

Das Risiko einer Übertragung von SARS-CoV-2 in Innenräumen lässt sich durch geeignete Lüftungsmaßnahmen reduzieren

Stellungnahme der Kommission Innenraumlufthygiene am Umweltbundesamt

Der Herbst naht und das private und gesellschaftliche Leben wird sich wieder vermehrt in Innenräume verlagern. Der Schulbetrieb kehrt - unter länderspezifischen Bedingungen - zum regulären Unterricht in Klassenräumen zurück. Auch in geschlossenen Räumlichkeiten wie Großraumbüros, Hörsälen, Sportstätten, Theatern, Kinos und Restaurants ist vermehrt mit Versammlungen und Veranstaltungen zu rechnen. Angesichts der weiter bestehenden SARS-CoV-2-Pandemie sind in Innenräumen jedoch Vorsichtsmaßnahmen zu treffen. Das sachgerechte Lüften und die sachgerechte Anwendung von Lüftungstechniken (RLT-Anlagen) spielen dabei neben dem Tragen einer Mund-Nasen-Bedeckung und dem Einhalten der Hygiene- und Abstandsregeln eine entscheidende Rolle.

- **Die folgenden Empfehlungen der Innenraumlufthygiene-Kommission (IRK) am Umweltbundesamt sollen Raumnutzenden und Gebäudebetreibenden helfen, sich richtig zu verhalten, um das Risiko für SARS-CoV-2-Übertragungen und damit auch das Risiko für daraus resultierende Erkrankungen deutlich zu verringern.**

Die pandemische Ausbreitung des Virus SARS-CoV-2 hat unser privates, berufliches und gesellschaftliches Leben massiv beeinflusst und beeinträchtigt. Das Robert-Koch-Institut (RKI) hat ebenso wie eine Gruppe internationaler Wissenschaftler*innen den möglichen Übertragungsweg von SARS-CoV-2 über Aerosole in der Luft erkannt und beschrieben [1, 2]. Auch die Weltgesundheitsorganisation (WHO) weist darauf hin, dass SARS-CoV-2 neben der direkten Tröpfcheninfektion auch über luftgetragene Partikel übertragen werden kann [3].

Das RKI nennt als Hauptübertragungsweg für SARS-CoV-2 die respiratorische Aufnahme virushaltiger Flüssigkeitspartikel, die beim Atmen, Husten, Sprechen und Niesen entstehen [1]. Die Zahl und die Durchmesser der von einem Menschen erzeugten, potenziell virushaltigen Partikel hängt stark von der Atemfrequenz und der Aktivität ab [4]. Selbst bei ruhiger Atmung können virushaltige Partikel freigesetzt werden. Das Infektionsrisiko wird durch gleichzeitige Aktivitäten vieler Personen in Gebäuden bzw. durch den Aufenthalt vieler Personen auf engem Raum begünstigt. Zu den Aktivitäten, die vermehrt Partikel freisetzen, gehören lautes Sprechen, Rufen, Singen, sportliche Aktivität oder auch lautstarke Unterstützung bei Sportveranstaltungen. Betroffen sind unter anderem Schulen, Sport- und Konzerthallen und diverse Veranstaltungsräume.

Coronaviren selbst haben einen Durchmesser von ca. 0,12-0,16 μm (Mikrometer), werden aber meist als Bestandteil größerer Partikel emittiert. Im medizinischen Sprachgebrauch werden diese Partikel häufig in „Tröpfchen“ (Durchmesser $> 5 \mu\text{m}$) bzw. „Aerosole“ (Durchmesser $< 5 \mu\text{m}$) unterschieden (man spricht üblicherweise von Tröpfchen-Infektionen). Bezüglich ihrer Eigenschaften gibt es jedoch keine scharfe Grenze zwischen „Tröpfchen“ bzw. „Aerosolen“, der Übergang ist fließend. Außerdem verändern sich die in die Umgebung freigesetzten Aerosolpartikel je nach Umgebungsbedingungen bezüglich ihrer Größe und Zusammensetzung. Theoretisch würde ein Flüssigkeitströpfchen mit einem Durchmesser von 100 μm , das in Atemhöhe (ca. 1,5 m) den Atemtrakt verlässt, innerhalb von wenigen Sekunden zu Boden sinken. An der Luft schrumpfen die exhaliierten Tröpfchen in der Regel jedoch rasch infolge der Verdunstung eines Großteils ihres Wasseranteils. Dabei entstehen kleinere Partikel, die deutlich länger – unter Umständen mehrere Stunden – in der Luft verbleiben können. Unter Laborbedingungen wurde festgestellt, dass vermehrungsfähige Viren in luftgetragenen Partikeln bis zu 3 Stunden nach der Freisetzung nachweisbar sind [5]. In der Außenluft werden potenziell virushaltige Partikel in Verbindung mit den fast immer vorhandenen Luftbewegungen (Wind, Turbulenzen) rasch verdünnt. Dadurch ist das Risiko einer Übertragung von SARS-CoV-2 durch Aerosole im Außenbereich sehr gering, wenn der Sicherheitsabstand eingehalten wird.

In Mitteleuropa spielt sich ein Großteil unseres Tagesablaufs, ca. 80-90%, jedoch nicht im Freien, sondern in geschlossenen Räumen ab. Die Aufenthaltsorte wechseln dabei von der Wohnung, über Transportmittel (Busse, Bahn, PKW) zum Arbeitsplatz (z.B. Büros), Schulen, Universitäten, Einkaufsräumen, Kinos, Theater etc. Das Raumklima in Innenräumen und Verkehrsmittel-Kabinen wird durch die Temperatur, relative Luftfeuchte, Luftbewegungen und den Luftwechsel beeinflusst, die von den Umgebungsbedingungen, wesentlich aber von der vorgesehenen Nutzung abhängen.

Nur in den wenigsten Fällen kann in Innenräumen von ruhender Luft ausgegangen werden. Die Bewegung von luftgetragenen Partikeln wird daher weniger durch Deposition (Sedimentationsprozesse) und Diffusion (physikalische Verteilung), sondern vielmehr durch Luftströmungen bestimmt. Strömungen entstehen durch Luftzufuhr und -verteilung beim Öffnen von Fenstern und Türen („freies“ Lüften), über technische Lüftungseinrichtungen (RLT-Anlagen), aber auch durch Temperaturunterschiede (Konvektion). Ferner spielen Temperatur- und Druckunterschiede zwischen der Innen- und Außenluft eine wichtige Rolle für Luftbewegungen.

Auch menschliche Bewegung und Tätigkeiten (Kochen, Reinigen) führen zu Luftbewegungen im Innenraum. Daher können Partikel innerhalb kurzer Zeit über mehrere Meter transportiert und im Innenraum verteilt werden. Das gilt auch für potenziell virushaltige Partikel.

- **Im Sinne des Infektionsschutzes sollten Innenräume mit einem möglichst hohen Luftaustausch und Frischluftanteil versorgt werden. Dies gilt gleichermaßen für freies Lüften über Fenster wie beim Einsatz von raumlufttechnischen (RLT-) Anlagen.**

Raumlufttechnische (RLT-) Anlagen sollen frische Luft unabhängig von Nutzereinflüssen von außen den Räumen zuführen (Zuluft) und die „verbrauchte“ Luft (Abluft) aus den Räumen nach draußen befördern. Oftmals wird jedoch ein Teil der Abluft wieder der Zuluft beigemischt (Umluft). RLT-Anlagen können ohne und mit zusätzlicher Klimatisierung (Raumkühlung, Erwärmung, Ent- und Befeuchtung) arbeiten.

- ▶ **Eine möglichst hohe Frischluftzufuhr ist eine der wirksamsten Methoden, potenziell virushaltige Aerosole aus Innenräumen zu entfernen.**

Lüftungsanlagen, die mit einem hohen Umluftanteil betrieben werden, stellen unter bestimmten Umständen eine Gefahrenquelle dar. Bei einem hohen Umluftanteil in RLT-Anlagen in Verbindung mit unzureichender Filterung (siehe unten) kann es, wenn sich eine oder mehrere infizierte Personen, die Erreger ausscheiden, im Raum aufhalten, über die Zeit zu einer Anreicherung von infektiösen Aerosolen in der Luft kommen. Es gibt Hinweise, dass ein SARS-CoV-2 Ausbruch im industriellen Produktionsbereich auf einen hohen Umluftanteil der dortigen RLT-Anlage zurückzuführen sein könnte [6]. Erhöhte Sicherheit kann durch Abscheidung und damit Entfernung der Partikel aus dem Umluftstrom mittels hochabscheidender Schwebstofffilter (HEPA-Filter) der Klassen H 13 und H 14 erreicht werden. Diese finden sich üblicherweise aber nur bei dreistufigen Filteranlagen wie etwa in OP-Sälen in Krankenhäusern (siehe Anmerkungen unten).

Die Luftwechselrate ist definiert als die pro Zeiteinheit mit dem Raumvolumen ausgetauschte Luftmenge. Eine Luftwechselzahl von 1 pro Stunde (h^{-1}) bedeutet, dass z.B. bei einem Raum von 50 m^3 Volumen pro Stunde 50 m^3 Luft bei konstantem Druck zu- und abgeführt wird. Theoretischen Betrachtungen zufolge verringert sich die zu einem bestimmten Zeitpunkt im Innenraum freigesetzte Stoffmenge bei einem Luftwechsel von 1 pro Stunde innerhalb einer Stunde um ca. 60%, bei höheren Luftwechselraten entsprechend mehr. Näherungsweise gilt dies auch für z.B. durch Niesen freigesetzte Partikel. Intensives Lüften reduziert die Menge potenziell infektiöser Aerosole deutlich. Auch Partikel, die laufend durch die ruhige Atmung von Personen in Innenräumen entstehen, werden bei höherem Luftwechsel entsprechend schneller entfernt bzw. verdünnt. Neben der Luftwechselrate ist, wie bereits beschrieben, auch die Art der Luftführung (Luftströmungen und -turbulenzen, bei RLT-Anlagen: Anteil von Frischluft bzw. Umluft) entscheidend für den Abtransport von Aerosolen aus dem Innenraum.

In natürlich belüfteten Räumen herrscht bei geschlossenen Fenstern und Türen meist nur ein geringer Luftwechsel von 0,01 - 0,3 pro Stunde (in älteren Gebäuden etwas mehr, in modernen, energieeffizienten Gebäuden ohne Lüftungstechnik eher weniger). Lüftungsanlagen im Wohnungsbau und in Büros sind meist auf einen Luftwechsel von 0,4 - 0,6 pro Stunde eingestellt. RLT-Anlagen im Wohnungsbau sind bis heute jedoch eher selten. Um das Risiko einer Übertragung von SARS-CoV-2 in Innenräumen zu verringern, ist bei natürlich belüfteten Räumen (ohne Lüftungstechnik) eine zusätzliche Lüftung durch die Nutzer*innen erforderlich.

- ▶ **Die folgenden Faustregeln, die aus Messungen und praktischen Erfahrungen in den letzten Jahrzehnten im Bereich Wohnungs- und Schullüftung zum Abtransport chemischer und biologischer Kontaminationen resultieren, können dabei Anwendung finden:**

Wohnungen:

Für den täglichen Gebrauch gilt, dass ein effektiver Luftaustausch in Wohnungen (übliche Größen, relativ geringe Personenbelegung, normale Wohnnutzung ohne Besucher) durch das Lüften über weit geöffnete Fenster (Stoßlüftung) für mindestens 10-15 Minuten (im Sommer 20-30 Minuten, im Winter bei großen Temperaturdifferenzen zwischen Innen und Außen können auch 5 Minuten reichen) erzielt wird. Im Sommer verbessert sich bei hohen Außentemperaturen der Luftaustausch in den frühen Morgen- und späten Abendstunden. Noch effektiver ist das Querstromlüften mittels Öffnens gegenüberliegender Fenster. Dann wird die Luft im Raum meist binnen weniger Minuten vollständig ausgetauscht. Bei Anwesenheit vieler Personen im Raum (z.B. Familienbesuch) empfiehlt sich während der Besuchsdauer zu lüften.

Schulen:

Bei Klassenraumgrößen von ca. 60-75 m³ und einer Schüleranzahl von üblicherweise 20-30 Kindern pro Klasse gilt folgendes. Hier soll in jeder (!) Unterrichtspause intensiv bei weit geöffneten Fenstern gelüftet werden [7], bei Unterrichtseinheiten von mehr als 45 Minuten Dauer, d.h. auch in Doppelstunden oder wenn nur eine kurze Pause (5 Minuten) zwischen den Unterrichtseinheiten vorgesehen ist, auch während des Unterrichtes. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass es durch die Lüftung nicht zu einer Verbreitung potenziell infektiöser Aerosole in andere Räume kommt. Ist z. B. wegen nicht vorhandener Fenster im Flur keine Querlüftung möglich, soll die Tür zum Flur geschlossen bleiben. Sind raumluftechnische Anlagen in den Schulen vorhanden, sollten diese bei der derzeitigen Pandemie möglichst durchgehend laufen (vgl. Anmerkungen zu Lüftungsanlagen weiter unten). CO₂-Sensoren (Erklärung siehe unten) können helfen, die Lüftungsnotwendigkeit rasch zu erkennen.

- **Kommt es während des Unterrichts bei geschlossenen Fenstern bei einzelnen Personen zu Krankheitssymptomen wie wiederholtes Niesen oder Husten sollte unmittelbar gelüftet werden (Stoßlüftung wie oben beschrieben). Das gilt im Übrigen auch zu Hause oder im Büro.**

Der Einsatz von mobilen Luftreinigern mit integrierten HEPA-Filtern in Klassenräumen reicht nach Ansicht der IRK nicht aus, um wirkungsvoll über die gesamte Unterrichtsdauer Schwebepartikel (z. B. Viren) aus der Raumluft zu entfernen. Dazu wäre eine exakte Erfassung der Luftführung und -strömung im Raum ebenso erforderlich, wie eine gezielte Platzierung der mobilen Geräte. Auch die Höhe des Luftdurchsatzes müsste exakt an die örtlichen Gegebenheiten und Raumbelastung angepasst sein. Der Einsatz solcher Geräte kann Lüftungsmaßnahmen somit nicht ersetzen und sollte allenfalls dazu flankierend in solchen Fällen erfolgen, wo eine besonders hohe Anzahl an Schülerinnen und Schülern (z.B. aufgrund von Zusammenlegungen verschiedener Klassen wegen Erkrankung des Lehrkörpers) sich gleichzeitig im Raum aufhält. Eine Behandlung der Luftinhaltsstoffe mittels Ozon oder UV-Licht wird aus gesundheitlichen ebenso wie aus Sicherheitsgründen von der IRK abgelehnt. Durch Ozonung und UV-induzierte Reaktionen organischer Substanzen können nicht vorhersagbare Sekundärverbindungen in die Raumluft freigesetzt werden [13]. Beim UV-C sind es auch vor allem Sicherheitsaspekte, weshalb der Einsatz im nicht gewerblichen Bereich unterbleiben sollte.

Sporträume:

Auch in Räumen, in denen Menschen gemeinsam sportlich aktiv sind, muss eine effektive Lüftung sichergestellt sein. Schon bei geringer Belastung ist die Atemfrequenz gegenüber der Situation in Ruhe deutlich erhöht. Die Menge an emittierten Partikeln über die Atmung steigt mit der körperlichen Aktivität [3]. Daher werden für derartige Räume generell Luftwechselzahlen von 5 pro Stunde oder höher empfohlen [8]. Allerdings sollten dabei keine Zugerscheinungen im Raum auftreten.

Beim Neubau oder der Sanierung von Schulen empfiehlt das Umweltbundesamt zum Erreichen einer guten Raumluftqualität im Unterricht den Einbau von Lüftungsanlagen [9]. Generell sollte beim Einsatz von RLT-Anlagen in Schulen immer auch die Öffnung der Fenster möglich sein, schon um die Akzeptanz für Lüftungstechniken (einige Menschen haben Beklemmung sich in Räumen aufzuhalten, bei denen sie nicht selbst lüften können) zu erhöhen.

RLT-Anlagen mit Befeuchtungsfunktion sollten so eingestellt werden, dass in den Räumen eine relative Luftfeuchte zwischen 40 und 60 % erreicht wird – dies ist aus hygienischer Sicht (und unabhängig von den Herausforderungen mit SARS-CoV-2) der Idealbereich für den Aufenthalt im Innenraum. Trockenere Luft (unter 20-30 % rel. Feuchte) führt zu einem vermehrten Austrocknen der Atemwege der Nutzer*innen. Zu feuchte Luft (je nach Jahreszeit oberhalb von 50-55 % (Winter) oder 60 % (Sommer)) kann wiederum mittel- und langfristig das Schimmelwachstum in Innenräumen begünstigen [10]. Das gilt in Schulen, Wohnungen und Büros gleichermaßen.

Grundsätzlich ist darauf zu achten, dass zentrale Lüftungsanlagen regelmäßig durch Fachpersonal gewartet und hinsichtlich ihrer korrekten Funktion überprüft werden. Durch unzureichende Instandhaltung können beispielsweise Fehlströmungen auftreten, die dazu führen, dass Abluft aus einem Gebäudebereich als Zuluft in einen anderen Gebäudebereich gelangen kann. In solchen Fällen wäre eine Verbreitung von Viren über die Lüftungsanlage theoretisch nicht ausgeschlossen.

Es macht unter Nachhaltigkeitsaspekten (Energieverbrauch, Betriebskosten) keinen Sinn, RLT-Anlagen immer unter Vollast (technisch je nach Anlage höchstmöglicher Luftvolumenstrom) laufen zu lassen. Bedarfsgerechte Regelungen berücksichtigen unterschiedliche Belastungssituationen der Raumluft und regeln den Luftvolumenstrom entsprechend [9].

- ▶ **Zur Reduzierung des Risikos einer Übertragung von SARS-CoV-2 empfiehlt die IRK, in Räumen, in denen sich Personen aufhalten, möglichst entweder nur Zuluft von außen (100 % Frischluft) zuzuführen, oder bei RLT-Anlagen mit Umluftanteil die Anlagen mit zusätzlicher Filterung (HEPA-Filter) zu versehen.**

Dies ist jedoch bei bestehenden Anlagen mit lediglich zwei Filterstufen, wie sie in Büros, Restaurants oder Veranstaltungshallen üblich sind, oft nicht ohne größere technische Eingriffe möglich. Zweitstufige Anlagen reichen zur wirksamen Retention von virushaltigen Partikeln nicht aus. Besonders brisant wirkt sich dies beim Umluftanteil aus. Um infektiöse Partikel wirksam zurückzuhalten, bedarf es einer dritten Filterstufe mit hochabscheidenden Filtern (HEPA), die zudem regelmäßig zu wechseln sind.

- ▶ **Können RLT-Anlagen nicht nachgerüstet werden, bleibt kurzfristig nur das zusätzliche Lüften bei Bedarf über die Fenster und mittelfristig der Umbau der Anlagentechnik.**

In Räumen mit hoher Personenbelegung, wie z. B. Schulen, können sogenannte **CO₂-Ampeln** als grober Anhaltspunkt für gute oder schlechte Lüftung dienen. Kohlendioxid (CO₂) gilt seit langem als guter Indikator für den Luftwechsel, eine CO₂-Konzentration von höchstens 1000 ppm (0,1 Vol-%) zeigt unter normalen Bedingungen einen hygienisch ausreichenden Luftwechsel an [7, 9]. CO₂-Ampeln können somit einen raschen und einfachen Hinweis liefern, ob und wann Lüftung notwendig ist. Der Einsatz von CO₂-Ampeln ist besonders für Schulen zu empfehlen, da die wenigsten Schulen bis heute über RLT-Anlagen verfügen. Dabei sollten die RLT-Anlagen bereits bei der Planung so ausgelegt sein, dass sie im Mittel über die Dauer einer Unterrichtseinheit 1000 ppm CO₂ einhalten. An diesem Wert sollten sich auch die CO₂-Ampeln orientieren.

Die Installation von CO₂-Sensoren bedeutet allerdings nicht, dass eine CO₂-Konzentration kleiner 1000 ppm grundsätzlich vor der Infektion mit SARS-CoV-2 schützt. Umgekehrt weisen aber CO₂-Konzentrationen deutlich oder dauerhaft größer als 1000 ppm in Schulen, aber auch in Büros und Privathaushalten, auf ein unzureichendes Lüftungsmanagement mit potenziell erhöhtem Infektionsrisiko hin. Dies gilt nicht nur für Fensterlüftung, sondern auch beim Betrieb von Lüftungsanlagen, die, wenn sie korrekt eingestellt und dimensioniert sind, Vorteile bieten [9].

Inzwischen wurde wissenschaftlich belegt, dass das Tragen einer Mund-Nasen-Bedeckung die Freisetzung infektiöser Aerosole reduziert bzw. verzögert [11]. Die konsequente Verwendung von Mund-Nasen-Bedeckungen kann Bestandteil einer Strategie sein, die Ausbreitung von SARS-CoV-2 zu verlangsamen [1;12]. Der Wirkungsgrad dieser Mund-Nasen-Bedeckung nimmt mit der Partikelgröße der ausgeatmeten Partikel zu. Kleinere Partikel werden weniger gut zurückgehalten als größere.

- **Die IRK macht deutlich, dass das Tragen einer Mund-Nasen-Bedeckung und die Einhaltung der Hygiene- und Abstandsregeln in Innenräumen nur dann ausreichend wirksam sind, wenn gleichzeitig für einen angemessenen Luftaustausch über Fensterlüftung oder Lüftungstechnik im Raum gesorgt wird.**

Angemessen bedeutet in der derzeitigen Situation für eine möglichst hohe Zuführung von Frischluft zu sorgen, welche eine Innenraumluftqualität möglichst annähernd an die Außenluft herstellt.

SARS-CoV-2 stellt unsere Gesellschaft vor unerwartete und gänzlich neue logistische Herausforderungen. Mittlerweile haben wir erkannt, dass in unzureichend belüfteten Innenräumen das Risiko einer Ansteckung mit SARS-CoV-2 erhöht sein kann. Neben der Beachtung der allgemeinen Hygiene- und Abstandsregeln [1] und dem Tragen einer Mund-Nasen-Bedeckung kann dieses Risiko durch konsequente Lüftung und sachgerechten Einsatz von Lüftungstechniken in Innenräumen deutlich reduziert werden, auch wenn dadurch kein 100 prozentiger Schutz vor Infektionen mit SARS-CoV-2 in Innenräumen erreicht werden kann.

Mitwirkende

Dr. rer. nat. Wolfram Birmili
Umweltbundesamt
FG II 1.3 – Innenraumhygiene,
gesundheitsbezogene Umweltbelastungen
Postfach 1406
06819 Dessau-Roßlau

Prof. Dr. rer. nat. Melanie M. Brinkmann
Technische Universität Braunschweig
Institute of Genetics – Biozentrum
Spielmannstr. 7
38106 Braunschweig

Dr. Daniel de Graaf
FG III 1.4 – Stoffbezogene Produktfragen
Postfach 1406
06813 Dessau-Roßlau

Prof. Dr. med. Caroline Herr
Fachärztin für Hygiene und Umweltmedizin
Bayerisches Landesamt für Gesundheit und
Lebensmittelsicherheit
Pfarrstr. 3
80538 München

Dr.-Ing. Heinz-Jörn Moriske, DirProf
Umweltbundesamt
Beratung Umwelthygiene FB II (BU)
Postfach 1406
06813 Dessau-Roßlau

Dr. Friederike Neisel
Bundesinstitut für Risikobewertung
Fachgruppe Chemikalienexposition und
Transport gefährlicher Güter
Abteilung Exposition
Max-Dohrn-Straße 8–10, 10589 Berlin

Dr. Wolfgang Plehn, DirProf
Umweltbundesamt
FG III 1.4 – Stoffbezogene Produktfragen
Postfach 1406, 06813 Dessau-Roßlau

PD Dr. rer. nat. Hans-Christoph Selinka
Umweltbundesamt
FG II 1.4 – Mikrobiologische Risiken
Postfach 1406
06819 Dessau-Roßlau

Dr.-Ing. Christian Scherer
Fraunhofer-Institut für Bauphysik
Abt. Umwelt, Hygiene und Sensorik
Fraunhoferstr. 10
83626 Valley

Dr. med. Wolfgang Straff
Umweltbundesamt
FG II 1.5 – Umweltmedizin und
gesundheitliche Bewertung
Postfach 1406
06813 Dessau-Roßlau

Dr. rer. nat. Regine Szewzyk
Umweltbundesamt
FG II 1.4 – Mikrobiologische Risiken
Postfach 1406
06819 Dessau-Roßlau

Prof. Dr. rer. nat. Tunga Salthammer
Fraunhofer Institut für Holzforschung
Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI)
Bienroder Weg 54E
38108 Braunschweig

Dipl. Chem. Jörg Thumulla
anbus analytik GmbH
Gesellschaft für Gebäuediagnostik,
Umweltanalytik und
Umweltkommunikation
Mathildenstr. 48
90762 Fürth

Literatur

1. Robert-Koch-Institut: SARS-CoV-2 Steckbrief zur Coronavirus-Krankheit-2019 (COVID-19), abgerufen am 06.08.2020.
2. Morawska L., Milton D. (2020) It is time to address airborne transmission of COVID-19. *Clinical Infectious Diseases*, <https://doi.org/10.1093/cid/ciaa939>.
3. [WHO] Transmission of SARS-CoV-2: implications for infection prevention precautions. 9 July 2020. <https://www.who.int/news-room/commentaries/detail/transmission-of-sars-cov-2-implications-for-infection-prevention-precautions>.
4. Buonanno, G., Stabile, L., & Morawska, L. (2020). Estimation of airborne viral emission: quanta emission rate of SARS-CoV-2 for infection risk assessment. *Environment International*, 141, 105794. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105794>
5. Van Doremalen N., Bushmaker T., Morris D.H. et al. (2020) Aerosol and surface stability of SARS-CoV-1 as compared with SARS-CoV-2. *The New England Journal of Medicine* 382, 1564-1567, <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/nejmc2004973>.
6. Günther T., Czech-Sioli M., Daniela Indenbirken D. et al. (2020) Investigation of a superspreading event preceding the largest meat processing plant-related SARS-Coronavirus 2 outbreak in Germany. Available online: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3654517.
7. Umweltbundesamt: Leitfaden für die Innenraumlufthygiene in Schulgebäuden. Dessau-Roßlau 2009. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/leitfaden-fuer-innenraumhygiene-in-schulgebaeuden>.
8. Salonen H., Salthammer T., Morawska L. (2020) Human exposure to air contaminants in indoor sports environments. *Indoor Air*, <https://doi.org/10.1111/ina.12718>
9. Umweltbundesamt: Anforderungen an Lüftungskonzeptionen in Gebäuden, Teil I. Bildungseinrichtungen (2017) Dessau-Roßlau 2017, <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/anforderungen-an-lueftungskonzeptionen-in-gebaeuden>
10. Umweltbundesamt: Leitfaden zur Vorbeugung, Erfassung und Sanierung von Schimmelfeul in Gebäuden. Dessau-Roßlau 2017, <https://www.umweltbundesamt.de/www.umweltbundesamt.de/schimmelleitfaden>.
11. Prather, K.A., Wang, C.C., Schooley, R.T. (2020). Reducing transmission of SARS-CoV-2. *Science*, 368, 1422-1424, <https://doi.org/10.1126/science.abc6197>
12. Stellungnahme der Ad-hoc-Kommission SARS-CoV-2 der Gesellschaft für Virologie: SARS-CoV-2-Präventionsmassnahmen bei Schulbeginn nach den Sommerferien, 06.08.2020, https://www.g-f-v.org/sites/default/files/Stellungnahme%20GfV_Bildungseinrichtungen_20200806_final_sent.pdf
13. Innenraumlufthygiene-Kommission, 2015. Stellungnahme der Innenraumlufthygiene-Kommission (IRK) zu Luftreinigern. *Bundesgesundheitsblatt* 58, 1192, <https://doi.org/10.1007/s00103-015-2228-0>.