

Coronavirus-Pandemie: Wie lassen sich Infektionen durch Aerosole verhindern?

Ein wissenschaftliches Positionspapier

Der bisherige Verlauf der COVID-19-Pandemie hat gezeigt: Aerosole tragen erheblich zum Infektionsgeschehen bei – und ihre Abwehr kann ein Wiederanstiegen der Infektionszahlen maßgeblich reduzieren [1–5]. Darauf wird es spätestens im kommenden Herbst und Winter ankommen. Bislang wissen jedoch noch immer nur circa 70 Prozent der Bevölkerung ausreichend über infektiöse Aerosole Bescheid; wer weniger weiß, schützt sich auch weniger [6]. Vor diesem Hintergrund will dieses wissenschaftliche Positionspapier Aufklärung leisten und dazu beitragen, weitere Infektionswellen zu verhindern, die durch saisonale Faktoren, gefährliche neue Virusvarianten, sinkende Immunität nach der Impfung oder mangelnde Impfbereitschaft auftreten können. Dieses Positionspapier fasst die Erkenntnisse zur Ausbreitung von SARS-CoV-2-Viren durch Aerosole zusammen und soll helfen, individuelle Gefährdungen durch infektiöse Aerosole besser einzuschätzen und effektive Schutzmaßnahmen zu ergreifen.

Die Prävention von Infektionen wird langfristig bedeutsam bleiben, da die Pandemie weder schnell, noch einfach überwunden werden kann und ansteckendere Virusvarianten zirkulieren. Aktuelle Modellierungen sagen voraus, dass eine dauerhafte Kontrolle der Pandemie mit realistischen Impffanteilen allein nicht zu erreichen ist und Maßnahmen für einen nachhaltigen Infektionsschutz langfristig notwendig bleiben werden [7]. Hierbei verringern Schutzmaßnahmen gegen die Ausbreitung von Aerosolen nicht nur die Infektionsgefahr mit SARS-CoV-2 über ausgeatmete Aerosolpartikel*, sondern helfen auch, Infektionen mit anderen über die Luft übertragenen Erregern (z. B. Grippeviren) zu verringern.

* zur Definition von Aerosolpartikeln:

In diesem Text wird die technische Definition für „Aerosolpartikel“ nach VDI-Norm verwendet. Danach werden alle luftgetragenen Partikel mit einem Durchmesser von 1 nm bis einigen 100 µm als Aerosolpartikel bezeichnet. In anderen Fachdisziplinen werden flüssige Schwebeteilchen mit einem Durchmesser größer als 5 µm häufig als „Tröpfchen“ bezeichnet. Flüssige Schwebeteilchen mit einem Durchmesser größer als 5 µm sind nach dieser Definition folglich auch Aerosolpartikel.

Die hier empfohlenen Maßnahmen orientieren sich am Stand der aktuellen Forschung aus diversen Fachdisziplinen unter Berücksichtigung der Empfehlungen des Robert Koch-Instituts (RKI) [8], des Centers for Disease Control and Prevention (CDC) [9] und der Weltgesundheitsorganisation (WHO) [10].

Aus Sicht der Aerosolforschung ist es sinnvoll, zwischen **direkten** und **indirekten** Infektionen zu unterscheiden [11], weil es sonst durch die nicht einheitliche Verwendung der Begriffe Aerosolpartikel* und Tröpfchen immer wieder zu Missverständnissen kommt.

Die **direkte Infektion** bezeichnet eine Übertragung durch Aerosolpartikel, die z. B. beim Atmen, Sprechen, Husten, Niesen entstehen und in großer Anzahl über kurze Distanz (geringer als 1,5 m) direkt von Mensch zu Mensch übertragen werden. Die **direkte** Infektion ist aufgrund der hohen Virenlast bereits möglich, wenn Menschen wenige Minuten miteinander über geringe Abstände interagieren (Unterhaltung) oder beisammen sind (benachbarte Arbeitsplätze in Büros oder Schulen und in öffentlichen Verkehrsmitteln usw.).

Die **indirekte Infektion** bezeichnet eine Übertragung durch infektiöse Aerosolpartikel, die sich über mehrere Stunden in Innenräumen anreichern. Bei ausreichender Virenlast und hinreichend langen Verweilzeiten von Personen in den Räumen (mehr als 15 Minuten) können diese auch unter Einhaltung der Abstandsregeln zu Infektionen führen. Da die Aerosolpartikel mit der Luftbewegung große Strecken zurücklegen und die infektiösen Partikel über mehrere Stunden in der Luft nachweisbar sind, können Menschen sich auch infizieren, wenn die „infektiöse“ Person nicht mehr im Raum ist.

Diese beiden unterscheidbaren Übertragungswege beeinflussen maßgeblich das daraus resultierende Infektionsrisiko.

Innerhalb geschlossener Räume kann es sowohl zu **direkten** als auch zu **indirekten** Infektionen kommen. Daher sind in Innenräumen umfassende Schutzvorkehrungen erforderlich, um die Menschen vor Infektionen zu schützen.

Außerhalb geschlossener Räume (im Freien) kann es praktisch nur zu **direkten** Infektionen kommen, da **indirekte** Infektionen aufgrund der starken Verdünnung der Virenlast und dem schnellen Abtransport durch Luftströmungen sehr unwahrscheinlich sind. Daher sind im Freien oft geringere Schutzvorkehrungen notwendig als in Innenräumen.

Aus dieser Klassifizierung ergeben sich folgende Empfehlungen:

In Innenräumen: Direkte und indirekte Infektion über Aerosole verhindern

Die Übertragung von SARS-CoV-2 findet nach gegenwärtigem Stand der Forschung fast ausnahmslos in Innenräumen statt [1–5, 12, 13]. Das große Infektionsrisiko in Innenräumen hängt damit zusammen, dass hier sowohl **direkte** als auch **indirekte** Infektionen stattfinden. **Direkte Infektionen** werden begünstigt, wenn Menschen über kurze Distanz längere Zeit miteinander sprechen, ohne sich zu bewegen (z. B. an der Kasse, Hotelrezeption, Friseur, Gespräche mit Tischnachbarn in Büro oder Schule, Kontakt zum Kellner im Restaurant). **Indirekte Infektionen** erfolgen, wenn Menschen über lange Zeit in einem Raum verweilen (z. B. Schule, Kindertageseinrichtung, Restaurant, Büro, Geschäfte oder öffentlicher Nahverkehr) und bei mangelndem Luftaustausch eine hohe Virenbelastung in der Raumluft vorhanden ist. Zusätzlich muss beachtet werden, dass in schlecht belüfteten Innenräumen auch ohne direkte Begegnung eine Ansteckung stattfinden kann, wenn sich zuvor eine infektiöse Person länger darin aufgehalten hat. Daher kann es während der COVID-19-Pandemie in Innenräumen zu „Clusterinfektionen“ bzw. „Superspreading Events“ kommen, wie in Altenheimen, Wohnheimen, Betreuungseinrichtungen, Sammelunterkünften und Schulen oder auch in Aufzügen [14]. Auch bei starker Atemaktivität (z. B. bei Chor- und Orchesterproben, schwerer körperlicher Arbeit, Sport im Fitnessstudio) steigt das Risiko einer **indirekten** Infektion [15].

Hinweise zur Verringerung der Infektionsgefahr durch Aerosole in Innenräumen:

Die **indirekte** Infektionsgefahr kann in Innenräumen minimiert werden, indem sich Personen dort nur kurz aufhalten, die Konzentration infektiöser Aerosole durch starken Luftwechsel möglichst gering gehalten wird oder durch das Tragen partikelfilternder Masken**.

Ein starker Luftwechsel kann durch Fensterlüftung, fest installierte raumluftechnische Anlagen oder mobile Raumluftreiniger*** erfolgen. Ein schneller Luftaustausch durch Fensterlüftung erfordert regelmäßiges Querlüften (6-mal pro Stunde, Durchzug durch Öffnen von Fenstern auf gegenüberliegenden Raumseiten, ggf. auch in benachbarten Räumen) oder ebenso häufiges Stoßlüften (durch vollständiges Öffnen aller vorhandenen Fenster in dem genutzten Raum). Durch einen Ventilator im Fenster kann das **indirekte** Infektionsrisiko weiter reduziert werden. Fest installierte raumluftechnische Anlagen sollten bei maximalem Volumenstrom mit 100 Prozent Außenluft (keine Umluft) betrieben werden. Sind diese Maßnahmen technisch nicht möglich (keine raumluftechnischen Anlagen vorhanden, zu wenig Fenster, die geöffnet werden können), physikalisch nicht wirksam (kein Temperaturunterschied zwischen drinnen und draußen, kein ausreichender Wind vor den Fenstern), nicht praktikabel (Unterbrechung von Arbeitsabläufen) oder nicht zumutbar (zu kalt, Zugluft, zu laute Außengeräusche), ist eine Reduktion der Virenlast mit leistungsstarken mobilen Raumluftreinigern*** möglich.

***** zur Leistung von mobilen Raumluftreinigern:**

Die mobilen Raumluftreiniger sollten bei mittleren Raumgrößen (ca. 60–100 m²) und einer maximalen Personenbelegung wie in Klassenräumen in der Lage sein, mindestens das 6-Fache des Raumvolumens pro Stunde zu filtern. Bei kleineren Räumen müssen aufgrund des geringeren Raumvolumens höhere Luftwechselraten sichergestellt sein. Bei großen Räumen (Kirchen, großen Geschäften, Empfangshallen) sind geringere Luftwechselraten ausreichend. Mobile Raumluftreiniger sollten über Filter der Klasse H13 oder H14 verfügen und leiser sein als der natürliche Lärmpegel im Raum (möglichst leiser als 50 dB(A) beim erforderlichen Volumenstrom entsprechend der Raumgröße), damit sie einen ausreichenden Schutz bieten und nicht abgeschaltet werden. Es ist oft sinnvoll, ein Gerät mit höherer Leistung auf niedrigerer Stufe zu betreiben als ein kleines Gerät auf maximaler Leistung, da das größere Gerät bei gleichem Volumenstrom deutlich leiser ist als ein kleines.

**** zum Tragen von Masken:**

Korrekt getragene und dicht sitzende zertifizierte Masken (nach der DIN-Norm EN149:2001 geprüft und gemäß der Verordnung (EU) 2016/425 als persönliche Schutzausrüstung zugelassen, wie z. B. FFP2, KN95, N95) sind zur Vermeidung direkter und indirekter Infektionen am besten geeignet. Der Dichtsitz der Maske ist für ihre Effektivität mindestens genauso wichtig wie die Abscheideeffizienz des Materials, da die Viren beim Atmen primär den Weg des geringsten Widerstands folgen (Spalte am Maskenrand). Vor der indirekten Infektion bieten zertifizierte Masken einen sehr guten Fremd- und Selbstschutz. Medizinische Gesichtsmasken (OP-Masken) und Mund-Nasen-Bedeckungen hingegen bieten gemäß der Medizinprodukttrichtlinien 93/42/EWG keinen Selbstschutz vor indirekten Infektionen, weil die Aerosolpartikel am Maskenrand ungehindert ein- und ausströmen. Diese Masken bieten nur einen gewissen Fremdschutz vor direkten Infektionen, weil die schnelle Aerosolausbreitung nach vorne behindert wird. Eine Berührung der Maske während des Tragens ist zu vermeiden.

Im Gegensatz zu fest installierten raumluftechnischen Anlagen können hochwertige, leistungsstarke mobile Luftreiniger kurzfristig installiert werden [16–20]. Da die Fensterlüftung, raumluftechnische Anlagen und mobile Raumluftreiniger nur vor der **indirekten** Infektion schützen, aber keinen Schutz vor **direkten** Infektionen bieten, stellen sie keinen Ersatz für Masken jeglicher Art dar. Aber in Kombination mit Maßnahmen, die vor **direkten** Infektionen schützen, wie Abstand, OP-Masken, gute Mund-Nasen-Bedeckungen [11] oder transparente Schutzwände [21–23], ist ein umfassender Infektionsschutz in Innenräumen möglich.

Alternativ oder ergänzend zu den o. g. Maßnahmen können gute und fest sitzende partikelfiltrierende Masken** in Innenräumen genutzt werden, die sowohl vor der **direkten** als auch vor der **indirekten** Infektion einen sehr guten Schutz bieten und gleichzeitig die Freisetzung großer Mengen Aerosolpartikel in den

Raum verhindern [11]. Diese partikelfiltrierenden Masken können aber oft nicht über lange Zeiträume getragen werden und sind daher in der Regel für den Schutz über den gesamten Arbeitstag oder Schulbesuch nicht geeignet. Diese Masken sollten aber konsequent in Innenbereichen getragen werden, die anderweitig nicht geschützt werden können (z. B. Fahrstuhl, Flure, öffentlicher Nahverkehr, Taxi), und von Beschäftigten mit engem Personenkontakt (z. B. medizinischer Bereich, Pflegepersonal, Kellner). Somit stellen partikelfiltrierende Masken eine gute Möglichkeit zum eigenverantwortlichen, kurzfristigen Selbst- und Fremdschutz dar, auch wenn keine Maskenpflicht besteht und die Immunisierung der Bevölkerung fortgeschritten ist.

Im Außenbereich: Direkte Infektion über Aerosole verhindern

Übertragungen im Freien durch Aerosole sind äußerst selten, daher sind „Clusterinfektionen“, wie sie in Innenräumen beobachtet wurden, eher nicht zu erwarten.

Dafür gibt es drei wesentliche Gründe:

- 1) Im Freien gibt es kein abgeschlossenes Raumvolumen, in dem sich die Virenkonzentration mit der Zeit anreichern kann. Daher gibt es im Freien auch kein nennenswertes **indirektes** Infektionsrisiko.
- 2) Die freigesetzten virentragenden Aerosolpartikel werden aufgrund von Luftströmungen oder der Bewegung der Personen sehr schnell verdünnt und wegtransportiert.
- 3) Im Freien gehen die Menschen gewöhnlich anderen Aktivitäten nach als in Innenräumen und verweilen in der Regel nicht über lange Zeit dicht beieinander wie z. B. in der Schule. Im Freien sind die Kontaktzeiten in der Regel auch eher kurz (Begegnungen in Fußgängerzonen beim Vorbeigehen oder beim Spaziergehen, Joggen oder Radfahren).

Der letzte Punkt ist dafür verantwortlich, dass nicht nur das **indirekte** Infektionsrisiko, sondern auch das **direkte** Infektionsrisiko im Außenbereich sehr gering ist. **Direkte** Infektionen können nämlich nur dann auftreten, wenn sich Menschen über kurze Abstände länger miteinander von Angesicht zu Angesicht unterhalten oder lange dicht beisammensitzen (z. B. im Biergarten, im Wartebereich des Nahverkehrs) oder beisammenstehen (z. B. Bushaltestelle, Warteschlange, Open-Air-Veranstaltungen, Demonstrationen), sodass die freigesetzten Viren **direkt** über Aerosolpartikel von Mensch zu Mensch gelangen [11, 24].

Hinweise zur Verringerung der Infektionsgefahr durch Aerosole im Außenbereich:

Da im Außenbereich praktisch keine **indirekten** Infektionen auftreten können, ist das Infektionsrisiko grundsätzlich deutlich niedriger als im Innenbereich. Dennoch sind **direkte** Infektionen zu vermeiden, z. B. durch ausreichende Abstände von 1,5 m [11]. Können diese nicht eingehalten werden (z. B. Bushaltestelle, Warteschlange, Open-Air-Veranstaltungen, Demonstrationen), sollten auch im Außenbereich Masken getragen werden, wobei hier bereits einfache medizinische Masken oder gute Mund-Nasen-Bedeckungen einen Schutz gegen **direkte** Infektionen bieten [11].

Grundsätzlich sollte möglichst verständlich kommuniziert werden, dass COVID-19 im Wesentlichen durch Aerosole übertragen wird. Durch grafische Darstellungen, auf denen gezeigt wird, wie z. B. durch richtige Verwendung von Masken, Lüften oder mobilen Luftreinigern eine Infektion durch Aerosole verhindert werden kann, lassen sich die geltenden Schutzmaßnahmen verständlich begründen. Außerdem helfen möglichst widerspruchsfreie und einheitliche Regelungen und Verhaltensregeln dabei, die Schutzmaßnahmen einzuhalten.

Fazit:

- 1) Zur generellen Vermeidung des Kontaktes mit infektiösen Aerosolen die Aufenthaltsdauer in Innenräumen so kurz wie möglich halten und bei Zusammenkünften mehrerer Personen der Risikoeinstufung durch das Robert Koch-Institut folgen [8].
- 2) Durch häufiges Stoß- oder Querlüften möglichst Bedingungen wie im Freien schaffen.
- 3) Raumluftechnische Anlagen bei maximalem Volumenstrom mit möglichst 100 Prozent Außenluft betreiben.

- 4) Wo häufiges Stoß- und Querlüften nicht möglich oder physikalisch nicht effizient ist, nicht umgesetzt wird oder unzumutbar ist und keine fest installierten raumlufttechnischen Anlagen zur Verfügung stehen, leistungsstarke mobile Raumlufreiniger***mit geeigneten Filtern einsetzen.
- 5) Zur Vermeidung **direkter** Infektionen **zusätzlich** zu den Punkten 1) bis 4) Abstände wahren, wirksame Masken** tragen oder transparente Schutzwände nutzen, wenn Abstände oder Masken nicht möglich oder unzumutbar sind.
- 6) Wenn keine der zuvor genannten Maßnahmen realisierbar ist sowie in besonders gefährdenden ungelüfteten Innenräumen, dicht sitzende zertifizierte Masken** tragen.
- 7) Größere Veranstaltungen wie Theater, Konzerte und Gottesdienste möglichst ins Freie verlegen oder möglichst große, gut gelüftete Hallen nutzen. An Engstellen mit hoher Personendichte in Innenräumen wie Ein- und Ausgängen und sanitären Einrichtungen zertifizierte Masken** tragen und verlässliche Lüftungs- oder Luftreinigungskonzepte realisieren.

Grundsätzlich sollte immer die Kombination aus Maßnahmen zur Verhinderung von direkten Infektionen (Kontaktvermeidung, Abstandsregeln, Masken, Schutzwände) und indirekten Infektionen (Lüften, raumlufttechnische Anlagen, effiziente mobile Raumlufreiniger, geeignete Masken) zur Anwendung kommen, um eine hohe Sicherheit bei möglichst geringen Komforteinschränkungen zu erreichen.

Disclaimer:

Dieses Papier entstand auf Anregung der Kommission für interdisziplinäre Pandemieforschung der DFG unter Einbeziehung externer Autoren verschiedener Fachdisziplinen; es wird in seinen Inhalten und Schlussfolgerungen von den Mitgliedern der Kommission mehrheitlich mitgetragen und von weiteren Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern unterstützt (s. u.).

Verfasser:

Christof Asbach ist Präsident der Gesellschaft für Aerosolforschung e.V. (GAeF).

Cornelia Betsch ist Heisenberg-Professorin für Gesundheitskommunikation an der Universität Erfurt.

Eva Grill ist Professorin für Epidemiologie am Institut für Medizinische Informationsverarbeitung, Biometrie und Epidemiologie an der Ludwig-Maximilians-Universität in München.

Susanne Herold ist Professorin für Infektionserkrankungen der Lunge an der Justus-Liebig-Universität Gießen.

Christian Kähler ist Professor für Strömungsmechanik und Aerodynamik an der Universität der Bundeswehr München und Mitglied des Senats- und Bewilligungsausschusses für die Sonderforschungsbereiche der Deutschen Forschungsgemeinschaft.

Michael Meyer-Hermann ist Professor an der Technischen Universität Braunschweig und leitet die Abteilung System-Immunologie am Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung (HZI).

Stephan Ludwig ist Professor für Molekulare Virologie am Zentrum für Molekularbiologie der Entzündung an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster.

Gerhard Scheuch ist ehemaliger Präsident der International Society for Aerosols in Medicine.

Michael Schlüter ist Professor für Mehrphasenströmungen an der Technischen Universität Hamburg.

Cornelia Betsch, Eva Grill, Susanne Herold, Stephan Ludwig, Michael Meyer-Hermann und Michael Schlüter sind Mitglieder der interdisziplinären Kommission für Pandemieforschung der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG).

Diese Positionen werden unter anderem unterstützt von:

Gesellschaft für Aerosolforschung e.V.

Eberhard Bodenschatz ist Direktor am Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation in Göttingen und Mitglied der Nationalen Akademie der Wissenschaften, Leopoldina.

Gunnar Grün ist stellvertretender Institutsleiter des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik in Holzkirchen.

Detlef Lohse ist Professor für Fluidodynamik an der University Twente und Mitglied der Max-Planck-Gesellschaft und der Nationalen Akademie der Wissenschaften, Leopoldina.

Markus Raffel ist Professor für Aerodynamik an der Leibniz Universität Hannover und Abteilungsleiter am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt in Göttingen.

Jana Schroeder ist Chefärztin des Instituts für Krankenhaushygiene und Mikrobiologie der Stiftung Mathias-Spital Rheine.

Cameron Tropea ist Professor für Strömungsmechanik und Aerodynamik (im Ruhestand) und Mitglied der wissenschaftlichen Kommission des Wissenschaftsrates.

Clemens-Martin Wendtner ist Professor an der LMU München, Chefarzt an der Klinik München Schwabing und Mitglied der Nationalen Akademie der Wissenschaften, Leopoldina.

Erarbeitet mit Hinweisen aus der ständigen Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe (MAK-Kommission) und der Deutschen Physikalischen Gesellschaft.

Literatur:

- [1] G. A. Soper, The lessons of the pandemic. Science 30 May 1919 Vol. 49, Issue 1274, 501–506, DOI: 10.1126/science.49.1274.501
- [2] W. F. Wells et al., On air-borne infection. Study II. droplets and droplet nuclei. Am. J. Hyg. 20, 611–618 (1934)
- [3] W. F. Wells, Airborne Contagion and Air Hygiene: An Ecological Study of Droplet Infections (Harvard University Press, 1955)
- [4] E. C. Riley, G. Murphy, R. L. Riley, Airborne spread of measles in a suburban elementary school. Am. J. Epidemiol. 107, 421–432 (1978)
- [5] K. A. Prather et al., Airborne transmission of SARS-CoV-2. Science 370, 303–304 (2020)
- [6] COSMO – COVID-19 Snapshot Monitoring, unter: <https://projekte.uni-erfurt.de/cosmo2020/web/topic/wissen-verhalten/20-wissensvergleich/> (abgerufen am 17.06.2021)
- [7] S. Moore, E. M. Hill, M. J. Tildesley, L. Dyson, M. J. Keeling, Vaccination and non-pharmaceutical interventions for COVID-19: a mathematical modelling study. Lancet Infect Dis. 2021 Jun; 21(6): 793–802. DOI: 10.1016/S1473-3099(21)00143-2. Epub 2021 Mar 18. PMID: 33743847; PMCID: PMC7972312
- [8] RKI: ControlCOVID, Optionen zur stufenweisen Rücknahme der COVID-19-bedingten Maßnahmen bis Ende des Sommers 2021, https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Downloads/Stufenplan.pdf?__blob=publicationFile (abgerufen am 24.06.2021)
- [9] CDC: Ventilation in Schools and Childcare Programs, <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/community/schools-childcare/ventilation.html> (abgerufen am 24.06.2021)
- [10] WHO: Roadmap to improve and ensure good indoor ventilation in the context of COVID-19, ISBN 978-92-4-002128-0 (electronic version), ISBN 978-92-4-002129-7 (print version), World Health Organization 2021, <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/339857/9789240021280-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [11] C. J. Kähler, R. Hain, Fundamental protective mechanisms of face masks against droplet infections. Journal of aerosol science 148, 105617, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021850220301063>

- [12] M. Z. Bazant, J. W. M. Bush, PNAS 118: e2018995118, <https://doi.org/10.1073/pnas.2018995118>
- [13] H. Qian, T. Miao, L. Liu, X. Zheng, D. Luo, Y. Li, Indoor transmission of SARS-CoV-2, 31: 639–645, 2020, <https://doi.org/10.1111/ina.12766>
- [14] WDR Nachrichten: <https://www1.wdr.de/nachrichten/rheinland/velbert-quarantaene-100.html> (abgerufen am 17.06.2021)
- [15] Lagebericht des RKI (Tabelle 2 und 3): https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Situationsberichte/Mai_2021/2021-05-03-de.pdf?__blob=publicationFile (abgerufen am 17.06.2021)
- [16] M. Küpper, C. Asbach, U. Schneiderwind, H. Finger, D. Spiegelhoff, S. Schumacher, 2019, Testing of an indoor air cleaner for particulate pollutants under realistic conditions in an office room. Aerosol and Air Quality Research 19: 1655–1665, DOI: 10.4209/aaqr.2019.01.0029
- [17] J. Curtius, M. Granzin, J. Schrod, 2020, Testing mobile air purifiers in a school classroom: Reducing the airborne transmission risk for SARS-CoV-2. medRxiv 2020.10.02.20205633, <https://doi.org/10.1101/2020.10.02.20205633>
- [18] P. M. Bluysen, M. Ortiz, D. Zhang, 2020, The effect of a mobile HEPA filter system on 'infectious' aerosols, sound and air velocity in the SenseLab. Building and Environment 188:107475, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132320308428>
- [19] C. J. Kähler, T. Fuchs, R. Hain, 2020, Quantification of a Viromed Klinik Akut V 500 disinfection device to reduce the indirect risk of SARS-CoV-2 infection by aerosol particles, medRxiv 2020.10.23.20218099; <https://doi.org/10.1101/2020.10.23.20218099>
- [20] C. J. Kähler, T. Fuchs, R. Hain, 2020, Can mobile indoor air cleaners effectively reduce an indirect risk of SARS-CoV-2 infection by aerosols? DOI: 10.13140/RG.2.2.14081.68963, https://www.unibw.de/lrt7-en/indoor_air_cleaner.pdf
- [21] C. J. Kähler, T. Fuchs, B. Mutsch, R. Hain, 2020, School education during the SARS-CoV-2 pandemic – Which concept is safe, feasible and environmentally sound? medRxiv 2020.10.12.20211219; <https://doi.org/10.1101/2020.10.12.20211219>
- [22] C. J. Kähler, T. Fuchs, R. Hain, 2021, Qualification of the UniBw protection concept in different rooms of the Obermenzinger high school, medRxiv 2021.03.12.21253265; <https://doi.org/10.1101/2021.03.12.21253265>
- [23] L. Schröter, PK56: Trendwende durch Trennwände – Schutzscheiben vermindern das Risiko von Corona-Infektionen, Deutsche Physikalische Gesellschaft e. V., https://www.dpg-physik.de/veroeffentlichungen/publikationen/physikkonkret/pk56_trennwaende_corona
- [24] M. Abkarian, S. Mendez, N. Xue, F. Yang, H. A. Stone, Speech can produce jet-like transport relevant to asymptomatic spreading of virus. PNAS 117: 25237–25245, 2020; <https://doi.org/10.1073/pnas.2012156117>

Redaktioneller Stand: 1. Juli 2021

Weitere Informationen stehen auch auf der DFG-Webseite der interdisziplinären Kommission für Pandemieforschung:

www.dfg.de/foerderung/corona_informationen/pandemie_kommission

Korrespondenzautor: Michael Schlüter (michael.schlueter@tuhh.de)