



Stellungnahme der DGKH – Version vom 02. August 2022

Stellungnahme der DGKH zu Lüftungskonzepten in Schulen als Teil eines Bündelkonzeptes unter Berücksichtigung von Wirksamkeit, Nachhaltigkeit und Kosten

Martin Exner¹, Peter Walger¹, Johannes Tatzel¹, Nils Hübner¹, Ulrich Pöschl²,
Johannes K. Knobloch¹, Caroline Herr³, Walter Popp¹

¹: für den Vorstand der Deutschen Gesellschaft für Krankenhaushygiene (DGKH)

²: Max-Planck-Institut für Chemie, Mainz

³: Brückenprofessur Umweltbezogener Gesundheitsschutz und Prävention Klinikum der Universität München und Präsidentin der Gesellschaft für Hygiene, Umweltmedizin und Präventivmedizin (GHUP) für den Vorstand

1. Einleitung

Die DGKH hat sich unter Berücksichtigung der Erfahrungen von Explosivausbrüchen mit der Frage geeigneter Lüftungskonzepte auch in Schulen bereits seit Beginn der COVID-19-Pandemie befasst und sich in verschiedenen Stellungnahmen hierzu geäußert¹.

Der Lüftung kommt ein wichtiger Stellenwert auch in der Schaffung eines gesunden Luftklimas mit Abführung von verbrauchter Luft zur Reduktion der CO₂-Belastung zu²⁻²¹. Lüftungskonzepte zur Verringerung des Übertragungsrisikos von SARS-CoV-2 können nur aerosol-basierte (Fern-) Übertragungen beeinflussen und sind deshalb lediglich ein Teil einer Bündel-Strategie verschiedener, sich gegenseitig ergänzender Maßnahmen des Infektionsschutzes. Hierzu gehören das Tragen von Masken, Abstandswahrung und hygienische Verhaltensweisen bei Sprechen, Niesen und Husten zur Vermeidung einer direkten Infektionsgefahr durch Tröpfchen basierte (Nah-)Übertragungen. Auch einschlägige Hygiene-Lern-Konzepte für Schüler wie auch Benennung von Hygienebeauftragten in Schulen könnten sinnvolle Maßnahmen sein.

Zu einem geeigneten Lüftungskonzept gehören

- Zufuhr ausreichender Frischluft und Verringerung der CO₂ Belastung im Raum,
- Abfuhr verbrauchter Atemluft einschließlich von gegebenenfalls Viren kontaminierter Atemaerosole und Vermeiden der Anreicherung von SARS-CoV-2 in der Luft von Klassenräumen,
- Vermeidung ungünstiger Verdriftung und Abziehen verbrauchter Atemluft mit der natürlich nach oben gerichteten Auftriebsströmung soweit möglich noch vor einer Vermischung oder Verdriftung quer durch den Raum (Quellluftprinzip),

Nachhaltigkeit des Lüftungskonzeptes auch über die Pandemiephase hinaus (Hygiene-, Kosten- und Energieaspekte). Erfahrungsgemäß kann aufwändige Raumluftechnik (RLT) in Schulen zu Wartungs- und Hygieneproblemen führen.



2. Lernen aus Explosivausbrüchen

Bei einem Explosivausbruch handelt es sich um ein epidemisches Geschehen, das sich innerhalb sehr kurzer Zeit (schlagartig) entwickelt, wobei eine größere Gruppe von Personen etwa zeitgleich infiziert wird und ggfls. erkrankt (RKI 2015). Das kann durch einen Eintrag von Erregern mit hoher Kontagiosität, durch kontaminierte Vehikel (Wasser, Lebensmittel, Luft) oder aus einer Hyperendemie heraus erfolgen, wenn sich die Populationsempfänglichkeit verändert hat. Explosivausbrüche sind in besonderer Weise geeignet, bei detaillierter hygienisch-medizinischer, epidemiologischer, infektiologischer und mikrobiologischer Untersuchung vertiefende Erkenntnisse über Übertragungswege und Risikofaktoren zu liefern und sind sehr wichtig für die Entwicklung von Präventionsstrategien. Die Situation in Schulen ist dadurch gekennzeichnet, dass Häufungen von SARS-CoV-2-Infektionen unter Schülern und Lehr- bzw. Schulpersonal in der Regel als Ausbrüche bezeichnet werden, ohne aber den kausalen Zusammenhang mit einer Übertragung innerhalb der Schule durch eine strukturierte Ausbruchanalyse nachgewiesen zu haben. Diese sog. „Ausbrüche“ betrafen in der Regel nur wenige Personen, innerschulische Explosivausbrüche waren eine Seltenheit.

Einer der besten und sorgfältig untersuchten Schulausbrüche ist der von Baumgarte et al. beschriebene Ausbruch in einer Hamburger Schule²³. Im September 2020 kam es dort zu einem SARS-CoV-2-Explosivausbruch, der unter Verwendung von Sequenzanalysen, epidemiologischen und Ortshygienischen Daten untersucht wurde.

Der Index-Fall, eine Person aus dem Lehrerkollegium, wurde aufgrund epidemiologischer Untersuchungen erkannt. Bei 25 Schülern konnten Virusgenome mit nahezu identischer Sequenzübereinstimmung nachgewiesen werden, von denen 21 eine 100%-ige Übereinstimmung ergaben. Die Sequenzanalyse zeigte somit ein Ausbruchcluster mit einer einzigen Quelle, einem Mitglied der Lehrerschaft, wodurch die Kriterien für einen Explosivausbruch erfüllt waren.

Die meisten Infektionen standen im Zusammenhang mit zwei Unterrichtseinheiten mit dem Index-Fall. Wahrscheinlich wurden 31 Schüler (12-14 Jahre alt), zwei Lehrer und drei Familienmitglieder in der Schule beziehungsweise in dem jeweiligen Haushalt infiziert.

In den Unterrichtseinheiten kam es zu 2 Superspreading-Events, von denen in einem der Klassenräume wegen unzureichender Lüftungsbedingungen auch die Wahrscheinlichkeit eines zusätzlichen Risikos durch eine Luft-gefragene Fernübertragung (Aerosolübertragung) diskutiert werden muss.

Die Anzahl der Infizierten wurde durch unterschiedliche Parameter wie Dauer der Expositionszeit, Verwendung von medizinischen Masken während des Sprechens, durch Abstände und durch baulich funktionelle Bedingungen zu dieser Zeit beeinflusst.

Zur Zeit des Ausbruches galten als Hygieneregeln Abstandswahrung von 1,50 m im Klassenraum und in anderen schulischen Bereichen. Es wurde verlangt, die Hände, unmittelbar vor Betreten des Klasserraums zu waschen oder zu desinfizieren. Die Masken mussten auf Fluren, in Toiletten und außerhalb des Gebäudes getragen werden. Es bestand jedoch keine Verpflichtung, Masken im Klassenraum zu tragen. Diese konnten allerdings freiwillig während des Unterrichtes getragen werden. Empfehlungen zur Lüftung über voll geöffnete Fenster durch intermittierende Stoßlüftung wurden normalerweise nur während der Pausen und gelegentlich während des Unterrichtes befolgt.

Beispielhaft wird der Ausbruch in dem Klassenraum 1 der Klasse C1 gezeigt.



Der Raum zeigte einige Besonderheiten, da dieser Raum lediglich zwei Fenster und zwei schmale Oberlichter hatte. Aufgrund der hohen Verkehrsbelastung außerhalb des Klassenraums waren die Fenster und die Tür in der Regel geschlossen. Die Lüftung erfolgte lediglich von einer Seite, ohne dass es zu einem vollständigen Durchlüften kam. Die Autoren weisen auf die unzureichende Lüftung hin. Darüber hinaus kam erschwerend hinzu, dass die Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenraumluft an dem besagten Tag nur gering war. Es wurden Außentemperaturen von 20 °C berichtet.

Die Abbildung zeigt den Klassenraum und den Sitzplan zum Zeitpunkt des Ausbruchs.

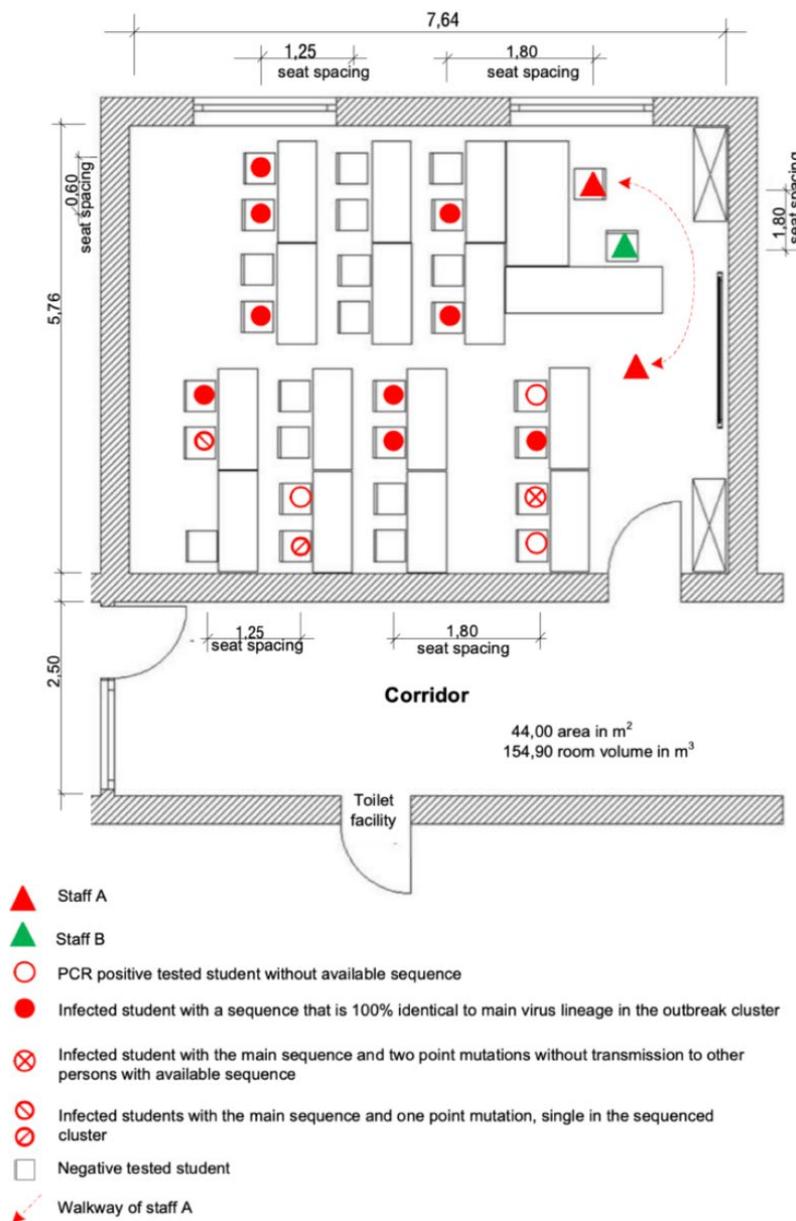


Abb.1.: Sitzplan zum Zeitpunkt des Ausbruchs und SARS-CoV-2-infizierte Personen in Raum 1 von Klasse C1.²³



Seitens der Autoren wird darauf hingewiesen, dass beeinflussbare Umstände zur Expositionszeit während des Unterrichtes hätten sein können:

- konsequentes Tragen von Masken während des Unterrichtes,
- Verringerung der Anzahl der Anwesenden,
- Abstandswahrung und Distanz zwischen den Personen im Raum und
- Optimierung des Lüftungskonzeptes

als wichtigste Faktoren zur Vermeidung von SARS-CoV-2-Übertragungen und Superspreading-Events in Schulen.

Unabhängig hiervon wurden die Fenster nicht regelmäßig geöffnet, wodurch die Luftqualität an diesem Tag durch fehlenden Luftaustausch ungünstig beeinflusst wurde. Bei der hohen Anzahl von Schülern in Raum 1 der Klasse C1 (29 Schüler) muss aufgrund des geringen Verdünnungseffektes bei unzureichender Frischluftzufuhr ein Anstieg von Virus-belasteten Partikeln in der Luft der Klasse, ausgehend von der infektiösen Indexperson, angenommen werden.

Weiterhin wird darauf hingewiesen, dass Lehrer (Index-Person als Superspreader in der präsymptomatischen Phase) und Schüler keine Masken während des Unterrichtes trugen (auch nur unzureichend außerhalb des Klassenraums), wodurch der wichtigste Schutz vor Nahübertragung durch Tröpfcheninfektionen fehlte.

Die Autoren geben folgende perspektivischen Hinweise. Unabhängig von der COVID-19-Pandemie sollten Lüftungskonzepte für große Klassenräume als Teil der allgemeinen Infektionsprävention und auch als Teil einer gesunden Umwelt und eines gesunden Lernumfeldes etabliert werden. Die Erziehung zu Basishygienemaßnahmen sollte im Lehrplan von Schülern integriert sein als eine notwendige Voraussetzung für richtiges Hygieneverhalten und als Teil der allgemeinen Infektionsprävention.

Dieser Ausbruch zeigt, dass es unter bestimmten ungünstigen Umständen zu zusätzlichen Risiken einer luftgetragenen Infektion kommen kann und dass aus diesem Grunde Lüftungskonzepte grundsätzlich als Teil des Multibarrieren-Konzeptes notwendig sind.

Im Folgenden sollen die verschiedenen Aspekte und Prämissen dargestellt werden, die die DGKH in ihrer Positionierung leiten.

3. Prämissen für Lüftungskonzepte in Klassenräumen von Schulen

Lüftungskonzepte sollten folgende Bedingungen erfüllen:

- Zufuhr unbelasteter Frischluft, um eine Anreicherung von SARS-CoV-2 und CO₂ in der Raumluft als Indikator für verbrauchte und verunreinigte Luft zu vermeiden bzw. zu verringern.
- Ausreichende Zufuhr von Frischluft, um verbrauchte Atemluft inklusive CO₂ und ggf. kontaminierter Atemaerosole zu verdünnen bzw. zu ersetzen. Neben der Verminderung von Atemaerosol- und Virenkonzentrationen führt dies gleichzeitig auch zur Verminderung der CO₂-Belastung des Klassenraums. Hierdurch werden nicht nur Infektionsrisiken, sondern auch CO₂-



bedingte Müdigkeit und Konzentrationsmängel unter Schülern und Lehrkräften vermieden bzw. verringert.

- Abziehen verbrauchter Atemluft mit der natürlich nach oben gerichteten Auftriebsströmung soweit möglich noch vor einer Verdriftung oder Vermischung quer durch den Raum (Quellluftprinzip). (Vertikal vor bzw. statt horizontal)
- Nachhaltigkeit auch über die Pandemiephase hinaus (Hygiene-, Kosten- und Energieaspekte).

Diese Ziele können sowohl durch geeignete Fensterlüftung als auch durch raumluftechnische Anlagen erreicht werden²¹, wie nachfolgend erläutert.

Luftreinigung mittels Filtration oder UV-Bestrahlung hat hingegen keinen direkten Einfluss auf die CO₂-Belastung und kann gegebenenfalls sogar selbst zur Bildung und Anreicherung weiterer Schadstoffe führen (zum Beispiel bei UV-Bestrahlung).

Bei der Abfuhr von verbrauchter Atemluft, die grundsätzlich mit CO₂ und Feuchtigkeit angereichert ist sowie mit Duftstoffen, SARS-CoV-2 und anderen Krankheitserregern oder Schadstoffen angereichert sein kann, sollte eine horizontale Luftumwälzung quer durch den Klassenraum in Kopfhöhe vermieden bzw. minimiert werden, um möglichst wenig verbrauchte beziehungsweise mit SARS-CoV-2 angereicherte Atemluft in Gesichtsnähe an den im Raum befindlichen Personen vorbeizuführen. Stattdessen sollten natürlich nach oben gerichtete Auftriebsströmungen genutzt werden, um möglichst viel von der verbrauchten Atemluft über potentiell infektiösen Personen bzw. in Deckennähe zu erfassen und nach außen abzuführen, bevor sie quer durch den Raum verdriftet oder vermischt wird (Quellluftprinzip).

Durch Quelllüftung bzw. das Abziehen verbrauchter Atemluft in Deckennähe kann auch bei unbekannter Position von infektiösen Personen bzw. Superspreadern erreicht werden, dass kontaminierte Atemluft schadlos nach oben abgeführt und nicht an anderen Personen vorbeigeführt wird.

Raumluftfiltergeräte, welche zur Luftreinigung Luft ansaugen und gereinigt in den Raum zurückgeben, können je nach Positionierung des Gerätes im Raum sowie der Position der Ansaug- und Luftabgabeöffnungen risikobehaftete Luftwalzen verursachen. Hierdurch kann bei unbekannter Position eines Superspreaders für einzelne Sitzpositionen die Infektionsgefahr sogar erhöht werden.

4. Vergleich verschiedener Lüftungsmethoden

Ein umfassender Vergleich verschiedener Lüftungsmethoden für bessere Luftqualität und zur Verminderung der Konzentration potentiell virenhaltiger Atemaerosole in Klassenräumen wurde neben Untersuchungen von Siblinger et al. in Stuttgarter Schulen²⁴ vom Max-Planck-Institut für Chemie Mainz durchgeführt^{25,26}. Die Mainzer Studie vergleicht die Wirksamkeit unterschiedlicher Lösungsansätze wie Fensterlüften mit und ohne technische Hilfsmittel (Abluftventilatoren, Absaughauben), Raumluftechnik und Luftreiniger zur Eindämmung der COVID-19-Pandemie und zur nachhaltigen Erhöhung der Luftqualität. Dabei wurden neben der Verringerung von Belastungen mit potentiell infektiösen Atemaerosolpartikeln und CO₂ auch Nachhaltigkeits-Aspekte berücksichtigt (Kosten und Energie bzw. Klimaschutz).



Die Autoren zeigen, dass Fensterlüften ergänzt durch einfache technische Hilfsmittel sehr gut und effizient für die Aufrechterhaltung guter Luftqualität und den Infektionsschutz gegen Aerosolübertragung von SARS-CoV-2 eingesetzt werden kann - auch im Vergleich zu konventionellen raumluftechnischen Anlagen sowie zu filter- oder UV-strahlungsbasierten Luftreinigern.

Besonders wirksam ist eine Verdrängungslüftung (Quelllüftung) mit bodennaher Frischluftzufuhr durch Fenster und verteilter Abluftabsaugung über potentiell infektiösen Personen^{25,26} (Klimach et al. 2022; www.ventilation-mainz.de).

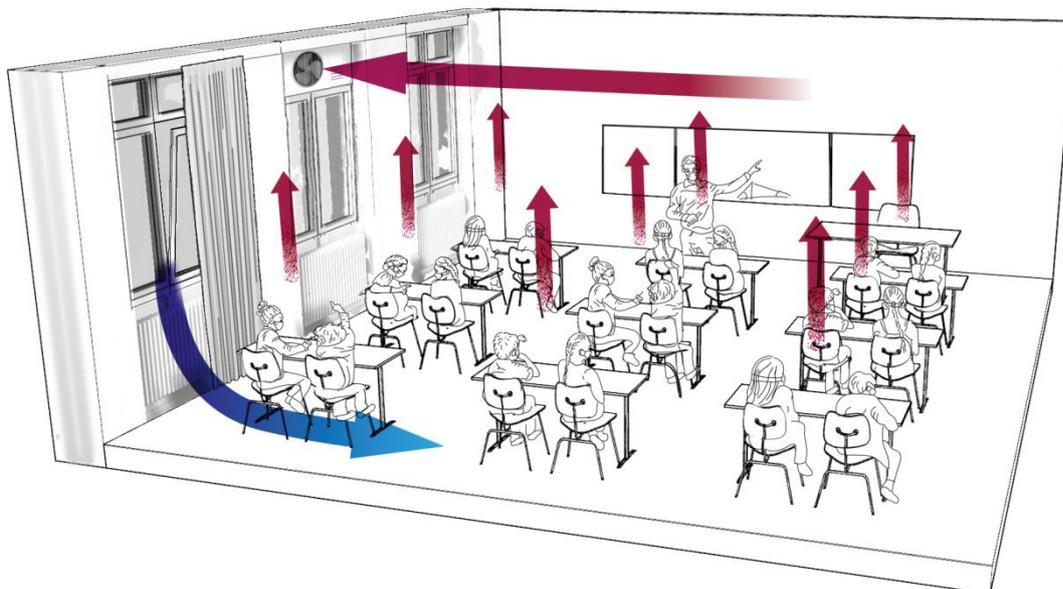


Abb.2.: Schematische Darstellung eines Fensterlüftungssystems mit einfachem Abluftventilator und bodennaher Zuluft. (Graphik: D. Jack) nach <https://www.ventilation-mainz.de/>

Speziell bei warmen Wetterlagen ist Fensterlüften unterstützt durch Ventilatoren deutlich effektiver als freies Fensterlüften. CO₂-Monitore sollten eingesetzt werden, um die Raumlufqualität zu messen und bei Bedarf durch zusätzliches Stoßlüften ein dauerhaftes Überschreiten des CO₂-Leitwerts von 1000 ppm zu vermeiden.

Während Luftreiniger die Konzentrationen an Partikel und Aerosolen in der Luft reduzieren, nicht aber verbrauchte Luft entfernen können, sind Lüftungsmethoden mit Frischluftzufuhr und Entfernung von CO₂ effizienter und nachhaltiger; zudem kann ihre Wirkung mittels CO₂-Monitor gut und in „Echtzeit“ kontrolliert werden. Der alleinige Einsatz von Luftreinigern ohne zusätzliche ausreichende Frischluftzufuhr führt nicht zur Sicherstellung einer angemessenen, gesunden Raumlufqualität.

Raumluftechnik (RLT) mit Wärmerückgewinnung (WRG) und Feuchterückgewinnung bringt unter mittleren deutschen Klimabedingungen kaum Vorteile für den Primärenergiebedarf und die Raumfeuchte in Schulklassen. Wärmetauscher und sonstige technische Komponenten für die Rückgewinnung verursachen hohen Stromverbrauch und Wartungsaufwand, und sie können zu hygienischen Problemen führen. Der Einsatz von RLT/WRG erscheint nur dort zweckmäßig, wo Frischluft in ausreichender Qualität und Menge nicht durch Fenster zugeführt und durch vorhandene Heizungsanlagen angemessen temperiert werden kann, beispielsweise bei starker Schadstoff- und



Lärmbelastung der Umgebung (z.B. an sehr verkehrsreichen Straßen) oder in thermischen Extremlagen (z.B. in Bergregionen)²⁶⁻²⁸.

Insgesamt zeigte der Vergleich, dass Fensterlüften mit einfachen technischen Hilfsmitteln wie Ventilatoren, Abzugshauben und CO₂-Monitoren nicht nur kostengünstig und leicht realisierbar, sondern auch besonders effektiv, eine gesunde Raumluft zu gewährleisten, einschließlich der Abreicherung/Entfernung/Verdünnung von potenziell Krankheitserreger enthaltenden Aerosolen/Partikeln. Nähere Angaben zur Übertragungswahrscheinlichkeit durch Tröpfchen und Aerosole finden sich bei Cheng et al.²⁹

Daher empfehlen die Autoren den Einbau und Betrieb von Ventilator-Fensterlüftungssystemen in allen Klassenräumen, die nicht bereits mit ähnlich wirksamen Hilfsmitteln ausgestattet sind. Abluftventilatoren und weitere Komponenten können mit geringem Aufwand kurzfristig installiert werden. Auch nach der Pandemie können die Fensterlüftungssysteme flexibel und modular weiter genutzt werden als zuverlässige und nachhaltige Abhilfe für seit langem bestehende Innenraumluftqualitätsprobleme in Schulen – energiesparend, ressourcenschonend und klimafreundlich²⁵⁻²⁸

5. Position der DGKH

Die DGKH fordert nachdrücklich Investitionen in eine adäquate Ausstattung der Schulen mit einer ausreichenden Anzahl von leicht zu öffnenden Fenstern und Fensterlüftung. Fenster-Handgriffe sollten entsprechend gut erreichbar und einfach zu bedienen sein. Der Weg zur Bedienung von Fenstern und zum Öffnen darf nicht versperrt sein.

Klassenräume sollten generell mit CO₂-Messgeräten ausgestattet werden, um die CO₂-Belastung als Indikator für verbrauchte Atemluft und für potenziell infektiöse Atemaerosole zu prüfen und adäquates Lüften zu ermöglichen bzw. zu unterstützen. Die Messgeräte sollen im Atemhöhenbereich an einer möglichst ungünstigen Stelle im Klassenraum aufgestellt werden (weit entfernt von den Fenstern bzw. der Frischluftzufuhr) und mit einer Konzentrationsmesswertanzeige (in ppm) ausgestattet sein - ggf. ergänzt durch Farbsignale (CO₂-Ampel) als Hinweis darauf, wann und wie lange Fenster zu öffnen sind. Aus Sicht der Innenraumlufthygiene sollte im Mittel über eine Unterrichtsstunde ein CO₂-Konzentrationswert von 1000 ppm nicht überschritten werden³⁰. Das kann beispielsweise erreicht werden durch Stoßlüften beim Überschreiten von ca. 1200 ppm CO₂ bis mindestens zum Unterschreiten von ca. 800 ppm CO₂. Je weniger die CO₂-Konzentration in der Klasse über dem Außenluftwert von ca. 400-450 ppm liegt, desto geringer sind Atemaerosolbelastung und damit verbundene Infektionsrisiken. Die Messgeräte können in jedem Raum der Überprüfung und ggf. auch der Regulierung des Lüftens dienen, sowohl beim freien Fensterlüften (Dauerlüften, Stoßlüften) als auch bei Verwendung von Abluftventilatoren und raumlufttechnischen Anlagen.

Der Einsatz von weiteren technischen Hilfsmitteln für eine effektive Lüftung auch bei niedrigen Temperaturdifferenzen zur Außenluft sollte in Abhängigkeit von der individuellen baulichen Situation geprüft werden. Abluftventilatoren können dafür sorgen, dass im Sommer bzw. bei hohen Temperaturen nicht zu wenig warme Außenluft durch geöffnete Fenster einströmt und im Winter bzw. bei niedrigen Temperaturen nicht zu viel kalte Außenluft (unnötiges „Überlüften“ und Abkühlen). Abluftleitungen und Abzugshauben unmittelbar über den Sitzplätzen der Schüler sind technisch etwas



aufwändiger und weniger einfach zu realisieren als die einfachste Lösung mit Abluftventilatoren in den Fenster-Oberlichtern. Aufwändigere Lösungen wie Raumluftechnik mit Wärmerückgewinnung (RLT/WRG) erscheinen zweckmäßig, wo Frischluft in ausreichender Qualität und Menge nicht durch Fenster zugeführt und angemessen temperiert werden kann, beispielsweise bei starker Schadstoff-, Lärm- oder Kältebelastung der Außenluft (z.B. an verkehrsreichen Straßen und in Bergregionen).

Die DGKH spricht sich wegen

- des Fehlens epidemiologischer Evidenz für eine Reduktion von SARS-CoV-2-Infektionen durch mobile Luftreinigung,
- der hohen Kosten von mobilen Luftreinigungsgeräten (MLRG),
- den zu erwartenden hohen Wartungskosten,
- der Notwendigkeit einer individuellen Standortsuche durch Anpassung an die Räumlichkeiten bei ihrem Einsatz in Klassenräumen,
- der fehlenden Beeinflussung der CO₂-Belastung bei unzureichender Frischluftversorgung
- und aufgrund der bislang nicht absehbaren Risiken horizontaler Luftströmungen für die im Luftstrom sitzenden Schüler (Verdriftungseffekte)

grundsätzlich gegen die Anschaffung von mobilen Luftreinigungsgeräten (MLRG) aus.

Der Aufwand für Wartung und Betrieb solcher Geräte wird erfahrungsgemäß in der Regel nicht ausreichend berücksichtigt, so dass Luftreinigungsgeräte keine nachhaltige Lösung darstellen.

In allen Fällen, in denen keine ausreichende Fensterlüftung gewährleistet werden kann, sollten an Stelle von MLRG einfache technische Hilfsmittel zur Luftabfuhr (wir favorisieren Abluftventilatoren in Oberlichtern) eingesetzt werden, die eine im Vergleich zu MLRG günstigere Lüftungs-, Energie-Kosten und Nachhaltigkeits-Bilanz aufweisen, und insbesondere neben einer Abführung verbrauchter Luft durch vertikale nach oben gerichtete Absaugung auch eine Verminderung der CO₂-Belastung durch Nachströmen von Frischluft aus gekippten Fenstern ermöglichen²⁶.

Raumluftechnische Anlagen sollten wegen hoher Investitions-, Wartungs- und Energiekosten nicht für Klassenräume vorgesehen werden, wenn eine Fensterlüftung (ggf. mit technischen Hilfsmitteln wie den Abluftventilatoren) möglich ist. Sofern Raumluftechnische Anlagen vorgesehen werden, müssen die Investitions- und Energie-Kosten in der Kosten-Nutzenbilanz mitberücksichtigt werden. In jedem Fall sollten Raumluftechnische Anlagen mit integrierter CO₂-Steuerung ebenfalls so ausgerichtet sein, dass eine vertikale Strömung zur Decke hin durch Quelllüftung gewährleistet wird. In großen Versammlungsräumen ohne ausreichende Fensterfläche haben Raumluftechnische Anlagen in jedem Fall ihre Berechtigung, wobei auch hier die eben genannten Kriterien zu berücksichtigen sind. Eine energiesparende Wärmerückgewinnung aus der Abluft sollte ausschließlich durch Wärmetauscher und nicht durch Umluftbetrieb in Raumluftechnischen Anlagen umgesetzt werden, um eine Rückführung Viren-belasteter Luft zu vermeiden. Kurzschlussverbindungen von Zu- und Abluft müssen ausgeschlossen sein.



Literatur:

1. DGKH. Stellungnahme der DGKH: Zum Einsatz von dezentralen mobilen Luftreinigungsgeräten im Rahmen der Prävention von COVID-19.
https://www.krankenhaushygiene.de/pdfdata/2020_09_03_DGKH_Stellungnahme_Zum_Einsatz_von_dezentralen_Luftreinigern_zur_Praevention.pdf 2020.
2. Zhang XS, Duchaine C. SARS-CoV-2 and Health Care Worker Protection in Low-Risk Settings: a Review of Modes of Transmission and a Novel Airborne Model Involving Inhalable Particles. *Clin Microbiol Rev* 2021;34.
3. Zacharias N, Haag A, Brang-Lamprecht R, et al. Air filtration as a tool for the reduction of viral aerosols. *Sci Total Environ* 2021;772:144956.
4. van Doremalen N, Bushmaker T, Morris DH, et al. Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. *N Engl J Med* 2020;382:1564-7.
5. Tang JW, Bahnfleth WP, Bluyssen PM, et al. Dismantling myths on the airborne transmission of severe acute respiratory syndrome coronavirus-2 (SARS-CoV-2). *J Hosp Infect* 2021;110:89-96.
6. Seipp TH, Steffens T. . Lufthygiene in Innenräumen unter SARS- CoV-2 Bedingungen Teil 2 Aerosolkonzentrationsgradienten und Beeinflussung der themrischen Behaglichkeit. . *Geahrstoffe* 2021 81:135 - 46.
7. Rodriguez M, Palop ML, Sesena S, Rodriguez A. Are the Portable Air Cleaners (PAC) really effective to terminate airborne SARS-CoV-2? *Sci Total Environ* 2021;785:147300.
8. Pöhlker Mea. Respiratory aerosols and droplets in the transmission of infectious diseases. *arXiv:210301188v3 [physics.med-ph]* 8 Apr 2021 2021.
9. Oberst M, Klar T, Heinrich A. [The effect of mobile air filter systems on aerosol concentrations in large volume scenarios against the background of the risk of infection of COVID-19. Can classroom teaching be resumed?]. *Zentralbl Arbeitsmed Arbeitsschutz Ergon* 2021:1-8.
10. Morawska L, Tang JW, Bahnfleth W, et al. How can airborne transmission of COVID-19 indoors be minimised? *Environ Int* 2020;142:105832.
11. Lindsley WG, Derk, S., Coyle, J. et.al. . Efficacy of Portable Air Cleaners and Masking for Reducing Indoor Exposure to Simulated Exhaled SARS-CoV-2 Aerosols — United States, 2021. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* 2021;70.
12. Lelieveld J, Helleis F, Borrmann S, et al. Model Calculations of Aerosol Transmission and Infection Risk of COVID-19 in Indoor Environments. *Int J Environ Res Public Health* 2020;17.
13. Kähler CJ, Fuchs, T., Hain, R. . Können mobile Raumluftreiniger eine indirekte SARS-CoV-2 Infektionsgefahr durch Aerosole wirksam reduzieren? <https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=Aerosol+Prof+Christian+J+K%C3%A4hler%2C+Universit%C3%A4t+der+Bundeswehr+M%C3%BCnchen+COVID-19+und+Bundeswehr> 2020:1- 25.
14. Goodwin L, Hayward T, Krishan P, et al. Which factors influence the extent of indoor transmission of SARS-CoV-2? A rapid evidence review. *J Glob Health* 2021;11:10002.
15. Duill FF, Schulz F, Jain A, Krieger L, van Wachem B, Beyrau F. The Impact of Large Mobile Air Purifiers on Aerosol Concentration in Classrooms and the Reduction of Airborne Transmission of SARS-CoV-2. *Int J Environ Res Public Health* 2021 18.
16. Correia G, Rodrigues L, Gameiro da Silva M, Goncalves T. Airborne route and bad use of ventilation systems as non-negligible factors in SARS-CoV-2 transmission. *Med Hypotheses* 2020;141:109781.
17. Bluyssen PM, Ortiz M, Zhang D. The effect of a mobile HEPA filter system on 'infectious' aerosols, sound and air velocity in the SenseLab. *Build Environ* 2021;188:107475.



18. Bahl P, Doolan C, de Silva C, Chughtai AA, Bourouiba L, MacIntyre CR. Airborne or droplet precautions for health workers treating COVID-19? *J Infect Dis* 2020.
19. Asadi S, Wexler AS, Cappa CD, Barreda S, Bouvier NM, Ristenpart WD. Aerosol emission and superemission during human speech increase with voice loudness. *Sci Rep* 2019;9:2348.
20. Gunther T, Czech-Sioli M, Indenbirken D, et al. SARS-CoV-2 outbreak investigation in a German meat processing plant. *EMBO Mol Med* 2020;12:e13296.
21. Moriske H, et al. . Aktuelle Empfehlungen zur lufthygienischen Prophylaxe in Schulen während der COVID-19-Pandemie, Version 1.1, 14. Dezember 2021. . <https://www.picde/5099053/schulbetriebpandemie> 2021.
22. Reiß J, Illner, M., Erhorn, H., Roser, A., Schakib-Ekbatana, K., Gruber, E., Winkler, M., and Jensch, W. . Wissenschaftliche Begleitforschung zum Forschungsvorhaben „Energieeffiziente Schulen“ Abschlussbericht Phase 2. . <https://edocstibeu/files/e01fb18/1010951262pdf> 2017
23. Baumgarte S, Hartkopf F, Holzer M, et al. Investigation of a Limited but Explosive COVID-19 Outbreak in a German Secondary School. *Viruses* 2022;14.
24. Sibling L, Rathje, T., Calandri, M., et al. . Pilotprojekt: Experimentelle Untersuchung zum Infektionsrisiko in Klassenräumen in Stuttgarter Schulen https://www.stuttgart.de/service/aktuelle-meldungen/juli-2021/studie-mobile-luftreiniger-sind-keine-universaelloesung-im-unterricht-stadt-plant-anschaffung-nur-fuer-schlecht-belueftbare-unterrichtsraeumephpmedia/229720/2021-07-06-Abschlussbericht_Pilotprojekt_Luftreiniger_Klassenraum_Stuttgart_Finale-Version_06072021pdf 2021
25. Klimach T, Helleis, F., McLeod, R.S., Hopfe, C.J., and Pöschl, U. . The Max Planck Institute for Chemistry mechanical extract ventilation (MPIC-MEV) system against aerosol transmission of COVID-19. . <https://zenodo.org/record/6545276#YsnOX3YzY2w> 2022.
26. Helleis F, Klimach, T. and Pöschl, U. Vergleich von Fensterlüftungssystemen und anderen Lüftungs- bzw. Luftreinigungsansätzen gegen die Aerosolübertragung von COVID-19 und für erhöhte Luftqualität in Klassenräumen. . <https://zenodo.org/record/6049289#YsnPL3YzY2w> 2022.
27. Foitik G, Forgo, N., Hopfe, C.J., et al. . Empfehlungen und Grundregeln für den Infektionsschutz gegen die Übertragung von SARS-CoV-2/COVID-19 in Schulen, Future Operations Platform, Version 1.1, 6. Januar 2022. . https://futureoperationsat/fileadmin/user_upload/k_future_operations/FOP_GrundregelnSchule_2022_06_01pdf 2022.
28. Pöschl U, Helleis, F., Klimach, T., et al. . Wissenschaftliche Stellungnahme und Empfehlung für VentilatorFensterlüften zum Infektionsschutz gegen die Aerosolübertragung von COVID-19 und für erhöhte Luftqualität in Klassenräumen, 30. September 2021. . <https://www.picde/5040628/statement-empfehlung-fensterlueften> 2021.
29. Cheng Y, Ma, N., Witt, C., Rapp, S., Wild, P.S., Andreae, M.O., Pöschl, U., and Su, H. Face masks effectively limit the probability of SARS-CoV-2 transmission. 372 (6549):. . *Science* 2021;372:1439–43.
30. UBA. Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft. *Bundesgesundheitsbl* 2008;51:1358–69.