohl zu Richtwertüberschreitungen kommen (BAG 2010, Richtwert 0.1 ppm oder $120 \mu\text{g/m}^3$ bei 20°C).

Für die Formaldehydmessung in den Schulzimmern galt die Rahmenbedingung, dass die Situation abzubilden ist, welche Lehrperson und Schüler morgens beim Eintritt ins Schulzimmer antreffen (Worst-Case-Situation für Schullektion).



Abb. 6 Messinstallation zur Formaldehyd-Messung

In Schulen mit manueller Fensterlüftung erfolgte die Messung im ungelüfteten Raum. In mechanisch gelüfteten Schulzimmern wurden die üblichen Einstellungen für Wochentage gewählt⁵. Die Probenahme erfolgte aktiv mit einer Pumpe während einer Dauer von 30 Minuten. Da der BAG-Richtwert auch kurzfristig nicht überschritten werden soll, gelten diese Messbedingungen als Standardbedingungen für eine Richtwertüberprüfung und somit zur Feststellung eines Handlungsbedarfs (Norm ISO 16'000-2).

⁵ Schulzimmer mit Fensterlüftung wurden letztmals am Abend vor der Messung gelüftet. Bei CO₂-gesteuerten Lüftungsanlagen liefen die Anlagen während der Messung nicht.

Da im Sommer eine höhere Formaldehydfreisetzung aus den Materialien im Schulzimmer zu erwarten ist, liess das BAG, ausgehend von den Werten der Wintermessung, mit einem mathematischen Modell Sommerwerte berechnen (sog. Anderson-Gleichung, Norm ISO-16'000-2). Die Extrapolation erfolgte unter Annahme einer relativen Luftfeuchtigkeit von 60 % und einer Temperatur von 26 °C. Bei kleineren Richtwertüberschreitungen im Winter unter Standardbedingungen (s. oben) empfiehlt das BAG regelmässiges Lüften und Nachmessungen im Sommer. Bei deutlichen Überschreitungen und Reizsymptomen bei Schülerinnen, Schülern oder Lehrpersonen soll rasch gehandelt werden. Potenzielle Quellen soll man vor der Entfernung identifizieren. Erfahrungsgemäss müssen bei einer Richtwertüberschreitung nur die Hauptquellen aus den Schulzimmern entfernt werden. Allerdings aus allen Schulzimmern.

FEUCHTIGKEITSPROBLEME UND SCHIMMEL

Ein schlechter Luftwechsel begünstigt an kühlen Wänden und Fenstern Feuchtigkeitsprobleme in Form von Kondensationen und Schimmelbewuchs. Das durchgeführte Feuchtigkeits- und Schimmelscreening beschränkte sich auf das untersuchte Schulzimmer, den angrenzenden Korridor und die nächstgelegene WC-Anlage. Die Bewertung erfolgte gemäss BAG-Wegleitung «Vorsicht Schimmel» (BAG, 2009).

UNANGENEHME GERÜCHE

Bei schlechtem Luftwechsel kommen unangenehme Gerüche häufiger vor. Immer der gleiche Messspezialist beurteilte olfaktorisch den Raumgeruch bei Eintritt in das seit mindestens acht Stunden geschlossene Schulzimmer. Der Geruch wurde mittels sechsstufiger Notenskala bewertet und der Geruchscharakter dokumentiert (VDA 270, 1992).

LÄRM

Eine hohe Aussenlärmbelastung erschwert das Fensterlüften während des Schulunterrichts. In einem Lehrerfragebogen wurden die Lehrpersonen zu der Lärmbelastung bei offenem Fenster befragt.

STICKSTOFFDIOXID

Stickstoffdioxid (NO₂) ist ein Verbrennungsabgas, für das es in Schulzimmern keine Quelle gibt. Im Schulzimmer gemessenes NO₂ stammt folglich aus der Aussenluft und kann Hinweise auf die Verkehrsbelastung am Standort geben. Diese macht einen wesentlichen Teil der beobachteten Unterschiede der Luftbelastung an unterschiedlichen typischen Standorten aus (z.B. ländlich, Wohngebiet, innerstädtisch; vgl. auch NABEL-Netzwerk). Bei hohen NO₂-Aussenluftwerten ist eine Fensterlüftung gemäss Norm SIA 382/1 nicht empfohlen.



Abb. 6 Passivsammler zur Stickstoffdioxid-Messung

NO₂ wurde vor dem Schulzimmer und im Schulzimmer für die Dauer von 14 Tagen parallel mittels Passivsammlern gemessen (Hangartner 1998).

Die dazu verwendeten Diffusionsröhrchen der Firma passam AG (EN ISO/IEC 17025 akkreditiertes Labor) wurden gegen Witterungseinflüsse geschützt ausserhalb der Storen und im Schulzimmer fern von Fenstern und Türen schwebend fixiert. Zur einfacheren Handhabung wurde auf den Witterungsschutz am Röhrchen verzichtet.

ASBEST-SCREENING

Die gesundheitsschädigende Wirkung von Asbest führte im Jahr 1975 zum Verzicht auf die Verwendung von Spritzasbest und im Jahr 1989 zu einem Asbestverbot in der Schweiz. In Gebäuden mit Baujahr vor 1990 ist generell mit asbesthaltigen Bauprodukten zu rechnen. Ein Grossteil asbesthaltiger Materialien stellt für die Gebäudenutzerinnen und -nutzer kein Gesundheitsrisiko dar. In einem auf das Schulzimmer, den angrenzenden Korridor und die nächstgelegene WC-Anlage beschränkten Screening wurden sichtbare, asbestverdächtige Materialien notiert und fotografiert, wenn von ihnen bei der Nutzung eine Gesundheitsgefährdung ausgehen könnte. Den betroffenen Gemeinden wurde empfohlen, den Verdacht näher abzuklären (Vorgehen und spezialisierte Labore unter www.forum-asbest.ch).

FRAGEBÖGEN

Fragen zum Erstellungsjahr des Gebäudes, zu durchgeführten Sanierungen und dem Lüftungssystem wurden i. d. R. vom Hauswart und vom zuständigen Bauamt beantwortet.



Abb. 8 Lehrerfragebogen

Der Messspezialist ermittelte für alle Schulzimmer u. a. die Abmessungen des Zimmers und der Fenster sowie die vorhandenen Materialien. Die involvierten Lehrpersonen notierten die Klassenbelegung und beantworteten Fragen zum Lüftungsverhalten, zu Lärmimmissionen und Gerüchen.

4 Resultate

Definitionen:

CO₂-BEREICHE FÜR DEN AUFENTHALT VON PERSONEN

Die Norm SIA 180:2014 des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins definiert unabhängig von der Lüftungsart einen oberen Richtwert für CO₂ von 2000 ppm, der nicht überschritten werden soll.

Die Norm SIA 382/1:2014 dient als Planungsgrundlage für mechanisch gelüftete Räume. Sie definiert die Raumluftqualität für verschieden hohe Anforderungen. So sollen die CO₂-Werte für typische Wohn- und Büroräume zwischen 1000 und 1400 ppm liegen (RAL 3), während für Korridore und Abstellräume Werte über 1400 ppm zulässig sind.

Darauf abgestützt klassierte das BAG die Raumluftqualität für Schulen während der Nutzung wie folgt:

hervorragend: ≤ 1000 ppm CO₂, gut: 1001-1400 ppm CO₂, genügend: 1401-2000 ppm CO₂, inakzeptabel: > 2000 ppm CO₂

Die Bewertung ist gesundheits- und hygienebasiert.

Die Studie umfasste 96 Gebäude und Ergänzungsbauten. Darunter befanden sich 8 Neubauten⁶ (Baujahr 2000 und jünger), 65 dichte Altbauten (Baujahr 1999 und älter, neuere Fenster mit Gummidichtungen) und 23 undichte Altbauten (Baujahr 1999 und älter, alte Fenster ohne Gummidichtungen). Sechs Gebäude oder Ergänzungsbauten besaßen Lüftungsanlagen, alle übrigen wurden von Hand über die Fenster gelüftet (n=90). Von den sechs Lüftungsanlagen befanden sich zwei zentrale Lüftungsanlagen in Neubauten, drei zentrale Lüftungsanlagen in dichten Altbauten und eine Einzelzimmerlüftung in einem dichten Altbau.

4.1 Durchlüftung in 100 Schulzimmern während 4 Tagen

In den Heizperioden der Jahre 2014 und 2015 wurden in 100 Schulzimmern aus 96 verschiedenen Gebäuden und Erweiterungsbauten die CO₂-Pegel gemessen. Die Messungen erfolgten jeweils über 4 Tage von Montagvormittag bis Donnerstagabend in 2-Minutenabständen.

MECHANISCH UND NATÜRLICH GELÜFTETE SCHULZIMMER IM VERGLEICH

Sechs von 100 Schulzimmern wurden mechanisch gelüftet. Die mittleren CO₂-Konzentrationen während des Unterrichts von vier Tagen lagen in diesen Schulzimmern zwischen 686 und 1320 ppm (Median 1009 ppm). Drei der sechs Schulzimmer erfüllten die nationalen technischen Standards (Norm SIA 382/1:2014), indem die CO₂-Werte stets unter dem Wert von 1400 ppm lagen. In den anderen drei Schulzimmern wurde der Wert von 1400 ppm während 11 %, 43 % und 47 % der Unterrichtszeit überschritten. In zwei Fällen überstiegen die Werte sogar

⁶ Im Jahre 1999 trat eine neue SIA-Norm 180 in Kraft, die die Forderung nach einem Grundluftwechsel in Gebäuden durch Undichtigkeiten revidierte und fortan eine grundsätzlich luftdichte Gebäudehülle verlangte.

den hygienischen Grenzwert von 2000 ppm während 5 % bzw. 7 % der Unterrichtszeit. Obschon gut konzipierte automatische Lüftungslösungen problemlos eine gute Durchlüftung sicherstellen, war dies nicht durchwegs der Fall.

Im Vergleich zu den mechanisch gelüfteten Schulzimmern lag die mittlere CO₂-Konzentration in den 94 Schulzimmern, die ausschließlich durch manuelles Öffnen der Fenster («natürlich») gelüftet wurden, etwa 520 ppm höher (Median 1533 ppm, Bereich 862–2898 ppm). In zwei Schulzimmern blieb der CO₂-Gehalt während des viertägigen Messzeitraums konstant unter 1400 ppm; in einem davon herrschten hinsichtlich der Belegung schwierige Bedingungen (23 Schüler/160 m³).

DIE DURCHLÜFTUNG VON 100 REPRÄSENTATIVEN SCHULZIMMERN

Liegt die Durchlüftung während mehr als 90 % der Unterrichtszeit unter 2000 ppm (hygienischer Grenzwert), sprechen wir bei manuell gelüfteten Schulzimmern von einer «guten bis genügenden» Durchlüftung. Dies war in 29 (31 %) der 94 Schulzimmer mit manueller Fensterlüftung der Fall. In den übrigen zwei Dritteln (69 %) der Schulzimmer mit manueller Fensterlüftung war die Durchlüftung im Gegensatz dazu ungenügend.

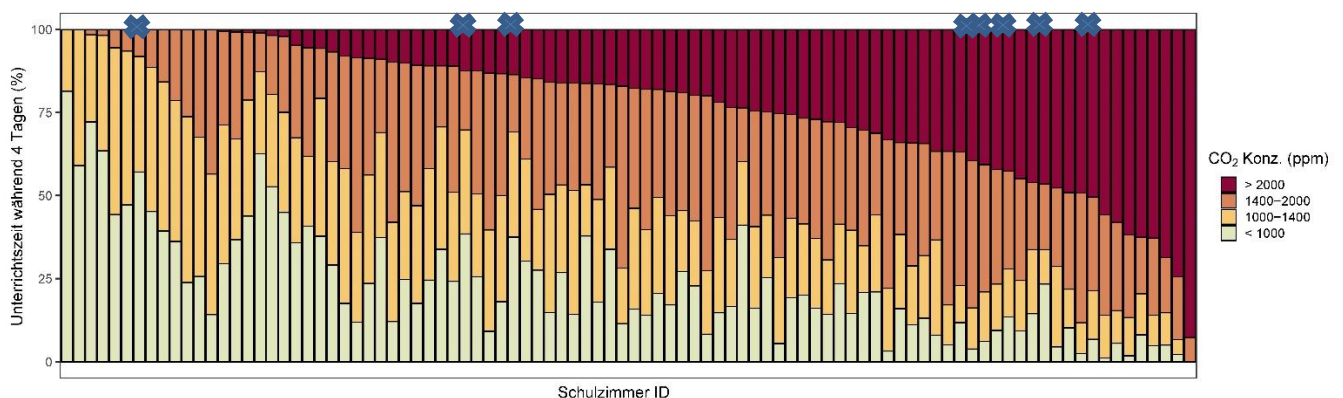


Abb. 9 CO₂-Bereiche (Durchlüftung) in 100 Schulzimmern während der Schullektionen (Messdauer 4 Tage)
X → Schulzimmer in Neubauten

In Bezug auf Leistungsfähigkeit und Gesundheit ist die Frage von Bedeutung, wie lange im Schulalltag mit tiefen, bzw. mit hohen CO₂-Konzentrationen zu rechnen ist. Dazu unterteilten wir die CO₂-Konzentrationen in drei verschiedene Bereiche:

< 1400 ppm	« hervorragend bis gut »
1400-2000 ppm	« genügend »
>2000 ppm	« inakzeptabel »

Für jedes Schulzimmer berechneten wir, zu welchem Anteil der gesamten Unterrichtszeit von vier Schultagen die Schülerinnen und Schüler den entsprechenden Konzentrationen ausgesetzt waren (Abb. 9).

Dabei traten die Überschreitungen des hygienischen Grenzwerts von 2000 ppm (**weinrot** in Abb.9) wie folgt auf:

- 41 Schulklassen (44 %) hatten während mindesten 20 % der Unterrichtszeit eine inakzeptable Durchlüftung,
- 28 Schulklassen (30 %) während mindestens 30 % der Unterrichtszeit,
- 18 Schulklassen (19 %) während mindestens 40 % und
- 9 Schulklassen (10 %) während mindestens 50 % der Unterrichtszeit.
- In einer Klasse wurde der hygienische Grenzwert von 2000 ppm während 92 % der gesamten Unterrichtszeit von 4 Tagen überschritten.

Ferner wiesen Neubauten bei Weitem nicht die beste Raumlufthqualität auf (Markierung: **x** in Abb. 9).

4.2 CO₂-Pegel verschlechtern sich im Laufe des Schultags

Bei geschlossenen Fenstern stiegen die CO₂-Konzentrationen während der Schullektionen meist rasch an und wurden beim Lüften wieder auf einen tieferen Pegel gesenkt. Daraus ergab sich der für Zimmer mit Fensterlüftung typische sägezahnartige CO₂-Verlauf. Als problematisch erwies sich, dass beim Lüften während den kleinen Pausen immer weniger der Anfangszustand hergestellt wurde, so dass sich der CO₂-Ausgangspegel zu Beginn einer Lektion im Laufe mehrerer Schullektionen zunehmend verschlechterte (Abb. 10). In späteren Lektionen am Vor- und Nachmittag war die Raumlufthqualität deshalb tendenziell am schlechtesten. Fiel das Lüften einmal aus, startete die folgende Lektion bereits mit einer so hohen CO₂-Konzentration, dass sie im Laufe eines Halbtags nicht mehr wettgemacht wurde (Abb. 10 b).

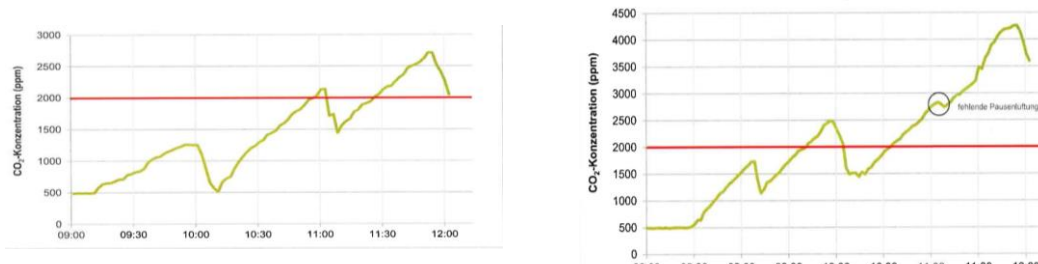


Abb. 10 a und b CO₂-Verlauf während zweier Vormittage im selben Schulzimmer: Der CO₂-Anstieg ist jeweils von der Schülerzahl abhängig, während der CO₂-Rückgang grösstenteils aufs Fensterlüften zurückzuführen ist.

4.3 In allen Kantonen ähnlich hohe Maxima

In 83 von 100 Schulzimmern überstiegen die CO₂-Konzentrationen Maximalwerte von 2000 ppm, in 33 Schulzimmern 3000 ppm und in 10 Schulzimmern 4000 ppm. Das Maximum aller 100 Schulzimmer lag bei 4853 ppm CO₂. Die Maxima unterschieden sich nicht nach Kanton. Für den Kantonsvergleich wurden P95-Werte herangezogen, um nicht zu stark auf kurzzeitige Spitzenwerte kurz vor Ende der Lektion zu fokussieren (Abb. 11).

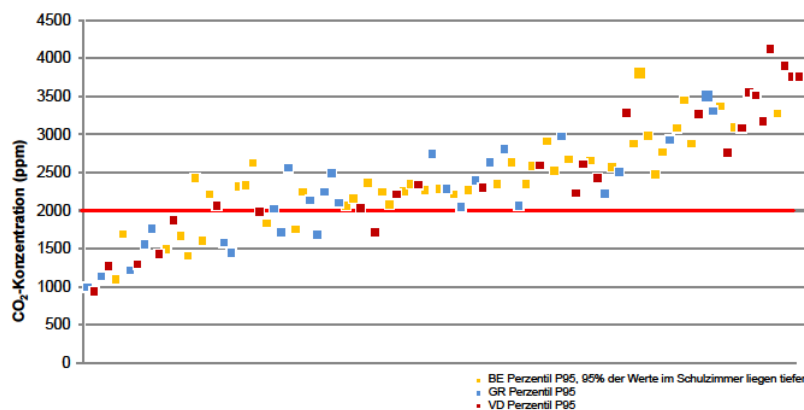


Abb. 11 CO₂-P95-Werte nach Schulzimmer und Kanton

4.4 Tendenziell tiefere Schadstoffbelastungen in undichten Altbauten

CO₂ -Fenster ohne Gummidichtungen sorgen in unsanierten Altbauten für Wärmeverluste, stellen aber einen niedrigen Grundluftwechsel sicher (Anforderung gemäss Norm SIA 180, 1970-1999). Der Anteil inakzeptabel hoher CO₂-Konzentrationen war in undichten Altbauten tendenziell niedriger als in dichten Altbauten.⁷ Dies könnte auf die Undichtigkeiten zurückzuführen sein (Abb. 12).

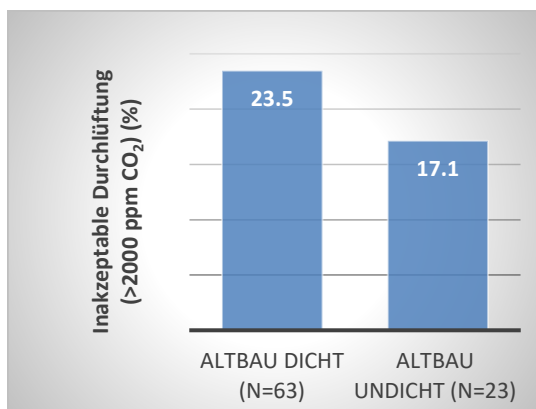


Abb. 12 Inakzeptable Durchlüftung in Prozent der Unterrichtszeit (Altbau-Objekte mit Fensterlüftung, Messung über 4 Tage)

Formaldehyd. Fensterbretter, aber auch das Mobiliar in Schulen wie Schränke, Tische und Regale bestehen nicht selten aus verleimten Holzwerkstoffen, die den Schadstoff Formaldehyd freisetzen können. Die im ungelüfteten Schulzimmer gemessenen Formaldehydwerte waren in undichten Altbauten tendenziell niedriger als in dichten.⁸ Auch hier könnten sich die undichten Fenster positiv auf die Schadstoffkonzentrationen ausgewirkt haben.

⁷ Vier Schulzimmer in sanierten Altbauten besaßen eine automatische Lüftung und wurden deshalb für diese Analyse nicht berücksichtigt.

⁸ Die gewählten Messbedingungen erlauben eine Richtwertüberprüfung (Norm ISO 16'000-2). Sie entsprechen der Situation, welche Schüler und Lehrpersonen morgens im ungelüfteten Schulzimmer antreffen.

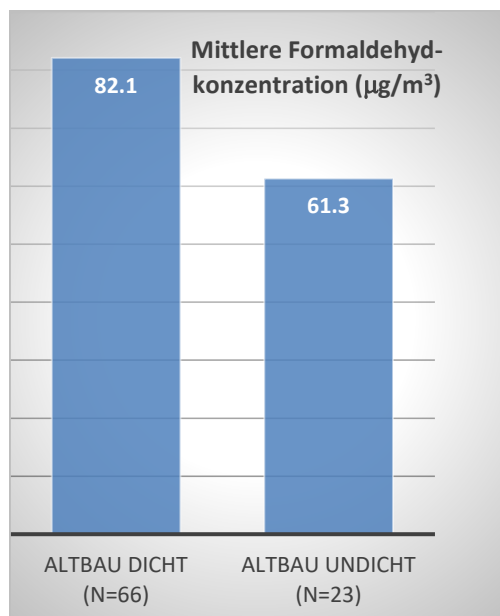


Abb. 13 Mittlere Formaldehydkonzentration im ungelüfteten Schulzimmer (Bedingung zur Richtwertüberprüfung).

Gerüche. Das Geruchsempfinden ermöglicht keine allgemeine Beurteilung von Gesundheitsrisiken. So gibt es gefährliche Substanzen wie Kohlenmonoxid, die wir nicht riechen. Umgekehrt ist die Raumluftqualität nicht zufriedenstellend, wenn im Raum bspw. Körpergerüche, Kunststoffgerüche oder andere Geruchsnoten auffallen. Bei anhaltenden Geruchsbelastungen reagiert der Mensch nicht selten mit unspezifischen Symptomen wie subjektiv wahrgenommenen Reizungen, Kopfschmerzen und Unwohlsein, auch wenn sie nicht auf gesundheitsschädliche Schadstoffe zurückzuführen sind. Bei der olfaktorischen Beurteilung der Schulzimmer im ungelüfteten Zustand schnitten die undichten Altbauten gegenüber den dichten tendenziell besser ab (Tabelle 2). Wiederum scheinen Undichtigkeiten im ungelüfteten Schulzimmer die Raumluftqualität zu verbessern.

	Anzahl	Olfaktorisch (geruchlich) beanstandete Schulzimmer
Dichte Altbauten	n = 67	12 %
Undichte Altbauten	n = 21	5 %

Tabelle 2 Olfaktorische Beurteilung von Schulzimmern in dichten und undichten Altbauten (Baujahr 1999 und älter) mit reiner Fensterlüftung. Die Beurteilung erfolgte stets von derselben Person und wurde mindestens 8 Stunden nach der letzten Fensterlüftung gemäss 6-stufiger Notenskala vorgenommen (Anlehnung an die Normen DIN EN 13725 und VDA 270, 1992).

4.5 Lärm erschwert das Fensterlüften

Im Fragebogen gaben 39 % der Lehrpersonen an, bei offenen Fenstern häufig bis regelmässig durch Aussenlärm gestört zu werden.

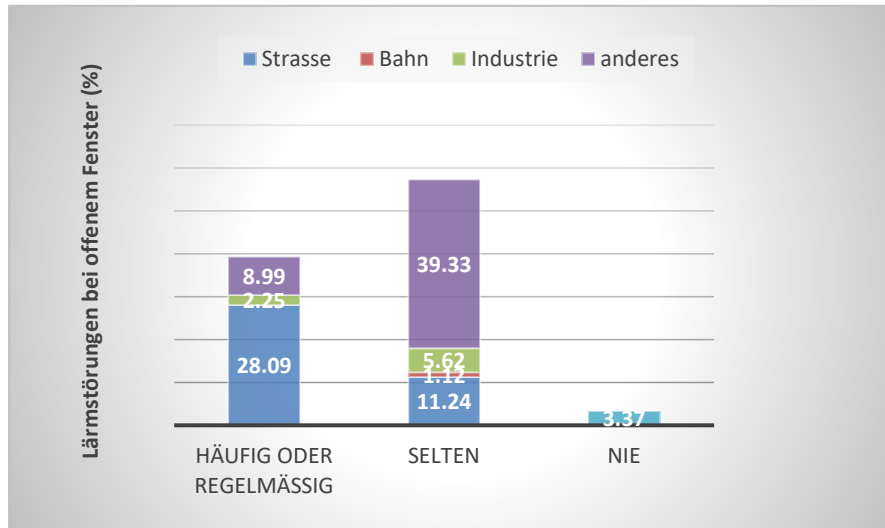


Abb. 14 Lärmstörung im Schulzimmer nach Ursache

28 % der störenden Lärmwahrnehmungen waren auf Strassenlärm, 9 % auf nicht näher definierte Quellen und rund 2 % auf gewerblichen Lärm zurückzuführen. In all diesen Fällen dürfte das Lüften während der Schulstunde nur eingeschränkt möglich sein. Auch aus organisatorischen Gründen kann Fensterlüften erschwert sein.

Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn Schulzimmer von mehreren Lehrpersonen benutzt werden. Empfehlung des BAG: Bei Neubauten und Sanierungen sollen technische Massnahmen favorisiert werden, die diese Situationen, aber auch das eingeschränkte Lüften bei niedrigen oder sehr hohen Aussentemperaturen entschärfen (Fabi et al. 2012).

4.6 Teils weitere Abklärungen bei Asbest und Formaldehyd

In Gebäuden mit Baujahr vor 1990 muss grundsätzlich mit asbesthaltigen Materialien gerechnet werden. Von zahlreichen Asbestanwendungen wie bspw. von Fliesenkleber geht jedoch keine Gefährdung aus, solange die Materialien nicht bei Bauarbeiten bearbeitet oder entfernt werden. Einige Asbestmaterialien sind hingegen auch für die Gebäudenutzerinnen und -nutzer potenziell gefährlich, da bereits bei geringen Einwirkungen Asbestfasern in die Raumluft freigesetzt werden können. Das durchgeführte Asbestscreening beschränkte sich auf diese Materialien und umfasste einen begrenzten Perimeter, bestehend aus Schulzimmer, angrenzendem Korridor und der benachbarten WC-Anlage. In 14 Schulen wurden asbestverdächtige Materialien gefunden, welche zum Schutz von Schülerinnen und Schülern, Lehrpersonen sowie Hauswartinnen und Hauswarten nähere Abklärungen erforderten. Die betroffenen Schulen wurden informiert und liessen die Abklärungen zeitnah durchführen.

In den meisten Schulzimmern lagen die gemessenen Formaldehydwerte deutlich unter dem Richtwert für Innenräume (BAG 2010, Richtwert 0.1 ppm oder 120 µg/m³ bei 20°C, Messung während der Heizperiode im ungelüfteten Raum unter Standardbedingungen⁹). In zwei von 100 Schulzimmern wurde der Formaldehydrichtwert überschritten. Das BAG empfahl, in allen Schulzimmern dieser Schulen stark belastete Materialien zu identifizieren und zu entfernen. Bis zur Entfernung der Materialien sollte ein striktes Lüftungsregime sichergestellt werden.

	Formaldehyd				
	Min	5%	50%	95%	Max
Messbedingungen	9	22	46	88	154

Tab. 6-3: Zusammenstellung der unter Messbedingungen nachgewiesenen Formaldehydkonzentrationen aus 3 Kantonen

Spaltenbeschriftung → Min: Minimum; 5%: 5% Perzentil; 50%: 50% Perzentil; 95%: 95% Perzentil; Max: Maximum

Aus Abschlussbericht CSD-Ingenieure und Ganz Klima GmbH, 2015

4.7 Durchwegs erfreuliche Resultate bei Radon, Schimmel und NO₂

Radon. Das natürliche, radioaktive, krebserregende Gas Radon sammelt sich aus dem Bauuntergrund unter den Fundamenten von Gebäuden und dringt u.a. durch Ritzen ins Gebäude ein. Deshalb sind Zimmer in unteren Stockwerken in der Regel am stärksten belastet. Die Auswahl der Schulzimmer für die Studie erfolgte in Bezug auf das Stockwerk zufällig. Die Radonmesswerte lagen in 95 Schulzimmern im Rahmen der BAG-Empfehlung aus dem Messjahr von unter 300 Bq/ m³. In vier Schulzimmern war die Messung von zu kurzer Dauer, um valide Werte zu liefern und in einem weiteren Schulzimmer wurde das Dosimeter nicht mehr gefunden, weshalb keine Auswertung möglich war.

Feuchtigkeit und Schimmel. Das Schimmelscreening beschränkte sich jeweils auf das beteiligte Schulzimmer, den angrenzenden Korridor und die benachbarte WC-Anlage. Deutlicher Schimmelbewuchs oder relevante Feuchtigkeitsprobleme (Kat. 2 gemäss BAG-Broschüre «Vorsicht Schimmel») wurden in keinem der 96 Schulhäuser oder Erweiterungsbauten festgestellt. In einem Schulzimmer wurde geringer Schimmelbewuchs (Kat. 1) vorgefunden, der wahrscheinlich auf eine schlechte Dämmung und schlechte Durchlüftung zurückzuführen war. In zwei Schulhäusern waren Spuren von Wasserschäden an Wänden sichtbar, die bereits trocken waren.

Stickstoffdioxid (NO₂). In Schulzimmern gemessenes NO₂ stammt aus dem Strassenverkehr, von Heizungen und aus industriellen Quellen. Die NO₂-Messungen erfolgten gleichzeitig in den Schulzimmern und in der Aussenluft vor den Schulzimmern. Die NO₂-Messwerte in der Innenraumluft lagen zwischen 1.9 und 20.3 µg/m³ und damit deutlich unter dem Deutschen Kurzzeit-Richtwert für Innenräume von 60 µg/m³ (AG IRK/AOLG 1998). Erwartungsgemäss waren die Aussenluftwerte mit 9.0 bis 40.6 µg/m³ höher. Auch bei den höchsten Aussenluft-

⁹ Schulzimmer mit manueller Fensterlüftung wurden letztmals am Abend vor der Messung gelüftet. Beim Vorhandensein von CO₂-gesteuerten Lüftungsanlagen liefen die Anlagen während der Messung nicht. Vgl. Abschnitt 4.2.

Messwerten war nach Einschätzung von Experten des Bundesamts für Umwelt BAFU eine Überschreitung des NO₂-Immissionsgrenzwerts unwahrscheinlich¹⁰ (Luftreinhalteverordnung LRV 2019); Jahresmittel von 30 µg/m³). Gemäss der Baunorm SIA 382/1 ist bei einem Jahresmittel ab 45 µg/m³ in der Aussenluft und demnach bei einer deutlichen Überschreitung des Immissionsgrenzwerts eine mechanische (automatische) Lüftung vorzusehen. Auch diese Vorgaben wurden in allen Schulzimmern eingehalten.

4.8 Offene Fragen bei den Formaldehydmessungen

Formaldehydmessungen in der Raumluft können unter verschiedenen Messbedingungen erfolgen. Die Messung unter Standardbedingungen (Wintermessung im ungelüfteten Raum) wie sie in den Studienschulzimmern durchgeführt wurde, erlaubt den Vergleich mit dem Richtwert. Wie oben beschrieben, kam es von 100 Schulzimmern zu zwei Richtwertüberschreitungen (s. Kapitel 5.6). Im Sommer sind generell höhere Formaldehydwerte in der Raumluft zu erwarten. Auch wenn der Richtwert nicht anwendbar ist, sollen im Sommer **unter Nutzungsbedingungen** Werte über 120 µg/m³ nicht wiederholt vorkommen. In diesem Fall sind Sofortmassnahmen zur Reduktion der Expositionen angezeigt. Das BAG liess ausgehend von den Werten der Formaldehyd-Wintermessung mit einem mathematischen Modell Sommerwerte berechnen. Die verwendete Gleichung (Temperatur: 26 °C, rLF 60 %, Anderson-Gleichung, Norm ISO-16'000-2) beruht auf dem Emissionsverhalten von Spanplatten der 1970-er Jahre. Die Berechnung ergab 60 mögliche Richtwertüberschreitungen unter sommerlichen Extrembedingungen. Aus mehreren Gründen dürfte die berechnete Extrapolation allerdings nicht zuverlässig sein: So wurden in den Schulen verschiedene Holzwerkstoffe aus unterschiedlichen Herstellungszeiten gefunden, deren Emissionsverhalten von den alten Spanplatten abweichen. Moderne Spanplatten und weitere Holzwerkstoffe wie MDF-Holzfaser-Platten (medium density fiberboard), die aus langen Spänen hergestellten OSB-Platten (oriented strand board) und Mehrschichtplatten emittieren Formaldehyd nach abweichenden Mustern. In einem Folgeauftrag sollten die dringendsten Fragen zu den Formaldehydbelastungen im Sommer und der Wirkung von Lüftungsregimes als Sofortmassnahme geklärt werden (siehe Kapitel 8.3)

¹⁰ Die gemessene Belastung ist ein Durchschnitt über 14 Tage im Winter. In dieser Jahreszeit sind tendenziell höhere Werte als im Sommer zu erwarten. Gemäss LRV gilt der Jahresemissionsgrenzwert als langfristiger Durchschnitt über Perioden mit höheren und tieferen Werten.

5 Diskussion

HANDLUNGSBEDARF BEI DER UMSETZUNG VON BAUVORSCHRIFTEN UND LÜFTUNGSSTANDARDS

Ein Schulhaus sollte gesundes und effizientes Lernen ermöglichen. Dieses Ziel scheint selbstverständlich zu sein, ist im Schulalltag aber alles andere als leicht zu erreichen. Eine hervorragende bis gute Durchlüftung ($<1000\text{--}1400\text{ ppm CO}_2$) während mindestens 90 % der Schulzeit wiesen nur 10 von 100 Schulzimmern auf. Alle bis auf zwei dieser Räume hatten entweder einen reduzierten Lüftungsbedarf (kleine Klassengrössen, Unterricht teilweise in Halbklassen) oder sie wurden mechanisch gelüftet (automatisches Lüftungssystem). In einem der beiden gut gelüfteten Schulzimmer standen die Fenster während der Wintermessung wiederholt über lange Zeit offen. Insgesamt war nur eines von 94 Schulzimmern durchwegs hervorragend bis gut gelüftet (Abb.9: das mit x bezeichnete Schulzimmer mit bester Durchlüftung, in der Grafik ganz links), trotz einer relativ hohen Belegung von über 20 Schülerinnen und Schülern und einer energetisch sinnvollen, spontanen, natürlichen Fensterlüftung.¹¹ Zusätzlich zum vorbildlichen, regelmässigen Lüftungsverhalten erleichterte in diesem Neubau die Architektur das Lüften: Das Schulzimmer besass mit 9 Fensterflügeln von allen Schulzimmern die grösste Anzahl Fensterflügel, die sich öffnen liessen. Es besass ferner die grösste Fensterflügel-Gesamtfläche, sowohl absolut gesehen als auch im Verhältnis zum Raumvolumen.

Zwei Drittel der Schulzimmer erfüllten die Mindestanforderungen für CO_2 nicht, was aus Sicht der öffentlichen Gesundheit und des Bildungswesens problematisch ist. Der hohe Anteil an Schulhäusern mit natürlicher Fensterlüftung und die Median- und Maximalwerte für CO_2 waren aber mit anderen westeuropäischen Ländern vergleichbar (Fisk 2017).

Während energetische Sanierungen oder der Bau neuer Schulgebäude die Möglichkeit bieten, durch die Installation automatischer Lüftungssysteme für eine nachhaltige Verbesserung der Lüftung zu sorgen, wurde diese Gelegenheit nur selten genutzt: Nur in 2 von 10 neuen Gebäuden und in 4 von 63 energetisch sanierten, luftdichten Gebäuden wurden mechanische Lüftungsanlagen eingesetzt. Auch dort wurden die geltenden Standards nicht immer angemessen umgesetzt. So wichen 3 von 6 mechanischen Lüftungsanlagen von der Norm SIA 382/1: 2014 ab. Die Forderung nach einem funktionierenden Lüftungskonzept erfüllten nur 3 von 10 Neubauten, zwei mit mechanischer Lüftung und das oben erwähnte Gebäude mit natürlicher Fensterlüftung, obschon diese Forderung beim Bau aller Neubauten bereits galt (Norm SIA 180:1999). Insgesamt besteht ein erheblicher Handlungsbedarf bei der Umsetzung von Bauvorschriften und Lüftungsstandards.

BAG-EMPFEHLUNGEN FÜR SOFORTMASSNAHMEN

Das BAG weitete die raumlufthygienisch begründeten Zielwerte für automatische Lüftungssysteme (Norm SIA 382/1:2014) auf Gebäude mit manueller Fensterlüftung aus: Für gesunde Raumlufth und gute Lernbedingungen sollten die CO_2 -Konzentrationen für alle Lüftungsarten stets unterhalb von 1400 ppm liegen. Überschreitungen von 2000ppm (oberer Richtwert nach SIA-Norm 180: 2014) sind so weit wie möglich zu vermeiden.

¹¹ Ähnliche Voraussetzungen wie im erwähnten Schulzimmer (grosse Klassen mit mindestens 18 Schülern, deren Schülerzahl über alle Messtage konstant war, sowie reine Fensterlüftung) trafen auf insgesamt 39 Schulzimmer zu. Allerdings war die Durchlüftung bei diesen durchwegs schlechter.

Dank der vorliegenden Studie konnten gängige Lüftungsempfehlungen auf der Basis von Messungen verfeinert werden: So müssen in einem durchschnittlichen Schulzimmer möglichst alle Fenster in allen Pausen während der ganzen Pausenlänge geöffnet werden, um in den grossen Pausen einen Tiefstwert von ungefähr 500 ppm zu erreichen und in allen kleinen Pausen die CO₂-Pegel immerhin so stark wie möglich zu senken. Das BAG hat die Wirkung entsprechender Lüftungsregeln in einer nachfolgenden Untersuchung überprüft (Siehe Interventionsstudie, Teil 2).

Für alle Schulen mit manueller Fensterlüftung empfiehlt das BAG ein zweistufiges Vorgehen: Zunächst sollen mit organisatorischen Massnahmen Werte über 2000 ppm verhindert werden (Übergangslösungen bis zur nächsten Gebäudesanierung). Im Rahmen baulicher Massnahmen sollen dann Zielwerte für eine gute Durchlüftung festgelegt und deren Sicherstellung umgesetzt werden, so dass gesundes und effizientes Lernen während der ganzen Unterrichtszeit möglich wird.

VORTEIL INTEGRALER GEBÄUDESANIERUNGEN MIT LÜFTUNGSKONZEPT

In der Schweiz gibt es eine grosse Zahl von Schulen, die heutigen energetischen Anforderungen nicht mehr genügen. In naher Zukunft werden sie energetisch saniert werden oder Neubauten weichen. An ihre Stelle werden dichte Gebäude treten, die nicht mehr wie alte, undichte Gebäude über einen natürlichen Grundluftwechsel verfügen (SIA-Empfehlung 180, 1970, später Norm SIA 180, 1988). Die vorliegende Studie gibt deutliche Hinweise, dass sich die Lüftungssituation bei energetischen Sanierungen verschärft, solange die Schulhäuser abgedichtet und keine weiteren Massnahmen ergriffen werden. In solchen Fällen ist während der Schulstunden mit ungenügender Raumlufthqualität mit einem höheren Anteil an CO₂-Werten über 2000 ppm und mit höheren Schadstoffbelastungen zu rechnen.

Ein funktionierendes Lüftungskonzept muss deshalb gerade in Schulen konsequent umgesetzt werden. Das BAG empfiehlt, bei der Ausschreibung mehrere Varianten zur Umsetzung eines funktionierenden Lüftungskonzepts zu prüfen. So können verschiedene Lüftungssysteme in Betracht gezogen werden. Bei einer integralen Planung eines Um- oder Neubaus, wird es möglich, lüftungsbedingte Wärmeverluste durch eine Wärmerückgewinnung (WRG) wettzumachen.

Beim Vergleich eines sanierten Schulzimmers mit energieoptimierter Lüftungslösung (Einzelraumgerät mit Wärmerückgewinnung) und eines unsanierten benachbarten Schulzimmers zeigte sich, dass mit der Sanierung eine beachtliche Komfortsteigerung verbunden war, die die Nutzerinnen und Nutzer schätzten. Beim selben Projekt wurde gezeigt, dass sich die Investitionskosten mit Kosteneinsparungen gegenüber dem unsanierten Zustand (höherer Strom- und Heizölverbrauch) in 20 Jahren vollständig amortisieren lassen ([Musterzimmer Giacometti, Chur](#)). Es ist also möglich mit zukunftsgerichteter Architektur und Gebäudetechnik verschiedene Zielsetzungen zu erreichen: eine gute Energie- und Kosteneffizienz, guten Komfort und mit einer guten Durchlüftung die Förderung von gesundem und effizientem Lernen und Lehren.

6 Literatur

- AG IRK/AOLG (1998) Ad-hoc-Arbeitsgruppe der IRK/AOLG. Richtwerte für Stickstoffdioxid in der Innenraumluft. Bundesgesundheitsbl 41:9-12
- BAG (2009) Vorsicht Schimmel - Eine Wegleitung zu Feuchteproblemen und Schimmel in Wohnräumen. Bern: Bundesamt für Gesundheit, BBL Art.Nr. 311.310.d, <https://www.bag.admin.ch/de/feuchtigkeitsprobleme-und-schimmel>
- BAG (2010) FORMALDEHYD in der Innenraumluft - Informationen und Tipps für Verbraucher. Bern: Bundesamt für Gesundheit, <https://www.bag.admin.ch/de/formaldehyd>
- BAG (2022) Warnung: Radon kann Lungenkrebs verursachen! Bern: Bundesamt für Gesundheit. BBL Art.Nr. 311.348.d, <https://www.bag.admin.ch/de/radon-verursacht-lungenkrebs>
- DIN EN 13725 Emissionen aus stationären Quellen - Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration durch dynamische Olfaktometrie und die Geruchsstoffemissionsrate; Deutsche Fassung EN 13725:2022
- FACH (2008) Asbest in Innenräumen - Dringlichkeit von Massnahmen. Forum Asbest Schweiz, Juli 2008, Suva Bestellnummer 2891.d
- Fabi V., Vinther Andersen, R., Corngati, S., and Olesen, B.W. (2012) Occupants' window opening behaviour: A literature review of factors influencing occupant behaviour and models. Building and environment 58, 188-198- Elsevier
- Fisk, W.J. (2017). The ventilation problem in schools: literature review. Indoor Air 27, 1039–1051.
- Hangartner, M. (1998) Passivsammler für die Immissionsmessung von Stickstoffdioxid. Drägerheft, S. 6-8.
- Haverinen-Shaughnessy, U., Moschandreas, D.J., Shaughnessy, R.J., (2011). Association between standard classroom ventilation rates and students' academic achievement. Indoor Air 21, 121–131.
- ISO 16000-2:2004. Indoor air - Part 2: Sampling strategy for formaldehyde. Auch übernommen als Schweizer Norm, SN EN ISO 16000-2:2006-06 Innenraumluftverunreinigungen - Teil 2: Probenahmestrategie für Formaldehyd
- Landauer Nordic (2014). Landauer Nordic. Abgerufen am 18. 02 2014 von it is easy to measure radon: <http://www.landauernordic.com/>
- LRV (16. 04. 2019) Luftreinhalte-Verordnung: SR 814.318.142.1. Bern: Schweizerischer Bundesrat
- NABEL, Nationales Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe, <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/zustand/daten/nationales-beobachtungsnetz-fuer-luftfremdstoffe--nabel-.html>
- passam (2014) passam ag. Abgerufen am 18. 02 2014 von Laboratory for Environmental Analysis: <http://www.passam.ch/>
- SIA 180 (2014) Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden. Zürich: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.
- SIA 382/1 (2014) Lüftungs- und Klimaanlage - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen. Zürich: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.
- StSV (01. 01 2014) Strahlenschutzverordnung: SR 814.501. Bern: Schweizerischer Bundesrat.
- VDA 270. (1992) Bestimmung des Geruchsverhaltens von Werkstoffen der Kraftfahrzeug-Innenausstattung. Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA).

Interventionsstudie (Teil 2)

7 Untersuchungen im Anschluss an die Querschnittstudie

Die Querschnittstudie zeigte, wie gross der Handlungsbedarf in den Schulen mit natürlicher Fensterlüftung ist. Dass in zwei von drei Schulzimmern aufgrund der ungenügenden Durchlüftung hygienisch inakzeptable Situationen auftreten, gab Anlass zu einer nachfolgenden Interventionsstudie: Wir wollten die Schulen befähigen, mit geeigneten Lüftungsregeln angemessene Lüftungsziele zu erreichen. Die Lüftungsregeln sollten sich in den Schulalltag integrieren lassen und in der Schweiz und in anderen Ländern mit kalten Wintern auch der Energieeffizienz Rechnung tragen. Die empfohlenen Lüftungsregeln sollten mit Messungen validiert werden, damit sie danach aufbereitet und breit kommuniziert werden können. In einem weiteren kleineren Projekt sollten offene Fragen zum saisonalen Einfluss und dem Lüften auf die Formaldehydbelastung geklärt werden.

7.1 Ergebnisse der Interventionsstudie zum richtigen Lüften in Kürze

Es konnten 19 Schulklassen, deren Schulzimmer in der Querschnittstudie untersucht wurde, für eine Teilnahme an der Interventionsstudie gewonnen werden. Um ungünstige Bedingungen gut abzudecken, wurden weitere 4 grosse Schulklassen aus dem Raum Zürich hinzugenommen. In den 23 Pilotschulklassen wurde ausschließlich in den Pausen gelüftet, um Unbehagen durch Kälte und Zugluft zu vermeiden. Zudem wurde möglichst effizient gelüftet (alle Fenster vollständig öffnen) und nur so lange, wie es nötig war, um die Einhaltung des hygienischen CO₂-Grenzwerts von 2000 ppm über alle Schullektionen hinweg sicherzustellen (strategische Lüftung). Zur Überprüfung des Erfolgs der Lüftungsmassnahmen wurden die CO₂-Konzentrationen in den Pilotschulklassen erneut gemessen und mit den Werten aus der Querschnittstudie verglichen.

Die Intervention umfasste mündliche und schriftliche Anweisungen an die Lehrpersonen und eine weitgehend standardisierte Schullektion zur Sensibilisierung der Schulklasse. Diese wurde durch Fachleute der Lungenliga durchgeführt. Weiter wurde ein einfaches interaktives Tool zur Verfügung gestellt, mit dem die Schülerinnen und Schüler die erforderlichen Lüftungszeiten für Ihre Schulzimmer planen konnten.

Die Raumluftqualität wurde in den Pilotschulklassen signifikant verbessert: Der Median der CO₂-Konzentration sank von 1600 ppm (Kontrolle; Messungen desselben Zimmers in der Querschnittstudie) auf 1097 ppm (Intervention). Der durchschnittliche Anteil der Unterrichtszeit bei einer guten Luftqualität von 400–1400 ppm CO₂ stieg von 40 % auf 70 % (Abb. 15 + 16). Die gesamte Lüftungsdauer während 4 Unterrichtstagen unterschied sich kaum von der spontanen natürlichen Fensterlüftung (+5,8 %) in der Kontrollgruppe. Jedoch war die Lüftungseffizienz deutlich besser. Die bei mehreren aufeinanderfolgenden Lektionen zunehmende Verschlechterung der CO₂-Werte war in der Interventionsgruppe deutlich reduziert. Das gesetzte Ziel, Konzentrationen von über 2000ppm möglichst zu vermeiden, wurde erreicht.

Das Interventionskonzept eignet sich für die sofortige Einführung in Schulen mit natürlicher Fensterlüftung. Dabei sind auch strengere Lüftungsziele und beliebige Lüftungszeiten leicht planbar. Das Prozedere ist allerdings nicht als Dauerlösung gedacht. Sobald eine Gebäudesanierung ansteht, soll ein geeignetes Lüftungskonzept erarbeitet und umgesetzt werden.

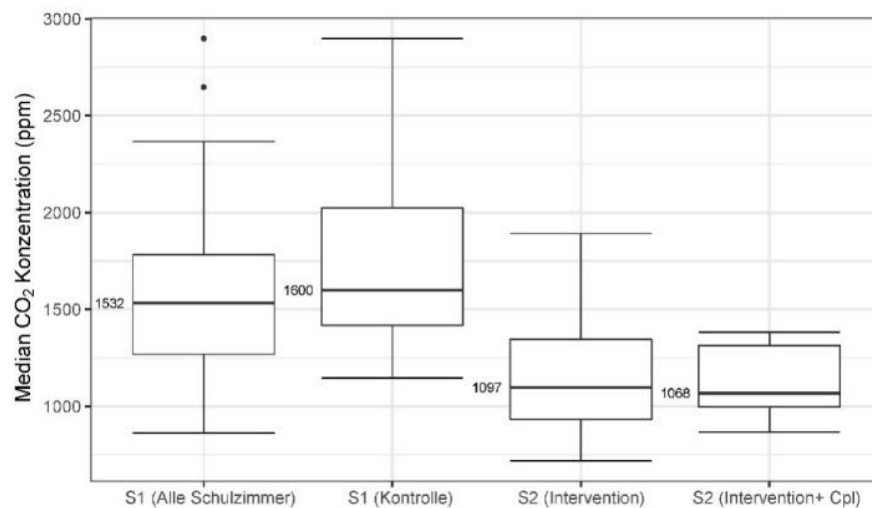


Abb. 15 Auswirkung der Intervention auf die medianen CO₂-Konzentrationen

S1: spontane natürliche Fensterlüftung (n=94)

S1 (Kontrolle): gleiche Schulzimmer wie S2 (n=19)

S2: Intervention (alle, n=19)

S2 (Intervention + Cpl): Intervention, Klassen mit guter Compliance (n=10), d.h. konsequente Umsetzung von Lüftungsregeln und Lüftungsplan gemäss Tool SIMARIA

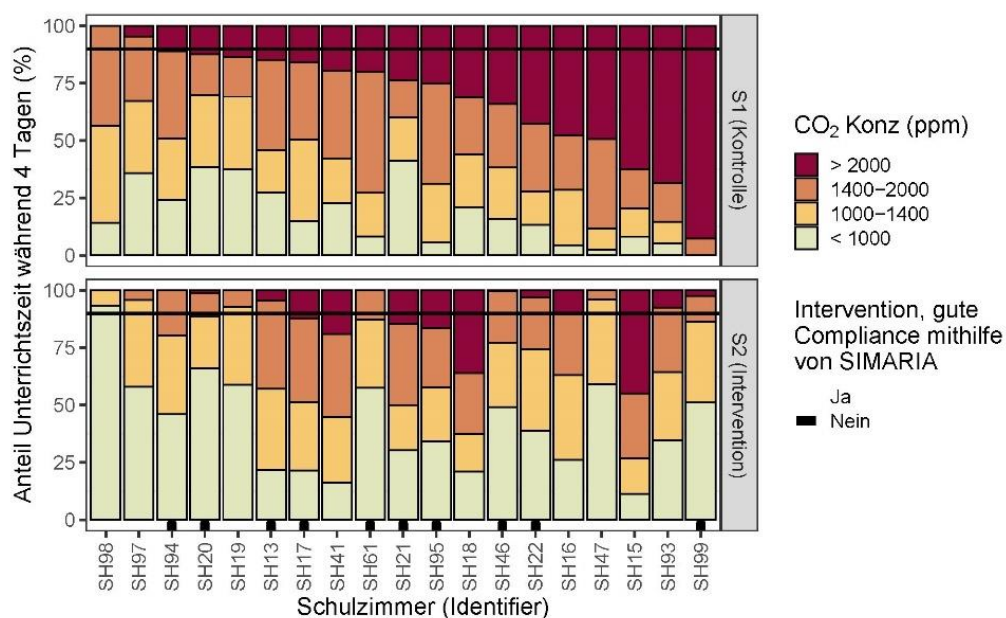


Abb. 16 Zeitliche Anteile der verschiedenen Luftqualitätsklassen während 4 Unterrichtstagen in der Kontrollgruppe mit spontaner natürlicher Fensterlüftung S1 und in der Interventionsgruppe S2 in den gleichen Schulzimmern (beide n=19).

7.2 Ausführliche Darstellung der Interventionsstudie

Die Ausgangslage, Methodik und Resultate der Interventionsstudie sind in einer wissenschaftlichen Publikation ausführlich beschrieben und diskutiert. Sie ist in Englischer Sprache verfasst und im Internet unter folgendem Link frei zugänglich:

<https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2021.113746>

Claudia C. Vassella, Jeremy Koch, Alexander Henzi, Alexander Jordan, Roger Waeber, Reto Iannaccone, and Roland Charrière.

From spontaneous to strategic natural window ventilation: Improving indoor air quality in Swiss schools.

International Journal of Hygiene and Environmental Health, Volume 234, May 2021, 113746

7.3 Formaldehydmessungen zur Untersuchung von Sommer-Extrapolationen und Lüftungsmassnahmen

Im Rahmen der Querschnittstudie wurden auch Konzentrationen von Formaldehyd in den Schulzimmern gemessen. Um bessere Informationen zum Einfluss von Sommerbedingungen und Lüftung auf die Formaldehydkonzentration zu gewinnen wurden nachträglich Messungen unter unterschiedlichen Bedingungen in ausgewählten Schulzimmern durchgeführt¹². Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen: Formaldehydmessungen in Schulzimmern unter Standardbedingungen und simulierten Nutzungsbedingungen sowohl im Winter wie auch im Sommer haben abhängig von der Fragestellung ihre Berechtigung. Dies gilt insbesondere, weil eine genauere Voraussage der Höhe von Sommerwerten auf der Basis von Wintermessungen (unter Standardbedingungen) nur bedingt möglich ist.

Die Resultate von wiederholten Messungen im Verlaufe eines simulierten Schultages veranschaulichen, dass erhöhte Formaldehydwerte in Schulzimmern durch gutes und regelmässiges Lüften deutlich gesenkt werden können:

- Gut Lüften vor der ersten Lektion am Morgen reduziert den Formaldehydmesswert während des anschliessenden Unterrichts in der ersten Lektion um rund ein Drittel
- Zusätzlich gut lüften in jeder Pause reduziert den Wert während der Schullektionen um ein weiteres Drittel. Wird in der Pause einmal nicht gelüftet, wirkt sich dies sofort in Form von höheren Schadstoffbelastungen aus.

Aus dem Projekt konnten weitere Schlussfolgerungen für den Umgang mit erhöhten Formaldehydkonzentrationen in Schulzimmern gezogen werden:

- Solange sich effizientes, regelmässiges Lüften nachweislich sicherstellen lässt, ist auf diese Weise in Räumen mit leichten Richtwertüberschreitungen die zeitlich begrenzte Überbrückung bis zur Sanierung vertretbar.
- Müssen aufgrund erhöhter Messwerte unter Standardbedingungen im Winter Richtwertüberschreitungen im Sommer befürchtet werden, empfiehlt sich ein zuverlässiges Lüftungsregime einzuführen, bis eine Sommermessung stattfinden kann. Diese sollte möglichst zeitnah bei erhöhten Sommertemperaturen erfolgen.

¹² <https://www.aramis.admin.ch/>, Projektnummer 15.019374

Sensibilisierungskampagne

Die Kampagne «Frische Luft für wache Köpfe» fand zwischen 2019 und 2022 in zwei Wellen statt. Sie adressierte die Allgemeinbevölkerung, die Schulen, Medien (erste Welle) und Bauherren von Schulhäusern (zweite Welle) und hatte zum Ziel, für eine gute Durchlüftung von Schulen zu sensibilisieren und Verbesserungsmassnahmen vorzustellen. Als wichtigstes Informationsmittel wurde eine eigenständige Homepage erstellt: www.schulen-lueften.ch.

Auf dieser Webseite finden sich folgende Tools und Informationsmittel:

Für Schulen / Lehrpersonen

- Broschüre «Das Schulzimmer richtig lüften». Informationen und Empfehlungen für Schulen und Lehrpersonen.
- Flyer «Zeit für frische Luft» für Schülerinnen und Schüler (Zyklus 2)
- Lüftungssimulator Simaria zum Erstellen von Lüftungsplänen

Für Bauherren von Schulhäusern

- Broschüre «Lüftungsplanung bei Schulhausneubauten und -sanierungen. Informationen und Empfehlungen für Bauherren»; Themenblätter daraus können auch separat heruntergeladen werden
- Praxisbeispiele von Lüftungslösungen (Objektblätter von verschiedenen Schulhausneubauten und -sanierungen)

Die beiden Broschüren sowie der Flyer können auch als Printversionen bestellt werden. Die Broschüre für Schulen wurde an alle Schulleitungen in der Schweiz versendet, sowie in den Zeitschriften der Lehrerverbände der Deutschschweiz und Romandie bzw. der Publikation «scuola ticinese» im Tessin beigelegt. Die Bauherren-Broschüre wurde zusammen mit einem entsprechenden Themenheft des Faktor-Verlags (Themenheft 52: Raumluft in Schulbauten, DE und FR-Ausgaben) an Bauämter der Gemeinden sowie Minergie Fachpartner versendet.

Dank

Das Projekt «Luftwechsel in Schweizer Schulen» wurde von einer Vielzahl von Gemeinden, engagierten Leitenden von Schulämtern, Schulleiterinnen und Schulleitern, Lehrpersonen, Hauswartinnen und Hauswarten sowie kantonalen Stellen unterstützt. Es genoss ferner den Zuspruch von interessierten Gemeinderätinnen und -räten und das Wohlwollen der Erziehungs- und Gesundheitsdirektorinnen und -direktoren der beteiligten Kantone Bern, Graubünden, Waadt und Zürich. Ihnen allen gilt unser verbindlicher Dank.

Ganz besonders danken wir auch jenen, die mit grossem Engagement und ihrem Fachwissen die Studie ermöglicht haben: Réjane Morand Bourqui, BAG, Roger Waeber, BAG, Roland Ganz, GanzKlima GmbH, Annamaria Zollinger, Anina Stauffacher und Emanuel Christen, CSD Ingenieure AG, Martha Palacios, BAG, Andreas Catillaz, BAFU, Andreas Besmer (Lungenliga Schweiz), Lucienne Roh (Ligue pulmonaire vaudoise) und Caroline Leuenberger (Lunge Zürich).