

Wissenschaftliche Stellungnahme und Empfehlung für Ventilator-Fensterlüften zum Infektionsschutz gegen die Aerosolübertragung von COVID-19 und für erhöhte Luftqualität in Klassenräumen

30. September 2021

Aufgrund gesicherter wissenschaftlicher Erkenntnisse und praktischer Erfahrungen empfehlen wir den Einsatz von Ventilator-Fensterlüftungssystemen in allen Klassenräumen, die nicht bereits mit ähnlich wirksamer Lüftungstechnik ausgestattet sind, um die Luftqualität möglichst hoch und die COVID-19-Infektionsrisiken durch Aerosolübertragung möglichst gering zu halten.

Fensterlüften ist ein seit langem etabliertes und wirksames Mittel zur Erhöhung der Luftqualität und Hygiene in Innenräumen. Umfangreiche experimentelle Untersuchungen, Messdaten, Berechnungen und praktische Anwendungsbeispiele zeigen, dass einfaches Fensterlüften unterstützt durch Abluftventilatoren sehr gut und effizient gegen die Aerosolübertragung von COVID-19 bzw. SARS-CoV-2 in Klassenräumen eingesetzt werden kann.

Beim Infektionsschutz durch Entfernung potentiell infektiöser Atemluftaerosole wirken einfache Ventilator-Fensterlüftungssysteme ähnlich gut oder besser als aufwändige konventionelle Raumlufttechnik (RLT) oder mobile Luftreinigungsgeräte (Übersichtstabelle 1). Im Unterschied zu mobilen Luftreinigern verringern Ventilator-Fensterlüftungssysteme durch kontinuierliche Frischluftzufuhr auch die Belastung der Raumluft mit Kohlendioxid (CO₂), das im menschlichen Atem zusammen mit potentiell infektiösen Tröpfchen bzw. Aerosolen freigesetzt wird und seit langem als Indikator für die Luftqualität in Innenräumen etabliert ist. Daher eignen sich CO₂-Sensoren sehr gut zur Überprüfung der Luftqualität in Klassenräumen und können eingesetzt werden, um die Wirksamkeit von Lüftungsmaßnahmen zu überprüfen und zu steuern.

In Klassenräumen, die wegen Lärm, Schadstoffbelastung der Außenluft oder anderen Gründen nicht gut lüftbar sind, kann es kurzfristig sinnvoll sein, das Fensterlüften bzw. die Frischluftzufuhr durch den Einsatz von mobilen Luftfiltergeräten zu ergänzen. Mittelfristig könnte hier die Nachrüstung von dezentraler Raumlufttechnik mit Zuluftbehandlung bzw. ein Verdrängungsluftsystem mit Zuluftfiltration helfen. Maschinelle Luftreinigung kann jedoch nicht die notwendigen Minderungen von Schadstoff- und Lärmemissionen ersetzen, die eine hohe Luftqualität im Außenbereich ebenso wie in Innenräumen auch ohne Zuluftbehandlung nachhaltig sicherstellen sollen.

Der Einsatz von mobilen UV-C-Luftreinigern erscheint nach aktuellem Wissensstand nicht angezeigt. Es bleibt zu klären, welche Art von reaktiven Spurenstoffen in der Gasphase und an der Oberfläche von Aerosolpartikeln durch die UV-C-Strahlung gebildet bzw. freigesetzt werden können, und ob sich daraus negative Konsequenzen für Luftqualität und Gesundheit ergeben. Abgesehen davon bewirken UV-C-Luftreiniger im Unterschied zu Luftfiltergeräten keine Verringerung der Feinstaubbelastung von Innenräumen.

Das Lüften ist kein Ersatz für andere Infektionsschutzmaßnahmen. Es sollte nach Möglichkeit und Bedarf mit anderen Maßnahmen kombiniert werden (Impfen, Testen, Abstand, Handhygiene, Gesichtsmasken etc.). Dadurch kommt es nicht nur zu einer multiplikativen Verstärkung des Infektionsschutzes, sondern auch zu zusätzlichen Synergieeffekten – beispielsweise durch die gegenseitige Erhöhung der Wirksamkeit von Lüften und Masken in virusreichen Umgebungen.

Im Vergleich zu Stoßlüften nur während der Pausen zwischen den Schulstunden kann das Infektionsrisiko durch verbessertes Lüften um einen Faktor im Bereich von etwa 2 bis 10 gesenkt werden – je nach Ausgangssituation und Lüftungs- bzw. Luftreinigungsmethode (Mischlüftung,

Quellluft, Direktabsaugung, Luftfilterung; Übersichtstabelle 2). Durch das Tragen geeigneter Masken verringert sich das Infektionsrisiko zusätzlich nochmals um einen Faktor von etwa 2 bis 100, je nachdem welche Masken genutzt werden (einfache Stoffmasken, medizinischer Mund-Nasen-Schutz/OP-Masken oder gut sitzende FFP2/FFP3-Masken), und ob diese nur von einzelnen Personen getragen werden (nur Eigen- bzw. Fremdschutz) oder von allen Personen (Eigenschutz plus Fremdschutz).

Bisweilen geäußerte Bedenken gegen Ventilator-Fensterlüften wurden durch solide wissenschaftliche Untersuchungen sowie durch den praktischen Einsatz in vielen Hundert Klassenräumen widerlegt. Bei sachgerechter Ausführung sind Ventilator-Fensterlüftungssysteme sowohl hygienisch als auch brandschutztechnisch unbedenklich, zumal die Installation jeweils innerhalb einzelner Klassenräume erfolgt und potentielle Brandlasten vergleichsweise gering sind.

In Schulklassen, wo viele Personen auf engem Raum zusammenkommen und Wärme sowie Feuchte abgeben, würde eine Behandlung der stets nötigen Zuluft zwecks Rückgewinnung von Wärme oder Feuchte keine wesentlichen Vorteile bringen – weder für den Infektionsschutz noch für die Energiebilanz. Nach aktuellem Wissensstand eignet sich Ventilator-Fensterlüften nicht nur hervorragend zur Bekämpfung der COVID-19-Pandemie, sondern auch darüber hinaus für nachhaltiges Lüften in Schulen – energiesparend, ressourcenschonend und klimafreundlich. Wärmerückgewinnung ist aktuell auch keine Voraussetzung für den Einsatz öffentlicher Fördermittel zum Corona-Infektionsschutz durch verbesserte Belüftung von Klassenräumen (Beschaffung und Einbau von Zu-/Abluftventilatoren). Im Hinblick auf Nachhaltigkeit, Klimawandel und den erheblichen Kühlbedarf in zunehmend gut gedämmten Gebäuden, kann Ventilator-Fensterlüften auch einen wesentlichen Beitrag zu energieeffizienter Nachtkühlung leisten.

Bezüglich der praktischen Implementierung und relevanter Förderrichtlinien weisen wir darauf hin, dass für ein funktionstüchtiges und wirksames Ventilator-Fensterlüftungssystem pro Klassenraum nur ein Abluftventilator in Kombination mit einem teilweise geöffneten Fenster benötigt wird. Zusätzliche Zuluftventilatoren sind unnötig und führen darüber hinaus zu erheblichem technischem Mehraufwand. Daher sollten angesichts begrenzter finanzieller und technischer Ressourcen sowie der Dringlichkeit des Infektionsschutzes zur Eindämmung der Pandemie möglichst bald einfache Abluftventilatoren in möglichst viele Klassenräume eingebaut werden. Nach Bedarf und Verfügbarkeit können die Abluftventilatoren flexibel, modular und optional durch weitere einfache technische Hilfsmittel ergänzt werden (verteilte Abzugsrohre/Abzugshauben, Quellluftführung, CO₂-Sensoren, Zuluft-Filter etc.; Übersichtstabelle 2).

Auch nach der Pandemie können die Abluftventilatoren weiter genutzt werden, um die Luftqualität in Klassenräumen hoch zu halten – besonders in schlecht lüftbaren Räumen sowie gegen die Ausbreitung von Erkältungskrankheiten und Grippewellen. Verteilte Absaugvorrichtungen können je nach Bedarf flexibel weiter genutzt, entfernt oder mit anderen Hilfsmitteln kombiniert werden, was aufgrund der Modularität und der geringen Kosten leicht machbar ist. Insgesamt bieten Ventilator-Fensterlüftungssysteme einfache, günstige und wirksame Abhilfe für Luftqualitätsprobleme in Schulen.

Übersichtstabelle 1: Effizienz verschiedener Lüftungs- bzw. Luftreinigungsmethoden zum Infektionsschutz und zur Verbesserung der Luftqualität in Klassenräumen

| Methoden | Infektionsschutz ¹ | Luftqualität ² | Bemerkungen, Indikationen, Kosten ³ |
|--|---------------------------------|---------------------------|---|
| Freies Fensterlüften | nicht ausreichend bis gut (1-5) | niedrig bis mittel | Gut bei geeigneten Fenstern, niedrigen Außentemperaturen und abgestimmter Nutzung (z.B. mittels CO ₂ -Sensoren), sonst oft nicht ausreichend. Kosten: ca. 100-200 EUR pro CO ₂ -Sensor. |
| Ventilator-Fensterlüften | ausreichend bis sehr gut (3-9) | mittel bis hoch | Besonders effizient bei Nutzung von Quellluft und Direktabsaugungseffekten; einfach, günstig und schnell realisierbar. Dringend indiziert zur raschen Eindämmung der COVID-19-Pandemie. Kosten pro Raum: Anschaffung ca. 300-3000 EUR (Material/Dienstleister); Wartung ca. 10-60 EUR/Jahr; Strom ca. 10-20 EUR/Jahr. |
| Dezentrale Raumluftechnik mit Zuluftbehandlung | ausreichend (2-3) | mäßig bis mittel | Nützlich bei schlechter Außenluftqualität, Lärm oder in thermischen Extremlagen. Relativ aufwändig, teuer, energieintensiv und fehleranfällig (Hygiene). Indiziert nach Bedarf und Verfügbarkeit. Kosten pro Raum: Anschaffung ca. 10000-15000 EUR; Wartung ca. 300-500 EUR/Jahr; Strom ca. 100 EUR/Jahr. |
| Mobile Luftfilter (ergänzend zu Pausenlüften) | ausreichend bis gut (3-5) | niedrig | Nützlich bei schlechter Außenluftqualität, Lärm und in kleinen Räumen. Relativ geringe Effizienzen in Klassenräumen. Indiziert nach Bedarf und Verfügbarkeit. Kosten pro Raum: Anschaffung ca. 1000-4000 EUR; Wartung ca. 300-800 EUR/Jahr; Strom ca. 100 EUR/Jahr. |

¹ Verbesserungsfaktoren relativ zu Lüften nur in regulären Pausen für charakteristische Kenngrößen nach Helleis et al., 2021; UBA-Empfehlung für ausreichende Lüftung (CO₂-Mittelwert <1000 ppm, Kat. 1) entspricht Verbesserungsfaktor ~2,5 (UBA, 9.7.2021).

² DIN13779, 2007; Helleis et al., 2021.

³ Kostenschätzung: Anschaffung laut Herstellern/Händlern; Wartung ca. 3% pro Jahr; Strom ca. 25 ct/kWh; Helleis et al., 2021.

Übersichtstabelle 2: Verschiedene Varianten von Ventilator-Fensterlüftungssystemen

| Varianten ¹ | Erläuterungen |
|---|---|
| Einfacher Abluftventilator | Kann kontinuierlich oder diskontinuierlich genutzt werden, z.B. mit erhöhtem Luftvolumenstrom während Intensivlüftungsperioden in den Pausen. |
| Abluftventilator mit Abluftleitung | Kann ebenfalls kontinuierlich oder diskontinuierlich genutzt werden, fördert Quell- und Querlüftungseffekte und vermeidet bzw. minimiert potentielle Störungen durch ein direktes Ansaugen von Auftriebsströmen über Heizkörpern an der Fensterfront (gegen „Kurzschlussströme“). |
| Abluftventilator mit verteilten Abluftleitungen | Verstärkt Quelllufteffekte und sorgt dafür, dass potentiell infektiöse Aerosole gleichmäßig aus dem ganzen Raum entfernt werden (gegen Abkopplung entlegener Bereiche). |
| Abluftventilator mit verteilten Abzugshauben | Verstärkt die direkte Absaugung potentiell infektiöser Atemluftaerosole, bevor diese in die Raumluft eingemischt werden. Abzugshauben unterstützen die Eindämmung der Pandemie (Verringerung der Infektionswahrscheinlichkeiten) und können danach flexibel weggelassen werden (hilfreich aber nicht erforderlich für gute Luftqualität nach normalen Hygiene- bzw. Arbeitsschutz-Richtlinien). |

¹ Abluftventilator im oberen Fensterbereich; nominelle Flussraten kontinuierlich 800-1000 m³/h, diskontinuierlich bis zu 4000 m³/h; verteilte Absaugung durch Rohre/Hauben im oberen Raumbereich; Zuluft über ein Kipp- oder Schwenkfenster bzw. leicht geöffnetes Drehflügel Fenster optional ergänzt durch Vorhänge oder Vorbauten für bodennahes Einströmen der Außenluft (Helleis et al. 2021).

Referenzen

Cheng, Y., Ma, N., Witt, C., Rapp, S., Wild, P. S., Andreae, M. O., Pöschl, U., Su, H. (2021). Face masks effectively limit the probability of SARS-CoV-2 transmission. *Science*, 372, 1439–1443.

<https://doi.org/10.1126/science.abg6296>

Curtius, J., Granzin, M., & Schrod, J. (2021). Testing mobile air purifiers in a school classroom: Reducing the airborne transmission risk for SARS-CoV-2. *Aerosol Science and Technology*, 55(5), 586–599. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02786826.2021.1877257>

Deutsche Physikalische Gesellschaft (28.01.2021), Klassenräume besser belüften - Ein Vorschlag, <https://www.dpg-physik.de/veroeffentlichungen/aktuell/2021/offener-brief-klassenraeume-besser-belueften-ein-vorschlag>

Helleis, F., Klimach, T., Pöschl, U. (2021). Vergleich von Fensterlüftungssystemen und anderen Lüftungs- bzw. Luftreinigungsansätzen gegen die Aerosolübertragung von COVID-19 und für erhöhte Luftqualität in Klassenräumen (1.1). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5154017>

Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (2021). Fachliche Beurteilung von Handlungsoptionen von Lüftungs-/Luftreinigungsmaßnahmen in Aufenthaltsräumen (insbesondere Klassenräume) vor dem Hintergrund der Vermeidung und Begrenzung der Infektionsübertragung durch Aerosole, https://lau.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LAU/News/Dateien/210714_Beurteilung_Luftreinigung.pdf

Lelieveld, J., Helleis, F., Borrmann, S., Cheng, Y., Drewnick, F., Haug, G., Klimach, T., Jean Sciare, J., Su, H., Pöschl, U. (2020). Model Calculations of Aerosol Transmission and Infection Risk of COVID-19 in Indoor Environments. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17, 8114. <https://doi.org/10.3390/ijerph17218114>

Max-Planck-Institut für Chemie (2020). Fensterlüftungssystem für Klassenräume, <https://ventilation-mainz.de/>

McLeod, RS., Swainson, M., Hopfe, CJ., Mourkos, K., Goodier, C. (2020). The importance of infiltration pathways in assessing and modelling overheating risks in multi-residential buildings, *Building Services Engineering Research and Technology* 41, 261-279. <https://doi.org/10.1177/0143624420906765>

Niedersächsische Kultusministerium (8.9.2021). Förderrichtlinie Lüften an Schulen, https://www.mk.niedersachsen.de/startseite/aktuelles/schule_neues_schuljahr/faq_schule_in_corona_zeiten/forderrichtlinie-luftung-in-schule-202653.html

Pöhlker, M. L., Krüger, O. O., Förster, J.-D., Berkemeier, T., Elbert, W., Fröhlich-Nowoisky, J., Pöschl, U., Pöhlker, C., Bagheri, G., Bodenschatz, E., Huffman, J.A., Scheithauer, S., Mikhailov, E. (2021). Respiratory aerosols and droplets in the transmission of infectious diseases. arXiv:2103.01188 [physics]. <http://arxiv.org/abs/2103.01188>.

Umweltbundesamt (17.08.2021). Richtig Lüften in Schulen, <https://www.umweltbundesamt.de/richtig-lueften-in-schulen>

World Health Organization (2021). WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>.

World Health Organization (2018). Environmental noise guidelines for the European region. WHO Regional Office Europe. https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0008/383921/noise-guidelines-eng.pdf

Unterzeichner

Prof. Dr. U. Pöschl, Dr. F. Helleis, Dr. T. Klimach, Max-Planck-Institut für Chemie, Mainz

Prof. Dr. C. Hopfe, Dr. R. McLeod, Institut für Bauphysik, Gebäudetechnik und Hochbau, Technische Universität Graz

Prof. Dr. B. Hoffmann, Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Universitätsklinikum Düsseldorf, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Prof. Dr. C. Witt, Seniorprofessor an der Charité - Universitätsmedizin, Berlin