

## Covid-19 / Corona – Mit Cent-Beträgen für Entkeimung der Atemluft mehr Sicherheit für Kunden, Patienten und Mitarbeiter

*Dr.-Ing. Volker Koschay, Dr. rer. nat. Sebastian Barfüßer, GIMAT Liquid Monitoring*

Die Corona-Pandemie hat im ersten Halbjahr 2020 mit hohen Infektionszahlen, zahlreichen Opfern und verheerenden wirtschaftlichen Folgen auch Deutschland ergriffen. Der hochansteckende Virus verbreitet sich über die Luft und kann sich in dieser unter geeigneten Bedingungen auch längere Zeit als Aerosol halten. Vor allem schlecht belüftete Innenräume sind Übertragungsherde mit besonders hohen Infektionsraten.

UV-C-Licht tötet Viren und Bakterien ab. Ein UV-basiertes Luftentkeimungsgerät beseitigt auf diese Weise infektiöse Keime in der Raumluft und erhöht die Sicherheit für Mitarbeiter und Kunden. VIBA\_EX, der moderne Luftreiniger von GIMAT für Raumgrößen bis 100 m<sup>2</sup>, ist mittlerweile ausgereift und erschwinglich.



Die Covid-19-Erkrankung, deren Ausbreitung Ende 2019 begann, hat sich binnen weniger Monate zu einer weltweiten Pandemie entwickelt.

### Verlauf und Symptome von Covid-19

Eine Erkrankung mit Covid-19

dauert im Mittel zwei bis sechs Wochen. Typische Folgen einer Covid-19 Erkrankung sind nur schwer zu beschreiben. Vielmehr wurde bei den erfassten Krankheitsfällen eine Palette möglicher Symptome beobachtet, die unterschiedlich stark auftreten können. Häufig litten Erkrankte an Husten, Fieber oder Schnupfen.

Ebenfalls erfasst wurden Störungen des Geruchs- und Geschmackssinns und in selteneren Fällen zahlreiche weitere Symptome, unter anderem Atemnot und verschiedene Schmerzen.<sup>1</sup> Am bekanntesten ist wohl die Gefahr einer schweren Lungenentzündung durch Covid-19, die auch zum Tod führen kann. Die Erkrankung kann aber auch ganz

ohne Symptome verlaufen. Wer Covid-19, im günstigsten Fall nach leichtem Krankheitsverlauf, überstanden hat, bleibt trotzdem nicht immer unbeschadet. Eine medizinische Studie zeigt, dass Folgen für das Herz wahrscheinlich sind: bei 60% einer Gruppe von Patienten, die kürzlich eine Covid-19 Erkrankung überwunden hatten, wurde eine Entzündung des Herzmuskels gefunden, und das obwohl zwei Drittel der Getesteten nur leichten Krankheitsverlauf hatten, so dass sie sich zuhause auskurieren konnten.<sup>2</sup>

## Pandemieeindämmung

Die von Covid-19 betroffenen Staaten reagierten mit scharfen Eindämmungsmaßnahmen zur Bekämpfung der weiteren Verbreitung. Diese Maßnahmen, unerwartet notwendig geworden, wurden als abrupte, drastische Einschränkungen in Wirtschaftsleben und Alltag für alle spürbar. Mit dem Abebben der ersten Infektionswelle entspannt sich die Lage zwar, aber von normalem Geschäftsbetrieb, wie aus der Zeit vor der Pandemie, kann in vielen Bereichen noch nicht gesprochen werden. Zum Höhepunkt der ersten Coronawelle berichteten etwa Arztpraxen von einem starken Rückgang der Patienten, die sich Termine geben lassen oder zu ihren Terminen dann auch erscheinen.<sup>3</sup> Zwischen 30%

und 80% Rückgang meldeten Ärzte verschiedener Fachrichtungen. Die kassenärztlichen Vereinigungen befürchten, dass weitere gesundheitliche Probleme folgen, wenn Patienten wegen Covid-19 Routine- und Vorsorgeuntersuchungen ausfallen lassen.

Andere Branchen bemerkten eine ähnliche Zurückhaltung ihrer Kunden. Eine Umfrage unter Mitgliedern von Fitnessstudios vom Mai 2020 ergab, dass zwei Drittel zögern, in die Studios zurückzukehren und vorhaben, sich mit den Hygienemaßnahmen auseinanderzusetzen.<sup>4</sup>

## Hygiene als neue Herausforderung

Daraus lässt sich ableiten, dass ein beträchtlicher Teil der Bevölkerung sich die Hygieneregeln, die vor einer Covid-19-Infektion schützen sollen, offenbar zu Herzen genommen hat. Für Geschäfte bedeutet das eine neue Herausforderung: Gäste bzw. Kunden/Patienten werden abgeschreckt von der Befürchtung, sich mit pathogenen Keimen zu infizieren. Die nicht immer angenehmen oder praktikablen Hygieneregeln wie Abstand halten, Desinfizieren oder Tragen eines Mund-Nasen-Schutzes sind hinlänglich bekannt. Mittlerweile ist aber auch die aktive Entkeimung der Raumluft in Räumen aller Größen möglich und erschwinglich.

Wir wenden uns im Folgenden zuerst pathogenen Keimen zu. Danach folgt eine Übersicht über die beiden etablierten Systeme zur Entkeimung von Luft.

## Viren

Viren sind beim Menschen Auslöser zahlreicher Krankheiten, darunter sowohl häufig auftretende als auch schwere wie etwa Influenza, Herpes, Masern, Tollwut oder Ebola.<sup>5</sup> Typische Übertragungswege sind Tröpfcheninfektion oder Kontaktinfektion.<sup>6</sup> Viren haben eine Größe von 18–350 nm. Aerosole mit Viren können in den für HEPA-Filter anspruchsvollen Bereich fallen, bei ausreichender Filterklasse und fachgerechter Installation aber immer noch zu einem sehr großen Teil zurückgehalten werden.<sup>7</sup>

## Bakterien

Bakterien sind einzellige Lebewesen, die fast überall und unter verschiedensten Umweltbedingungen zu finden sind.<sup>8</sup> Für den Menschen spielen sie verschiedene Rollen. So ist die Haut besetzt mit in der Regel harmlosen Bakterien.

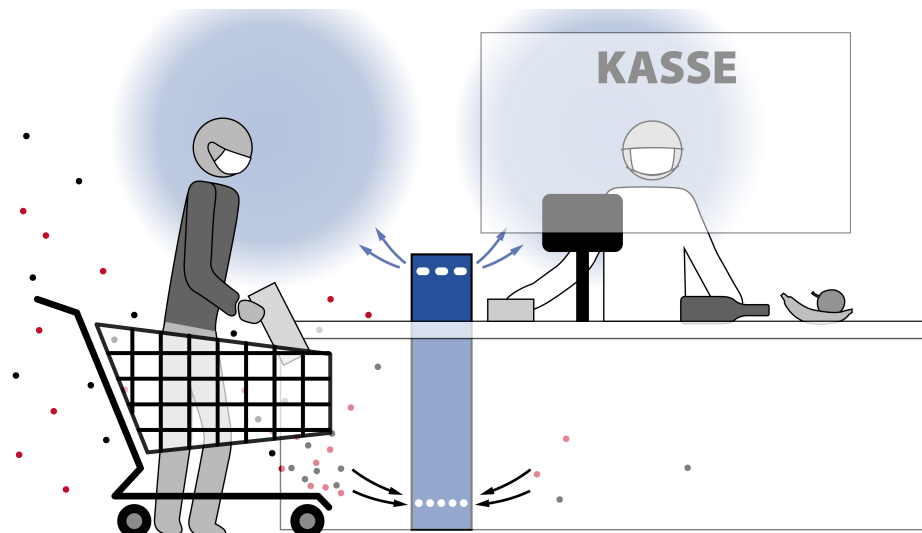
Unter den pathogenen Bakterien finden sich unter anderem die Auslöser der Tuberkulose, Cholera oder Tetanus.<sup>5</sup> Viele Bakterien haben eine Größe von 1–10 µm.

## Infektionswege

Die Tröpfcheninfektion ist ein wichtiger Übertragungsweg für zahlreiche durch die Luft übertragbare Krankheitserreger. Seit Covid-19 ist er auch einer breiten Öffentlichkeit bekannt. Die bezeichnenden, keimtragenden Tröpfchen entstehen beim Husten oder Niesen. Große Tröpfchen, wie sie für Niesen oder Husten typisch sind, landen innerhalb einer Sekunde am Boden.

Weniger geläufig ist der Übertragungsweg als Aerosol, das heißt mit noch kleineren Tröpfchen. Solche Mikrotröpfchen entstehen auch schon beim Sprechen und können über Stunden hinweg infektiös sein.<sup>9</sup> Sie sind so klein und leicht,

**Abbildung 1: Typischer Anwendungsfall des VIBA\_EX**



dass sie sich auch lange in der Luft halten können.

Der bekannte Virologe Christian Drosten schätzte im Mai 2020, dass für den aktuell grassierenden Corona-Virus der Aerosol-Übertragungsweg etwa genauso wichtig wie die Tröpfcheninfektion ist.<sup>10</sup>

Infektiöse Mikrotröpfchen können sich unter geeigneten Bedingungen weit von der Person entfernen, die sie ausgestoßen hat. Einfluß haben etwa die Raumgeometrie und die Aktivität der Lüftungsanlage. In Supermärkten etwa können derartige Aerosole sogar die Regalwände in den angrenzenden Gang überwinden, so aktuelle Forschungsergebnisse der finnischen Aalto-Universität.<sup>11</sup>

Südkorea war nach China eines der ersten Länder, in dem es zu größeren Zahlen an Covid-19-Infizierten kam. Die Ausbreitung des Virus wurde vom dortigen Zentrum für Seuchenbekämpfung gründlich untersucht. In einem Callcenter in Seoul steckten sich im März 2020 zahlreiche Mitarbeiter an.<sup>12</sup> Von 216 Mitarbeitern im 11. Stock infizierten sich 94 (43,5%). Auffällig war dabei eine Häufung auf einer Seite des Gebäudes, die meisten Infizierten saßen nah beieinander. In allen anderen Stockwerken kam es bei diesem Ausbruch nur zu 3 Ansteckungen.

Diese und ähnliche Untersuchungen legen nahe, dass längerer und enger Kontakt zu Infizierten in geschlossenen Räumen ein hohes Ansteckungsrisiko birgt.

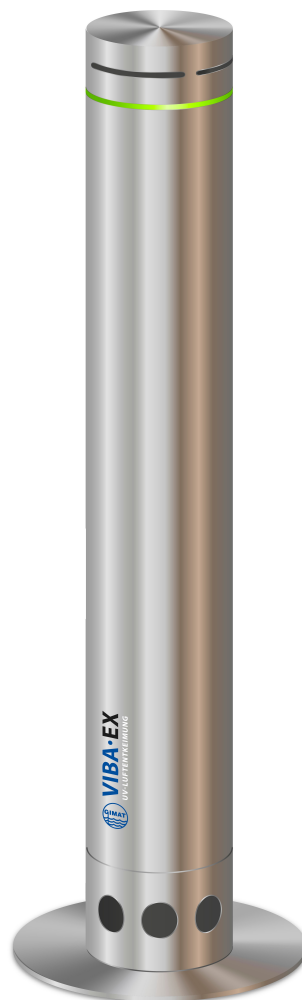
## HEPA-Filter

Zwei Systeme zur Entfernung von Keimen haben sich mittlerweile in vielen Anwendungen bewährt: Die Entfernung der Keime mit Filtern oder die Behandlung mit UV-Licht, um sie unschädlich zu machen.

Die Bezeichnung HEPA steht für hocheffiziente Partikelfilter für Luft. Ihre Entwicklung begann zu Zeiten des zweiten Weltkrieges, als Schutz vor biologischen und chemischen Kampfstoffen oder radioaktiven Partikeln benötigt wurde.<sup>13</sup> In der späteren zivilen Nutzung fanden sich schließlich zahlreiche An-

wendungen der HEPA-Filter in Medizin sowie verschiedenen sensitiven industriellen Anwendungen, z. B. Mikroelektronik und Pharmazie. Das Wirkprinzip von HEPA-Filtern beruht nicht auf einem Sieb-Effekt. Stattdessen sind Teilchengrößen von ca. 0,1–0,3 µm für HEPA-Filter am schwierigsten zurückzuhalten. HEPA-Filter werden in verschiedene Klassen eingeteilt; H14 etwa hält über 99,995% der Teilchen in diesem schwierigen Größenbereich zurück. Sowohl für Partikelgrößen oberhalb als auch unterhalb dieses Bereichs ist das Rückhaltevermögen besser. Das Filtermaterial muss regelmäßig ausgetauscht werden, das Intervall hängt ab von der Belastung. Eine fachgerechte Installation ist bei HEPA-Filterssystemen wichtig, denn Probleme wie Undichtigkeiten beeinträchtigen die Filterleistung.

Abbildung 2: VIBA\_EX



## Entkeimung mit UV-Licht

Die Entkeimung von Lebensmittelverpackungen wie z. B. Joghurtbecher durch Bestrahlung mit UV-Licht vor der Befüllung ist mittlerweile eine etablierte Technik. Das Verfahren reduziert die Keimbelastung der Verpackungen stark und verlängert so die Haltbarkeit der Lebensmittel. Die benötigte Bestrahlungszeit, typischerweise reichen in dieser Anwendung 2–4 Sekunden aus, hängt ab von Art der Keime – Bakterien, Viren oder Pilze – und der Intensität der UV-Lampe.<sup>14</sup> Die UV-Lampe muss bei solchen Geräten regelmäßig ausgetauscht werden, weil ihre Leistung mit der Zeit nachlässt. Moderne UV-Lampen erreichen eine Lebensdauer von einem Jahr.

## Das kleine UV-Lexikon

UV-Licht ist energiereiches Licht außerhalb des für den Menschen sichtbaren Bereichs. UV-Strahlung ist in der Lage, das Erbgut (DNA) zu schädigen.<sup>15</sup> Der UV-Bereich wird anhand der Wellenlänge und Energie des UV-Lichts noch feiner unterteilt in die Anteile UV-A, UV-B und UV-C. Die Sonne ist eine natürliche Quelle von UV-Strahlung des gesamten UV-Bereichs.

UV-A schließt direkt an den sichtbaren Bereich des Lichts an mit den Wellenlängen von 400–315 nm; seine DNA-schädigende Wirkung ist geringer als die der anderen Anteile.

Danach folgt UV-B mit 315–280 nm. Der UV-B-Anteil des Sonnenlichts wird zum Teil von der Ozonschicht der Atmosphäre abgehalten.

Der energiereichste Anteil ist UV-C mit 280–100 nm. Der UV-C-Anteil des Sonnenlichts wird vollständig durch die Atmosphäre der Erde abgefangen. Durch seine starke DNA-schädigende Wirkung ist UV-C-Licht in der Lage Viren und Bakterien unschädlich zu machen.<sup>16, 17</sup> UV-C-Lampen können zur UV-Entkeimung verwendet werden.



## Maßnahmen für geschlossene Räume

Der Gefahr der Aerosol-Übertragung kann man durch Reduktion der Virusbelastung in der Raumluft begegnen. Virologen zufolge kann regelmäßiges Lüften in vielen Alltagssituationen dafür wichtiger sein als Händewaschen oder Desinfizieren.<sup>10</sup> Eine aktuelle Untersuchung belegt, dass sich in einem gut gelüfteten Raum die Menge an Aerosol in der Raumluft in weniger als einer Minute halbiert.<sup>9</sup> Im unbelüfteten Versuchsraum dagegen hielt sich das Aerosol zehnmals so lange.

Allerdings ist Lüften nicht an allen Orten möglich oder praktikabel. Lärm aus der Umgebung, Zugluft, unangenehme Außentemperaturen im Winter oder Hochsommer oder auch ganz fehlende Fenster können dem Lüften entgegenstehen.

In solchen Fällen ist das UV-Luftentkeimungsgerät VIBA\_EX eine wirksame und sinnvolle Alternative.

VIBA\_EX ist selbstansaugend. Tiefliegende Ansaugöffnungen erfassen selbst am Boden schwebende Aerosole.

Eine ausgefeilte Konstruktion ist der Grund für die überzeugende Entkeimungsleistung.

Nur eine ausreichende Verweilzeit der keimbelasteten Luft im UV-Licht kann die fast vollständige Abtötung sicherstellen. Dafür sorgt im VIBA\_EX das großzügig bemessene Volumen, das durch die Rohrlänge von 130 cm bei einem Durchmesser von 20 cm erreicht wird.

Eigene Umfragen zum Thema ergaben, dass 72% der Befragten eine längere oder viel längere Zeit für die Entkeimung begrüßen würden, weil das ihr subjektives Sicherheitsgefühl weiter verbessert.

Das VIBA\_EX setzt auf lange Verweilzeit und damit sichere Deaktivierung der Keime.

Wettbewerbsprodukte dagegen sind zum Teil sehr viel kleiner, z. B. weniger als ½ m lang und merklich dünner. Das kleinere Volumen solcher Geräte erzwingt entweder geringen Durchsatz oder eine sehr kurze Verweilzeit von zum Teil

unter einer Sekunde.

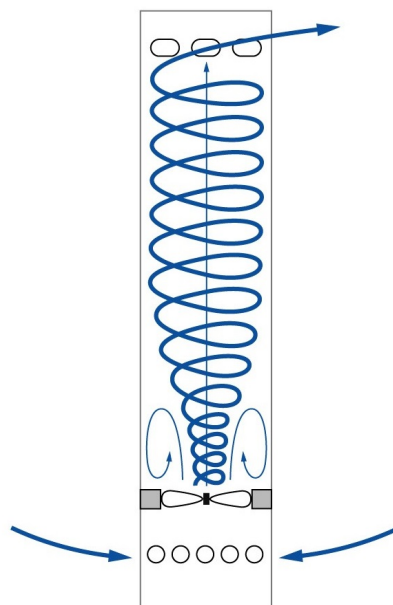
Der Luftstrom wird an einer UV-C-Lampe vorbei geleitet, welche sich in einem reflektierenden Edelstahlrohr befindet. Das UV-Licht wird an der glänzenden Metalloberfläche im Inneren des Rohres mehrfach reflektiert. Dadurch wird das UV-Licht hocheffizient genutzt - hohe Leistung mit nur einer UV-Lampe. Das Prinzip ist vergleichbar mit der Situation im Hochgebirge. Sonnenlicht, reflektiert an Eis- und Schneeflächen, kann dort intensiv genug sein, um Augenschäden in Form von Schneeblindheit hervorzurufen.

Die UV-Lampe im VIBA\_EX erzeugt kein gesundheitsschädliches Ozon.

Im VIBA\_EX werden spezielle Beschichtungen aus dem Hause des Weltmarktführers verwendet. Diese auch in der Weltraumtechnik verwendeten Beschichtungen halten UV-Strahlen zu 99,995% zurück. Anders als bei manch anderen Produkten ergibt sich somit der perfekte Schutz von Personen und Haustieren, die sich während des Betriebs problemlos im Raum aufhalten können.

Die zu reinigende Luft durchströmt den VIBA\_EX von unten nach oben. Der innere Aufbau ist streng ausgerichtet an detaillierten wissenschaftlichen Studien zur Luftströmung.

**Abbildung 3: Wirbelströmung im VIBA\_EX**



Die von Gimat speziell entwickelte Wirbelströmungs-Technologie führt zur spiralförmigen Luftzirkulation im Inneren des VIBA\_EX (Abbildung 3). Das garantiert eine mittlere Aufenthaltszeit der Luft von ca. 14 Sekunden. Die in dieser Verweilzeit abgegebene UV-Strahlendosis deaktiviert zuverlässig über 99,9% der Bakterien und Viren.

Das Entkeimungsgerät VIBA\_EX ist so ausgelegt, dass der Luftstrom auf Menschen nicht unangenehm wirkt. In einer Untersuchung mit 17 Probanden nahm in einem Abstand von 50 cm zum VIBA\_EX keiner einen Luftzug wahr.

VIBA\_EX ist entwickelt für den Dauerbetrieb im 24/7-Einsatz. Die durchschnittliche Gesamt-Konzentration an Keimen wird dabei minimiert. Der Durchsatz beträgt ca. 70 m<sup>3</sup>/h, so dass die Luft eines typischen Wartezimmers einer Arztpraxis am Tag mehrmals entkeimt wird.

So eingesetzt liegt die max. Betriebsdauer der UV-Lampe bei 10000 Stunden, d. h. ca. einem Jahr. Nach diesem Zeitraum muss die Lampe ausgetauscht werden.

Der Stromverbrauch liegt im 24 h Dauerbetrieb bei ca. 1 kWh pro Tag.

## Kosten/Nutzen-Rechnung

Eine Modellrechnung am Beispiel eines Großraumbüros finden Sie in Tabelle 1.

Für eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird von einer Nutzungsdauer des VIBA\_EX von 5 Jahren ausgegangen. Der reguläre Zeitraum, in dem das Büro genutzt wird, sei werktäglich 10 Stunden. Vereinfacht wird davon ausgegangen, dass sich in dem Büro ganzjährig Personen aufhalten. Bei 220 Arbeitstagen ergeben sich somit rechnerisch 2200 Stunden pro Jahr, in denen das Büro von Mitarbeitern genutzt wird.

Neben den Anschaffungskosten für ein VIBA\_EX sind bei einer Kosten-Nutzen-Entscheidung auch dessen Betriebskosten zu berücksichtigen, wobei davon ausgegangen wird, dass der Erwerber zum Vorsteuerabzug berechtigt ist. Alle Berechnungen wurden daher ohne Be-

Tabelle 1: Beispielrechnung für VIBA\_EX in einem Büro (gerundet)

Posten	Bedarf (5 Jahre)	Preis/Einheit	Betrag
<b>Anschaffung (ohne MwSt.)</b>			<b>1550 €</b>
<b>Tausch-UV-Lampen</b>	<b>3 Stück</b>	<b>× 80 € =</b>	<b>240 €</b>
<b>Stromkosten</b>	<b>5 × 368 kWh</b>	<b>× 0,30 € =</b>	<b>550 €</b>
<b>Summe Kosten 5 Jahre</b>			<b>2340 €</b>
<b>Effektive Nutzungsdauer</b>			
	<b>∅ am Tag</b>	<b>∅ im Jahr</b>	<b>in 5 Jahren</b>
	<b>10 h</b>	<b>× 220 Tage</b>	<b>× 5 = 11000 h</b>
<b>Kosten pro Betriebsstunde</b>	<b>2340 € / 11000 h</b>		<b>= 0,21 €/h</b>

rücksichtigung von Umsatzsteuer durchgeführt.

Im Lieferumfang sind zwei UV-C-Lampen enthalten, sodass innerhalb einer 5-jährigen Nutzungsdauer 3 weitere Lampen benötigt werden. Das Gerät ist ausgelegt auf einen 24/7-Betrieb. Bei der Berechnung der Stromkosten wurden künftige, zu erwartende Preissteigerungen bereits zugrunde gelegt. Die Anschaffungs- und Betriebskosten sind in der Tabelle 1 dargestellt.

Legt man alle Kosten auf die einzelne Stunde um, in der das Büro effektiv genutzt wird, entstehen Mehrkosten von nur 21 Cent pro Stunde.

Einige Ärzte und Einzelhändler berichten bereits nach kurzer Zeit von positiven Rückmeldungen von Kunden und Patienten. Aufgrund des höheren Sicherheitsgefühls ist bei einigen Anwendungen des VIBA\_EX die Patienten- bzw. Kundenfrequenz angestiegen, was zu Mehreinnahmen führt.

1. Steckbrief des Robert-Koch-Institutes zu Covid-19 [https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges\\_Coronavirus/Steckbrief.html](https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Steckbrief.html), Stand 07.08.2020 (aufgerufen am 14.08.2020).
2. Puntmann, V. O.; Carerj, M. L.; Wieters, I.; Fahim, M.; Arendt, C.; Hoffmann, J.; Shchendrygina, A.; Escher, F.; Vasa-Nicotera, M.; Zeiher, A. M.; Vehreschild, M.; Nagel, E. Outcomes of Cardiovascular Magnetic Resonance Imaging in Patients Recently Recovered From Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) *JAMA Cardiol* doi: 10.1001/jamacardio.2020.3557
3. Fachärzte: Erst leere Wartezimmer, jetzt Termin-Stau. <https://www.ndr.de/nachrichten/info/DrastischerRueckgang-vonFacharztbesuchen,facharzt124.html> (aufgerufen am 25.05.2020).
4. Kunden bleiben weg - Fitnessstudios fürchten um Existenz. <https://presse-augsburg.de/kunden-bleiben-weg-fitnessstudios-fuerchten-um-existenz/555033/> (aufgerufen am 25.06.2020)
5. Spektrum.de Lexikon der Biologie, Liste der Infektionskrankheiten [https://www.spektrum.de/lexika/showpopup.php?lexikon\\_id=9&art\\_id=34016&nummer=12471](https://www.spektrum.de/lexika/showpopup.php?lexikon_id=9&art_id=34016&nummer=12471) (aufgerufen am 24.06.2020, und darin enthaltene Links).
6. Spektrum.de Lexikon der Biologie, Infektionskrankheiten <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/infektionskrankheiten/34016> (aufgerufen am 24.06.2020).
7. Harstadt J. B.; Filler M. E. Evaluation of Air Filters with Submicron Viral Aerosols and Bacterial Aerosols *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* **1969**, *30*, 280–290.
8. Spektrum.de Lexikon der Biologie, Bakterien <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/bakterien/6844> (aufgerufen am 24.06.2020).
9. Somsen G. A.; van Rijn C.; Kooij S.; Bem R. A.; Bonn D. Small droplet aerosols in poorly ventilated spaces and SARS-CoV-2 transmission *Lancet Respir. Med.* **2020**, [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(20\)30245-9](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(20)30245-9)
10. Virologe Drosten zu Aerosol-Übertragung [https://www.deutschlandfunk.de/virologe-drosten-zu-aerosol-uebertragung-im-alltag-eher.694.de.html?dram:article\\_id=477312&utm\\_source=pocket-newtab-global-de-DE](https://www.deutschlandfunk.de/virologe-drosten-zu-aerosol-uebertragung-im-alltag-eher.694.de.html?dram:article_id=477312&utm_source=pocket-newtab-global-de-DE) (aufgerufen am 30.06.2020).
11. Vuorinen, V.; Fletcher, M. Researchers modelling the spread of coronavirus emphasise the importance of avoiding busy indoor spaces <https://sciencex.com/wire-news/347797400/researchers-modelling-the-spread-of-coronavirus-emphasise-the-im.html> (aufgerufen am 28.05.2020).
12. Park S.Y.; Kim Y.M.; Yi S.; Lee S.; Na B.J.; Kim C.B.; et al. Coronavirus Disease Outbreak in Call Center, South Korea *Emerg Infect Dis.* **2020**, Early Release Article (veröffentlicht am 23. April 2020) <https://doi.org/10.3201/eid2608.201274>
13. First, M. W. HEPA Filters *Journal of the American Biological Safety Association* **1998**, *3*, 33–42.
14. Intensives UV Licht gibt Keimen keine Chance! Pressemitteilung auf Pressebox.de <https://www.pressebox.de/press-emitteilung/heraeus-holding-gmbh/Intensives-UV-Licht-gibt-Keimen-keine-Chance/boxid/729262> (aufgerufen am 27.08.2020).
15. WHO, WMO, UNEP, ICNIRP *Global Solar UV Index - A Practical Guide*, World Health Organization, Genf, 2002.
16. Luna V. A.; Cannons A.C.; Amuso P. T.; Cattani J. The inactivation and removal of airborne Bacillus atrophaeus endospores from air circulation systems using UVC and HEPA filters *J. Appl. Microbiol.* **2008**, *104*, 489–498.
17. Chang, J. C. H.; Ossoff, S. F.; Lobe, D. C.; Dorfman, M. H.; Dumais, C. M.; Qualls, R. G.; Johnson, J. D. UV Inactivation of Pathogenic and Indicator Microorganisms *Appl. Environ. Microb.* **1985**, *49*, 1361-1365.