Bundesministerium
Klimaschutz, Umwelt,
Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie

Positionspapier zu lüftungsunterstützenden Maßnahmen zur Infektionsprophylaxe – Einsatz von Luftreinigern und Einbringung von Wirkstoffen in die Innenraumluft

Positionspapier des Arbeitskreises Innenraumluft

Wien, 2022

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK), Radetzkystraße 2, 1030 Wien
Autorinnen und Autoren: Mitglieder des Arbeitskreises Innenraumluft im BMK
Basis von Textteilen: Stellungnahme der Kommission Innenraumlufthygiene am deutschen Umweltbundesamt zu Luftreinigern
Weitere Expertinnen und Experten: DI Gabriele Ettenberger-Bornberg, Dr. Peter Schindler, DI (FH) Christof Tallian, DI Felix Twrdik, Mag. Christoph Zutz, PhD
Gesamtumsetzung: DI Peter Tappler, Assoz.-Prof. PD DI Dr. Hans-Peter Hutter
Wien, 2022. Stand: 14. Juni 2022

Copyright und Haftung:
Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet, alle sonstigen Rechte sind ohne schriftliche Zustimmung des Medieninhabers unzulässig.
Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung des BMK und der Autoren ausgeschlossen ist. Rechtausführungen stellen die unverbindliche Meinung der Autoren dar und können der Rechtsprechung der unabhängigen Gerichte keinesfalls vorgreifen.

Werden Personenbezeichnungen aufgrund der besseren Lesbarkeit lediglich in der männlichen oder weiblichen Form verwendet, so schließt dies das jeweils andere Geschlecht mit ein.

Vorwort

Der vorliegende Text basiert zum Teil auf einem Fachartikel der Innenraumlufthygiene-Kommission (IRK) des deutschen Umweltbundesamtes. Es wurden gegenüber dem Originaltext einige, vor allem österreichspezifische Ergänzungen, Streichungen sowie Anpassungen durchgeführt. Der Arbeitskreis Innenraumluft im Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie dankt dem IRK und den Autoren für die Möglichkeit und Erlaubnis, Textteile und Erkenntnisse für das vorliegende Positionspapier verwenden zu dürfen.

Der Originalartikel ist verfügbar unter:
umweltbundesamt.de/dokument/stellungnahme-IRK-luftreiniger

Positionspapiere des Arbeitskreises Innenraumluft im Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie werden zu aktuellen Themen im Bereich Innenraumklimatologie und -toxikologie ausgearbeitet und stellen das jeweilige Thema kurz und leicht aktualisierbar dar. Sie werden von Fachleuten der Umwelthygiene der Medizinischen Universität Wien, der Bundesländer, der Allgemeinen Unfallversicherungsanstalt (AUVA) und Messtechnik sowie aus Forschungseinrichtungen des Bundes (Umweltbundesamt) und privater Institutionen erstellt und richten sich in erster Linie an Fachleute, aber auch an interessierte Laien, an Behörden, an den Öffentlichen Gesundheitsdienst und Personen aus den einschlägigen Gewerbebereichen.

Der Arbeitskreis Innenraumluft im BMK erstellt und veröffentlicht unterschiedliche Typen von Dokumenten: Die einzelnen Teile der „Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft“ werden unter Mitwirkung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften erstellt und definieren Richt- und Referenzkonzentrationen für häufig auftretende Schadstoffe in Innenräumen. Beim „Wegweiser für eine gesunde Raumluft“ handelt es sich um eine Konsumentenbroschüre, in der in leicht verständlicher Form Empfehlungen zum Thema „Innenraumluft“ gegeben werden. Zu einzelnen Themen werden Positionspapiere veröffentlicht, die gegebenenfalls durch Leitfäden ergänzt werden, in denen in umfangreicherer Form Informationen bereitgestellt werden.

Leitfäden und Positionspapiere sowie der Corona-Rechner legen prinzipielle Vorgangsweisen für Experten fest und schneiden offene Fachfragen an. Sie spiegeln die Fachmeinung der im Arbeitskreis vertretenen Experten und Expertinnen (Umwelthygiene, Messtechnik, Verwaltung usw.) zu einem aktuellen Problemkreis im Themenbereich „Innenraumluft“ wider. Sie haben keinen normativen Charakter und können nach einer Evaluierung auch erneut bearbeitet werden.

Zum Zeitpunkt der Drucklegung sind erschienen:

- Leitfaden Gerüche in Innenräumen
- Leitfaden zur Vorbeugung, Erfassung und Sanierung von Schimmelbefall in Gebäuden („Schimmelleitfaden“)
- Leitfaden zur technischen Bauteiltrocknung

- Positionspapier zu Luftströmungen in Gebäuden
- Positionspapier zu Schimmel in Innenräumen
- Positionspapier zu Lüftungserfordernissen in Gebäuden
- Positionspapier zu Formaldehyd in Saunaanlagen
- Positionspapier zu technischer Bauteiltrocknung
- Positionspapier zu Verbrennungsprozessen und Feuerstellen in Innenräumen
- Positionspapier zur Sanierung von Schimmelbefall nach Wasserschäden in Krankenanstalten
- Positionspapier zur Lüftung von Schul- und Unterrichtsräumen – SARS-CoV-2
- Positionspapier zu lüftungsunterstützenden Maßnahmen zur Infektionsprophylaxe – Einsatz von Luftreinigern und Einbringung von Wirkstoffen in die Innenraumluft
- Positionspapier zur Bewertung von Innenräumen in Hinblick auf das Infektionsrisiko durch SARS-CoV-2
- Positionspapier zur Beurteilung der maschinellen Kühlung von Innenräumen in Hinblick auf SARS-CoV-2

- Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft (mehrere Teile)
- Wegweiser für eine gesunde Raumluft
- VIR-SIM: Tool zur Berechnung des Infektionsrisikos durch SARS-CoV-2 über Aerosolpartikel in Innenräumen: corona-rechner.at

Alle Publikationen sind auf der Website des BMK zum Download verfügbar:
bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/luft/innenraum/arbeitskreis.html

Positionspapier zu lüftungsunterstützenden Maßnahmen zur Infektionsprophylaxe – Einsatz von Luftreinigern und Einbringung von Wirkstoffen in die Innenraumluft

Das Positionspapier des Arbeitskreises Innenraumluft basiert auf einer Empfehlung der Innenraumlufthygiene-Kommission (IRK) am deutschen Umweltbundesamt zu Luftreinigern und soll Behörden, Raumnutzern und Gebäudebetreibern helfen, das Risiko für Übertragungen von Viren in Innenräumen und damit auch das Risiko für daraus resultierende Erkrankungen zu verringern. Auf Grund der Entwicklung der derzeitigen COVID-19 Pandemie wurde das Papier an die zum Zeitpunkt der Herausgabe aktuellen Gegebenheiten angepasst. Die im Positionspapier getroffenen Aussagen sind sinngemäß auch für andere Fragestellungen in Innenräumen in Zusammenhang mit durch Viren verursachten Erkrankungen anwendbar. Das Positionspapier dient auch im Rahmen der Zuständigkeit des Arbeitskreises Innenraumluft im BMK zur Präzisierung und Ergänzung der von der Bundesregierung, verschiedenen Bundesministerien und weiteren Institutionen herausgegebenen Empfehlungen (z.B. [1, 2]) in Bezug auf Lüftungsfragen und Fragen zur Einbringung (Vernebeln) von desinfizierenden Wirkstoffen in Innenräume in Zusammenhang mit Präventionsmaßnahmen.

SARS-CoV-2 sowie die Krankheit Covid-19 stellen unsere Gesellschaft vor unerwartete und gänzlich neue logistische Herausforderungen. Mittlerweile wurde erkannt, dass vor allem in unzureichend belüfteten Innenräumen das Risiko einer Ansteckung mit SARS-CoV-2 erhöht ist. Mit großer Wahrscheinlichkeit spielen bei der Übertragung des Virus luftgetragene Aerosole, die sich wie ein Nebel im Raum verteilen können, eine nicht zu unterschätzende Rolle [3]. Neben der Beachtung der allgemeinen Hygiene- und Abstandsregeln [4] und dem Tragen eines Mund-Nasen-Schutzes [5] bzw. hochwertiger FFP 2-Masken

kann das Infektionsrisiko durch konsequente Lüftung und sachgerechten Einsatz von raumlufttechnischen Anlagen (RLT-Anlagen) deutlich reduziert werden. Es ist allerdings nicht möglich, einen 100-prozentigen Schutz vor Infektionen in Innenräumen zu erreichen.

Der mögliche Übertragungsweg von Viren über Aerosole in der Luft wurde erkannt und beschrieben [4, 6]. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) weist darauf hin, dass bspw. SARS-CoV-2 neben der direkten Tröpfcheninfektion auch über luftgetragene Partikel übertragen werden kann [7]. Als Hauptübertragungsweg für SARS-CoV-2 wird die respiratorische Aufnahme virushaltiger Flüssigkeitspartikel, die beim Atmen, Husten, Sprechen und Niesen entstehen, beschrieben [8].

Die Zahl und die Durchmesser der von einem Menschen erzeugten, potenziell virushaltigen Partikel hängt stark von der Atemfrequenz und der Aktivität ab [8]. Selbst bei ruhiger Atmung werden (gegebenenfalls virushaltige) Partikel freigesetzt [9]. Das Infektionsrisiko wird durch gleichzeitige Aktivitäten vieler Personen im Gebäude bzw. durch den Aufenthalt vieler Personen auf engem Raum erhöht. Zu den Aktivitäten, die vermehrt Partikel freisetzen, gehören lautes Sprechen, Rufen, Singen, sportliche Aktivität oder auch lautstarke Unterstützung der Akteure bei Sportveranstaltungen. Betroffen davon sind unter anderem Schulen, Sport- und Konzerthallen und diverse Veranstaltungsräume.

Coronaviren selbst haben einen Durchmesser von ca. 0,12-0,16 Mikrometer (µm), werden aber meist als Bestandteil größerer Partikel emittiert. Im medizinischen Sprachgebrauch werden diese Partikel häufig in „Tröpfchen“ (Durchmesser > 5 µm) und „Aerosole“ (Durchmesser $\leq$ 5 µm) unterschieden – man spricht üblicherweise generell von Tröpfchen-Infektionen. Bezüglich ihrer Eigenschaften gibt es jedoch keine scharfe Grenze zwischen „Tröpfchen“ und „Aerosolen“, der Übergang ist fließend. Häufig unbeachtet ist die Tatsache, dass der Mensch nur beim Niesen sehr große Partikel emittiert. Beim normalen Sprechen und Husten werden fast ausschließlich kleine Tröpfchen generiert [9]. Außerdem verändern sich die in die Umgebung freigesetzten Aerosolpartikel je nach Umgebungsbedingungen bezüglich ihrer Größe und Zusammensetzung.

An der Luft schrumpfen die ausgeatmeten Tröpfchen in der Regel 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 Flüssigkeitströpfchen bis zu 3 Stunden nach der Freisetzung nachweisbar waren

[10], auch in einem Krankenzimmer wurden mehrere Meter von einer infizierten Person entfernt vermehrungsfähige Viren nachgewiesen [11]. 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%, nicht im Freien, sondern in geschlossenen Räumen ab. Wenn sich das private und gesellschaftliche Leben in der kälteren Jahreszeit vermehrt in Räume verlagert, ist daher angesichts der bestehenden SARS-CoV-2-Pandemie auf Übertragungsmöglichkeiten und die Vorsorge in Innenräumen verstärkt zu achten. Das Raumklima in Innenräumen wird durch die Temperatur, relative Luftfeuchte, Luftbewegungen und den Luftwechsel beeinflusst, die von den Umgebungsbedingungen, wesentlich aber von der gegebenen Nutzung abhängen. Die Bewegung von luftgetragenen Partikeln in Innenräumen wird 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 (Klima- und Lüftungsanlagen), aber auch durch Temperaturunterschiede (Konvektion). Ferner spielen Temperatur und Druckunterschiede zwischen der Innen- und Außenluft eine wichtige Rolle für Luftbewegungen.

Durch Luftbewegungen können Partikel innerhalb kurzer Zeit über mehrere Meter transportiert und so im Innenraum verteilt werden. Das gilt auch für potenziell virushaltige Aerosole. Im Sinne des Infektionsschutzes sollten daher Schul- und Unterrichtsräume mit einem möglichst hohen Luftaustausch und Frischluftanteil versorgt werden. Dies gilt gleichermaßen für freies Lüften über Fenster sowie beim Einsatz von RLT-Anlagen.

RLT-Anlagen sollen frische Luft (Außenluft) unabhängig von Nutzereinflüssen von außen den Räumen zuführen (Zuluft) und die „verbrauchte“ Luft (Abluft) aus den Räumen nach draußen befördern. RLT-Anlagen arbeiten ohne (Lüftungsanlagen) und mit zusätzlicher Klimatisierung wie Raumkühlung, Ent- und Befeuchtung (Klimaanlagen). Mitunter wird bei Lüftungs- und Klimaanlagen ein Teil der Abluft wieder der Zuluft beigemengt (sogenannte „Umluftanlagen“).

Eine möglichst hohe Außenluftzufuhr ist eine der wirksamsten Methoden, potenziell virushaltige Aerosole aus Innenräumen zu entfernen, lüftungstechnische Anlagen sind

daher in Zeiten der Pandemie als Vorsorge gegen Infektionen anzusehen. Umluftsysteme, bei denen die Luft von einem Raum aus weiter in andere Gebäudeteile und -bereiche vertragen werden, sind möglichst zu vermeiden bzw. nur dann zu betreiben, wenn sich keine Personen im Raum befinden. Das Risiko der Übertragung großer Mengen noch aktiver Viren ist zwar nicht wahrscheinlich, aber nicht gänzlich ausgeschlossen.

Es gibt Hinweise, dass ein SARS-CoV-2- Ausbruch im industriellen Produktionsbereich auf einen hohen Umluftanteil der dortigen lokalen Kühlgeräte, welche die Luft im gleichen Raum umgewälzt haben, zurückzuführen war [12]. Derartige lokale Geräte zur Kühlung der Innenraumluft können dennoch in bestimmten Fällen mit Einschränkungen als akzeptabel angesehen, vor allem dann, wenn sie mit wirkungsvollen Filtern ausgestattet sind [13]. In solchen Fällen ist sogar mit einer Reduktion der Konzentration aktiver Viren im Luftstrom zu rechnen.

Die Luftwechselrate ist definiert als die pro Zeiteinheit mit dem Raumvolumen ausgetauschte Luftmenge. Ein Luftwechsel von 1 pro Stunde (h^{-1}) bedeutet, dass z.B. bei einem Raum von 50 m³ Volumen pro Stunde 50 m³ Luft 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 von infizierten Personen freigesetzte Partikel. Intensives Lüften reduziert die Menge potenziell infektiöser Aerosole deutlich. Auch Partikel, die bspw. laufend durch die ruhige Atmung von Personen entstehen, werden bei höherem Luftwechsel entsprechend schneller entfernt bzw. verdünnt.

Bestimmend ist das zugeführte Außenluftvolumen, oft auch als „Frischluft“ bezeichnet. Als Richtschnur ist dem jeweiligen Raum pro im Raum anwesender erwachsener Person und Stunde ein Außenluftvolumen von etwa 35 m³ zuzuführen, dies entspricht den in der österreichischen Arbeitsstättenverordnung definierten Anforderungen an Arbeitsplätze für Arbeiten mit geringer körperlicher Belastung sowie dem österreichischen Leitfaden für den Kulturbetrieb [14] des Zentrums für Public Health der Medizinischen Universität Wien. Bei Kindern sind altersabhängig geringere Werte anzusetzen. Bei einem Außenluftvolumen von 35 m³ pro erwachsener Person und Stunde stellt sich nach einer gewissen Zeit eine Kohlenstoffdioxid-Konzentration von rund 1000 ppm (0,1 Vol-%) als Ausgleichskonzentration ein.

In natürlich belüfteten Innenräumen herrscht bei geschlossenen Fenstern und Türen meist nur ein geringer Luftwechsel von unter 0,1 pro Stunde (in älteren Gebäuden mit einer weniger dichten Gebäudehülle auch höher). Lüftungstechnische Anlagen werden jedoch noch nicht in allen Neubauten eingesetzt, obwohl ohne eine effiziente Lüftung, wie sie auch die bautechnischen Regelungen der Länder vorschreiben, in vielen Praxissituationen nicht möglich ist (bspw. in Schulklassen). Um das Risiko einer Übertragung von SARS-CoV-2 in nicht-privaten Innenräumen zu verringern, in denen sich mehrere Personen aufhalten, ist bei ausschließlich natürlich über die Fenster belüfteten Räumen eine zusätzliche häufigere intensive Lüftung bzw. Öffnen der Fenster erforderlich.

Eine Belastung der Raumluft mit virenbeladenen Aerosolen lässt sich in Situationen, wo nur unzureichender Luftwechsel erzielt werden kann, durch den Einsatz von geeigneten Luftreinigungsgeräten auf relevante Weise reduzieren. Insbesondere in Fällen einer nur schwer umsetzbaren Lüftungsvorgabe durch Öffnen der Fenster werden daher in der kalten Jahreszeit geeignete Luftreiniger als eine Ergänzung für einen prophylaktischen Gesundheitsschutz angesehen, wenn andere Maßnahmen zuvor nicht greifen. Somit stellt sich die Frage, welche Arten von mobilen oder stationären Luftreinigern ergänzend zu aktivem Lüften über Fenster in Innenräumen grundsätzlich geeignet sind und ob es sinnvoll ist, Luftreiniger auch zusätzlich zu lüftungstechnischen Anlagen einzusetzen.

Ein Erlass des österreichischen Bundesministeriums für Arbeit regelt den Einsatz von Luftreinigungsgeräten an Arbeitsplätzen[1]. In diesem Erlass wird gefordert, dass der Einsatz von Luftreinigern nur zulässig wäre, wenn eine vollständige und nachvollziehbare Evaluierung und Beurteilung der Substanzen und Wirkmechanismen unter arbeitsmedizinischen Gesichtspunkten vorliegt, durch die eine nachteilige Wirkung auf die menschliche Gesundheit mit Sicherheit ausgeschlossen werden kann. Es werden dadurch bestimmte Typen von Luftreinigungsgeräten (bspw. solche nach dem Kaltplasmaverfahren oder Einsatz von Strahlung) vom Einsatz an Arbeitsplätzen ohne Arbeitsplatzevaluierung ausgeschlossen. Insbesondere wird das Einbringung von Chemikalien in die Atemluft am Arbeitsplatz bzw. die Erzeugung von Radikalen und Reaktions- oder Spaltprodukten als nicht zulässig bezeichnet.

[1] Erlass BM für Arbeit vom 01.07.2021: Einsatz von Luftreinigern. Geschäftszahl: 2021-0.433.695

Vor dem Einsatz von Luftreinigungsgeräten muss die Sinnhaftigkeit und Nachhaltigkeit für die jeweils gegebene Örtlichkeit und Situation bedacht werden. Dies gilt vor allem für Pandemiephasen, in denen alternative wirksame Maßnahmen wie Impfungen, Tests und Kontaktverfolgung zur Eindämmung des Infektionsgeschehens eventuell zielführender sind. Es kann auch weitaus sinnvoller und medizinisch gesehen wirksamer sein, vorhandene Ressourcen in die schrittweise Installation von Lüftungsanlagen bei neuen und zu sanierenden Gebäuden oder in lüftungsunterstützende Maßnahmen bzw. deren Förderung bei bestehenden Objekten zu investieren (bspw. in Schulen und Kindergärten). Durch eine Verbesserung der Außenluft- bzw. Frischluftzufuhr über Fensterlüftung und bedarfsgeregelte Lüftungsanlagen mit Wärme- und ggf. Feuchterückgewinnung ist eine energiesparende, langfristige zukünftige Prävention auch in Bezug auf andere Viruserkrankungen möglich.

Der Einsatz von chemischen Substanzen zur Desinfektion von Raumluft ist in der Regel nicht erforderlich. In wenigen und ganz bestimmten Fällen kann eine Desinfektion von Oberflächen notwendig sein, es werden allerdings neuerdings auch mobile Geräte und fix installierte Vorrichtungen angeboten, die permanent, zum Teil unter Anwesenheit von Personen, Substanzen an die Raumluft abgeben. Es wird behauptet, dass dadurch eine Verringerung des Risikos einer Ansteckung stattfinden soll.

Der Arbeitskreis Innenraumluft im BMK spricht für den Einsatz von Luftreinigern in Innenräumen in Zusammenhang mit durch Viren verursachten Pandemien und damit assoziierten Themen wie Raumluftreinigung mit chemischen Substanzen oder Desinfektion mit Bioziden wie bspw. Ozon nachfolgende Empfehlungen aus, die sich am Stand der Technik orientieren. Diese resultieren aus Messungen und praktischen Erfahrungen in den letzten Jahrzehnten im Bereich Abtransport chemischer und biologischer Kontaminationen [15] und wurden an die Situation einer möglichen SARS-CoV-2 Belastung der Raumluft angepasst [16, 17]. Die im Positionspapier getroffenen Aussagen sind sinngemäß auch für andere Fragestellungen im Zusammenhang mit Viren in Innenräumen anwendbar.

Mobile und stationäre Luftreiniger

Als mobile Luftreiniger werden im Sinne dieser Empfehlung alle Geräte verstanden, bei denen die Raumluft durch ein mobil (d.h. frei) im Raum aufgestelltes Reinigungsgerät geleitet wird. Stationäre Luftreiniger sind fix, mitunter in einem nicht sichtbaren Lüftungskanal installierte Geräte, bei denen die Luft innerhalb eines Raumes umgewälzt wird. Dabei soll – bei Anwesenheit von möglicherweise mit Viren infizierten Personen – die angesaugte Raumluft durch geeignete Maßnahmen von Aerosolpartikeln bzw. aktiven (und damit infektiösen) Viren gereinigt und der Raumluft direkt wieder zugeführt werden.

Folgende Verfahren kommen vor allem zum Einsatz:

- Reinigung der Luft über Filter (meist Hochleistungsschwebstofffilter [HEPA-Filter] oder Hochleistungs-Partikelfilter [EPA-Filter])
- Behandlung der Luft durch Einsatz von UV-Technik
- Reinigung der Luft mittels Aktivkohlefilter
- Reinigung bzw. Luftbehandlung durch Ionisation oder mit nichtthermischem Plasma (NTP, „Kaltplasma“)
- Luftbehandlung über den Zusatz von biozid wirksamen Substanzen (z.B. Ozon, Wasserstoffperoxid, Natriumhypochlorit, Chlordioxid)
- Reinigung über andere Techniken (z.B. elektrostatische Filter, Photokatalyse)
- Kombination mehrerer Verfahren

Grundsätzlich ist das angestrebte Ergebnis beim Einsatz von Luftreinigungsgeräten stark von den jeweiligen individuellen Anforderungen und spezifischen Bedürfnissen der Nutzer abhängig, für unterschiedliche Schadstoffbelastungen sind jeweils eigene Arten der Luftreinigung erforderlich.

Nicht bei allen am Markt erhältlichen Geräten wird die Wirksamkeit gegenüber Viren und Bakterien als ausreichend erprobt angesehen (bspw. laut dem deutschen Umweltbundesamt ist dies bei „Plasmageräten“ der Fall [18]). Werden beim Einsatz von Geräten etwa reaktive Produkte wie bspw. Ozon erzeugt, besteht zudem auch die Gefahr, dass im Realbetrieb gesundheitsschädliche oder geruchsintensive Reaktionsprodukte an die Raumluft abgegeben werden [19, 20].

Einsatzempfehlungen zu Luftreinigern

Wurde eine Entscheidung für Luftreinigungsgeräte getroffen, sind vor der Anschaffung zahlreiche technische Fragen abzuklären. Bei Filtergeräten spielen die Leistungsdaten des Filters (Abscheidegrad, Luftdurchsatz) eine Rolle, um auf effiziente Weise die Aerosolkonzentration zu senken. Hochleistungsschwebstofffilter (HEPA = High Efficiency Particulate Air Filter, Filterklassen H 13 und H 14) sind in der Lage, mit SARS-CoV-2 beladene Partikel sowie gegebenenfalls auch nicht aerosolgebundene Krankheitserreger effektiv zurückzuhalten. Damit ist bei Luftreinigern mit solchen Filtern von einer prinzipiellen Wirksamkeit auszugehen. Ein dichter Filtersitz vorausgesetzt ist bei den meisten Anwendungen die Verwendung von H13-Filtern ausreichend wirkungsvoll. Der Einsatz von H14-Filtern wird in üblich genutzten Innenräumen nicht als notwendig erachtet und geht zu Lasten der Energieeffizienz ohne einen nennenswerten positiven Einfluss auf das Infektionsrisiko. Auch Hochleistungs-Partikelfilter (EPA = Efficient Particulate Air Filter) der Klassen E 11 und E 12 sind für eine effiziente Luftreinigung im nichtmedizinischen Bereich sehr gut geeignet. Kleine Aerosolpartikel können sich bei entsprechenden Umgebungsbedingungen, z.B. bei erhöhter relativer Luftfeuchte, aneinander anlagern. In solchen Einzelfällen wären auch Feinfilter der Filterklassen ISO ePM1 70% oder ISO ePM1 80% nach ÖNORM EN ISO 16890[2] in der Lage, größere virenbeladene Partikel zurückzuhalten.

Partikelfilterklassen für EPA-, HEPA- und ULPA-Filter werden in der ÖNORM EN 1822-1[3] definiert. Die Verwendung einer möglichst hohen Filterklasse ist aber – im Gegensatz zum Einsatz in Reinräumen oder Krankenanstalten – nicht per se zu empfehlen. Ein Einsatz von H14-Filtern bringt beispielsweise beim Anwendungsfall „mobiler oder stationärer Luftreiniger in Innenräumen“, abgesehen von höheren Betriebskosten, keinen relevanten hygienischen Vorteil gegenüber der Verwendung von H 13- oder E 12-Filtern (es werden bei jedem Durchlauf lediglich etwa 0,05% mehr Partikel der "Most Penetrating Particle Size" gefiltert). Die Anschaffungs- und Betriebskosten können unter Umständen durch die Verwendung von Filtern höherer Filterklassen ansteigen. Zudem erhöht sich meist der Schallpegel und jedenfalls der Energieverbrauch, da es mehr Leistung erfordert, die

[2] ÖNORM EN ISO 16890-2: Luftfilter für die allgemeine Raumlufttechnik - Teil 2: Ermittlung des Fraktionsabscheidegrades und des Durchflusswiderstandes. 2020 07 15
[3] ÖNORM EN 1822-1: Schwebstofffilter (EPA, HEPA und ULPA) - Teil 1: Klassifikation, Leistungsprüfung, Kennzeichnung. 2019 09 01

benötigten Luftvolumina durch feinere Filter zu bewegen. Empfehlenswert ist in allen Fällen der Einsatz von Vorfiltern, um die Standzeiten der Hauptfilter zu verlängern.

UV-Strahlung (meist UV-C) ist grundsätzlich in der Lage, Viren zu inaktivieren. Beim Einsatz von UV-Strahlung in Luftreinigern sind Mindest-Strahlungsdosen erforderlich, um eine Wirksamkeit zu begründen. Es wird daher empfohlen, sich vor Beschaffung und Einsatz von UV-Luftreinigern von den Herstellern überprüfbare Nachweise zur Wirksamkeit unter Realraumbedingungen geben zu lassen – insbesondere bezogen auf die Bestrahlungsintensität und Verweildauer der virenbeladenen Partikel innerhalb der bestrahlten Zone. Zudem kann die Exposition gegenüber UV-Strahlung negative gesundheitliche Wirkungen nach sich ziehen, betroffen sind vor allem Haut und Augen. Offene UV-Anwendungen dürfen daher nur bei Abwesenheit von Menschen erfolgen. Es wird empfohlen, bei Einsatz von Geräten mit UV-Technik darauf zu achten, dass diese Geräte keine Strahlung direkt in den Raum abgeben. Bei ordnungsgemäß hergestellten und inverkehrgebrachten Geräten (erkennbar am CE-Zeichen und der Konformitätserklärung) sind Schutzeinrichtungen eingebaut, welche ein automatisches Abschalten bei einer möglichen Gefahr durch Strahlungsaustritt (z.B. Wartungsarbeiten) auslösen.

Generell muss bereits bei einer allfälligen Ausschreibung bedacht werden, dass die Wartungs- und Energiekosten der Luftreinigungsgeräte zusätzlich zu den Anschaffungskosten berücksichtigt sein sollten. Verbrauchsmaterialien wie bspw. Filtermaterial oder Leuchten bei UV-Geräten sollen kostengünstig sein. Außerdem ist es sehr wichtig, dass der Wechsel von Verbrauchsmaterial einfach und sicher durchführbar ist.

Kombinationen von unterschiedlichen Reinigungstechnologien für Innenräume werden häufig als Verkaufsargumente angepriesen, auch wenn im Einzelfall kein erkennbarer hygienischer Zusatznutzen gegeben ist. Generell gilt daher für Kombinationsgeräte, dass die Sinnhaftigkeit in Hinblick auf eine relevante Risikoreduktion geprüft werden muss. Seitens der Hersteller wird bspw. oft die Kombination von Filtern mit UV-Bestrahlung empfohlen, um Viren und andere Krankheitserreger, die an den Hochleistungsschwebstoff-Filtern zurückgehalten werden, durch UV-Strahlung abzutöten oder zu inaktivieren. In diesem Zusammenhang ist anzumerken, dass eine derartige Kombination (außer bei speziellen Anwendungen, bspw. im Krankenhausbereich) keinen relevanten hygienischen Vorteil gegenüber der Verwendung von reinen Filtergeräten liefert, sondern nur zu höheren Betriebskosten führt. Von der Verwendung endständiger Ionisatoren wird auf Grund der zu erwartenden Bildung von Ozon und der bei dieser Technologie erwünschten Freisetzung von reaktiven Substanzen wie dem OH^- Radikal abgeraten.

Kontaminierte Filter von Filtergeräten können nach Gebrauch (spätestens nach dem vom Hersteller angegebenen Zeitpunkt für den Filterwechsel) unter Beachtung der bekannten Vorsichtsmaßnahmen (entsprechende persönliche Schutzausrüstung) auch ohne UV-Desinfektion gewechselt werden. Eine Freisetzung der Aerosolpartikel aus den Filtern ist beim Wechsel und der Entsorgung möglichst zu vermeiden. Gebrauchte Filter können vorsichtig in Foliensäcke eingepackt und verschlossen entsorgt werden.

Vor allem kostengünstige Geräte haben sich in der Praxis oft als störende Schallquellen und dadurch für einen Büro- oder Schulbetrieb deutlich zu laut erwiesen. Allerdings zeigen Erfahrungen aus der Praxis, dass ein hoher Verkaufspreis nicht immer mit niedriger Schallemission und hoher Wirksamkeit einhergeht. Geräte mit hohen Schallemissionen können zudem zu lauterem Sprechen und dadurch zu einer deutlichen Erhöhung der Aerosolpartikelabgabe führen, was bei Anwesenheit infizierter Personen im Raum auch zu einer Erhöhung des Infektionsrisikos führt. Ausreichende Angaben zur Geräuschentwicklung sind daher zur Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit von Luftreinigungsgeräten unbedingt notwendig. Die Schallemissionen des jeweiligen Gerätes dürfen zu keiner Beeinträchtigung der Tätigkeiten im Raum führen (z.B. Büroarbeit, Schulunterricht). Welche Schalldruckpegel als Grenzen angenommen werden, ist abhängig von der Raumnutzung (Klassenraum, Gaststätte etc.). Für aussagekräftige Informationen sollte der Schall grundsätzlich in Schallleistung oder Schalldruck angegeben werden, die Schallleistung ist nach einem genormten Verfahren zu bestimmen (wie z.B. ÖNORM EN ISO 3741[4]). Schalldaten sind immer luftmengenabhängig und variieren je nach Leistungsstufe, in der das Gerät arbeitet. Die akustischen Daten der Geräte sind daher durch den Hersteller detailliert für spezifische Volumenströme anzugeben.

Es dürfen bei Betrieb des Geräts keine unerwünschten Sekundär- und Nebenprodukte (Schadstoffe) freigesetzt werden. Sollte ein Einsatz von Geräten mit Verfahren, bei denen eine Bildung von Sekundärprodukten möglich oder zu erwarten ist, in speziellen Anwendungsbereichen erforderlich werden, sollten sich beim Betrieb keine Personen im Raum befinden oder es sollten endständige Filter eingesetzt werden, die Sekundär- und Nebenprodukte wirksam entfernen können.

Technische Daten sind generell transparent für unterschiedliche Volumenströme anzugeben. Dabei ist die elektrische Leistungsaufnahme für spezifische Volumenströme

[4] ÖNORM EN ISO 3741: Akustik - Bestimmung der Schallleistungs- und Schallenergiepegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen - Hallraumverfahren der Genauigkeitsklasse 1. 2011 01 01

auszuweisen. Abhängig vom Gerätetyp muss eine regelmäßige Wartung erfolgen. Geräte sollten grundsätzlich konform mit der ÖNORM H 6021[5] und VDI 6022[6] sein.

Bis zum Erscheinen der deutsche Richtlinie VDI-EE 4300 Blatt 14[7] waren keine harmonisierten Prüfvorgaben für den Nachweis der Wirksamkeit von Luftreinigern vorhanden, so dass ein Vergleich der verschiedenen Geräte und Techniken schwierig war. Die 2021 erschienene Richtlinie behandelt neben den Anforderungen an mobile Luftreiniger wie Geräteaufstellung, Nachweis der Wirksamkeit, Schalldruckpegel und elektrische Leistungsaufnahme auch das Thema der Freisetzung unerwünschter Nebenprodukte. Weiters werden Prüfkriterien und Prüfanforderungen sowie die Prüfung selbst thematisiert. In der VDI-EE 4300 Blatt 14 wird insbesondere eine standardisierte Vorgangsweise zur Messung der tatsächlichen Raumwirkung eines Luftreinigers angegeben, mit der bei Filtergeräten klare und eindeutige Aussagen über die tatsächliche Wirkung in realen Räumen getroffen werden können. Bei einer derartigen Prüfung wird mittels eines Aerosolgenerators eine bestimmte Menge eines DEHS-Prüfaerosols im Raum freigesetzt und in der Innenraumluft homogenisiert. Danach wird die Konzentrationsabklingkurve bei Betrieb des Luftreinigers an mehreren Punkten im Raum gleichzeitig gemessen. Als Vergleichsgrößen zur Beschreibung der Raumwirkung eines Luftreinigers eignen sich bei Filtergeräten die Aerosolreduktionsrate (Abklingkonstante λ [h-1]), die daraus abzuleitende Abklingzeit t90 [h], die angibt, in welcher Zeit eine Reduktion der Aerosolkonzentration um 90 % erreicht wird und die CADR (Clean Air Delivery Rate). Die CADR ist bei der Prüfung in einem Realraum eine Maßzahl für die Wirksamkeit eines Luftreinigers im Raum unter Realbedingungen (Aufstellungsort, Belegung, Möblierung etc.) und gibt an, welcher Luftvolumenstrom vollständig von Aerosolen gereinigter Luft bei idealer Durchmischung im Raum notwendig wäre, um die gleiche Raumwirkung zu erzielen, wie der überprüfte Luftreiniger.

[5] ÖNORM H 6021: ÖNORM H 6021: Lüftungstechnische Anlagen - Reinhaltung und Reinigung - Nationale Ergänzungen zu ÖNORM EN 15780. 2016 08 15

[6] Vor allem VDI 6022 Blatt 1: Raumlufttechnik, Raumluftqualität - Hygieneanforderungen an raumlufttechnische Anlagen und Geräte (VDI-Lüftungsregeln). 2018 01

[7] VDI-EE 4300 Blatt 14 (2021): Anforderungen an mobile Luftreiniger zur Reduktion der aerosolgebundenen Übertragung von Infektionskrankheiten. VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft Band 5: Analysen und Messverfahren II

Dimensionierung von Luftreinigern

Der Dimensionierung von Luftreinigern kommt eine entscheidende Bedeutung zu, wenn das Infektionsrisiko in Innenräumen auf relevante Weise gesenkt werden soll. Aussagen zur Effizienz von Luftreinigern in Innenräumen stammen zum Teil aus Versuchen unter Laborbedingungen, die nicht immer auf den praktischen Betrieb umgelegt werden können. Inzwischen liegen Versuche mit unterschiedlichen Untersuchungsansätzen und -ergebnissen aus Modellräumen [21, 22] sowie Untersuchungen in realen Klassenräumen von Schulen [23] vor. Die Ergebnisse sind nicht immer einheitlich.

Um die Raumluft hinreichend von Aerosolpartikeln bzw. aktiven Viren zu befreien, müssen die Geräte entsprechend ausgelegt sein. Dabei sind die konkreten Einsatzbedingungen (z.B. Raumverhältnisse, Belegungsdichte, Anordnung des Luftreinigers im Raum, etwaige Strömungshindernisse) zu berücksichtigen. Ein häufig benutztes Kriterium bei Filtergeräten ist die sogenannte „Clean Air Delivery Rate (CADR)“. Der CADR-Wert gibt vereinfacht gesprochen an, welches Luftvolumen innerhalb einer vorgegebenen Zeit von Aerosolen im Größenbereich 0,09 µm bis 11 µm gereinigt wird. Es ist die Angabe des Volumenstroms in Kubikmeter pro Stunde (m^3/h) üblich. Die Leistungsfähigkeit der Geräte wird durch den Abscheidegrad der relevanten Partikelgrößenklassen und den für die Anwendung erforderlichen Volumenstrom charakterisiert. Der CADR-Wert wird unter standardisierten Laborbedingungen mit definierten Partikeln (Rauch, Staub, Pollen) bei höchster Leistungsstufe ermittelt [24].

Der Luftdurchsatz (bspw. die CADR) muss der Größe des Raums und dem natürlichen Luftwechsel im Raum angemessen sein und darf keine Zugerscheinungen verursachen. Die Förderleistung des Einzelgerätes oder der Summe mehrerer Geräte (außenluftäquivalenter Luftvolumenstrom, Angabe in m^3 pro Stunde) sollte so ausgelegt sein, dass das jeweils zu betrachtende Raumvolumen mindestens einem dreifachen Luftwechsel pro Stunde unterzogen wird. Bei zu hohem Luftwechsel (mehr als etwa 6 pro Stunde) kann es oftmals zu Zugerscheinungen kommen. Es muss sichergestellt sein, dass möglichst die gesamte Raumluft von der Reinigung erfasst wird und dass es zu keinem Kurzschlussvolumenstrom im Umfeld des Luftreinigers kommt. Die Raumwirkung eines Luftreinigers kann in realen Raum-Konstellationen sehr unterschiedlich ausgeprägt sein. Der Nachweis für einen bestimmten Gerätetyp in der individuellen Raumanordnung kann beispielsweise durch eine Raumwirkung nach VDI-EE 4300 Blatt 14 mit relativ geringem apparativem Aufwand analytisch bestimmt werden. Dies kann insbesondere bei Fragestellungen relevant sein, wenn für eine Reihe gleichartiger Räume die Anschaffung von Luftreinigern

geplant ist. Sinngemäß gilt das Gesagte auch für die Leistung der Leuchten bei UV-Geräten, die entsprechend dimensioniert werden muss.

Stationäre Simulationsprogramme dienen dazu, grundsätzliche Unterschiede zwischen verschiedenen Raumtypen und Belegungsdichten zu ermöglichen [25]. Um im konkreten Fall die resultierende Risikosenkung unter den jeweils gegebenen Praxisbedingungen abschätzen zu können, empfiehlt sich auch die Verwendung von geeigneten Simulations-programmen (bspw. das Programm VIR-SIM des Arbeitskreises Innenraumluft im BMK[8]). Dieser Zugang erlaubt eine Risikoabschätzung unter Verwendung der bekannten bzw. angenommenen Randparameter „Belegung des Raumes“, „Luftwechsel“, „Sprach- und Atemaktivität“ sowie der Eingabe von Lüftungsphasen und zeigt die Abnahme des Risikos bei unterschiedlichem außenluftäquivalentem Luftwechsel durch einen Luftreiniger.

Luftbehandlung mittels nichtthermischem Plasma (NTP-Verfahren, „Kaltplasma“), Ionisation und Fotokatalyse

Bei mobilen Geräten, die mit nichtthermischem Plasma (NTP, „Kaltplasma“) arbeiten, wird deren Wirksamkeit gegenüber Viren und Bakterien bei typischen Raumgegebenheiten und Raumvolumina wie in Innenräumen üblich, vom deutschen Umweltbundesamt als nicht ausreichend erprobt angesehen [18].

Diese Luftreiniger arbeiten auf der Basis von stillen elektrischen Entladungen mit einem geringen Energieeintrag. In einem Reaktionsraum, durch den die Raumluft hindurch gepumpt wird, werden reaktive Sauerstoffspezies (ionisierende Moleküle und Radikale) erzeugt. Sie sollen die (oxidative) Umsetzung von Schadstoffen zu unbedenklichen Reaktionsprodukten wie Kohlendioxid und Wasser gewährleisten, auch soll eine Inaktivierung von Viren stattfinden. Das Deutsche Berufsgenossenschaftliche Institut für Arbeitsschutz – BGIA kommt zu dem Ergebnis, dass die angestrebte komplette Reinigung schwach kontaminierter Innenraumluft mithilfe der NTP-Technik nicht erreichbar ist [26]. Keine der potenziell gebildeten reaktiven Sauerstoffspezies ermöglicht den vollständigen und ungefährlichen Abbau von Luftinhaltsstoffen. Es ist dagegen mit dem Entstehen von Reaktionsprodukten zu rechnen, die zum Teil eine höhere Reizwirkung aufweisen als ihre Ausgangssubstanzen. Eine Freisetzung von Ozon ist ebenfalls möglich. Es existieren laut

[8] VIR-SIM 2.1 unter corona-rechner.at

BGIA keine wissenschaftlich fundierten Belege für einen erfolgreichen Einsatz der NTP-Technik unter Innenraumluftbedingungen. Dagegen wird durch Literaturdaten die Prognose untermauert, dass es zum Auftreten von unvollständig abgebauten Verbindungen kommt. Dahingehend wird vor dem Betrieb dieser Art von Luftreinigern, bei gleichzeitiger Anwesenheit von Personen in dem zu dekontaminierenden Raum, ausdrücklich gewarnt [26].

Es existieren weiter zahlreiche Hinweise auf eine kanzerogene sowie mutagene Wirkung von Hydroxyl-Radikalen auf menschliche Zellen, so dass lediglich eine kurzzeitige medizinische Anwendung als akzeptabel angesehen wird [27]. Neben diesen Risiken ist zu berücksichtigen, dass Hydroxylradikale hochreaktive Moleküle darstellen, welche organisches Material mittels Oxidation schädigen sowie zur Bildung von Stickstoff- und Kohlenstoffradikalen führen können [28]. Auch in Hinblick auf Kaltplasmaanwendungen konnte gezeigt werden, dass die Konzentrationen zahlreicher potentiell gesundheitsgefährdender Verbindungen bei Betrieb von Luftreinigern nach dem Kaltplasmaprinzip stark ansteigen. Es wurden rasche Zunahmen der Partikelanzahl und Massenkonzentrationen beobachtet, entsprechend der Bildung von stark oxidierten sekundären organischen Aerosolen (SOA) [29]. Die Ergebnisse legen nahe, dass die durch den Betrieb des Luftreinigers über VOC-Oxidation erzeugten organischen Säuren zur Partikel- und SOA-Bildung beigetragen haben. Die gebildeten Nebenprodukte hängen von den jeweils vorhandenen VOC in den Innenräumen ab, die beträchtlich sein können [15]. Sekundäre VOC-Oxidationsprodukte haben nachweislich schädliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit [30]. Insbesondere wurde berichtet, dass SOA die Bildung von zellulären reaktiven Sauerstoffspezies (ROS), die Produktion von entzündlichen Zytokinen und die oxidative Modifikation von RNA induziert [29].

Die fotokatalytische Bildung von Luftschadstoffen ist aktuell Gegenstand der Forschung, kann aber zum jetzigen Zeitpunkt in ihrer Bedeutung nicht abschließend bewertet werden. Auch hier zeigt sich, dass aus im Raum vorhandenen Luftschadstoffen Reaktionsprodukte entstehen können, die bei anderen Technologien nicht zu erwarten sind [31].

Zusammenfassend besteht die Gefahr bzw. ist davon auszugehen, dass im Realbetrieb durch chemische Reaktion mit anderen Stoffen geruchsintensive und zum Teil gesundheitsschädliche Reaktionsprodukte an die Raumluft abgegeben werden [19, 20, 32]. Der Nachweis seitens der Hersteller, dass keine bedenklichen Emissionen erzeugt werden, ist auf Grund der Flüchtigkeit bzw. mangelhaften analytischen Fassbarkeit der zum Teil sehr kurzlebigen Reaktionsprodukte mit Ausnahme weniger Substanzen wie bspw. Ozon

grundsätzlich nicht möglich [33, 34]. Durch einen endständigen Filter (bspw. Aktivkohlefilter) – so ein solcher vorhanden ist – kann eine gewisse Reduktion dieser Reaktionsprodukte bei Geräten erreicht werden, bei denen die Reaktion im Gerät erfolgt.

Vom Gebrauch von Geräten, die mit sogenanntem „Kaltplasma“ oder Ionisation ohne Filterung der entstehenden VOC arbeiten und auf diese Weise eine Viren-Inaktivierung erreichen wollen, ist daher (außer bei speziellen Anwendungen und spezifischer Prüfung, bspw. im Krankenhausbereich) in Innenräumen abzuraten, solange es keine anerkannten standardisierten Prüfverfahren für eine Zulassung gibt und eine Gesundheitsgefährdung für die Raumnutzer nicht in allen Fällen ausgeschlossen werden kann. Dies auch deswegen, da robuste, erprobte Verfahren wie bspw. Filtergeräte ohne derartige unkalkulierbare Risiken verfügbar sind. Diese Aussagen gelten sinngemäß auch für einfache endständige Ionisationsvorrichtungen, die in zahlreichen Luftreinigern (oftmals nach anderen Reinigungstechnologien) eingesetzt werden.

Ausgenommen sind Geräte, die bauartbedingt nur sehr geringe Mengen an Luftionen und Ozon freisetzen (im Bereich der Hintergrundkonzentration, dies bedeutet weniger als einige 1000 Ionen/cc und die nicht mehr als 10 µg/m³ Ozon emittieren (gemessen oder berechnet in Raummitte eines Standardraumes). Diese Rest-Ozonkonzentration entspricht der in der VDI-EE 4300 Blatt 14[9] genannten Grenzkonzentration und wird an dieser Stelle näher erörtert.

Direkte Luftbehandlung mittels Ozon

Zu unterscheiden sind Geräte, bei denen Ozon direkt im Gerät erzeugt und anschließend abgefiltert wird und solche, die Ozon direkt an die Innenraumluft abgeben. Mittels endständigem Filter (bspw. Aktivkohlefilter) kann bei ersteren, ähnlich wie bei „Kaltplasmageräten“, eine gewisse Reduktion der Reaktionsprodukte erreicht werden. Bei Geräten, welche die Luft im Gerät mit Ozon behandeln, können Ozon und andere reaktive Raumluftinhaltsstoffe dennoch auch bei Filterung zumindest zum Teil an die Raumluft abgegeben werden. Ozon ist ein starkes Reizgas für den Atemtrakt, auch in geringen Konzentrationen und ist krebsverdächtig. Das Wirkprinzip von derartigen Geräten ist, dass Ozon mit

[9] VDI-EE 4300 Blatt 14 (2021): Anforderungen an mobile Luftreiniger zur Reduktion der aerosolgebundenen Übertragung von Infektionskrankheiten. VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft Band 5: Analysen und Messverfahren II

anderen Stoffen in der Raumluft reagiert; dabei ist mit der Bildung von zahlreichen neuen Reaktionsprodukten zu rechnen – Ozon reagiert mit vielen Materialien, was ebenfalls zur Bildung unerwünschter Sekundärprodukte führt [35]. Nachgewiesen ist, dass Schadstoffe wie Formaldehyd entstehen [18] und metallische Gerüche auftreten [36]. Zusätzlich ist zu bedenken, dass bei Einwirkung von oxidierenden Substanzen eine Veränderung von Materialien der Innenausstattung (z.B. Degradation von Kunststoffen) möglich ist. Gerüche in Innenräumen, die von den Nutzern nicht gesteuert werden können, werden nach übereinstimmender Fachmeinung als unerwünscht betrachtet und können, zum Teil über psychologische Mechanismen, zu Klagen über schlechte Raumluft und im Einzelfall zu gesundheitlichen Beschwerden führen.

Vom Gebrauch von Geräten, welche die Luft direkt mit Ozon behandeln bzw. dieses in Konzentrationen über 10 µg/m³ (gemessen oder berechnet in Raummitte eines Standardraumes) erzeugen und auf diese Weise eine Viren-Inaktivierung erreichen wollen, ist daher in Innenräumen außer bei speziellen medizinischen Anwendungen abzuraten. Diese Empfehlung entspricht auch der Einschätzung der VDI EE 4300 Blatt 14, in der der Eintrag von Luftschadstoffen im Sinne eines Verschlechterungsverbotes generell als unerwünscht bezeichnet wird. Dies auch deswegen, da – wie schon bei der NTP-Technik („Kaltplasma“) beschrieben – robuste, erprobte Verfahren wie bspw. Filtergeräte ohne derartige noch nicht im Detail erforschte Risiken verfügbar sind.

Vernebelung oder direkte Abgabe von Substanzen in die Raumluft

Von der Vernebelung von Wasserstoffperoxidlösung (H_2O_2) oder Natriumhypochlorit-lösung (NaOCl) zur Desinfektion der Raumluft wird vom deutschen Umweltbundesamt dringend abgeraten [18]. Diese Empfehlung entspricht auch der Einschätzung der VDI EE 4300 Blatt 14, in der der Eintrag von Luftschadstoffen im Sinne eines Verschlechterungs-verbotes generell als unerwünscht bezeichnet wird. Diese Einschätzung gilt auch für den Einsatz fix installierter Systeme, bei denen Desinfektionsmittel dem Zuluftstrom einer lüftungstechnischen Anlage, zum Teil bei Anwesenheit von Personen, zudosiert wird, um entweder Oberflächen oder die Zuluft zu behandeln. Derartige Systeme zeigen keine relevanten Vorteile gegenüber einer klassischen mechanischen Reinigung von Lüftungs-anlagen, gesundheitliche Risiken sind dabei allerdings nicht ausgeschlossen.

Beide Substanzen sind starke Oxidationsmittel und haben konzentrationsabhängig eine gesundheitsschädigende Wirkung. Desinfektionsmittel können z.B. Reizungen von Haut

und Schleimhaut, Ekzeme, Allergien oder auch Vergiftungen auslösen – vor allem dann, wenn sie in zu hoher Dosierung verwendet werden – auch Materialschäden sind möglich. Aber auch eine Unterdosierung ist als kritisch anzusehen, weil damit keine ausreichende Wirksamkeit gegeben ist und die Bildung von Resistenzen gegenüber bestimmten Wirkstoffen gefördert werden kann [37]. Die Anwendung von zu niedrigen Konzentrationen eines Wirkstoffes, bei der keine akute Gefährdung von anwesenden Personen vorliegt, ist daher nicht zielführend.

Die Substanzen wirken antimikrobiell, allerdings ist die Wirksamkeit gegenüber luftgetragenen Viren unter Praxisbedingungen bisher nicht immer ausreichend belegt. Ebenso wird von der Vernebelung anderer Desinfektionsmittel ohne besondere Schutzmaßnahmen und Gefährdungsanalysen abgeraten [18]. Diese Einschätzung wird auch von der Österreichischen Gesellschaft für Hygiene, Mikrobiologie und Präventivmedizin (ÖGHMP) geteilt [37; 38]. Raumdesinfektionsverfahren haben laut ÖGHMP im Zusammenhang mit der Covid-19-Prävention aus fachlicher Sicht praktisch keine Bedeutung. Ausnahmen davon sind streng kontrollierte und gezielt angewendete Desinfektionsverfahren für gut überprüfbare Räume, z.B. bei der Herstellung bestimmter steriler Güter, in Einrichtungen für die medizinische Behandlung gefährlicher Infektionen oder in diagnostischen Hochsicherheitslabors. Diese speziellen Desinfektionsanwendungen sind begrenzt auf definierte und qualitätsgesicherte Prozesse, und sie geschehen in aller Regel nur in Abwesenheit von Menschen. Ergänzend werden in derartigen Fällen vor Ort Evaluierungen durchgeführt, um eine Wirksamkeit gewährleisten zu können.

Folgende kritische Punkte werden genannt [nach 38]:

- Diese Anwendungsart (Vernebeln) von Desinfektionsmitteln behandelt Luft und Oberflächen gleich, ohne Rücksichtnahme auf die tatsächlich erreichte Durchmischung im Raum oder die Aufbringung auf Flächen, auf die Beschaffenheit einzelner Gegenstände oder Oberflächen (glatt oder rau, trocken oder feucht ...) oder auf deren tatsächliche Bedeutung für die Übertragung der in Frage kommenden Erreger.
- Das Erreichen aller Luftkompartimente und Oberflächen, in/auf denen sich Erreger befinden, ist ungewiss.
- Die an den Erregern erreichte Wirk(stoff)konzentration ist auch dann ungewiss, wenn genügend Wirkstoff anströmt: Da die Applikation ohne mechanische Unterstützung (= ohne Wischen) geschieht, werden Wirkstoffe in größeren Anschmutzungen absorbiert und inaktiviert, bevor die Erreger erreicht werden.

- Die Desinfektionswirkung ist nicht sicher kontrollierbar.
- Chemikalien werden in der Atemluft und auf Kontaktflächen angereichert, dadurch ist eine gesundheitliche Schädigung der Nutzer des Raumes durch Einatmen oder/und Kontakt möglich.
- Wegen des geringen bis fehlenden Nutzens sind Risiken und Aufwand unverhältnismäßig hoch.
- Andere Hygienetechniken sind gezielter anwendbar und wirksamer. Diese machen daher im Regelfall eine Raumdesinfektion entbehrlich.

Zusammenfassend kann daher ausgesagt werden, dass Verfahren, die Wasserstoffperoxid (H_2O_2) oder Natriumhypochlorit (NaOCl) zur Desinfektion der Raumluft beimischen, in Innenräumen außer in speziellen, fachlich begleiteten Fällen nicht eingesetzt werden sollen. Dies gilt auch für andere Desinfektionsmittel wie bspw. Hypochlorige Säure und Chlordioxid und sinngemäß auch für Hydroxylradikale und die schon genannte Substanz Ozon. Ein besonders kritischer Punkt ist, dass Nutzer bei der Anwendung wirkungsloser bzw. nicht ausreichend kontrollierbarer Verfahren der Meinung sind, dass andere wirksame Schutzmaßnahmen gegenüber Viren wie verstärkte Lüftung, Händehygiene, Abstand oder Mund-Nasenschutz nicht erforderlich wären. Dadurch kann die Situation entstehen, dass auf Grund eines falschen Sicherheitsgefühls das Risiko von Infektionen zunimmt.

Es wird darauf hingewiesen, dass bei Betreten eines Raumes durch eine infizierte Person in Hinblick auf Aerosolpartikel die davor stattgefundenen Desinfektionsbemühungen keine relevante Wirkung mehr haben. Wegen des geringen bis fehlenden Nutzens werden daher die mit Vernebelungen verbundenen Risiken und der Aufwand als unverhältnismäßig hoch eingeschätzt [38]. Dies gilt sinngemäß auch für UV-Desinfektionsmaßnahmen mit offen liegenden Leuchten (Ausnahmen auch hier spezielle medizinische Anwendungen oder technische Einsatzgebiete).

Falls im Einzelfall bei einer behördlich angeordneten Maßnahme eine Raumdesinfektion erforderlich sein sollte, ist zu beachten, dass sich Nutzer während der Desinfektionsmaßnahmen keinesfalls im Raum befinden dürfen. Nach einer Anwendung von Desinfektionsmittel muss ausreichend gelüftet werden, um eine Exposition gegenüber der verbleibenden Restkonzentration der Wirkstoffe und deren Reaktionsprodukten zu vermeiden.

Es dürfen nur Desinfektionsmittel und -verfahren eingesetzt werden, die für die jeweilige Anwendung geprüft und anerkannt sind. Hierfür kann bspw. auch auf die von der Stadt

Wien gemeinsam mit der AUVA und dem BMK erstellte Desinfektionsmittel-Datenbank „WIDES“[10] zurückgegriffen werden. Diese Datenbank bietet eine gute Orientierungshilfe, um bei der Beschaffung wirksamer Desinfektionsmittel auch die Gesundheit der Anwender und den Schutz der Umwelt zu berücksichtigen.

Es ist zu beachten, dass für Oberflächendesinfektion zugelassene Präparate nicht automatisch eine Wirksamkeit auf luftgetragene Viren aufweisen – hier ist ein gesonderter Wirksamkeits-Nachweis unter Praxisbedingungen (im Vergleich zu reinem Befeuchten der Luft) erforderlich. Anzumerken ist, dass sich eine Prüfung nach ÖNORM EN 17272[11] auf die Wirksamkeit einer Oberflächendesinfektion durch Vernebelung bezieht, jedoch nicht automatisch auch auf eine Wirkung auf partikelgebundene Viren in der Raumluft.

Biozidprodukte in der Luftreinigung

Desinfektionsmittel sind in der Regel Biozidprodukte und unterliegen umfangreichen Bestimmungen der EU-weit gültigen Biozidprodukteverordnung (BPV)[12]. In dieser sind rechtliche Bedingungen festgelegt, welche sicherstellen sollen, dass ausschließlich wirksame Produkte, die kein unakzeptables Risiko für Mensch, Tier oder Umwelt darstellen, zur Anwendung kommen.

In einem zweistufigen Verfahren werden zuerst Wirkstoffe genehmigt, danach muss für Biozidprodukte, die bereits genehmigte Wirkstoffe enthalten, für die weitere Verwendung eine Zulassung beantragt werden. Sowohl die Genehmigung eines Wirkstoffes als auch die Zulassung eines Biozidproduktes gelten nur für Unternehmen, die an diesen Verfahren beteiligt sind.

[10] Desinfektionsmittel-Datenbank WIDES. wides.at

[11] ÖNORM EN 17272: Chemische Desinfektionsmittel und Antiseptika – Verfahren zur luftübertragenen Raumdesinfektion durch automatisierte Verfahren – Bestimmung der bakteriziden, mykobakteriziden, sporiziden, fungiziden, levuroziden, viruziden, tuberkuloziden und Phagen-Wirksamkeit. 2020 06 01

[12] Verordnung (EU) Nr. 528/2012

Oben genannten Stoffe wie Wasserstoffperoxid, Aktivchlor aus Natriumhypochlorit, Ozon und „Freie Radikale“ (die beiden Letzteren beabsichtigt in-situ hergestellt) zum Einsatz gegen Viren, Bakterien und andere Schadorganismen sind Wirkstoffe im Regelungsbereich der BPV. Diese dürfen nur unter bestimmten Voraussetzungen in bzw. als Biozidprodukte eingesetzt werden. Da noch nicht alle Wirkstoffe die erste Bewertungsphase durchlaufen haben, gelten unterschiedliche Regeln für die betroffenen Biozidprodukte. Verwender von Biozidprodukten sollten sich daher zuvor über den rechtlichen Status der eingesetzten Biozidprodukte informieren.

Sowohl bei Wasserstoffperoxid als auch Aktivchlor aus Natriumhypochlorit handelt es sich um „genehmigte“ Wirkstoffe. Das bedeutet, dass Produkte mit diesen Wirkstoffen nur dann verwendet werden dürfen, wenn die Produkte der Lieferanten bereits gemäß der BPV für die einzelnen Verwendungen zugelassen sind oder sich in einem laufenden Zulassungsverfahren befinden. Die Verwendung anderer Produkte für die Desinfektion, die ausschließlich diese Wirkstoffe enthalten, ist verboten. Mit Stand Januar 2022 sind nur sehr wenige Produkte mit Wasserstoffperoxid für eine Desinfektion über die Verdampfung/Vernebelung für sehr spezifische Anwendungen zugelassen. Die Zulassungen beinhalten strikte Risikomanagementmaßnahmen (Anwendung in geschlossenen, leeren Räumen, Warnhinweise etc.) und eine Beschränkung der Verwendung auf professionelle Verwender mit Zusatzausbildung.

Die Wirkstoffe Ozon und „Freie Radikale“ sind noch im Bewertungsverfahren. Die Verwendung in Biozidprodukten unterliegt daher mit Stand April 2022 noch nicht dem Zulassungsverfahren. Vorbehaltlich der oben genannten Bedenken dürfen aber nur Systeme von bestimmten Unternehmen zur Herstellung dieser Biozidprodukte, die am Bewertungsverfahren des Wirkstoffes beteiligt sind, verwendet werden.

Grenzen des Einsatzes von Luftreinigern in Innenräumen und Prioritäten

Durch mobile oder fest installierte Luftreiniger wird die Raumluft lediglich umgewälzt. Es können grundsätzlich daher nicht alle Verunreinigungen aus der Raumluft entfernt werden, wie dies bei Zufuhr von Außenluft stattfindet. Dies trifft vor allem für Kohlendioxid, aber auch für eine Reihe chemischer Stoffe in der Raumluft zu, die nicht von allen Luftreinigern erfasst werden. Auch erhöhte Luftfeuchte (die unter bestimmten Um-

ständen zur Gefahr von Schimmelbildung führen kann) kann auf diese Weise nicht abgeführt werden. Geräte, die keine Gewebefilter oder wirksame elektrostatische Filter verwenden, entfernen zudem keine Partikel aus der Raumluft. Es wird daher ausdrücklich darauf hingewiesen, dass der Betrieb von Luftreinigern eine ausreichende hygienische Lüftung nicht ersetzen kann.

Weiters stellt der Einsatz von Luftreinigern in Innenräumen nur eine der möglichen nicht-pharmazeutischen Interventionsmöglichkeiten der Infektionsprävention dar. Einen guten Überblick über die grundsätzlichen Möglichkeiten, das Infektionsrisiko zu senken, stellt eine umfangreiche Studie aus Stuttgart dar [39]. Ziel war die Identifikation der Infektionswahrscheinlichkeiten in Klassenräumen bei verschiedenen nicht-pharmazeutischen Maßnahmen. Neben der Fensterlüftung wurden die Wirkweisen von Luftreinigungsgeräten und raumlufttechnischen Anlagen analysiert. Es wurden sowohl die Abfuhr der Aerosole als auch der Aspekt der Behaglichkeit dieser Maßnahmen beleuchtet. Hierzu wurden u.a. luftgetragene Stoffkonzentrationen, die Raumlufttemperatur, die Luftgeschwindigkeiten und Turbulenzgrade sowie der Schalldruckpegel in den Klassenräumen gemessen und bewertet.

Auf Grund der Ergebnisse dieser und weiterer bisher durchgeführten Studien sind folgende Prioritäten zu setzen:

- Intensiveres Lüften über Fenster oder durch Einsatz von zentral oder etagenweise eingebauten raumlufttechnischen Anlagen.
- Durch eine Verbesserung der Außenluft- bzw. Frischluftzufuhr über Fensterlüftung und bedarfsgeregelte Lüftungsanlagen mit Wärme- und ggf. Feuchterückgewinnung ist eine energiesparende, langfristige Prävention in Bezug auf Erkrankungen durch virenbeladene Aerosole möglich.
- Wenn der Einbau von raumlufttechnischen Anlagen nicht realisierbar ist, sollte durch Verringerung der Anzahl der Nutzer des Raumes die Risikosituation verbessert werden.
- Das Tragen einer FFP 2-Maske trägt wesentlich zur Verringerung der Infektionswahrscheinlichkeit bei, da Aerosole sowohl beim Ausatmen infizierter Personen als auch beim Einatmen gesunder Personen gefiltert und dabei Viren abgeschieden werden.
- Nur wenn die vorher genannten Punkte nicht realisierbar sind, sollten mobile Luftreiniger eingesetzt werden, die das eingeschränkte Lüften in Bezug auf eine Risikominimierung in Pandemiezeiten ergänzen, jedoch keinesfalls ersetzen können.

Es wird an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen, dass erhöhte Kohlendioxidkonzentrationen in Innenräumen generell hygienisch inakzeptabel und der Leistungsfähigkeit abträglich sind [40, 41]. Laut der Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft des BMK – Kohlenstoffdioxid als Lüftungsparameter ist in Räumen, in denen geistige Tätigkeiten verrichtet werden oder die zur Regeneration dienen ein mittlerer CO_2-Wert von 1000 ppm einzuhalten [42].

In Räumen, in denen Luftreinigungsgeräte eingesetzt werden, liefern CO_2-Messgeräte oder Lüftungsampeln Hinweise auf die aktuelle Lüftungssituation in Bezug auf die allgemeine Innenraumlufthygiene. Zur Bewertung des Risikos, sich mit COVID-19 anzustecken, erweist sich die CO_2-Konzentration in solchen oder ähnlich gelagerten Fällen nur nach Implementierung bestimmter situationsbezogener Umrechnungsfaktoren als geeignet. Näheres dazu ist dem Positionspapier zur Bewertung von Innenräumen in Hinblick auf das Infektionsrisiko durch SARS-CoV-2 des BMK [43] sowie weiteren Publikationen [44; 45] zu entnehmen.

Alle hier genannten Maßnahmen, Lüftungskonzepte und -techniken sowie ggf. der Einsatz von Luftreinigern ersetzen nicht die allgemein bekannten Schutzmaßnahmen gegen Infektionen. Sie bieten zudem keinen wirksamen Schutz gegenüber einer Exposition durch direkten Kontakt bzw. Tröpfcheninfektion auf kurzer Distanz. Die Einhaltung der AHA-Regeln (Abstand, Hygiene/Händewaschen, Verwendung von Schutzmasken) sind daher unabhängig von den obigen Maßnahmen weiterhin zu beachten.

Literatur

1. Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung (2020): COVID-19-Hygiene- und Präventionshandbuch für öffentliche Schulen, Privatschulen mit Öffentlichkeitsrecht und eingegliederte Praxisschulen an den Pädagogischen Hochschulen. bmbwf.gv.at/Ministerium/Informationspflicht/corona/corona_schutz.html

2. Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung (2020): COVID-19-Hygiene- und Präventionshandbuch für elementarpädagogische Einrichtungen. bmbwf.gv.at/Ministerium/Informationspflicht/corona/corona_schutz.html

3. Morawska L, Cao J (2020): Airborne transmission of SARS-CoV-2: the world should face the reality. Environ. Int. 105730. doi.org/10.1016/j.envint.2020.105730

4. Österreichische Gesellschaft für Hygiene, Mikrobiologie und Präventivmedizin (ÖGHMP): Sinnvolle hygienische Maßnahmen gegen die Übertragung von SARS-CoV-2 vom 18.05.2020

5. Chu DK, Akl EA, Duda S, Solo K, Yaacoub S, Schünemann HJ on behalf of the COVID-19 Systematic Urgent Review Group Effort (SURGE) study authors (2020): 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. The Lancet 395(10242):1973-1987

6. Morawska L, Milton D (2020): It is time to address airborne transmission of COVID-19. Clinical Infectious Diseases. doi.org/10.1093/cid/ciaa939

7. WHO (2020): Transmission of SARS-CoV-2: implications for infection prevention precautions. 9 July 2020. who.int/news-room/commentaries/detail/transmission-ofsars-cov-2-implications-for-infection-prevention-precautions

8. 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. doi.org/10.1016/j.envint.2020.105794

9. Hartmann A, Lange J, Rotheudt H, Kriegel M (2020): Emissionsrate und Partikelgröße von Bioaerosolen beim Atmen, Sprechen und Husten, Preprint. dx.doi.org/10.14279/depositonce-10332

10. Van Doremalen N, Bushmaker T, Morris DH 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. nejm.org/doi/full/10.1056/nejmc2004973

11. Lednitzky JA et al. (2020): Viable SARS-CoV-2 in the air of a hospital room with COVID-19 patients. Int J Infect Dis 100:476-482. doi: 10.1016/j.ijid.2020.09.025

12. Günther T, Czech-Sioli M, Indenbirken D et al. (2020): Investigation of a super-spreading event preceding the largest meat processing plant-related SARSCoronavirus2 outbreak in Germany. papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3654517

13. BMK (2021): Positionspapier zur Beurteilung der maschinellen Kühlung von Innenräumen in Hinblick auf SARS-CoV-2. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/luft/luft/innenraum/arbeitskreis.html

14. Zentrum für Public Health der Medizinischen Universität Wien, Abteilung für Umwelthygiene und Umweltmedizin (2020): Kultur in Zeiten der COVID19-Epidemie in Österreich: Leitfaden für den Kulturbetrieb (13.05.2020)

15. Wallner P, Muñoz-Czerny U, Tappler P, Wanka A, Kundi M, Shelton JF, Hutter H-P (2015): Indoor environmental quality in mechanically ventilated, energy-efficient buildings vs. conventional buildings. International Journal of Environmental Research and Public Health 2015(11): 14132-14147

16. BMK (2020): Positionspapier zu Lüftungserfordernissen in Gebäuden. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/luft/luft/innenraum/arbeitskreis.html

17. BMK (2020): Positionspapier zur Lüftung von Schul- und Unterrichtsräumen – SARS-CoV-2. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/luft/luft/innenraum/arbeitskreis.html

18. UBA (2020): Einsatz mobiler Luftreiniger als lüftungsunterstützende Maßnahme in Schulen während der SARS-CoV-2 Pandemie. Stellungnahme der Kommission Innenraumlufthygiene (IRK) am Umweltbundesamt. Umweltbundesamt Deutschland Dessau-Roßlau

19. Gunschera J, Markewitz D, Bansen B, Salthammer T, Ding H (2016): Portable photocatalytic air cleaners: efficiencies and by-product generation. Environmental Science and Pollution Research 23(8):7482-7493

20. Siegel JA (2016): Primary and secondary consequences of indoor air cleaners. Indoor Air 26(1), 88-96

21. Kähler CJ, Fuchs T, Mutsch B, Hain R (2020): Schulunterricht während der SARS-CoV-2 Pandemie – Welches Konzept ist sicher, realisierbar und ökologisch vertretbar? unibw.de/lrt7/schulbetrieb-waehrend-der-pandemie.pdf

22. Zacharias N, Haag A, Brang-Lamprecht R, Gebel J, Essert SM, Kistemann T, Exner M, Mutters NT, Engelhart S (2020): Air filtration as a tool for the reduction of viral aerosols. Institute for Hygiene and Public Health, University Hospital Bonn, Venusberg-Campus 1, 53127 Bonn, Deutschland (white paper).

23. Curtius J, Granzin M, Schrod J (2020): Testing mobile air purifiers in a school classroom: Reducing the airborne transmission risk for SARS-CoV-2. Aerosol Science and Technology 55(5):586-599. Doi.org/10.1080/02786826.2021.

24. AHAM AC-1 (2019): Method for Measuring Performance of Portable Household Electric Room Air Cleaners. Association of Home Appliance Manufacturers, Washington, DC, United States

25. Müller D, Rewitz K, Derwein D, Burgholz TM, Schweiker M, Barday J, Tappler P (2020): Empfehlung zum erforderlichen Luftwechsel in Schulen, Großraumbüros, Hörsälen und Turnhallen zur Reduzierung eines aerosolgebundenen Infektionsrisikos. Report (white paper). doi.org/10.18154/RWTH-2020-10366

26. BGIA, Toxichem (2005): Luftreinigungsgeräte basierend auf elektrischen Entladungs-prozessen. Projekt-Nr. BGIA 1086.

27. Kanno T et al. (2012): Literature review of the role of hydroxyl radicals in chemically-induced mutagenicity and carcinogenicity for the risk assessment of a disinfection system utilizing photolysis of hydrogen peroxide. J Clin Biochem Nutr 2012, 51(1): 9-14

28. Bucher JR (2019): Oxidative stress and radical-induced signalling. In Tumour Site Concordance and Mechanisms of Carcinogenesis (chapter 15). IARC Scientific Publications, No 165. International Agency for Research on Cancer

29. Joo T et al. (2021): Formation of Oxidized Gases and Secondary Organic Aerosol from a Commercial Oxidant-Generating Electronic Air Cleaner. Environ. Sci. Technol. Lett. 2021, 8, 691−698

30. Pope CA & Dockery DW (2006): Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect. J. Air Waste Manage. Assoc. 2006, 56 (6), 709-742

31. Salthammer T, Markewitz D, Gunschera J (2017): By-products from portable photocatalytic air-cleaners. ISIAQ. Ottawa: Healthy Buildings Europe 2017.

32. Heberer H, Nies E, Dietschi M, Möller, Pflaumbaum W, Steinhausen M (2005): Überlegungen zur Wirkung und toxikologischen Relevanz von NTP-Luftreinigungsgeräten. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 65(10):419-424

33. Weschler, C.J. and Shields, H.C. (1997) Potential reactions among indoor pollutants, Atmos. Environ. 31(21), 3487–3495

34. Wolkoff P, Wilkins C-K, Clausen P-A, Nielsen G-D (2006): Organic compounds in office environments – sensory irritation, odor, measurements and the role of reactive chemistry. Indoor Air 16(1):7-19

35. Poppendieck D, Hubbard H Ward M, Weschler C, Corsi RL (2007): Ozone reactions with indoor materials during building disinfection. Atmospheric Environment 41(15):3166-3176

36. Ozonos (2021): Positionspapier zu lüftungsunterstützenden Maßnahmen. Ozonos GmbH, Februar 2021

37. ÖGHMP (2020): Ergänzende Information zur Desinfektion, zu Desinfektionsverfahren und im Speziellen zur Raumdesinfektion. Österreichische Gesellschaft für Hygiene, Mikrobiologie und Präventivmedizin.
oeghmp.at/media/ergaenzende_informationen_zur_desinfektion_update_29_05_2020.pdf

38. ÖGHMP (2020): Grundsätzliche Information zur Raumdesinfektion. Österreichische Gesellschaft für Hygiene, Mikrobiologie und Präventivmedizin. oeghmp.at/media/grundlegende_ueberlegungen_zur_raumdesinfektion_update_29.05.2020.pdf

39. IGTE (2021): Pilotprojekt: Experimentelle Untersuchung zum Infektionsrisiko in Klassenräumen in Stuttgarter Schulen. Abschlussbericht 05.07.2021. Institut für Gebäudetechnik, Thermotechnik und Energiespeicherung der Universität Stuttgart.

40. Salthammer T, Uhde E, Schripp T, Schieweck A, Morawska L, Mazaheri M, Clifford S, He C, Buonanno G, Querol X, Viana M, Kumar P (2016): Children's well-being at schools: Impact of climatic conditions and air pollution. Environment International 94, 196-210

41. Petersen S, Jensen KL, Pedersen ALS Rasmussen HS (2016): The effect of increased class-room ventilation rate indicated by reduced CO_2 concentration on the performance of schoolwork by children. Indoor Air 26(3): 366-379

42. BMK (2022): Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft – Kohlenstoffdioxid als Lüftungsparameter. Überarbeitete Fassung, erarbeitet vom Arbeitskreis Innenraumluft im Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) unter Mitarbeit der österreichischen Akademie der Wissenschaften. Blau-Weiße Reihe

43. BMK (2021): Positionspapier zur Bewertung von Innenräumen in Hinblick auf das Infektionsrisiko durch SARS-CoV-2, erarbeitet vom Arbeitskreis Innenraumluft im Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

44. Tappler P, Twrdik F (2022): Eignung von Simulationsprogrammen und CO_2 als Indikator für das Infektionsrisiko gegenüber SARS-CoV-2. WABOLU-Innenraumtage 2021 Sonderband.

45. Peng Z, Jimenez JL (2021): Exhaled CO_2 as a COVID-19 Infection Risk Proxy for Different Indoor Environments and Activities. Environ. Sci. Technol. Lett. 2021, 8, 5, 392–397. https://doi.org/10.1021/acs.estlett.1c00183

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie
Abteilung V/11, Stubenbastei 5, 1010 Wien
+43 1 71162 612119
v11@bmk.gv.at
bmk.gv.at