

Aktuelle Empfehlungen für die lufthygienische Infektionsprophylaxe in Schulen während der COVID-19-Pandemie

14. Dezember 2021, Version 1.1

Gliederung und lufthygienischer Maßnahmenkatalog

1. Masken und Abstand (S. 2)
2. Lüften und Luftreinigung (S. 2)
 - 2.1 Raumluftechnische Anlagen
 - 2.2 Fensterlüften
 - 2.3 Abluftventilatoren
 - 2.4 Mobile Luftreiniger
 - 2.5 Räume ohne wirksame Frischluftversorgung
3. Fazit (S. 4)

Mitwirkende (S. 5), Referenzen (S. 6), Anhang (S. 8)

Vorbemerkungen

Wegen der vielfältigen und erheblichen Konsequenzen für die gesunde Entwicklung unserer Kinder und Jugendlichen besteht breiter politischer Konsens, Präsenzunterricht an Schulen auch in der gegenwärtigen pandemischen Situation möglichst aufrechtzuerhalten. Da über die dazu notwendigen Maßnahmen und deren Umsetzung weiterhin Unsicherheit bei Kommunen, Schulträgern und Eltern herrscht, werden im Folgenden die Infektionswege und wichtigsten Schutzmaßnahmen nochmals aus aktueller Sicht und in kompakter Form erläutert. Der Schwerpunkt liegt dabei auf Maßnahmen der Lufthygiene.

Ein Aufrechterhalten des Betriebes in Schulen ist nach derzeitigem Kenntnisstand nur durch eine **Bündelstrategie** mit einer Vielzahl von Maßnahmen zu erreichen, inklusive Masken, Impfen und Testen. Hierzu gibt es bereits separate Empfehlungen der zuständigen Stellen. Nur durch sinnvolle Kombination der Maßnahmen kann eine wirksame Prävention gelingen. Die Infektionsrisiken ändern sich mit der von infizierten Personen in Schulen eingetragenen Virenlast und sind jeweils im Hinblick auf das aktuelle Infektionsgeschehen und neue Virusvarianten zu bewerten.

Für die lufthygienische Situation ist zu unterscheiden zwischen direkten und indirekten Infektionen: **Direkte Infektionen** (Nahübertragung) entstehen bei geringem Abstand zu einer infizierten Person. Die beim Ausatmen und beim Sprechen abgegebenen Tröpfchen und Aerosolpartikel können unmittelbar vom Gegenüber eingeatmet werden, ohne zuvor zu Boden zu fallen oder sich im Raum zu verteilen und zu verdünnen. Die größeren Tröpfchen (ca. 0,1 mm und größer) fallen normalerweise auf kurze Distanz zu Boden (ca. 1,5 m), die kleineren Aerosolpartikel können sich als Schwebeteilchen im ganzen Raum verteilen und so auch zu **indirekten Infektionen** (Fernübertragung) führen. Lautes Sprechen, Singen, Husten, und Niesen setzt besonders viele Tröpfchen und Aerosolpartikel frei und erhöht die Gefahr direkter und indirekter Infektionen (*Anhang A1*).

Die genannten Empfehlungen können sinngemäß auch auf Kindertagesstätten angewandt werden, wobei sich eine gesonderte Situation dahingehend ergibt, dass Kinder beim Spielen und Toben meist keine Masken tragen. Aktuell liegen für diesen Bereich jedoch keine gegenüber Klassenräumen weitergehenden Lösungsansätze vor.

1. Masken gegen direkte und indirekte Infektionen, Abstand gegen direkte Infektionen

Wirksamen Schutz gegen direkte Infektionen bietet das konsequente Tragen von qualitätsgesicherten Mund- und Nase-bedeckenden Masken (mindestens medizinischer Mund-Nasen-Schutz, MNS) und konsequente Handhygiene. Auch das Risiko für indirekte Infektionen wird durch das Tragen von Masken deutlich verringert, wobei FFP2-Masken besonders wirksam gegen Übertragungen sind. Andere Maßnahmen wie Lüften, Lüftungstechniken oder mobile Luftreiniger ersetzen das Tragen von Masken während der Pandemie nicht; sie sind flankierend zum Schutz vor indirekten Infektionen gedacht. Die Masken müssen korrekt getragen werden, also Mund und Nase vollständig bedecken und möglichst dicht sitzen.

Die Masken sollten von allen während des gesamten Unterrichtes getragen werden – möglichst auch von Lehrpersonen, da diese häufig und laut sprechen, was einen besonders großen Anteil an der Emission von Tröpfchen und Atemluftaerosolen bedingt. Um den Unterrichtsablauf nicht zu sehr zu beeinträchtigen, könnten Lehrpersonen je nach Bedarf und geltenden Regelungen evtl. MNS und FFP2-Masken im Wechsel tragen. In den Unterrichtspausen können die Masken auch im Klassenraum abgenommen werden, wenn der Raum dabei gut gelüftet wird und ausreichend Abstand gehalten wird (min. 1,5 m). Im Flur sowie in Waschräumen und sonstigen engen Innenräumen sollte weiterhin Maskenpflicht gelten. Außerhalb des Schulgebäudes - z.B. auf dem Schulhof - ist das Tragen von Masken nicht erforderlich, wenn ausreichend Abstand gehalten wird (min. 1,5 m). Entsprechende Pausenzeiten draußen sollten eingehalten werden, da das durchgängige Tragen von OP-Masken und mehr noch von FFP2-Masken physiologisch als Belastung empfunden werden kann. Bei geringem Abstand sollte jedoch auch im Außenraum Masken getragen werden, um direkte Infektionen zu vermeiden; dafür reichen im Freien auch einfache Mund-Nase-Bedeckungen.

Das Tragen von Mund-Nase-Bedeckungen kann durch keine technische Lüftungsmaßnahme ersetzt werden.

2. Lüften und Luftreinigung gegen indirekte Infektionen

2.1 Raumluftechnische Anlagen

Raumluftechnische Anlagen (kurz: „RLT-Anlagen“, zentral oder dezentral/raumweise installiert) schaffen die Möglichkeit, auch ohne Lüften über Fenster und ohne dass die Nutzenden darauf Einfluss nehmen müssen, einen kontinuierlichen Luftaustausch zu erzielen und „verbrauchte“ mit Kohlendioxid und Atemluftaerosolen angereicherte Luft durch frisch zugeführte Luft von außen zu ersetzen. Angesichts der Pandemie soll der Außenluftanteil möglichst hoch eingestellt werden (UBA-Empfehlung, 12. August 2020) und der Luftdurchsatz mindestens 25 m³/h/Person betragen (ISO 17772-1:2017, EN 16798-1:2019). Sollten die Anlagen über einen Umluftanteil verfügen, muss dieser wirksam gefiltert werden - für die Dauer der Pandemie mindestens durch Kombination von Filterklassen ePM1>50% und ePM1>80%, (besser bekannt als F7- und F9-Filter). Ordnungsgemäß installierte, gewartete und betriebene RLT-Anlagen reduzieren das indirekte Infektionsrisiko wirksam und können darüber hinaus auch für gute Raumlufqualität und hohe Behaglichkeit in Pandemie-freien Zeiten sorgen (*Anhang A2*). Derzeit verfügt aber nur etwa jede zehnte Schule über solche Anlagen.

2.2 Fensterlüften

Ein einfaches und rasch umsetzbares Mittel, um Atemluftaerosol und luftgetragene Viren aus Innenräumen zu entfernen, ist das konsequente Lüften über die Fenster („freies Lüften“). Es ist in den allermeisten Schulen der Lüftungsstandard.

Das Lüften soll während der Dauer der Pandemie im Unterricht mindestens alle 20 Minuten für ca. 5 Minuten und in den Unterrichtspausen möglichst durchgehend erfolgen (BAUA ASR A3.6 und UBA-Empfehlung, 12. August 2020: 20-5-20-Regel). Die für einen wirksamen Luftaustausch erforderliche Lüftungsdauer und notwendige Anzahl bzw. Größe der geöffneten Fenster hängt stark von den baulichen Gegebenheiten sowie von der Außentemperatur ab. Bei kalten Wetterlagen erfolgt der Luftaustausch im Allgemeinen binnen weniger Minuten; die Lüftungsdauer während des Unterrichtes kann dann zeitlich verkürzt werden (auf ca. 2-3 Minuten), um Beeinträchtigungen der thermischen Behaglichkeit möglichst gering zu halten (*Anhang A2*). Lediglich bei sommerlichen Wetterlagen, wenn die Raumlufttemperaturen innen und außen ähnlich hoch sind, ist der rasche Luftaustausch beeinträchtigt. Dagegen hilft eine Verlängerung der Stoßlüftungszeiten bis hin zum Dauerlüften im Sommer. Dauerlüften durch Kippfenster oder spaltbreit geöffnete Drehfenster kann zusätzlich zum intervallartigen Stoßlüften zur Verringerung der Atemluftaerosolbelastung beitragen.

Der Lüftungserfolg lässt sich einfach durch kontinuierlich registrierende und anzeigende Kohlendioxid-Sensoren (CO₂-Ampeln) überprüfen, die nicht direkt am geöffneten Fenster stehen sollten. Aus Sicht der Innenraumhygiene sollte im Mittel über eine Unterrichtsstunde ein CO₂-Wert von 1000 ppm nicht überschritten werden (UBA-Anforderungen 2017; UBA-Empfehlung, 9. Juli 2021). 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 liegt (ca. 400-450 ppm), desto geringer sind Atemluftaerosolbelastung und damit verbundene Infektionsrisiken.

Regelmäßige Fensterlüftung sorgt für einen wirksamen Abtransport von Atemluftaerosolen, was durch CO₂-Messungen überprüft werden kann.

2.3 Abluftventilatoren

Abluftventilatoren sind seit vielen Jahren als Stand der Technik zur Unterstützung für das „freie Lüften“ im Arbeitsschutz etabliert (ASR A3.6). Diese werden auf einer Seite der Fensterfront (z. B. im Oberlicht) eines typischen Unterrichtsraumes unterhalb der Raumdecke eingebaut und saugen die belastete Raumluft aktiv ab, während gleichzeitig frische Außenluft, z. B. über ein geöffnetes Fenster, passiv nachströmt.

Abluftventilatoren reduzieren das indirekte Infektionsrisiko durch wirksamen Abtransport von Atemluftaerosolen und können darüber hinaus auch für gute Raumluftqualität und ein gutes Wohlfühlklima jenseits der Pandemie sorgen. Abluftventilatoren sind kurzfristig und mit geringem Aufwand kostengünstig nachrüstbar. Die Installation hat fachgerecht hinsichtlich Stromversorgung und -regelung sowie Unfall- und Brandschutz zu erfolgen (*Anhang A2*). Je nach Bedarf und Dimensionierung können Abluftventilatoren im Intervallbetrieb oder im Dauerbetrieb laufen, wie in *Anhang A3* beschrieben.

Abluftventilatoren sind für Frischluftzufuhr und wirksame Atemluftaerosolreduktion langjähriger Stand der Technik.

2.4 Mobile Luftreiniger

Auch mobile Luftreiniger können zu einer Verringerung der Aerosolpartikelkonzentration und damit der indirekten Infektionsgefahr beitragen. Mobile Luftreinigungsgeräte haben jedoch den grundsätzlichen Nachteil, dass sie nicht zu einer Erneuerung der Raumluft führen. Sie können daher nur unterstützend als zusätzliche Maßnahme zur Verringerung des aerosolgetragenen Ansteckungsrisikos dienen, dürfen aber nicht andere Maßnahmen wie Lüften und Masken-Tragen ersetzen.

Damit mobile Luftreiniger eingesetzt werden können, ist neben der von unabhängigen Stellen geprüften Wirksamkeit (VDI EE 4300-14) unbedingt die fachgerechte Aufstellung, Installation und

Inbetriebnahme zu beachten. Bei mobilen Luftreinigern ebenso wie bei RLT-Anlagen und Abluftventilatoren sind potentielle Lärmbelastungen durch Betriebsgeräusche sowie Zuglufterscheinungen zu berücksichtigen bzw. gering zu halten (*Anhang A2*).

Technologisch kommen bei mobilen Geräten zur Luftreinigung auch solche in Frage, die Viren nicht über Filter abscheiden, sondern in der Luft inaktivieren (UV-C-Bestrahlung, Plasmafeld-Ionisation o.ä.) Bei diesen weiteren Verfahren ist zu beachten, dass unerwünschte Reaktionsprodukte beim Betrieb entstehen können. Bei UV-C-Geräten ist zudem darauf zu achten, dass die Nutzenden nicht direkt mit der UV-Strahlung in Kontakt geraten können. Solche Geräte führen anders als solche mit Luftfiltern auch zu keiner Reduktion der Feinstaubbelastung im Raum. Genaue Prüfvorgaben finden sich in der DIN-TS 67506 TS sowie in VDI EE 4300-14. Geprüfte Luftreiniger können dazu beitragen, das Risiko indirekter Infektionen im Klassenraum besonders im Räumen der Kategorie 2 (UBA-Empfehlung, 9. Juli 2021) zu verringern.

Der Betrieb mobiler Luftreiniger ersetzt nicht die Notwendigkeit, im Unterricht weiterhin regelmäßig zu lüften und Masken zu tragen.

2.5 Räume ohne wirksame Frischluftversorgung

Räume in Schulgebäuden, in denen gar keine Lüftungsmöglichkeit besteht, weder über fest eingebaute RLT-Anlagen noch über Fenster noch über oder eingebaute Abluftventilatoren mit passiver oder aktiver Frischluftzufuhr, sind zum Unterricht aus innenraumhygienischer Sicht nicht geeignet. Dort eingesetzte mobile Luftreiniger sind keine geeignete Maßnahme für eine dauerhafte Nutzung dieser Räume, da mit ihnen wie beschrieben kein Luftaustausch zwischen Innen- und Außenluft erfolgt und die allgemeine Innenraumluftqualität in der Luft damit nicht verbessert wird. Anders verhält es sich in schlecht belüfteten Korridoren, Abstellräumen und Waschräumen, die weiterhin genutzt werden sollen. Hier können nachträglich eingebaute Abluftanlagen oder mobile Luftreiniger zu einer Verbesserung der Situation beitragen.

3. Fazit

Durch Kombination der genannten Maßnahmen („Bündelstrategie“) und konsequente Umsetzung und Kontrolle derselben können die Infektionsrisiken im Präsenzunterricht an Schulen deutlich reduziert werden. Aktuelle Studien zeigen, dass das Tragen von Masken und regelmäßiges Testen die Infektionsrisiken am stärksten senken können. Intensives Lüften und weitere technische Maßnahmen tragen zu einer weiteren Reduktion des Infektionsrisikos bei (*Anhang A1*). Wo durchführbar, sollten Lösungen mit Frischluftzufuhr bevorzugt werden.

Das Risiko für Infektionen ändert sich jedoch mit der eingetragenen Virenlast und ist daher im Hinblick auf das allgemeine Infektionsgeschehen und im Hinblick auf neue Virusvarianten regelmäßig neu zu bewerten. Falls neue Varianten stärker infektiös sein sollten, muss die Bündelstrategie ggf. angepasst werden. Welche Infektions- bzw. Erkrankungsrisiken vertretbar sind, bleibt in Relation zu den pädagogischen und sonstigen gesamtgesellschaftlichen Aspekten zu bewerten.

Im Fall von Ausbrüchen – insbesondere bei Explosivausbrüchen und Cluster- bzw. Superspreader-Geschehen mit vielen Infizierten – wird empfohlen, die Lüftungshygienische Situation in Schulen unter Zurate ziehen von Expertinnen und Experten sowie Gesundheitsbehörden zu überprüfen, um ggf. Defizite im Rahmen der Bündelstrategie zu beheben und neue Erkenntnisse über das Infektionsgeschehen und die Wirksamkeit verschiedener Schutzmaßnahmen zu gewinnen.

Mitwirkende

Auf Initiative und unter Moderation von Dr.-Ing H.-J. Moriske, Direktor und Professor im Umweltbundesamt Dessau-Roßlau, haben die folgenden Autorinnen und Autoren an der Empfehlung mitgewirkt:

Prof. Dr. Dr. h.c. Eberhard Bodenschatz, Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation und Georg-August-Universität Göttingen

Prof. Dr. rer. nat. Joachim Curtius, Goethe-Universität Frankfurt am Main

Prof. em. Dr. med. Dr. h.c. Martin Exner M.D., Universitätsklinikum Bonn

Prof. Dr. med. Caroline Herr, Ludwig-Maximilian-Universität München

Prof. Dipl.-Ing. Dr. Christina J. Hopfe, Technische Universität Graz (Österreich)

Prof. Dr.-Ing. Dirk Müller, RWTH Aachen

Prof. Dr.-Ing. Jennifer Niessner, Hochschule Heilbronn

Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Ulrich Pöschl, Max-Planck-Institut für Chemie und Johannes-Gutenberg-Universität Mainz

Prof. Dr. rer. nat. Tunga Salthammer, Fraunhofer Wilhelm-Klauditz-Institut, Braunschweig

Prof. Dr. med. Dipl.-Ing. Martin Seipp, Technische Hochschule Mittelhessen

Prof. Dr.-Ing. Thomas Steffens, Technische Hochschule Mittelhessen

Prof. Dr. med. Christian Witt, Charité – Universitätsmedizin Berlin

Prof. Dr. Stefan N. Willich, MPH Charité – Universitätsmedizin Berlin

Referenzen

- Bagheri, G. et al., An upper bound on one-to-one exposure to infectious human respiratory particles, PNAS 118 (49) e2110117118, 2021, <https://doi.org/10.1073/pnas.2110117118>
- Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAUA), Technische Regel für Arbeitsstätten, ASR 3.6, 2012, <https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/ASR/pdf/ASR-A3-6.pdf?blob=publicationFile>
- Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAUA), Technische Regel für Arbeitsstätten, ASR 3.7, 2021, <https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/ASR/ASR-A3-7.html>
- Chen, P. Z. et al., Heterogeneity in transmissibility and shedding SARS-CoV-2 via droplets and aerosols, eLife, 10:e65774, 2021, DOI: 10.7554/eLife.65774
- Cheng, Y. et al., Face masks effectively limit the probability of SARS-CoV-2 transmission, Science, 372, 1439, 2021, <https://science.sciencemag.org/content/early/2021/05/19/science.abg6296>
- Chu, D. K. et al., Physical distancing, face masks, and eye protection to prevent person-to-person transmission of SARS-CoV-2 and COVID-19: a systematic review and meta-analysis. Lancet, 395, 1973, 2020.
- Conly, J. et al., Use of medical face masks versus particulate respirators as a component of personal protective equipment for health care workers in the context of the COVID-19 pandemic, Antimicrob. Resist. Infect. Control., 9, 126, 2020.
- Curtius, J. et al., Testing mobile air purifiers in a school classroom: Reducing the airborne transmission risk for SARS-CoV-2, Aerosol Sci. Technol., 55, 586, 2021. <https://doi.org/10.1080/02786826.2021.1877257>
- DFG, Coronavirus-Pandemie: Wie lassen sich Infektionen durch Aerosole verhindern? 2021, https://www.dfg.de/download/pdf/foerderung/corona_infos/positionspapier_aerosole.pdf
- DIN 4109, Schallschutz im Hochbau – Teil 1: Mindestanforderungen, 2018-01
- DIN 18041, Hörsamkeit in Räumen - Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung, 2016-03.
- Dittler, A., Stellungnahme des „Expertenkreis Aerosole“ der Landesregierung Baden-Württemberg: Aerosole & SARS CoV2 – Entstehung, Infektiosität, Ausbreitung & Minderung luftgetragener, virenhaltiger Teilchen in der Atemluft, 2020. https://mwk.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mwk/intern/dateien/Anlagen_PM/20201204_Stellungnahme_Aerosole_SARS_CoV2.pdf
- European Center for Disease Control (ECDC), 2 December 2021, Implications of the further emergence and spread of the SARS-CoV-2 B.1.1.529 variant of concern (Omicron) for the EU/EEA – first update, <https://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/documents/threat-assessment-covid-19-emergence-sars-cov-2-variant-omicron-december-2021.pdf>
- GAeF, Positionspapier der Gesellschaft für Aerosolforschung zum Verständnis der Rolle von Aerosolpartikeln beim SARS-CoV-2 Infektionsgeschehen, 2021, <https://www.info.gaef.de/positionspapier>
- Gandhi, M. et al., Masks Do More Than Protect Others During COVID-19: Reducing the Inoculum of SARS-CoV-2 to Protect the Wearer, J. Gen. Intern. Med., 2020.
- Gettings, J. et al., Mask Use and Ventilation Improvements to Reduce COVID-19 Incidence in Elementary Schools - Georgia, November 16-December 11, 2020, Morb. Mortal. Wkly. Rep., 70, 779, 2021.
- Helleis, F. et al., Vergleich von Fensterlüftungssystemen und anderen Lüftungs- bzw. Luftreinigungsansätzen gegen die Aerosolübertragung von COVID-19 und für erhöhte Luftqualität in Klassenräumen, v1.1, Zenodo, 2021, <https://doi.org/10.5281/zenodo.515401>
- Kriegel, M. et al., SARS-CoV-2 Aerosol Transmission Indoors: A Closer Look at Viral Load, Infectivity, the Effectiveness of Preventive Measures and a Simple Approach for Practical Recommendations, v1, medRxiv 2021, doi: <https://doi.org/10.1101/2021.11.04.21265910>
- Lelieveld, J. et al., Model Calculations of Aerosol Transmission and Infection Risk of COVID-19 in Indoor Environments, Int. J. Environ. Res. Public Health, 17, 8114, 2020, <https://doi.org/10.3390/ijerph17218114>; Risk Calculator (<https://www.mpic.de/4747361/risk-calculator>)

Nordsiek, F. et al., Risk assessment for airborne disease transmission by poly-pathogen aerosols, PLOS One, 2021, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248004>; HEADS (aerosol.ds.mpg.de)

Paul Ehrlich-Institut (PEI), SARS-CoV-2-Testsysteme, <https://www.pei.de/DE/newsroom/dossier/coronavirus/testsysteme.html>

Pöhlker, M. L. et al. Respiratory aerosols and droplets in the transmission of infectious diseases, v4, 385, arXiv, 2021. <https://arxiv.org/abs/2103.01188>

Scheiblaue et al., Comparative sensitivity evaluation for 122 CE-marked rapid diagnostic tests for SARS-CoV-2 antigen, Germany, September 2020 to April 2021, Euro Surveill. 2021; 26(44):pii=2100441. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2021.26.44.2100441>

Seipp, H.-M. und Steffens, T., Lüfthygiene in Unterrichtsräumen unter SARS-CoV-2-Bedingungen - Teil II: Aerosolabscheidung und Beeinflussung der thermischen Behaglichkeit durch mobile Luftreiniger (MLR), Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft, 81, 135, 2021, doi.org/10.37544/0949-8036-2021-03-04-61

Steffens, T. und Seipp, H.-M., Lüfthygiene in Unterrichtsräumen unter SARS-CoV-2-Bedingungen - Teil I: Auswirkungen der Schallbelastung beim Einsatz mobiler Luftreiniger (MLR), Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft, 81, 127, 2021, doi.org/10.37544/0949-8036-2021-03-04-53

Su, H. et al., Synergetic measures needed to prevent infection waves and contain SARS-CoV-2 transmission, v2, medRxiv 2021, <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2021.11.24.21266824v2>

S3-Leitlinie Maßnahmen zur Prävention und Kontrolle der SARS-CoV-2-Übertragung in Schulen, Lebende Leitlinie Kurzfassung. AWMF-Registernummer 027-076 Kurzfassung Version 1.1, November 2021.

Talic, S. et al., Effectiveness of public health measures in reducing the incidence of covid-19, SARS-CoV-2 transmission, and covid-19 mortality: systematic review and meta-analysis. BMJ, 375:e068302, 2021.

Tobisch, A. et al., Reducing indoor particle exposure using mobile air purifiers—Experimental and numerical analysis, AIP Advances 11, 125114, 2021, <https://doi.org/10.1063/5.0064805>

Umweltbundesamt (UBA), November 2017, Anforderungen an Lüftungskonzeptionen in Gebäuden – Bildungseinrichtungen, Teil I, <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/anforderungen-an-lueftungskonzeptionen-in-gebaeuden>

Umweltbundesamt (UBA), 12. August 2020, Stellungnahme Kommission Innenraumlufthygiene zu Lüften und SARS-CoV-2. <https://www.umweltbundesamt.de/dokument/stellungnahme-kommission-innenraumlufthygiene-zu>

Umweltbundesamt (UBA), 15. Oktober 2020, Richtig Lüften in Schulen. <https://www.umweltbundesamt.de/richtig-lueften-in-schulen>

Umweltbundesamt (UBA), 11. Februar 2021, Mobile Luftreiniger in Schulen: Nur im Ausnahmefall sinnvoll, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/mobile-luftreiniger-in-schulen-nur-im-ausnahmefall>

Umweltbundesamt (UBA), 29. März 2021, Infektiöse Aerosole in Innenräumen, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/umwelteinfluesse-auf-den-menschen/innenraumluft/infektioese-aerosole-in-innenraeumen>

Umweltbundesamt (UBA), 9. Juli 2021, Lüftung, Lüftungsanlagen und mobile Luftreiniger an Schulen, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/lueftung-lueftungsanlagen-mobile-luftreiniger-an>

VDI Expertenempfehlung 4300-14, Messen von Innenraumluftverunreinigungen - Anforderungen an mobile Luftreiniger zur Reduktion der aerosolgebundenen Übertragung von Infektionskrankheiten, 2021-09

VDI 2081, Raumluftechnik - Geräuscherzeugung und Lärminderung, Teil 1, 2019-03

Zhang, X.S. and 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., 34, 2021.

Anhang

Anhang A1: Glossar und Schutzfaktoren

Wie kommen Corona-Viren in die Luft: Die Viren sind in wässrigen Tröpfchen enthalten, die mit der Atemluft aus Lunge und Mund/Nase/Rachenraum freigesetzt werden. Der Größenbereich dieser Tröpfchen reicht von Millimetern bis zu Mikrometer-Bruchteilen. Unterhalb von 0.1 mm bzw. 100 µm spricht man von Aerosol-Teilchen, die über längere Zeit in der Luft schweben können (Minuten bis Stunden) – zunehmend längere Zeit mit abnehmender Größe. Die Anzahl der luftgetragenen Viren hängt von der Konzentration der Viren in der ausgeatmeten Flüssigkeit ab und wird in Anzahl der Viren pro Milliliter angegeben. Diese ist bei aktuellen Varianten des SARS-CoV-2 Virus sehr hoch (bis zu etwa 10^9 mL⁻¹ und mehr), variiert zwischen verschiedenen Personen und im Verlauf einer Infektion, und kann schon vor dem Auftreten von Symptomen hohe Werte erreichen.

PCR- und Antigen-Tests: Regelmäßige PCR- und Antigen-Tests können eingesetzt werden, um infektiöse Personen zu identifizieren und zu isolieren, um weitere Infektionen zu vermeiden. Antigen-Tests sind weniger empfindlich als PCR-Tests. Die Nachweisgrenze der im Handel erhältlichen Antigen-Tests liegt bei etwa 10^6 mL⁻¹ (Paul-Ehrlich Institut, Scheiblauer et al. 2021). Im Vergleich zu besonders stark infektiösen Personen mit Virenlasten von bis zu etwa 10^9 mL⁻¹ ist die Virenlast von negativ getesteten Personen also mindestens eine um einen Faktor 1000 niedriger, selbst wenn sie infiziert sein sollten. Auch wenn Antigen-Tests nicht ganz ausschließen können, dass Personen infiziert sind, können sie doch besonders hoch infektiöse Personen identifizieren.

Charakteristische Schutzfaktoren: Die folgenden Werte geben näherungsweise an, um welchen Faktor indirekte Infektionsrisiken durch Aerosolübertragung mittels verschiedener Maßnahmen gesenkt werden können. Bei Kombination mehrerer Maßnahmen sind die Faktoren miteinander zu multiplizieren.

Keine Maßnahmen:	1	
Lüften/Luftreiniger:	2-10	je nach Methode und Luftwechselrate
Masken/MNS:	2-100	je nach Art und Dichtigkeit der Maske am Gesicht (multiplikativ bei Eigen- und Fremdschutz)
Antigen-Tests	bis ca. 1000	je nach Nachweisgrenze und Testhäufigkeit

Anhang A2: Lärmbelastung und Behaglichkeit

Mobile Luftreiniger, Abluftventilatoren und RLT-Anlagen erzeugen beim Betrieb Geräusche, die sich im Unterricht störend auswirken können. In den meisten Fällen erzeugt ein hoch eingestellter Volumenstrom auch einen höheren Schallpegel. Für den Betrieb an Schulen gibt es gesetzliche Vorgaben im Hinblick auf die Geräuscentwicklung (BAUA ASR A3.7).

Beim Einsatz mobiler Luftreiniger kann die Schallbelastung verringert werden, indem mehrere Luftreiniger mit jeweils geringerem Luftdurchsatz in verschiedenen Bereichen des Klassenraums betrieben werden. Dabei ist zu beachten, dass zwei gleichlaute mobile Luftreiniger den Schallpegel physikalisch um 3 dB erhöhen. Ähnliches würde für den Einsatz mehrerer Abluftventilatoren gelten. Bei der Beschaffung von Abluftventilatoren oder mobilen Luftreinigern sollten nur solche Modelle in Betracht gezogen werden, die einen ausreichend hohen Volumenstrom bei geringem Schallpegel ermöglichen.

Bei der Beurteilung von Schallbelastungen ist zwischen Grenzwerten und Hörsamkeit zu unterscheiden. Die Lautstärke von Hintergrundgeräuschen im Unterricht muss an jedem Sitzplatz im Raum niedriger als das gesprochene Wort der Lehrkraft sein (DIN 18041).

Neben der Geräuscentwicklung sind auch mögliche Beeinträchtigungen der thermischen Behaglichkeit durch Wärmeabgabe der Geräte, durch Zuglufterscheinungen oder durch den Kaltlufteintrag im Winterbetrieb bei den verschiedenen Methoden der Lüftung/Luftreinigung zu beachten (DIN EN ISO 7730).

Anhang A3: Intervall- und Dauerbetrieb von Abluftventilatoren

Intervallbetrieb: Nach Öffnung eines Kippfensters, das sich auf der Fensterfront maximal weit vom Abluftventilator entfernt befindet, wird die Raumluft während kurzer Zeitintervalle von 2-5 Minuten ausgetauscht, z. B. in der Hälfte der Unterrichtszeit (20.-22 Min.) sowie in der Pause (45.-47. Min.). Im Winter haben sich zwei kürzere Intervalle über je 2 Min. (13.-15. + 29.-30. Min. mit 50-60 m³/min) in der Unterrichtszeit bewährt und im Sommerbetrieb längere Intervalle (5 min mit 40 m³/min). Während der kurzen Betriebsintervalle strömt frische Außenluft mit hohem Impuls zunächst an die Raumdecke, durchquert den Raum und verdrängt die belastete Luft dann bis zum Abluftventilator bzw. als Abluft ins Freie. Aufgrund der hohen Lüftungseffizienz werden hohe CO₂-Reduktionswirkungen erzielt. Im Winterbetrieb treten nur geringe Absenkungen der mittleren Raumlufttemperatur sowie minimale Temperaturunterschiede zwischen Fuß-, Sitz- und Kopfhöhe auf.

Dauerbetrieb: Bei dauerhaft betriebenen Abluftventilator (600-1200 m³/h) sind verschiedene Varianten in Verwendung (Ventilator, Absaugrohr, verteilte Absaugung, Abzugshauben). Frische Außenluft strömt durch ein gekipptes Unterlicht oder abgedecktes Kipp/Drehflügelfenster passiv nach. Wird die Zuluft an den vorhandenen Heizkörpern vorbeigeleitet, können Komforteinbußen im Fußbereich bei sehr niedrigen Außentemperaturen abgemildert werden. Die Lüftungseffizienz steigt mit der Nutzung von Quelllufteffekten (lokale Auftriebsströme) und Direktabsaugungseffekten (Abzugshauben). Die entstehenden vertikalen Gradienten von Temperatur und Konzentration führen dazu, dass sich das Atemluftaerosol nicht gleichmäßig im Raum verteilt und ein Teil davon direkt entfernt werden kann. Diese Effekte sind in unterschiedlicher Ausprägung bei jeder Außentemperatur wirksam, da sie durch die Wärmefreisetzung der Personen im Raum hervorgerufen werden. Je nach verwendetem Luftvolumenstrom kann während der Pandemie der Infektionsschutz und danach die Energieeffizienz optimiert werden (ggf. mit automatisierten Kippfenstern und Nachtkühlung).