



Verbesserung der Luftqualität in Schulen (ImpAQS): eine Längsschnittstudie zur Belüftung und Innen- raumluftqualität in österreichischen Klassenräumen - Kurzfassung

Hrsg. Robert Scot McLeod, Christina Johanna Hopfe



Danksagung zur Finanzierung

Die Mittel für dieses Projekt wurden vom österreichischen Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung (BMBWF) im Jahr 2023 bereitgestellt. Dieses Ministerium wurde inzwischen umstrukturiert, und 2025 wurde das österreichische Bundesministerium für Bildung (BMB) gegründet. Wir danken dem BMB und seinem Vorgänger, dem BMBWF, für die Unterstützung dieser Forschungsstudie, die im Rahmen der Initiative #TruSD: „Vertrauen in Wissenschaft und Demokratie“ durchgeführt wurde.

 **Bundesministerium**
Bildung, Wissenschaft
und Forschung

 **Bundesministerium**
Bildung

Verbesserung der Luftqualität in Schulen (ImpAQS): eine Längsschnittstudie zur Belüftung und Innenraumluftqualität in österreichischen Klassenräumen - Kurzfassung

Version v 1.0 (28. Mai 2025)

Diese Kurzfassung zitieren:

McLeod, R.S., Hopfe, C.J., Villanova, L., Pollozhani, F., Gustin, M., Perkovic, T., Aznira, M. (2025) Verbesserung der Luftqualität in Schulen (ImpAQS): eine Längsschnittstudie zur Belüftung und Innenraumluftqualität in österreichischen Klassenräumen - Kurzfassung . Graz, Österreich: Technische Universität Graz.

DOI 10.3217/978-3-99161-056-4-001

Verfügbar unter <https://www.tugraz.at/en/institutes/ibpsc/research/research-projects/completed-projects>.

Herausgeber*innen:	Robert Scot McLeod, ORCID 0000-0001-7204-6268 Christina Johanna Hopfe, ORCID 0000-0002-8921-2098
Redaktionelle Unterstützung:	Fatos Pollozhani
Autor*innen:	Robert S McLeod, Christina J Hopfe, Laura Villanova, Fatos Pollozhani, Matej Gustin, Tijana Perkovic, Meita Aznira
Gestaltung:	Robert Scot McLeod
Titelbild:	Shutterstock ID: 466062413, Ground Picture Seriennummer: US-071A032A5-1

2025 Verlag der Technischen Universität Graz

www.tugraz-verlag.at

Verbesserung der Luftqualität in Schulen (ImpAQS): eine Längsschnittstudie zur Belüftung und Innenraumluftqualität in österreichischen Klassenräumen

– Endbericht ISBN 978-3-99161-056-4; DOI 10.3217/978-3-99161-056-4; CC BY-NC-ND

Diese Kurzfassung ist lizenziert unter der Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0) Lizenz.

<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

DOI 10.3217/978-3-99161-056-4-001

Diese CC-Lizenz gilt nicht für das Cover, Material von Dritten (das anderen Quellen zugeschrieben wird) und den anders gekennzeichneten Inhalt.



Kurzfassung

ImpAQS (Improving Air Quality in Schools) untersuchte im Schuljahr 2023/24 die CO₂-Konzentrationen, die Belüftungsraten sowie die Umweltdaten in Innenräumen und im Freien in 1200 österreichischen Klassenzimmern, die über die 9 Bundesländer Österreichs verteilt sind. Im Rahmen der Studie wurde auch der Nutzen der Installation von CO₂-Sensoren in Klassenzimmern zur Verbesserung der Lüftungspraktiken und zur Verringerung des Risikos von luftübertragenen Krankheiten untersucht. Die Studie wurde vom BMBWF finanziert und ist eine der größten und umfassendsten Studien zu Belüftung und Luftqualität, die bisher an österreichischen Schulen durchgeführt wurden.

Die im Rahmen des ImpAQS-Projekts erfassten CO₂-Daten deuten darauf hin, *dass die bestehenden europäischen und österreichischen Lüftungsrichtlinien in Schulen weitestgehend nicht eingehalten werden*. Die Ergebnisse zeigten, dass weniger als 25 % der Schulen in der Lage sind, eine jährliche tägliche mittlere CO₂-Konzentration unter dem bestehenden Richtwert von 1000 ppm (BMK, 2024) zu halten. In mehr als einem Viertel des Schuljahres wurde der empfohlene Mindestluftvolumenstrom von 4 l/(s-Person) (ÖNORM EN 16798-1:2024) nicht eingehalten. Im Winter ist die Situation noch schlimmer: In weniger als 12 % der Schulen lag die tägliche mittlere CO₂-Konzentration unter dem Schwellenwert von 1000 ppm.

Es gibt erhebliche Unterschiede zwischen den Schulen. Der tägliche Mittelwert zwischen den 10 besten und den 10 schlechtesten Schulen im Winter betrug mehr als 1000 ppm. Auch je nach Schultyp, Bundesland und Lüftungsart wurden erhebliche Unterschiede festgestellt. Bemerkenswert ist, dass es keine einzige Schule gab, die das ganze Jahr über die bestehenden Richtlinien einhielt. In den schlimmsten Fällen lagen die stündlichen mittleren CO₂-Werte in einigen Unterrichtsstunden fast siebenmal über dem Richtwert (über 6900 ppm), wobei in kürzeren Zeitabständen noch höhere Werte gemessen wurden.

Qualitative Umfragen, die parallel zur quantitativen Überwachung durchgeführt wurden, zeigten, dass die Lüftungspraktiken stark von zwei Hauptfaktoren beeinflusst werden: der Raumlufttemperatur und dem Außenlärm. In vielen Fällen wurde festgestellt, dass physische Hindernisse eine angemessene natürliche Belüftung behindern (z. B. Fensterbegrenzer oder ungesicherte, nach innen öffnende Fenster, die mit den Tischen kollidieren).

Zu den Faktoren, die die Einhaltung der CO₂-Ziele beeinflussen, gehören die Belegungsdichte (Anzahl der Schüler*innen pro Klassenzimmer), die Außen- und Innenlufttemperaturen sowie die Lüftungsmethode (mechanisch oder natürlich). Beispielsweise weisen mechanisch belüftete Klassenzimmer bei Außenlufttemperaturen von 10 °C oder darunter im Durchschnitt 450–600 ppm niedrigere tägliche mittlere CO₂-Konzentrationen auf als natürlich belüftete Schulen. Während mechanisch belüftete Schulen insgesamt besser abschnitten, gehörten drei natürlich belüftete Schulen zu den zehn leistungsstärksten Schulen. Ihre niedrigen CO₂-Werte lassen sich auf das sorgfältige Öffnen der Fenster durch die Nutzenden, eine überdurchschnittlich hohe räumliche Dichte in den Klassenzimmern (mehr als 3,2 m² pro Schüler*in) und große, uneingeschränkt zu öffnende Fenster zurückführen. Es sollte auch beachtet werden, dass in einigen Fällen mechanische Lüftungssysteme aufgrund hoher Betriebskosten dauerhaft abgeschaltet waren, was auf ein großes Hindernis für ihren Einsatz in finanziell benachteiligten Schulen hinweist.

Vier wichtige Außenluftschadstoffe ($PM_{2,5}$, PM_{10} , NO_2 , O_3) wurden in der Nähe der ImpAQS-Schulen anhand von Daten des Umweltbundesamtes (UBA) bewertet. Die Ergebnisse zeigen, dass die Mehrheit der Messstationen die Referenzwerte der Weltgesundheitsorganisation (WHO) für jeden Schadstoff überschritt, wobei einige Standorte Mittelwerte über den Schwellenwerten aufwiesen, die nicht mehr als dreimal pro Jahr überschritten werden sollten. Trotz dieser Ergebnisse gaben die Lehrer*innen an, dass die Luftverschmutzung im Freien kein großes Hindernis für das Öffnen der Fenster darstelle. Diese Situation legt nahe, dass die Verwendung einer mechanischen Belüftung mit geeigneten Partikel- und/oder Aktivkohlefiltern empfohlen werden sollte, um die Gesundheit der Schüler*innen und Lehrkörper in den am stärksten betroffenen Schulen zu schützen.

Eine analytische Modellierung des Infektionsrisikos durch das SARS-CoV-2-Virus hat gezeigt, dass Klassenzimmer mit niedrigeren jährlichen mittleren CO_2 -Raten (und entsprechend höheren Luftwechselraten) ein viel geringeres Infektionsrisiko über das ganze Jahr hinweg aufwiesen. Die Ergebnisse zeigten, dass eine Erhöhung des Außenluftvolumenstroms von 7,4 l/(s·Person), dem jährlichen Mittelwert der täglichen Außenluftvolumenströme in der Stichprobe, auf 14 l/(s·Person) das Risiko, dass mindestens eine Person im Klassenzimmer während des Schultags infiziert wird, um etwa 30 % senken könnte. Dieses Risiko könnte weiter um ca. 45 % reduziert werden, wenn höhere „gesundheitsbasierte“ Luftvolumenströme genutzt werden (wie sie in der ASHRAE-Norm 241 empfohlen werden). Diese empfiehlt einen minimalen äquivalenten Luftvolumenstrom von 20 l/(s·Person), wobei ein Teil dieses Luftstroms auch aus Umluft stammen kann, die durch HEPA-Filter gereinigt wird. Diese Berechnungen basieren auf der Annahme, dass sich eine infizierte Person in einem Klassenzimmer mit 25 Personen befindet. Hierbei handelt es sich um ein Worst-Case-Szenario, das nur unter bestimmten Bedingungen eintreten würde, beispielsweise während einer Hochphase einer COVID-19-Welle. In diesem Sinne stellen diese Schätzungen potenzielle Risiken dar und nicht die tatsächlichen täglichen Wahrscheinlichkeiten. Die Pearson-Korrelationsanalyse ergab eine moderate Assoziation zwischen Infektionsrisiko und Fehlzeiten (0,554) während des gesamten Schuljahres. Dieses Ergebnis könnte durch den reduzierten Datensatz zu Fehlzeiten (bei dem nur 40 % der Schulen Daten übermittelten) und durch die Tatsache beeinflusst worden sein, dass nur Assoziationen mit SARS-CoV-2 untersucht wurden, nicht jedoch mit anderen zirkulierenden luftübertragenen Viren.

Der Einsatz von sichtbaren CO_2 -Monitoren und Lüftungsempfehlungen machte einen signifikanten Unterschied bei den Lüftungspraktiken in natürlich belüfteten Klassenzimmern im Vergleich zu ähnlichen Klassenzimmern ohne sichtbare Informationen. Im Jänner meldete ein Viertel der natürlich belüfteten Klassen (mit sichtbaren CO_2 -Monitoren) CO_2 -Konzentrationen, die 500 ppm niedriger waren als in den entsprechenden Klassenzimmern ohne sichtbare Sensoren. Dieses Ergebnis zeigt den Mehrwert des Einsatzes von CO_2 -Sensoren in natürlich belüfteten Klassenzimmern (mit sichtbaren Ampelsystemen), insbesondere in den kälteren Monaten.

Im Allgemeinen wurde die Installation von CO_2 -Sensoren von der Mehrheit der Klassenlehrer*innen und Schuldirektor*innen sehr positiv aufgenommen. Während der Projektlaufzeit stieg die Zahl der CO_2 -Champions in den Klassenzimmern (Schüler*in, die ihre Lehrer*in auf regelmäßiges Lüften aufmerksam machen). Es ist zu beachten, dass die teilnehmenden Klassen keine zusätzliche Schulung zum korrekten Umgang mit dem CO_2 -Sensor oder zu Lüftungsstrategien erhielten. Daher ist davon auszugehen, dass bei entsprechender Schulung der Nutzen für Schüler*innen und Lehrkörper, die sich am Lüftungsprozess beteiligen, wahrscheinlich viel größer sein wird als in den Ergebnissen dieser Studie gezeigt.

Die Ergebnisse der ImpAQS-Studie sind von nationaler und europäischer Bedeutung, da sie das Bewusstsein für die dringende Notwendigkeit schärfen, die Belüftung und Luftqualität in Schulen zu verbessern. Die Ergebnisse liefern umsetzbare Informationen, die zur Verbesserung der Lernergebnisse, der Gesundheit und des Wohlbefindens von Schüler*innen und Lehrkräften in ganz Österreich genutzt werden sollten. Die Einhaltung bestehender Richtlinien und Standards sollte als erster Schritt in eine Zukunft gesehen werden, in der „gesundheitsorientierte“ Lüftungspraktiken eine Selbstverständlichkeit sind. Um weitere Ungleichheiten bei den bestehenden Lüftungspraktiken zu vermeiden, sind die Autor*innen der Meinung, dass die Verantwortung für diesen Übergang nicht an einzelne Schulen delegiert werden kann, sondern Teil eines national koordinierten Prozesses sein muss.