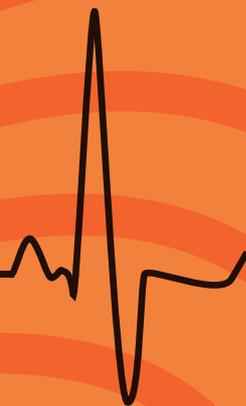


GRUNDLAGEN für das Musizieren unter Pandemie- bedingungen

Version 2.0
15.02.2022



Grundlagen für das Musizieren unter Pandemiebedingungen

Kompetenznetzwerk
NEUSTART AMATEURMUSIK

Version 2.0
15. Februar 2022

Aktualisierungen unter <https://bundesmusikverband.de/grundlagen/>

NEUSTART AMATEURMUSIK ist ein Förderprogramm zur Erhaltung und Wiederbelebung der Amateurmusik in Pandemiezeiten im Rahmen von NEUSTART KULTUR

Gefördert durch:



Die Beauftragte der Bundesregierung
für Kultur und Medien



Nadja Bader (Evangelischer Posaunendienst in Deutschland e. V. & Bund Deutscher Blasmusikverbände e. V.)
Rolf Bareis (Evangelischer Posaunendienst in Deutschland e. V. | Leitender Obmann)
Judith Bock (Verband Deutscher KonzertChöre e. V.)
Annalena Groß (Bund Deutscher Blasmusikverbände e. V.)
Joachim Gutmann (Bund Deutscher Blasmusikverbände e. V.)
Christoph Karle (Bund Deutscher Blasmusikverbände e. V. | Geschäftsführender Präsident)
Franziska Luther (Allgemeiner Cäcilien-Verband für Deutschland)
Dr. Arnold Meißner (Bund Deutscher Blasmusikverbände e. V.)
Dr. Saskia Meißner (Bund Deutscher Blasmusikverbände e. V.)
Lorenz Overbeck (Bundesmusikverband Chor & Orchester e. V. | Geschäftsführung)
Srdjan Tošić (Deutscher Chorverband e. V.)
Marcus von Amsberg (Chorverband in der Evangelischen Kirche in Deutschland e. V.)
Dr. Joachim Werz (Allgemeiner Cäcilien-Verband für Deutschland)
Kontakt: grundlagen@bundesmusikverband.de

Vorwort

Der Amateurmusikbereich ist von den Auswirkungen der SARS-CoV-2-Pandemie stark betroffen. Laut einer **Studie** des Musikinformationszentrums (miz) musizieren in Deutschland 14,3 Millionen Menschen in ihrer Freizeit. Seit Beginn der Pandemie in Deutschland hat ein Großteil der Amateurmusikensembles seine Aktivitäten eingestellt bzw. auf digitalen Wegen fortgeführt. Einer Umfrage des Bundesmusikverbandes Chor & Orchester zufolge sind rund 90 Prozent aller Konzerte im Jahr 2020 ausgefallen. Die andauernde Unterbrechung des Probenbetriebs könnte laut Deutschem Musikrat auch die Zukunftschancen und die Wettbewerbsfähigkeit junger Musikschaffender dauerhaft schädigen.

Als Reaktion auf die Auswirkungen der Pandemie wurde durch die Förderung der Staatsministerin für Kultur und Medien und im Rahmen des Rettungs- und Zukunftsprogramms NEUSTART KULTUR ein Kompetenznetzwerk zur Sicherung und Wiederbelebung der Amateurmusik in Deutschland ins Leben gerufen. Als Kooperation von 15 Musikverbänden und unter der Federführung des Bundesmusikverbandes Chor & Orchester bietet das Kompetenznetzwerk NEUSTART AMATEURMUSIK Beratung für Ensembles und Musikvereine und erarbeitet Handreichungen, Empfehlungen sowie kreative Lösungen zur Wiederbelebung der Amateurmusik in Deutschland. Das gebündelte Wissen rund um das Musizieren wird unter anderem auch auf der Wissensplattform <http://frag.amu.de> dauerhaft zur Verfügung gestellt.

Das Kompetenznetzwerk mit seinem wissenschaftlichen Gremium steht im engen Kontakt mit den Vertreter*innen der Wissenschaft und erarbeitet Handlungsempfehlungen für das Spannungsfeld sicheres Musizieren unter Pandemiebedingungen. Dieses Papier stellt Informationen auf Basis aktueller Forschungsergebnisse zu diesem Thema zusammen und bietet damit eine Grundlage für die Erarbeitung von Hygienekonzepten sowie für kulturpolitische Entscheidungen.

Die ersten Seiten bieten eine kurze Übersicht für Handlungsempfehlungen. Sie dienen als allgemeinverständliche Grundlage für Hygienekonzepte, die das gemeinsame Musizieren unter Pandemiebedingungen (COVID-19) ermöglichen. Die einzelnen Punkte werden mit wissenschaftlichem Hintergrund und Empfehlungen anderer Einrichtungen auf darauffolgenden Seiten im Detail erläutert.

Die Einhaltung der aktuellen, regional gültigen Corona-Verordnung hat stets Vorrang, sodass nicht sämtliche hier aufgeführten Maßnahmen zwingend notwendig sind. Je nach den konkreten Umständen vor Ort reduzieren bereits eine Auswahl dieser Maßnahmen deutlich das Infektionsrisiko beim Musizieren. Grundsätzlich haftet niemand für eine Infektion. Auch der Veranstaltende von Proben und Konzerten kann nicht für eine Infektion haftbar gemacht werden, sofern die geltenden Regeln erfüllt sind. Mehr hierzu, insbesondere zum Sorgfaltsmaßstab auf <https://frag-amu.de/wiki/haftung-bei-infektionen/>.

Die Anwendung der Maßnahmen kann das Infektionsrisiko zwar nicht völlig ausschließen, jedoch deutlich reduzieren und Proben und Veranstaltungen im Amateurmusikbereich ermöglichen. Dieses Dokument wird laufend aktualisiert, sodass vorherige Versionen durch die aktuelle Ausgabe abgelöst werden.

Inhaltsverzeichnis

1	Empfehlungen als Grundlage für Hygienekonzepte	6
2	SARS-CoV-2 Infektionsgeschehen	9
2.1	Analyse bekannter Clusterinfektionen	9
2.2	Indirekte Übertragung und Stabilität von SARS-CoV-2	10
2.3	Die Rolle der Aerosole im SARS-CoV-2 Infektionsgeschehen	11
2.4	Entwicklung des SARS-CoV-2 Infektionsgeschehen	13
3	Impfen & Coronatests	14
3.1	Impfung	14
3.2	Coronatests	18
4	Teilnehmende & Kontaktdaten	21
4.1	Geregelter Zugang	21
4.2	Kontaktdatenerfassung	22
4.3	Maßnahmen beim Auftreten von Symptomen	23
5	Abstands- & Hygienemaßnahmen	24
5.1	Abstand	24
5.2	Trennwände	24
5.3	Hygiene	25
6	Tragen von Masken	26
6.1	Maskentypen	26
6.2	Schutzwirkung von Masken	28
7	Lüften & Lüftungstechnik	29
7.1	Lüften	30
7.2	Raumlufttechnische Anlagen	30
7.3	Mobile Luftreinigungsgeräte & RLT-Anlagen im Umluftbetrieb	31
7.4	Anforderungen an Luftreiniger	32
7.5	Beispiele für Luftreiniger	33
8	CO₂-Messung	36
8.1	CO ₂ -Konzentration als Maß für die Raumluftqualität	36
8.2	Rechtzeitiges und wirksames Lüften durch CO ₂ -Messungen	37
8.3	Beispiele für CO ₂ -Messgeräte	38

9	Parameter des Veranstaltungsorts	43
9.1	Geschlossene Räume	43
9.2	Im Freien	45
9.3	Modellrechner zur Risikoeinschätzung für Innenräume	46
10	Risikobetrachtung – Ein exemplarischer Proberaum	48
10.1	Proberaum	48
10.2	Ansteckungswahrscheinlichkeiten	50
10.3	Nutzen von Schnelltests	52
10.4	Wahrscheinlichkeiten in Proben	53
10.5	Wahrscheinlichkeit bei Konzerten	54
11	Versionsverlauf	55
	Literaturverzeichnis	57

1 Empfehlungen als Grundlage für Hygienekonzepte

Die einzelnen Punkte werden mit wissenschaftlichem Hintergrund zum **SARS-CoV-2 Infektionsgeschehen** und Empfehlungen anderer Einrichtungen auf darauffolgenden Seiten im Detail erläutert.

Die Einhaltung der aktuellen, regional gültigen Corona-Verordnung hat stets Vorrang, sodass nicht sämtliche hier aufgeführten Maßnahmen zwingend notwendig sind. Je nach den konkreten Umständen vor Ort reduzieren bereits eine Auswahl dieser Maßnahmen deutlich das Infektionsrisiko beim Musizieren. Grundsätzlich haftet niemand für eine Infektion. Auch der Veranstaltende von Proben und Konzerten kann nicht für eine Infektion haftbar gemacht werden, sofern die geltenden Regeln erfüllt sind. Mehr hierzu, insbesondere zum Sorgfaltsmaßstab auf <https://frag-amu.de/wiki/haftung-bei-infektionen/>.

Die Anwendung der Maßnahmen kann das Infektionsrisiko zwar nicht völlig ausschließen, jedoch deutlich reduzieren, sodass Proben und Veranstaltungen im Amateurmusikbereich möglich sind.

Impfen & Coronatests

- Die Impfung bietet einen guten individuellen Schutz, nicht schwer an COVID-19 zu erkranken.
- Zusätzlich bremst die Impfung die Ausbreitungsdynamik ab. Im Falle der neuen Virusvarianten bieten zusätzliche Coronatests auch bei geimpften Personen mehr Sicherheit, um Ansteckungen zu vermeiden.
- Antigentests (Schnell- und Selbsttests) bieten eine schnelle und einfache Möglichkeit, ansteckende Personen von Veranstaltungen fernzuhalten. Sie erkennen insbesondere hohe Virenlasten in den Atemwegen.
 - negativ = eher nicht ansteckend, weiterhin AHA+L-Regeln beachten.
 - positiv = vermutlich ansteckend, sich isolieren und durch PCR-Labortest überprüfen lassen.
- Die Aussagekraft eines negativen Testergebnisses ist zeitlich beschränkt (maximal 48 h). Für höhere Sicherheit sollten die Tests erst kurz vor dem gemeinsamen Musizieren durchgeführt werden.

Teilnehmende & Kontaktdaten

- Die verantwortungsbewusste Teilnahme wird durch persönliche Kontaktanalyse der vorangegangenen 2 bis 3 Tage sowie durch persönliche Kontrolle möglicher Krankheitssymptome von allen Teilnehmenden gewährleistet. Zusätzlich bietet eine hohe Impfquote und ergänzende Coronatests mehr Sicherheit.
- Zur Einhaltung des Abstands ist der kontaktlose Einlass, eine geregelte Wegführung, falls nötig getrennte Ein- und Ausgänge, das Vermeiden von Warteschlangen und feste Plätze sinnvoll.
- Die Erfassung der Kontaktdaten (DSGVO-konform) aller Teilnehmenden zur evtl. Rückverfolgung und Meldung an das Gesundheitsamt wird empfohlen. Aufgenommen werden sollten Vorname, Familienname, Anschrift oder Telefonnummer, das Datum und der zeitliche Rahmen des Zusammentreffens.

- Die Kontaktdatenerfassung ist auch per App (Abschnitt 4.2) bzw. digitaler Anwesenheitsliste beim Probenbetrieb möglich. Beachtet werden sollten dabei evtl. datenschutzrechtliche Lücken der jeweiligen Software.

Abstands- & Hygienemaßnahmen

- Allgemein: Abstand, Hygiene, Alltag mit Maske und Lüften (AHA+L-Regeln).
- Abstand verhindert keine Ansteckung über Aerosole in geschlossenen Räumen.
- Ein Abstand von 1,5 Metern, Gesichtsvisionen und Trennwände oder das Tragen von Masken bieten einen Schutz vor Tröpfcheninfektion, insbesondere bei Gesprächen (face-to-face).
- Bei Aufstellungen ohne direkten Blickkontakt (wie bei Chor, Orchester) oder mit Trennwänden wird der Abstand zweitrangig. Der Abstand zwischen musikalisch Leitenden und den Musizierenden sollte großzügig eingehalten werden oder Masken getragen werden.
- Versetzte Aufstellung der Musizierenden und des Publikums (Schachbrettmuster).
- Musizierende sollten ihr Kondenswasser aus dem Instrument auffangen und sicher entsorgen.
- Gemeinsame Nutzung von Instrumenten und Gegenständen vermeiden (bei Austausch fachgerecht reinigen/desinfizieren).

Tragen von Masken

- Bei Kontakt mit Personen aus anderen Haushalten sollten Schutzmasken möglichst durchgehend und korrekt sitzend getragen werden (eng anliegend, ohne Lücken/Leckagen).
- OP-Masken sind ein guter Tröpfchenschutz und dicht anliegende FFP-Masken schützen zusätzlich vor der Ansteckung über Aerosole in geschlossenen Räumen.
- Masken mit Ausatemventil sollten grundsätzlich nicht getragen werden, sie bieten nur einen Eigenschutz.
- Die Maske sollte nur an den dafür vorgesehenen Bändchen angefasst werden.

Lüften & Lüftungstechnik

- Ab einem Austausch oder Reinigung der Raumluft von etwa 50 – 75 m³ pro Stunde und Person ist von einer ausreichenden Entfernung der potentiell infektiösen Aerosole auszugehen.
- Kontrolliertes Lüften: Häufigkeit und Dauer sollte durch Überwachung der Raumluftqualität mittels CO₂-Messungen erfolgen.
 - Freies Lüften ist mit dem Prinzip des Stoß- und Querlüftens am effektivsten.
 - Raumlufttechnische Anlagen sollten mit dem Prinzip der Quell-Lüftung und 100 Prozent Frischluftzufuhr betrieben werden (sehr gute Belüftung möglich).
 - Raumlufttechnische Anlagen im Umluftbetrieb sollten möglichst vermieden werden oder nur z. B. mit der Kombination von Filtervliese F7 und F9 nach DIN EN 779:2012 eingesetzt werden.
 - Luftreiniger können ergänzend zum freien Lüften genutzt werden, z. B. für Räume mit schlechter Lüftungsmöglichkeit. Ab einer Reinigung von 50 – 75 m³ pro Stunde und Person, ist bei der Kontrolle der Raumluftqualität ein CO₂-Gehalt kleiner 1000 ppm bereits ausreichend.

CO₂-Messung

- Da CO₂ genauso durch die menschliche Atmung entsteht wie eventuell virenbelastete Aerosolpartikel, kann die CO₂-Konzentration als Indikator für die Konzentration ausgeatmeter Aerosolpartikel angenommen werden. Kontinuierliche CO₂-Messungen und daraus abgeleitete Lüftungs- und Pausenregelungen sind deshalb eine gute Möglichkeit, um das Infektionsrisiko in Verbindung mit anderen Maßnahmen deutlich zu reduzieren.
- Als Grenzwert wird eine CO₂-Konzentration von 800 ppm empfohlen.
- Ausreichend genaue CO₂-Monitore (auch als CO₂-Ampeln bekannt) sind im Handel relativ kostengünstig erhältlich (Abschnitt 8.3).

Parameter des Veranstaltungsorts

- Große Räume wie z. B. Kirchen oder Hallen bevorzugt nutzen, das Raumvolumen pro Person und die Lüftung sind entscheidend.
- Lüftungskonzept für den jeweiligen Raum erstellen (Kapitel 7, Kapitel 8).
- Maximale Raumbelegung und Aufenthaltszeit reduzieren.
- Veranstaltungen im Freien sollten, aufgrund des geringeren Infektionsrisikos (optimale Belüftung, Inaktivierung der Viren durch UV-Strahlung), bevorzugt werden.
- Die Maske kann im Freien und in geschlossenen Räumen bei sehr guter Lüftung am festen Platz abgenommen werden.
- Im Freien sind Masken nur bei face-to-face-Situationen sinnvoll.
- Individuelle Risikoeinschätzung unter Berücksichtigung der Impfquote, dem Schutzbedarf der Teilnehmenden (Altersstruktur) oder örtlichen Gegebenheiten wie dem Infektionsgeschehen und der Raumsituation.
- Modellrechner (Abschnitt 9.3) zur Risikoeinschätzung können als Ergänzung zu Hygienekonzepten genutzt werden (Achtung: nur theoretische Annahmen).

Risikobetrachtung – Ein exemplarischer Proberaum

- Risikoabschätzung für zwei konkrete Ereignisse: Probe und Konzert.
- Den besten Schutz bieten korrekt getragene FFP2-Masken.
- Ein gleichwertiger Schutz kann durch die Kombination folgender Maßnahmen erreicht werden:
 - sehr guter Belüftung (technische Lüftung / RLT-Anlage oder kontrollierte Lüftung und Luftreiniger).
 - Antigentest aller Anwesenden (bei Inzidenz über 50).
- Bei höheren Inzidenzen sind größere Veranstaltungen so auszulegen, dass von infizierten Personen kein Risiko ausgeht – ihre Anwesenheit lässt sich nicht ausschließen.

2 SARS-CoV-2 Infektionsgeschehen

Die Übertragung von SARS-CoV-2 findet laut RKI [RKI21c; RKI21e] beim Atmen, Sprechen, Schreien, Husten, Singen, Musizieren, etc., hauptsächlich über Tröpfchen und ausgeatmete Lungenaerosolpartikel (LAP) als Träger der Viren statt, wobei das Virus selbst etwa 80–140 nm groß ist. Die Viren sind nur ein kleiner Anteil der LAP, die sich aus Wasser, Salzen, Proteinen und weiteren Bestandteilen zusammensetzen. Entscheidend bei der Ansteckung sind die lungengängigen Aerosole [Bec+04], mit einer Größe der Feinstaubkategorie PM_{2,5} also Partikel kleiner 2,5 µm.

Eine Messung der ausgeatmeten LAP ist nicht direkt möglich, da weitere Umwelteinflüsse (Hausstaub, Pollenflug, Reifenabrieb, Industrie, etc.) bereits Aerosole und Feinstaub in der Luft erzeugen. Die Ausbreitung der LAP im Raum, die Korrelation zwischen den Konzentrationen von ausgeatmetem CO₂ sowie LAP, als auch die kritische Konzentration an Viren für eine Infektion sind aktueller Gegenstand der Forschung.

Ein Abstand von 1,5 Metern oder Masken reduzieren das Risiko durch Tröpfcheninfektion im Freien und in Räumen. Falls der Abstand nicht eingehalten werden kann, bieten Masken je nach Typ der Maske einen Fremd- oder auch Eigenschutz (Kapitel 6).

Eine deutliche Reduktion der Infektionsgefahr über LAP in Räumen kann durch Lüften, Lüftungsanlagen und Luftreiniger erreicht werden (Kapitel 7), um die Anreicherung von LAP im Raum zu reduzieren. Dabei sollten turbulente Luftbewegungen vermieden und die LAP gezielt nach außen transportiert werden.

Veranstaltungen und Zusammentreffen im Freien sind deutlich sicherer, da dort keine Anreicherung von Aerosolen entsteht, wie es auch in einem offenen Brief der Gesellschaft für Aerosolforschung (GAeF) hervorgehoben wird [Asb+21; GAe20]. Dies ist eine Erklärung dazu, dass Cluster-Infektionen fast ausschließlich in Räumen stattfinden [Qia+20; Qia+21]. Es ist auch bereits nachgewiesen, dass die Viren durch UV-Strahlung inaktiviert werden können [Sch+20b; RBS20; Buo+20].

Eine Kontaktübertragung (Schmierinfektion) von SARS-CoV-2 über kontaminierte Oberflächen ist laut [Dor+20] nicht ganz auszuschließen, kann aber durch einfache Hygienemaßnahmen (Kapitel 5) deutlich reduziert werden.

Ein Blick in die Zukunft der COVID-19-Pandemie in Europa wird in einer Expertenbefragung bereit gestellt [Ift+21; Pri+21].

2.1 Analyse bekannter Clusterinfektionen

Infektionen durch direkten Kontakt wie bei einem Gespräch (face-to-face) ohne Maske oder den Austausch von kontaminierten Gegenständen sind nicht auszuschließen, spielen jedoch bei größeren Ansteckungsereignissen (Clusterinfektionen) keine Rolle. Unter diesen Umständen ist eine strikte Abstandspflicht nicht angemessen. Bei Gesprächen oder vergleichbaren Handlungen von Angesicht zu Angesicht

verhindert ein Mindestabstand oder das Tragen einer Maske die Ansteckung über größere Tröpfchen, die durch ihr Volumen besonders große Virenlasten transportieren können.

Die bekannten und untersuchten Clusterinfektionen legen nahe, dass die Hauptübertragung durch die Verbreitung von Aerosolen stattfindet. Eine Infektion durch unterschreiten eines Mindestabstands oder durch gemeinsame Nutzung von Gegenständen und Oberflächen trägt nicht signifikant zum Infektionsgeschehen bei.

- Ansteckungen in China bis Februar 2020: Von 318 Infektionen mit mehr als drei Betroffenen fanden alle in geschlossenen Räumen statt. Lediglich ein einziger Infektionsfall fand im Freien durch ein Gespräch statt [Qia+21].
- Ansteckungen in einem Restaurant, Guangzhou, China: Nur Personen im Luftstrom eines Klimagerätes, das die ausgeatmeten Aerosole einer infizierten Person im Raum umgewälzt hat, wurden angesteckt. Weder unter den anderen Gästen noch beim Personal fanden Infektionen statt. Unter den Personen am gleichen Tisch ist die Infektionsrate nicht höher als an den Nachbartischen im Luftstrom des Klimageräts [Li+21].
- Ausbruch in Fleischverarbeitung, Deutschland: Im Arbeitsumfeld eines Infizierten fanden etliche Infektionen statt. Es ist naheliegend, dass eine Umluft-Kühlanlage die Aerosole in einem großen Bereich verteilt hat, sodass der physische Abstand keine Rolle spielt. Personen im gleichen Schlafbereich wurden ebenfalls angesteckt. Ansteckungen durch die Nutzung der gleichen Fahrzeuge oder im gleichen Gebäude spielen eine untergeordnete Rolle [Gue+20].
- Chorprobe in Skagit County, USA: Bei einer insgesamt 2,5-stündigen Chorprobe in einem geschlossenen Raum steckten sich trotz Abständen 53 von 61 Chormitgliedern an. Die räumliche Verteilung der Ansteckungen legt nahe, dass direkte Infektionen durch Schmier- und Tröpfcheninfektion keine Rolle spielen [Mil+21].
- Ansteckung in Quarantäne-Hotel in Hong-Kong, China: In einem Quarantäne-Hotel fand eine Ansteckung einer Person statt, die nachweislich keinen Kontakt mit der infektiösen Person hatte. Der vermutete Ansteckungsweg ist über Luftaustausch zwischen den Zimmern [Gu+22].

2.2 Indirekte Übertragung und Stabilität von SARS-CoV-2

Die Tröpfchen oder LAP als Träger der Viren werden auch auf Oberflächen abgeschieden. Es ist laut van Doremalen et al. [Dor+20] und Chin et al. [Chi+20] und dem Steckbrief des RKI [RKI21c] bereits bekannt, dass Viren auf verschiedenen Oberflächen einige Tage infektiös bleiben können: auf **glatten** Oberflächen wie z. B. Edelstahl und Plastik bis zu **7 Tage** und auf **porösem** Material wie z. B. auf Karton nur **24 Stunden** und auf **Kleidung** nur **4 Stunden**. Eine direkte Untersuchung zur Lebensdauer von Viren auf oder in Instrumenten gibt es derzeit nicht. Die Oberflächen der Instrumente können aber den beiden Gruppen wie folgt zugeordnet werden:

glatte Oberflächen: Metall, lackiertes Metall, lackiertes Holz, Kunststoffelle (Schlagwerk)

poröse Oberflächen: Pappe, Papier, Naturfelle (Schlagwerk), unbehandeltes Holz und geöltes Holz

Beim Kontakt mit der Oberfläche können diese Viren wieder aufgenommen werden und zu einer Infektion führen. Durch Einhaltung der Hände-Hygiene oder Desinfektion kann dieser Weg einer Infektion deutlich reduziert werden (Kapitel 5).

SARS-CoV-2-haltige Aerosole aus künstlichem Speichel und aus Zellkulturmedium wurden in einem Laborexperiment generiert und simuliertem Sonnenlicht (UV-A- und UV-B-Spektrum) ausgesetzt (vergleichbar mit direktem Sommersonnenlicht im Freien). Die Viren wurden im Durchschnitt innerhalb von 8 Minuten bis zu 90 Prozent inaktiviert, ohne den Einfluss von simuliertem Sonnenlicht (Innenraumbedingungen) wurden sie erst nach 286 Minuten zu 90 Prozent inaktiviert [Sch+20b].

Ein Laborexperiment von Buonanno et al. [Buo+20] mit virenbeladenen Aerosolen verwendet Far-UVC-Strahlung (Wellenlänge von 222 nm) mit einer Dosis von etwa $2 \text{ mJ/cm}^2 = 20 \text{ J/m}^2$ und erreicht eine Inaktivierung von 95 Prozent der Viren nach ca. 8 Minuten und 99,9 Prozent nach ca. 25 Minuten Belichtung. Die Lampe war im Abstand von 22 Zentimetern zur Aerosoltestkammer aufgestellt, bei 66 Prozent relativer Luftfeuchtigkeit und 24°C .

Thermisch können die Viren bereits nach 5 min. bei einer Temperatur von 70°C inaktiviert werden [Chi+20].

Eine Liste mit Hinweise zu gängigen Reinigungs- und Desinfektionsverfahren zur Inaktivierung der Viren wird vom RKI bereit gestellt [RKI20].

2.3 Die Rolle der Aerosole im SARS-CoV-2 Infektionsgeschehen

Aerosole sind nach Beschreibung der Gesellschaft für Aerosolforschung (GAef) [GAe20] ein Gemisch aus Luft und festen oder flüssigen Partikeln und Schwebeteilchen (1 nm bis $100 \mu\text{m}$ Durchmesser). Größere Partikel oder Tröpfchen ab ca. $50 \mu\text{m}$ fallen schon nach knapp 1–2 Metern zu Boden (ballistische Ausbreitung aus einer Höhe von 1,7 Metern) [Bag+21]. Partikel kleiner als $0,1 \mu\text{m}$ werden durch eine diffusive Bewegung aufgrund der Brownschen Molekularbewegung beschrieben und verteilen sich mit der Zeit gleichmäßig im Raum. Diese kleinen Partikel steigen durch Thermik (Körperwärme) in der Regel sofort auf. Je höher der Raum umso weiter entfernt sind auch mögliche Ansammlungen. Diese Partikel können mehrere Stunden bis zu 12 Tage als Aerosol bestehen, bevor sie am Boden oder einer Oberfläche abgeschieden werden. Bei sehr hoher Luftfeuchtigkeit werden die Partikel größer und fallen schneller zu Boden. Bei trockener Luft werden Partikel durch Verdunstung besonders schnell kleiner.

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft [DFG21] empfiehlt u. a. in ihrem wissenschaftlichen Positionspapier, Abstände im Freien und in Räumen einzuhalten oder Masken zu tragen. Geschlossene Räume sollten regelmäßig gelüftet oder Raumlufthereiniger ergänzend zum Lüften genutzt oder raumluftechnische Anlagen eingesetzt werden, um Infektionen durch Aerosole zu verhindern.

Ausbreitung der Aerosole

Die Ausbreitung der Aerosole im Raum hängt laut Dittler et al. [Dit+20] davon ab, wie sich die Luftströmung im Raum verhält und wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst, sodass lokal auch höhere Konzentrationen auftreten können: Thermische Strömung z. B. durch Körperwärme der Personen, Strömung durch Bewegung der Personen im Raum, Strömung durch Luftaustausch beim Lüften oder durch RLT-Anlagen. Gegenstände im Raum sind Strömungshindernisse und bewirken eine Umlenkung der Luftströmung. Hier sind weitere Untersuchungen nötig.

Die LAP können wie andere Aerosole elektrostatisch geladen sein [GAe20]. Elektretfilter (häufig auch in Atemschutzmasken, Staubsaugern) mit elektrisch geladenen Fasern sind somit sehr effizient

für diese kleinen Partikel, da diese im Filter polarisiert werden und an der Filteroberfläche adsorbiert werden. Adsorbieren bedeutet, dass sich die Partikel an der Oberfläche anlagern und nicht wieder an die Raumluft abgegeben werden.

LAP Ausstoß beim Musizieren und Singen

Beim Musizieren oder Singen werden laut Dittler et al. [Dit+20] deutlich mehr LAP ausgeatmet als beim Sprechen oder beim Atmen (Ruhezustand). Beim Singen und lauten Sprechen werden fast identisch viele Lungenaerosolpartikel ausgestoßen. Laute Töne produzieren mehr LAP als leise Töne und hohe Töne (Sopran, Alt) mehr als tiefe Töne (Tenor, Bass) [Mür+20]. Jugendliche oder Kinder atmen hingegen weniger LAP beim Sprechen, Singen und Schreien aus als Erwachsene [Mür+21]. Laut Edwards et al. [Edw+21] nimmt der Ausstoß mit zunehmendem Alter zu. Außerdem haben mit SARS-CoV-2 infizierte Personen eine deutlich erhöhte LAP-Produktion.

Beim Musizieren mit der Flöte (alle Kanten- und Schneiden-Tonerzeuger) ist laut Bodenschatz und Müller [BM21] bereits bekannt, dass etwa die Menge an Aerosolen wie bei der Ruheatmung oder Sprache ausgeatmet werden. Hier sind die Tröpfchen das „größere“ Problem, da sie ballistisch etwa 1–2 Meter weit fliegen können. Bei den weiteren Holz- und Blechblasinstrumenten ist die Anzahl der ausgeatmeten LAP meist deutlich größer (bei Klarinetten ist bisher der größte Ausstoß an LAP bekannt). Größere Tröpfchen kondensieren meist schon im Instrument und müssen nur gezielt aufgefangen werden.

Im Rahmen der „Aerosol-Studie mit dem Chor des BR“ [Ech+20] und der „Aerosol-Studie mit dem Symphonieorchester des BR“ [Gan+21] wurde bereits aufgezeigt, dass ein seitlicher Abstand zwischen den Musizierenden im Chor und Orchester von mindestens 1,5 Metern bereits ausreichend ist. Nach vorne ist ein Abstand von 2 Metern sicherer (für Querflöten wurde ein größerer Abstand empfohlen). Die Untersuchung wurde anhand der sichtbaren Aerosole durch Inhalation der Basissubstanz von E-Zigaretten durchgeführt und nicht die tatsächlich ausgeatmeten LAP gemessen. Dieser Dampf ist prinzipiell auch ein Aerosol, aber verhält sich nicht genau wie die ausgeatmeten LAP, sodass hier keine Aussage über die Menge der LAP getroffen werden kann.

Eine Studie mit den Bamberger Symphonikern zeigt, welche Luftbewegungen beim Musizieren mit Blasinstrumenten [Spa+20] und beim Singen [Ric+21] entstehen. Da Aerosole luftgetragene Partikel sind, werden sie bei der Ausbreitung im Raum auch durch diese Strömungen beeinflusst. Hier wird bestätigt, dass ein Mindestabstand beim Singen und Musizieren von 1,5 Meter seitlich ausreichend ist und nach vorne besser 2 Meter Abstand gehalten werden sollte (vor allem bei Querflöten und im Chor).

Messungen der Luftbewegung der Bauhaus-Universität Weimar [BGV20] mit Hilfe eines Schlierenspiegels beim Spielen von Blasinstrumenten und beim Singen liefern ein vergleichbares Ergebnis wie die Messungen mit den Bamberger Symphonikern. Mit Hilfe eines einfachen Tröpfchenschutzes kann die Luftbewegung auf einen Radius von kleiner als einem Meter eingeschränkt werden [Bec+20]. Die tatsächliche Ausbreitung der Aerosole wird hier aber nicht betrachtet.

Messung der LAP

Eine indirekte Bestimmung der Anzahl von virenbeladenen LAP im Raum ist, wie z. B. an der TU Berlin [Kri20], mit sogenannten Luftkeimsammlern und einer speziellen Laborauswertung möglich. Des Weiteren kann mit Hilfe eines Laser-Partikel-Zählers die Größe und Anzahl der Partikel im Raum be-

stimmt werden, aber nicht separat die Anzahl der ausgeatmeten LAP, da bereits Partikel durch weitere Umwelteinflüsse (Hausstaub, Pollenflug, Reifenabrieb, Industrie, etc.) in der Luft vorhanden sind. Unter Laborbedingungen, z. B. im Reinraum ohne externe Umwelteinflüsse, kann damit auch die Anzahl der ausgeatmeten LAP bestimmt werden.

Eine Angabe von Schwellenwerten oder Grenzkonzentrationen an virenbeladenen LAP für die Übertragung einer Infektion ist laut Dittler [Dit+20] noch nicht möglich. Als Standardwerte für die Risikoberechnung wird angenommen, dass für die ursprüngliche Variante im Mittel 400-500 absorbierte Viren zu einer Infektionswahrscheinlichkeit von 63% führen [Sch+20a]. Für die ansteckendere Delta-Variante werden 200 und für Omikron 100 Viren als ausreichend für eine Infektion angenommen.

Kontrolle der Raumluftqualität

Eine andere Methode, die im Allgemeinen zur Bestimmung der Raumluftqualität herangezogen wird, ist die Messung der CO₂-Konzentration. Mit einem bestimmten Grenzwert kann diese als Orientierung zum Lüften dienen (Kapitel 8), da beim Atmen, Singen, etc. sowohl LAP als auch CO₂ ausgeatmet wird. Damit ist keine Bestimmung der tatsächlichen Virenlast im Raum möglich, da die Korrelation zwischen CO₂ und Aerosol-Emission im Zusammenhang von SARS-CoV-2 noch nicht hinreichend bekannt ist [Dit+20]. Für einen Grenzwert müssen auch weitere Einflüsse wie z. B. das Infektionsgeschehen berücksichtigt werden.

2.4 Entwicklung des SARS-CoV-2 Infektionsgeschehen

Ein Blick in die Zukunft der COVID-19-Pandemie in Europa wird in einer Expertenbefragung bereit gestellt [Ift+21; Pri+21]. Wie wird sich die Pandemie in den kommenden Monaten und Jahren entwickeln? Die Experten beschäftigen sich unter anderem mit den Fortschritten der nationalen und globalen Impfprogramme, der Ausbreitung besorgniserregender Varianten und den Reaktionen der Öffentlichkeit auf nichtpharmazeutische Maßnahmen im Zusammenhang mit der Pandemie.

Wie gut die Kennzahlen den Pandemieverlauf abbilden, wird in einem Artikel von Gross [Gro21] vorgestellt und betont, dass nicht nur eine Kennzahl, wie die Sieben-Tage-Inzidenz betrachtet werden sollte, sondern u. a. auch die Belastung des Gesundheitswesens (Auslastung der Intensivbetten), die Impfquote und die Anzahl schwerer Krankheitsverläufe (Hospitalisierungen). Eine Vorhersage des Verlaufs der Pandemie kann mit verschiedenen Modellen [BG+20] berechnet werden. Die Vielfalt der Modelle zeigt aber deutlich, dass sehr viele Faktoren eine Rolle spielen und somit bisher keine langfristige Vorhersage getroffen werden kann.

Die aktuelle Situation der Pandemie wird z. B. von der LMU München in den regelmäßigen Berichten zum Infektionsgeschehen und der Sterblichkeit an COVID-19 [LMU20] mit dem Fokus auf Deutschland bereit gestellt. Im Vergleich zu den häufigsten Todesursachen verschiedener Lebensbereiche kann das Ausmaß der Pandemie besser eingeordnet werden [TO21]. Ob wirklich mehr Menschen als sonst sterben, kann mit dem Indikator der Übersterblichkeit bestimmt werden. Sie gibt an, ob die Anzahl der Todesfälle in einem Jahr über dem durchschnittlichen Wert aus mehreren vergangenen Jahren liegt.

3 Impfen & Coronatests

3.1 Impfung

Die Entwicklung der Impfung konnte in der jüngeren Geschichte zunächst den Pocken und mit der weiteren Entwicklung vielen anderen Krankheiten den Schrecken nehmen. Auf dieser Erfahrung aufbauend, wurden durch die parallele Arbeit vieler Forscher*innen Impfstoffe entwickelt, um der Ausbreitung des 2019 neu entdeckten Virus SARS-CoV-2 entgegenzuwirken oder zumindest die schwerwiegenden Folgen der Erkrankung COVID-19 abzumildern. Alle Impfstoffe haben gemeinsam, dass sie dem Immunsystem des Körpers Informationen zur Hülle des Virus bereitstellen, sodass die Immunzellen des Körpers bei einer tatsächlichen Infektion einen Informationsvorsprung haben und die eindringenden Viren schnell und effektiv bekämpfen können.

Die Impfstrategie ist ein sehr wichtiger Bestandteil [Ift+21; Pri+21; SR20; Ter21], um die Pandemie zu überwinden, wie viele Studien deutlich machen [Haa+21; Bar+21; Ros+21; Leó+22; Cit22].

Im folgenden Abschnitt wird eine kurze Zusammenfassung der bekannten Daten zur Wirksamkeit der Impfung, die Risiken durch Erkrankung mit und ohne Impfung sowie im Ergebnis die Reduktion des Gesamtrisikos einer Erkrankung nach Impfung diskutiert. Weitere kompakte, allgemeinverständliche Zusammenfassungen hat z. B. Thomas Köster [Kös21] unter <https://corona-impf.info/> verfasst.

Ziel einer Impfung

Das Ziel einer flächendeckenden Impfung ist, das Risiko durch die Erkrankung deutlich zu senken oder eine Erkrankung zu verhindern. Insbesondere soll das Risiko von schweren Nebenwirkungen durch eine Impfung deutlich geringer sein, als durch eine Infektion einen bleibenden Schaden zu erleiden.

Ohne Impfung kommt die Ausbreitung erst zum Erliegen, wenn 80 bis 95 Prozent der Menschen infiziert waren, was der Schwelle für eine Herdenimmunität bzw. einem Gemeinschaftsschutz durch Impfung entspricht [FC20; FEH11]. Ohne Impfung würde jeder Mensch früher oder später mit dem Virus in Kontakt kommen und somit dem Risiko einer Infektion ausgesetzt sein. Je 1 Million Impfungen müssen die Nebenwirkungen daher mit je 1 Million Infektionen verglichen werden.

Die Mortalität (Anteil der tödlichen Verläufe unter den bestätigten Infizierten) liegt in Deutschland aktuell bei 1,4 Prozent (14 000 je 1 Million) [Joh22]. Für die Anzahl der Erkrankten mit langfristigen Folgen gibt es noch keine verlässlichen Daten, ebenso ist noch unklar, ob die Folgen einer COVID-Erkrankung („long covid“) permanent andauern oder abklingen.

Einen Einblick in die Folgen bei weitgehend ungebremster Ausbreitung der Pandemie zeigt die Dynamik in Brasilien [Bus+21]. Die sogenannte Herdenimmunität bzw. Gemeinschaftsschutz [FC20; FEH11] gibt an, wie viele Menschen immun sein müssen, damit die Virusausbreitung ausgebremst wird und die Infektionszahlen sinken. Für den Winter 2021/22 wurde das Ziel der Herdenimmunität vom RKI als

nicht erreichbar eingeschätzt [RKI21i]. Mit der abnehmenden Wirksamkeit der Impfung vor Infektion und der geringen Impfquote wird der Schutz der Impfung vor schweren Verläufen wichtiger, da so ein Übergang in die endemische Phase möglich wird.

Schutz durch Impfung

Der Schutz einer Impfung hat zwei Wirkungen: einerseits senkt die Impfung deutlich das Risiko eines schweren Krankheitsverlaufs, diese Wirkung bleibt auch über Monate und gegenüber den Virusvarianten bestehen. Gleichzeitig bietet die Impfung auch einen guten Schutz vor symptomatischer Infektion, der jedoch mit der Zeit nachlässt.

Die Impfung schützt sehr zuverlässig (90 bis 95 Prozent) vor Hospitalisierung und schweren Verläufen [Ros+21; Dag+21; Bar+21]. Sowohl der zeitliche Abstand zur Impfung als auch die parallele Ausbreitung der Varianten Alpha und Delta zeigen keine signifikante Abnahme der Wirksamkeit. Die dritte Impfdosis (Booster) erhöht den Schutz noch einmal, wie der direkte Vergleich von Erst- und Zweitimpfung [Bar+21] sowie Drittimpfung [Bar+21] mit Daten aus Israel zeigt (nur BioNTec BNT162b2). Für die Omikron-Variante ist die Wirksamkeit laut bisher verfügbarer Daten reduziert, liegt jedoch immer noch bei 70 Prozent Schutz vor schweren Krankheitsverläufen [Hea21; Fer+21].

Die Impfung bietet einen guten Schutz vor symptomatischer Infektion. Mit zunehmendem Abstand zur letzten Impfung sinkt der Schutz vor symptomatischer Erkrankung laut RKI [RKI21i] von über 90 Prozent auf 60 bis 70 Prozent nach ca. 6 Monaten. Die Wahrscheinlichkeit von Impfdurchbrüchen, d. h. symptomatischer Erkrankung trotz Impfung, nimmt mit der Zeit zu.

Die Impfung bietet nur einen begrenzten Schutz, überhaupt infiziert zu werden. Da auch symptomfreie infizierte Personen das Virus weiterverbreiten können, bietet die Impfung keinen sicheren Schutz vor der Ausbreitung. Die Effektivität der Grundimmunisierung ist in den ersten beiden Monaten besonders hoch (ca. 90 Prozent), der Schutz vor Infektion lässt jedoch bereits nach 2 Monaten nach [Ros+21]. Studien [Sin+21; Ros+21; Pru+22; And+21] mit der Virusvariante Delta zeigen, dass je nach Umfeld der Schutz vor Infektion nach 4 bis 6 Monaten auf 75 bis 34 Prozent sinkt.

Eine Auffrischungsimpfung erhöht den Schutz über die Wirkung der Grundimmunisierung hinaus. Ob und wie schnell der Schutz der Auffrischung vor Infektion nachlässt, ist noch unklar.

Studien zeigen, dass die Virenlast geimpfter gegenüber ungeimpfter Personen nur geringfügig reduziert ist [LT+21a; LT+21b; Rie+21; Chr+21; Bro+21]. Infizierte, immunisierte Personen können daher gleichermaßen ansteckend sein wie infizierte nicht-immunisierte Personen [Sin+21; Sal+21; Ros+21]. Die Beispiele zur Risikobetrachtung in Kapitel 10 verdeutlichen, dass eine leicht reduzierte Virenlast sich kaum auf das individuelle Infektionsrisiko auswirkt.

Schutz genesener Personen

Die Infektionszahlen von Mai bis November 2021 aus New York und Kalifornien belegen ebenfalls den guten Schutz durch die Impfung [Leó+22]. Gegenüber ungeimpften sind geimpfte 4,7 bis 7,3 mal seltener infiziert (78 bis 86 Prozent Wirksamkeit), geimpfte und genesene Personen sogar 23 bis 32 mal seltener (95 bis 96 Prozent Wirksamkeit). Eine Infektion alleine bietet ebenfalls einen guten Schutz, gegenüber ungeimpften sind genesene Personen 22 bis 25 mal seltener infiziert (95 bis 96 Prozent Wirksamkeit).

Daten aus New York und Kalifornien zeigen den guten Schutz vor Hospitalisierung durch Impfung sowie die nur leicht nachlassende Wirkung dieses Schutzes: für Ungeimpfte ist das Risiko, eine Behand-

lung im Krankenhaus zu benötigen 22 mal größer als für Geimpfte. Gegenüber der Reinfektion nach einer vorherigen Infektion ist das Risiko bei der ersten Infektion einen Krankenhausaufenthalt zu benötigen 70-fach größer. Bei einer Kombination aus Impfung und Infektion liegt das Verhältnis bei 84 [Leó+22].

Infektionen aus der Zeit, bevor eine Impfung verfügbar war, zeigen, dass eine durchgemachte Infektion noch nach über 7 Monaten gut vor Reinfektion [AR+21] und sehr gut vor schweren Verläufen [ARCB21] schützt.

Die Strategie, mit einer flächendeckenden Impfung einer Durchseuchung zuvor zu kommen, kann dabei die schweren Risiken durch Infektion verhindern. Eine auf die Impfung folgende, milde Infektion kann einen langfristigen Schutz vor weiteren Infektionen – auch vor Mutationen – aufbauen.

Wirkung auf die Ausbreitungsdynamik

Trotz des begrenzten Schutzes vor Infektion und der Feststellung, dass im Einzelfall die Virenlast Geimpfter nicht reduziert ist, dämpft eine flächendeckende Impfung die Ausbreitungsdynamik stark. Diese Wirkung bleibt auch gegenüber der Omikron-Variante bestehen, obwohl der individuelle Schutz noch weiter reduziert ist.

Die Inzidenzen nach der rasanten Ausbreitung der Omikron-Variante im Dezember 2021 in New York zeigen die Wirksamkeit der Impfung. Während die 7-Tage-Inzidenz je 100 000 Einwohnern unter den Geimpften am 26.12.2021 mit 1 585 bereits ihren Höhepunkt erreichte, stieg sie unter den Ungeimpften von 4 196 am 26.12.2021 auf über 15 238 am 08.01.2022 an [Cit22].

Laut COVID-19-Familienstudie Baden-Württemberg [Ren+22] verläuft bei Kindern eine Coronainfektion häufig nur mit milden oder ohne Krankheitszeichen. Im Gegensatz zu Erwachsenen weisen bei Kindern nur Geschmacksstörungen deutlich auf eine Erkrankung hin. Husten und Fieber im Zusammenhang mit einer Coronainfektionen traten erst bei älteren Kindern ab etwa zwölf Jahren auf. Gleichzeitig entwickeln von COVID-19 genesene Kinder eine starke und anhaltenden Immunantwort und das unabhängig davon, ob Krankheitssymptome auftraten oder nicht. Die kindlichen Antikörper sind zudem sehr wirksam gegenüber den Virusvarianten. Somit sollten genesene Kinder auch ohne Krankheitssymptome vor einer neuen Infektion mit dem Coronavirus geschützt sein.

Risiken der Impfung

Die Risiken der Impfung liegen bei allen zugelassenen Impfstoffen deutlich unter den Risiken einer Infektion [Kat21; PEI21a]. Dies ist eine Voraussetzung für die Zulassung eines Impfstoffs.

Nach der Impfung kann es zu Impfreaktionen kommen, die innerhalb weniger Tage (in der Regel ein Tag) wieder abklingen. Sie sind ein Zeichen für die Aktivität der körpereigenen Abwehr oder eine Reaktion aufgrund der Erwartungshaltung des Geimpften (nocebo-Effekt) [Haa+22]. Häufig genannt werden z. B. Schmerzen an der Einstichstelle, Kopfschmerzen, Müdigkeit, Übelkeit und weitere Anzeichen einer typischen Erkältung, bei der das Immunsystem gefordert ist [PEI21a].

Durch die große Zahl der Impfungen sind auch seltene Impfreaktionen, die schwerwiegende Folgen haben können, bereits sehr gut bekannt [PEI21a]. Kaum ein anderes Medikament wurde so vielen Menschen verabreicht, sodass durch die enge Kontrolle auch die seltenste Nebenwirkung entdeckt wird.

Um die Sicherheit der Impfstoffe laufend zu kontrollieren und weitere, sehr seltene Nebenwirkungen zu entdecken, werden zunächst alle Komplikationen, die nach einer Impfung auftreten, beim Paul-

Ehrlich-Institut (PEI) gesammelt [PEI21a]. In diesen Meldungen zu Komplikationen nach einer Impfung finden sich bei der großen Anzahl von Impfungen zwangsläufig auch einige Todesfälle. Bei der Beobachtung vieler Menschen – mit oder ohne Impfung – in einem Zeitraum von einigen Wochen finden sich immer einige Sterbefälle. Nach einer Impfung werden diese Fälle gemeldet, um untersuchen zu können, ob ein kausaler Zusammenhang mit der Impfung besteht. Nur durch dieses Vorgehen können auch sehr seltene Nebenwirkungen gefunden und gegebenenfalls Schutzmaßnahmen ergriffen werden.

Aus der Anzahl der Meldungen ist bei 0,015 Prozent (150 je 1 Million) von schweren Komplikationen im zeitlichen Zusammenhang mit einer Impfung zu rechnen. Die Quote der schweren Impfnebenwirkungen mit kausalem Zusammenhang ist mit unter 0,001 Prozent (10 je 1 Million) der Geimpften deutlich kleiner als die Anzahl der gemeldeten Fälle.

Bekannte seltene und sehr seltene Nebenwirkungen im zeitlichen Zusammenhang mit der Impfung sind entsprechend dem Bericht des Paul-Ehrlich-Instituts [PEI21a] im Folgenden aufgeführt:

Für Comirnaty (BioNtech/Pfizer) und Spikevax (Moderna Biotech) sind Fälle von Herzmuskelentzündung in 27 Fällen je 1 Million Impfdosen bekannt. Bei Spikevax (Moderna Biotech) und Vaxzevria (AstraZeneca) wurde in 6 Fällen je 1 Million Impfdosen (Erstimpfung), bei Janssen (Johnson&Johnson) in 3 Fällen je 1 Million Impfdosen, von allergischen Reaktionen berichtet, die kurz nach der Impfung auftreten. Die allergische Reaktion ist behandelbar, daher wurde eine Beobachtungszeit von 15 bis 30 Minuten direkt nach der Impfung eingeführt. Bei Vaxzevria (AstraZeneca) wurde von Thrombosen in 8,1 Fällen je 1 Million Impfdosen berichtet. Die Häufigkeit ist vergleichbar mit dem natürlichen Vorkommen von Thrombosen in der Bevölkerung [Bhu+21]. Bei einer Infektion mit SARS-CoV-2 ist sowohl das Risiko für Herzmuskelentzündungen deutlich höher (110 Fälle je 1 Million Infektionen) als auch das Risiko einer Thrombose größer als durch die Impfung [PEI21a].

Medikamente

Für Personen, die aus medizinischen Gründen nicht geimpft werden können, stellen Medikamente zur Behandlung nach einer Infektion eine Alternative dar. Eine Liste von Medikamenten, die sich im Zulassungsprozess befinden, wird vom Verband Forschender Arzneimittelhersteller e. V. (vfa e. V.) geführt [VAF22]. Medikamente haben grundsätzlich keinen Einfluss auf die Ausbreitungsdynamik und können daher die Auslastung der Kliniken und Intensivstationen nicht reduzieren. Da alle bisher verfügbaren Medikamente nur im Rahmen einer stationären Behandlung unter Beobachtung angewandt werden können, ist die mögliche Behandlungskapazität stark begrenzt.

Das Medikament Paxlovid von Pfizer ist nach der zweiten Studie zur Zulassung von Medikamenten sehr wirksam und kann 88 Prozent der schweren Fälle mit Hospitalisierung verhindern. Die Behandlung muss innerhalb der ersten drei Tage nach Symptombeginn beginnen [RöB21].

Die bekannten Nebenwirkungen beinhalten vorübergehenden Verlust des Geruchsinns, Durchfall, Bluthochdruck und Muskelschmerzen. Da einer der Wirkstoffe Leberschäden verursachen kann, darf das Medikament nur für kurze Zeit (5 Tage) eingenommen werden [U.S21b]. In den USA hat das Medikament bereits eine Notfallzulassung erhalten [U.S21b]. Der Zulassungsprozess in Europa wurde begonnen [Eur; Sie21].

Im Vergleich zur Impfung bietet das Medikament einen geringeren Schutz, da die Impfung bereits die Wahrscheinlichkeit, infiziert zu werden, verringert. Dazu bietet die Impfung auch nach längerer Zeit noch über 90% Schutz vor Hospitalisierung.

Ist ohne Impfung und mit verfügbarem Medikament die Wahrscheinlichkeit, infiziert zu werden und eine Krankenhausbehandlung zu benötigen, um 88 Prozent reduziert, bietet die Impfung nach 6 Monaten noch mindestens 94 Prozent (60 Prozent vor Infektion und 90 Prozent vor Hospitalisierung) bzw. in den ersten zwei Monaten nach der Impfung und nach einer Auffrischung sogar 99,5 Prozent (90 Prozent vor Infektion und 95 Prozent vor Hospitalisierung) Schutz.

Impfschema in Deutschland

Das Impfschema in Deutschland sieht inzwischen für alle Impfstoffe zwei Gaben als Grundimmunisierung vor [PEI22]. Eine Auffrischung wird inzwischen ebenfalls für alle Grundimmunisierungen – auch für Kinder ab 12 Jahren – empfohlen [RKI22a]. Ein neuer Impfstoff, der „Totimpfstoff“ Nuvaxovid (Novavax), soll ab 21. Februar 2022 verfügbar sein [Hea+21; Dub21].

Weitere, allgemeine Informationen über die Impfung sind beim Robert-Koch-Institut (RKI) [RKI21h; RKI21b; RKI21a], dem Bundesministerium für Gesundheit (BMG) [BB21] und der Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung (BZgA) [BZg21a] zu finden.

Für Personen mit Immundefizienz (ID) werden vom RKI [RKI21f] auf Basis verschiedener Studien entsprechende Impfschemen empfohlen. Der Schutz vor Infektion ist vergleichbar mit dem Schutz von Personen ohne ID. Der Schutz vor Hospitalisierung ist mit ca. 62 Prozent geringer als bei Personen ohne ID.

Um die Dynamik der Ansteckungsfähigkeit zu erfassen und infektiöse Personen von Veranstaltungen fernzuhalten sind zeitnah durchgeführte Tests sinnvoll. Schnelltests (Abschnitt 3.2) bieten einen guten Schutz vor infektiösen Personen, da sie insbesondere hohe Virenlasten zuverlässig erkennen [Sch+21b].

3.2 Coronatests

Antigentests (Schnell- oder Selbsttests) bieten eine einfache Möglichkeit, die Ausbreitung von SARS-CoV-2 zu reduzieren, indem infektiöse Personen von ihrer Ansteckung frühzeitig erfahren und sich entsprechend verhalten können. Da immunisierte Personen ebenfalls an der Ausbreitungsdynamik beteiligt sind, ist es bei hohen Inzidenzen sinnvoll, diese vor größeren Zusammentreffen auch zu testen.

Die deutlich empfindlicheren PCR-Tests können mit großer Sicherheit eine laufende Infektion nachweisen und können so ebenfalls infektiöse Personen erkennen oder als Diagnosewerkzeug bei Erkrankungen als mögliche Ursache SARS-CoV-2 nachweisen. Im täglichen Gebrauch ist die Auswertung eines PCR-Tests meist deutlich zeitaufwändiger, da ein entnommener Abstrich zunächst in ein Labor gebracht und dort ausgewertet werden muss. In einem kleinen Zeitfenster zwischen Infektion und Infektivität können PCR-Tests eine infizierte Person erkennen, bevor Antigentests ein positives Ergebnis liefern. Bei diesem Zeitraum handelt es sich jedoch eher um Stunden als um Tage [MPL20], weshalb die Empfindlichkeit der PCR-Tests keinen Vorteil bietet.

Um ansteckende Personen aufspüren zu können, sind leicht durchzuführende Tests, deren Ergebnis nach einigen Minuten vorliegt, nützlicher als sehr empfindliche Tests, deren Auswertung einen oder mehrere Tage in Anspruch nehmen. Bis ein PCR-Test durchgeführt wird und das Ergebnis vorliegt, hat eine infektiöse Person potentiell bereits viele weitere angesteckt. Regelmäßige flächendeckende Schnelltests, die insbesondere hochinfektiöse Personen erkennen, eignen sich, die Ausbreitung zu ver-

langsamen, wie z.B. RapidTests Deutschland auf <https://rapidtests.de/> anschaulich darstellt [MPL20].

Hohe Virenlasten und damit besonders infektiöse Personen werden von den validierten Antigentests zuverlässig erkannt, unabhängig davon ob die Person immunisiert ist oder nicht. Da die Virenlast immunisierter Personen im Mittel nur geringfügig reduziert ist gegenüber nicht-immunisierten kann es sinnvoll sein, bei Veranstaltungen alle Teilnehmenden ausnahmslos zu testen.

Antigentest

Die Antigentests weisen bestimmte Bausteine aus dem Virus in einer Probe aus den Atemwegen nach. Die meisten verfügbaren Antigentests weisen das Nucleocapsid-Protein (N-Protein) aus dem Virennieren nach, das von den Mutationen der Omikron-Variante nur schwach betroffen ist [PEI21b]. Tests, die lediglich bestimmte Teile des Spike-Proteins (S-Protein) nachweisen, können durch die Veränderungen möglicherweise die Omikron-Variante nicht mehr erkennen [U.S21a]. Fast alle zugelassenen Tests, die vom Bundesamt für Arzneimittel (BfArM) aufgeführt werden [BfA22], weisen das N-Protein nach und sind daher geeignet, die bekannten Varianten nachzuweisen [Fre+21; PEI21b]. Mit der App <https://schnelltesttest.de/> können verschiedene Antigentests anhand der Bewertungen des Paul-Ehrlich-Instituts [Sch+21b] leicht verglichen werden.

Bei den Tests werden Schnelltests zur professionellen Anwendung und Selbsttests zur Eigenanwendung unterschieden. Teilweise sind identische Tests für beide Anwendungen zugelassen. Die Auswertung erfolgt meist mit Hilfe eines Teststreifens, der sich an einer Test- und einer Kontrollstelle verfärbt, wenn entsprechende Proteine nachgewiesen wurden. Das Ergebnis liegt meist nach ca. 15 Minuten vor, wenn die Flüssigkeit vollständig über den Teststreifen aufgenommen wurde.

Selbsttest Die Probenentnahme und -auswertung findet durch den zu Testenden entsprechend der Gebrauchsanleitung statt. Gewissenhaft durchgeführte Selbsttests zeigen die gleiche Sensitivität wie professionell durchgeführte Schnelltests [Lin+21; RKI22b]. Es gibt Tests für folgende Methoden der Probenentnahme:

Nasenabstrich Dem Test liegt ein Stäbchen – ähnlich einem Wattestäbchen, nur dünner und länger – bei. Für den Nasenabstrich sollte das Stäbchen horizontal durch die Nasenöffnung entlang des feuchten Nasenbodens geführt werden [RKI21g]. Kurz vor dem Test schnäuzen befördert etwas Feuchtigkeit in den vorderen Nasenbereich und macht den Test angenehmer. Eine Anleitung mit Bildern macht die Vorgehensweise deutlich [NLL21].

Gurgeltest Eine Gurgelflüssigkeit wird für einige Zeit gegurgelt, um eine Probe aus dem Rachenraum zu erhalten.

Lollitest/Lutschertest Ein Wattestäbchen wird im Mund mit Speichel durchsetzt, der Viren aus dem Rachenraum enthalten kann.

Spucktest Ähnlich wie beim Lollitest wird eine Speichel- oder Sputumprobe ausgewertet.

Schnelltests Die Probenentnahme und -auswertung findet durch geschultes Personal statt. Teilweise sind die verwendeten Tests identisch mit Selbsttests.

PCR-Test

Die PCR-Tests (Polymerase-Kettenreaktion) gehören zu den sogenannten Nukleinsäure-Amplifikations-Techniken (NAT), bei der das Erbgut des Virus, die Nukleinsäure, kopiert wird, bis dieses nachgewiesen werden kann. Diese Technik ist sehr spezifisch und gleichzeitig sehr sensitiv, kann also geringste

Mengen des Viren-Erbguts nachweisen, ohne falsch-positive Befunde zu erzeugen. Die Anzahl der notwendigen Kopier-Zyklen (Ct) bis zum Nachweis des Erbguts ist dabei umso größer, je weniger Erbgut zu Beginn vorhanden war. Die Ct-Werte verschiedener Testsätze lassen keinen direkten Vergleich der Ansteckungsfähigkeit verschiedener Personen zu, da die Virenkonzentration von der Art der Probenentnahme, der Aufbereitung für den Test und weiteren Parametern abhängt. Grundsätzlich ist jedoch eine Person umso ansteckender, je geringer der festgestellte Ct-Wert ist.

Testergebnis

Ein Test wird charakterisiert durch seine Sensitivität und Spezifität. Die Sensitivität P_{Sens} ist die Wahrscheinlichkeit, eine infizierte Person positiv zu testen. Die Spezifität P_{Spez} ist die Wahrscheinlichkeit, eine nicht infizierte Person negativ zu testen.

Die Wahrscheinlichkeit, bei einem Test ein positives Testergebnis P_{positiv} zu erhalten, berechnet sich aus der Sensitivität, der Spezifität und der Wahrscheinlichkeit, infiziert zu sein (Vortestwahrscheinlichkeit P_{CoV}): $P_{\text{positiv}} = (1 - P_{\text{Spez}}) + P_{\text{CoV}} \cdot P_{\text{Sens}}$.

Für viele evaluierte Tests berechnet der Schnelltestrechner <https://schnelltestrechner.de/> aus der aktuellen Inzidenz die Wahrscheinlichkeit, mit einem positiven Ergebnis tatsächlich infiziert zu sein. In Tabelle 10.5 sind beispielhaft einige Werte aufgeführt. Nach einem positiven Schnelltestergebnis sollte man entsprechend vorsichtig handeln und möglichst direkt einen PCR-Test durchführen lassen.

4 Teilnehmende & Kontaktdaten

Für die sichere Durchführung von Proben, Konzerten und sonstigen Veranstaltungen trägt nach Spahn und Richter [SR20] neben der Kombination verschiedener Schutz- und Hygienemaßnahmen (Kapitel 5) auch ein geregelter Teilnehmenden- und Besucher*innenverkehr zur Risikominimierung bei. Dazu gehören eine Zugangskontrolle, eine durchdachte Raumnutzung während der Veranstaltung und die Kontaktdatenerfassung, um mögliche Ansteckungswege nachvollziehen zu können.

Zur Zugangskontrolle gehört die individuelle Kontaktanalyse der vorangegangenen 2 bis 3 Tage [Jan+21] und der Ausschluss von typischen Symptomen für SARS-CoV-2 (z. B. Fieber, Atemwegsbeschwerden, Verlust von Geruchs- oder Geschmacksfunktion) bei allen Teilnehmenden. Zusätzlich bietet eine möglichst hohe Impfquote und ergänzende Coronatests mehr Sicherheit (Kapitel 3).

Bei der Veranstaltung ist auf einen kontaktlosen Einlass wie z. B. mit „ticketmaster“ [Zem+76], das Vermeiden von Warteschlangen und Begegnungsverkehr zu achten. Feste Sitzplätze können durch Zuweisung oder freie Platzwahl vergeben werden. Das Risiko, sich mit SARS-CoV-2 zu infizieren, kann so minimiert, wenn auch niemals ausgeschlossen werden.

Sinnvoll ist eine freiwillige Erfassung der Kontaktdaten aller Teilnehmenden (z.B. Name, Adresse oder Telefonnummer) mit Datum und Uhrzeit der Anwesenheit. Um auf eine analoge Mitschrift verzichten zu können, gibt es inzwischen diverse Apps oder Software [Sch21] wie beispielsweise „Corona-Warn-App“, „Luca“ oder „pass4all“, die dabei helfen, eigenverantwortlich Teilnehmende im Falle einer Infektion zu informieren. Die Anwendungen (Apps) sind nicht unbedingt Datenschutz-konform.

Sollten trotz aller Schutz- und Hygienemaßnahmen bei Personen typische Symptome für SARS-CoV-2 laut RKI [RKI21c] (z. B. Fieber, Atemwegsbeschwerden, Verlust von Geruchs- oder Geschmacksfunktion) auftreten, sollte telefonischer Kontakt zu Hausärzt*innen oder dem Gesundheitsamt aufgenommen werden und sich entsprechend den Anweisungen verhalten werden. Es folgt in der Regel ein PCR-Test auf das Coronavirus und häusliche Isolation bzw. Quarantäne. Alle Kontaktpersonen ab zwei Tage vor Symptombeginn müssen dokumentiert werden (RKI Kontaktpersonen-Nachverfolgung [RKI21e]).

4.1 Geregelter Zugang

Zugangskontrolle

Neben den allgemeinen Hygiene- und Abstandsregeln und dem Tragen einer Maske gehört zur Risikominimierung bei Menschenansammlungen ein geregelter Teilnehmenden- und Besucher*innenverkehr [SR20]. Dies beginnt bereits vor dem Gang zur Veranstaltung mit einer eigenverantwortlichen Selbsteinschätzung:

- bei Symptomen (z. B. Fieber, Atemwegsbeschwerden, Verlust von Geruchs-/Geschmacksfunktion) Kontakte vermeiden
- persönliche Kontaktanalyse der vorangegangenen 2–3 Tage: bei engem Kontakt zu bekannten Fällen eigene Kontakte reduzieren

- Coronatests (Selbsttest, Schnelltests, PCR-Tests) und/oder Impfung
- persönliche Einschätzung des Risikos aufgrund von Vorerkrankungen und Alter (größere Gewichtung des Alters) und Übernahme der Verantwortung für sich selbst

Die Zugangskontrolle des Veranstalters komplettiert die eigenverantwortliche Abwägung zum Schutz der Gemeinschaft:

- Überprüfung der Test-/Impf-/Genesenennachweise mit digitalen Prüfverfahren, z.B. mit CovPass-Check-App
- Nutzung von Apps, Software [Sch21] zur Kontaktdatenerfassung bzw. Nachvollziehung von Begegnungen (Corona-Warn-App, Luca, pass4all, 2FDZ, BEVENTIO, bomocha, CheckInCode, Corona-Assist:presence, corona-kontakte.de, darfichrein.de, Digital Waiter, einfachbesuchen, Event-Logger, EvoCount, e-guest, GastIdent, etc.)
- Temperaturmessung vor dem Musizieren mit anderen (keine Garantie)
- bei nachgewiesener Infektion, Einreise aus einem anderen Land und dem Kontakt mit einer infizierten Person müssen gültige Vorschriften eingehalten werden (Kontaktvermeidung, Kontakt zu Hausärzt*innen)

Je mehr der genannten Punkte in Kombination beachtet werden, um so sicherer wird die entsprechende Situation des Zusammentreffens. Mit dieser Einschätzung und Überprüfung im Vorhinein kann das Risiko einer Ansteckung mit SARS-CoV-2 zwar stark reduziert, aber nicht ausgeschlossen werden.

Raumnutzung

Bei der Erstellung eines fundierten und individuellen Hygienekonzeptes in Abstimmung mit den Behörden bezüglich des Teilnehmendenmanagements von Proben und Konzerten ist außerdem Folgendes zu beachten:

- kontaktloser Einlass, Vermeidung von Warteschlangen
- möglichst keine Barzahlung
- getrennte Ein- und Ausgänge, um Begegnungsverkehr zu vermeiden
- markierte Wege mit Pfeilen, in welche Richtung jeweils gegangen werden darf
- bei Begegnungen außerhalb des Probe- oder Veranstaltungsraums (beispielsweise Flur- oder Eingangsbereich) auf Abstände hinweisen
- feste Sitzplätze in entsprechenden Abständen
- Veranstaltungen, Proben möglichst im Freien durchführen

4.2 Kontaktdatenerfassung

Um im Nachhinein einer Probe oder Veranstaltung mögliche Ansteckungswege nachvollziehen zu können bzw. um darüber zu informieren, wenn eine anwesende Person mit dem Coronavirus infiziert war, ist die Erfassung der Kontaktdaten aller teilnehmenden Personen zu empfehlen. In einem bestehenden Ensemble bzw. Verein sind die Kontaktdaten in der Regel vorhanden, auf die Teilnahme sollte trotzdem geachtet werden.

Um auf eine analoge Mitschrift verzichten zu können, gibt es inzwischen diverse Apps oder Software wie beispielsweise die „Corona-Warn-App“, „Luca“ oder „pass4all“, die eine solche Erfassung

von Begegnungen leisten. Weitere Beispiele für Programme dieser Art finden sich unter <https://www.wirfuerdigitalisierung.de/ber-uns>.

Auch über die App „Konzertmeister“, welche zur Terminfindung dient, kann eingesehen werden, wer an einer Probe teilgenommen hat und wer nicht. Die meisten dieser Apps können kostenlos genutzt werden, jedoch ist der datenschutzrechtliche Aspekt häufig stark umstritten.

Personenbezogene Daten (sowie nach konkreter Einwilligung auch Gesundheitsdaten) von Teilnehmenden können erhoben, verarbeitet und gespeichert werden, um festzustellen, ob diese

- „selbst infiziert sind oder im Kontakt mit einer nachweislich infizierten Person standen
- sich im relevanten Zeitraum in einem vom RKI als Risikogebiet eingestuften Gebiet aufgehalten haben.“ [RKI21e]

Die Datenerfassung muss konform zur Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) [GSH20] sein. Das RKI [RKI21d] empfiehlt die Erfassung von: Vorname, Familienname, Anschrift, Telefonnummer, Datum, zeitlicher Rahmen des Zusammentreffens. Die Daten müssen vertraulich behandelt und in der Regel vier Wochen aufbewahrt und dem zuständigen Gesundheitsamt bei Nachfrage vorgelegt werden. Spätestens vier Wochen nach dem letzten Kontakt mit den betreffenden Teilnehmenden der Probe oder Veranstaltung müssen die Daten gelöscht/vernichtet werden (wenn es sich nicht um eine regelmäßige Probe eines Ensembles oder Vereins handelt, wobei die Daten in der Regel sowieso dauerhaft erfasst werden). Auch bei Apps wie zum Beispiel "Luca" werden die persönlichen Daten, die durch das Einchecken bei einem Gastgeber verschlüsselt hinterlegt werden, nach vier Wochen automatisch gelöscht.

4.3 Maßnahmen beim Auftreten von Symptomen

Typische Symptome einer Infektion mit SARS-CoV-2 sind laut RKI [RKI21c] Husten, Fieber, Schnupfen und eine Störung des Geruchs- und/oder Geschmackssinns. Außerdem können Halsschmerzen, Atemnot, Kopf- und Gliederschmerzen, Appetitlosigkeit, Gewichtsverlust, Übelkeit, Bauchschmerzen, Erbrechen, Durchfall, Bindehautentzündung, Hautausschlag, Lymphknotenschwellung, Apathie oder Bewusstseinsstörungen auftreten. Sollten mehrere solche Symptome festgestellt werden, ist sofort telefonischer Kontakt zum zuständigen Gesundheitsamt bzw. Hausarzt*in aufzunehmen. Es folgt ein PCR-Test auf SARS-CoV-2. Die Anweisungen des Gesundheitsamtes, wie beispielsweise die Quarantäne bzw. häusliche Isolation, müssen eingehalten werden sowie laut RKI [RKI21d] alle Kontaktpersonen ab zwei Tagen vor Symptombeginn dokumentiert werden.

5 Abstands- & Hygienemaßnahmen

Ein Abstand von mind. 1,5 Metern oder Masken bieten Schutz vor direkten Tröpfcheninfektionen ([Kapitel 2](#)). Das heißt für Situationen wie Unterhaltungen von Angesicht zu Angesicht (face-to-face), ist ein Abstand von mind. 1,5 Metern oder das Tragen von Masken zu empfehlen. Der Abstand allein verhindert keine Ansteckung über Aerosole in geschlossenen Räumen, sondern nur FFP2-Masken oder ein ausreichender Luftaustausch/Luftreinigung in Kombination mit einer Zugangskontrolle (z.B. Eigenverantwortung, Antigentests). Abstände müssen somit auch ohne Maske nicht zwingend eingehalten werden, wenn beim gemeinsamen Musizieren keine direkte (face-to-face) Situation herrscht und geschlossene Räume sehr gut belüftet werden ([Kapitel 7](#)). Schmierinfektionen über Kontaktflächen (z.B. Türgriffe, etc.) können durch einfache Hygienemaßnahmen deutlich reduziert werden.

5.1 Abstand

Der Abstand von mind. 1,5 Metern zum Schutz vor Tröpfcheninfektionen ist vor allem bei Situationen wie Unterhaltungen von Angesicht zu Angesicht (face-to-face) sehr zu empfehlen, also z.B. für musikalische Leitende zu den Musizierenden. Beim gemeinsamen Musizieren bietet z. B. eine versetzte Aufstellung der Musizierenden im Schachbrettmuster laut Mürbe et al. [[Mür+21](#)] und Kähler et al. [[KH20](#)] die Option von möglichst kleinen Abständen, sodass sich keiner im direkten Luftstrom des Anderen befindet. Für Querflöten oder beim Singen ist ein größerer Abstand von 2 Metern nach vorne besser, da hier die Tröpfchen nicht im Instrument kondensieren [[Ech+20](#); [Gan+21](#); [SR20](#); [Spa+20](#); [Ric+21](#); [BGV20](#)]. Zur weiteren Optimierung können Personen aus einem Haushalt untereinander enger gruppiert werden.

Für gesellige Unterhaltungen ohne Masken z. B. nach dem gemeinsamen Musizieren kann ein großer Gesprächskreis verhindern, dass eine face-to-face-Situation mit zu geringem Abstand herrscht.

In geschlossenen Räumen verhindert der Abstand keine Infektionen über Aerosole ([Kapitel 2](#)), sodass für ausreichend Frischluft/Luftreinigung gesorgt werden sollte ([Kapitel 7](#)). Bei hohen Inzidenzen ist es außerdem sehr ratsam alle Anwesenden möglichst zeitnah vor dem Zusammentreffen zu testen ([Kapitel 3](#), [Kapitel 10](#)). Bei Veranstaltungen im Freien findet praktisch keine Ansteckung über Aerosole statt ([Kapitel 2](#)), sodass hier nur die Maßnahmen zum Schutz vor direkten Tröpfcheninfektionen nötig sind.

5.2 Trennwände

Einen sehr guten Schutz vor Tröpfcheninfektionen durch SARS-CoV-2 bieten Scheiben und Schutzwände [[Käh21](#)] (oder Visiere). Mit diesem Schutz kann der Mindestabstand auch verringert werden, da Tröpfchen an der direkten, ballistischen Ausbreitung gehindert werden. Schutzwände verhindern aber nicht, dass sich die ausgeatmeten Lungenaerosolpartikel (LAP) weiterhin im Raum anreichern, da die-

se nicht adsorbiert werden. Zur Reduktion der Infektionswahrscheinlichkeit sind weitere Maßnahmen wie Lüften, Luftreiniger ([Kapitel 7](#)) oder FFP2-Masken ([Kapitel 6](#)) nötig.

5.3 Hygiene

Sinnvolle Hygienemaßnahmen zur Verringerung der Infektionsgefahr beim Musizieren und Singen sind unter anderem laut Kähler [[KH20](#)]:

- **Händehygiene:** Regelmäßiges und gründliches Händewaschen mindestens 20 Sekunden lang mit Wasser und Seife. Alternativ ist eine hygienische Händedesinfektion mit einem handelsüblichen Desinfektionsmittel mit nachgewiesener, mindestens begrenzt viruzider Wirksamkeit möglich (laut Liste der zugelassenen Desinfektionsmittel des RKI [[RKI20](#)]).
- **Hustenetikette:** Größtmöglichen Abstand beim Husten oder Niesen zu anderen Menschen halten. Niesen und Husten möglichst in die Armbeuge oder in ein Papiertaschentuch, das danach zu entsorgen ist.
- Bei Blasinstrumenten sollte das Kondenswasser aus dem Instrument vom Musizierenden selbst aufgefangen und sicher entsorgt werden, z. B. mit einem Lappen oder Gefäß.

6 Tragen von Masken

Das Tragen einer Maske ist bei der Begegnung mit anderen Personen eine Maßnahme zur Verminderung der Infektionsgefahr mit SARS-CoV-2. Masken sind ein einfaches und sehr wirksames Mittel gegen eine Virenübertragung durch die Luft, was verschiedene Empfehlungen wie Pöschl und Witt [PW21] sowie Burrige [Bur+21] und Untersuchungen von Cheng [Che+21] sowie Bagheri [Bag+21] zeigen.

Unterschieden wird zwischen partikelfiltrierenden Halbmasken (z. B. FFP2, KN95, N95), medizinischen Gesichtsmasken (OP-Masken) und Alltagsmasken (Mund-Nasen-Bedeckungen, Community-Masken). Die FFP- und OP-Masken sollten nach den Empfehlungen der FH Münster [FMWM21] aufbereitet oder nur einmalig genutzt werden. Es ist darauf zu achten, dass die aktuell zugelassenen Masken (FFP2- und OP-Masken) konsequent und korrekt (eng am Gesicht anliegend ohne Lücken/Leckagen, Mund und Nase bedeckend) getragen werden. Zum Schutz anderer sollte auf Masken mit Ausatemventil verzichtet werden. Als nachhaltige Alternative gibt es wiederverwendbare Masken (z. B. von Livinguard oder Casada), die als medizinische bzw. als FFP2-Maske zertifiziert sind.

Die Masken sollten im Veranstaltungsraum, in den Nebenräumen und auf allen Wegen durchgehend ab einem Alter von 6 Jahren [BZg21b] getragen werden. Wenn sichergestellt ist, dass der entsprechende Mindestabstand (Kapitel 5) durchgehend eingehalten werden kann und der Raum sehr gut belüftet ist (Kapitel 7), kann z. B. beim gemeinsamen Musizieren im Chor und Orchester am festen Platz auf Masken verzichtet werden. Insbesondere im Freien kann bei entsprechendem Abstand auf das Tragen von Masken verzichtet werden. Verbindlich sind hier die geltenden Verordnungen.

Umfangreiche Informationen, Grafiken und Hinweise zum Thema Masken sind beim Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte (BfArM) [BfA20a] zu finden. Für Kinder und interessierte Erwachsene stellt der WDR ein anschauliches Sachvideo bereit¹ [Run].

6.1 Maskentypen

Partikelfiltrierende Halbmasken

Die partikelfiltrierenden Halbmasken (FFP1, FFP2, FFP3 und Halbmasken wie KN95, N95) bieten bei korrektem Sitz verhältnismäßig guten Eigen- und Fremdschutz. Für die Effektivität der Maske ist neben der Abscheideeffizienz des Materials auch der Dichtsitz (keine Spalte an der Nase und am Maskenrand) entscheidend [DFG21; Bag+21].

FFP-Masken werden als Einwegprodukte hergestellt, sodass sie regelmäßig gewechselt und entsorgt werden sollten [BfA20b]. Eine Wiederverwendung im privaten Gebrauch ist möglich und sollte verantwortungsbewusst laut Maßnahmen der Fachhochschule Münster [FMWM21] durchgeführt werden.

¹https://www.wdrmaus.de/filme/sachgeschichten/maske_funktion.php5

FFP-Masken unterliegen technischen Normen und Gesetzen (DIN-Norm EN 149:2001, Verordnung (EU) 2016/425) [DFG21]. Um diese zu erfüllen, wird beispielsweise die Filterleistung mit Aerosolen getestet – FFP2-Masken müssen hierbei mindestens 94 Prozent der Partikel (mit einer Größe von 0,08 bis 0,37 µm [GAe20]) aus der Atemluft entfernen.

Weitere Informationen und Testergebnisse sind bei Stiftung Warentest [Tes21] zu finden. FFP-Masken mit Ausatemventil sollten nicht getragen werden, da die ausgeatmeten Aerosole nicht gefiltert werden und somit kein Fremdschutz gegeben ist.

Medizinische Gesichtsmasken

Medizinische Gesichtsmasken (OP-Masken) schützen vor allem das Gegenüber, dienen also einem ausgeprägten Fremd- und nur begrenzt dem Selbstschutz. Die Filterleistung für feine Partikel, zu denen auch Viren gehören, ist häufig geringer als bei FFP-Masken, sodass die medizinischen Gesichtsmasken in erster Linie vor größeren Tröpfchen ($> 1 \mu\text{m}$) mit einer Effizienz von 95–98 Prozent (Typ I, II, IIR) schützen [GAe20]. Außerdem entstehen hier oft Lücken an den Rändern, sodass die Schutzleistung verringert wird. Medizinische Gesichtsmasken gehören zu den Medizinprodukten, unterliegen also auch gesetzlichen Anforderungen. Sie müssen die europäische Norm EN 14683:2019-10 erfüllen und ebenso ein CE-Zeichen aufgedruckt haben. Sie werden als Einwegprodukte verkauft und sollten dementsprechend nach einmaliger Verwendung entsorgt werden.

Alltagsmasken

Die einfachen Mund-Nasen-Bedeckungen, laut BfArM [BfA20b] auch als Alltags- oder Community-Masken bezeichnet, bestehen aus unterschiedlichsten handelsüblichen Stoffen und werden oft auch selbst genäht. Sie unterliegen keiner gesetzlichen Norm und bieten meist weniger Schutz als OP- oder FFP-Masken, jedoch mehr als keine Masken.

Besondere Masken

Eine nachhaltige Alternative zu den Einmalmasken sind die wiederverwendbaren Stoffmasken (von z. B. Livinguard, Casada und Maskengrün), die durch ihre innovativen Technologien vor den SARS-CoV-2-Viren schützen. Die Masken entsprechen durch ihre Zertifizierung den aktuellen Corona-Vorgaben. Die ProMask von Livinguard² ist als medizinische Gesichtsmaske zugelassen. Die Nano-Maske von Casada³ sowie von Maskengrün⁴ sind als FFP2-Maske zertifiziert.

Spezielle Masken für Singende und Filter für Instrumente sind in Entwicklung, die eine Wirksamkeit vergleichbar mit FFP2-Masken haben sollen (z. B. durch das Max-Planck-Institut Göttingen [BM21]). Bei Instrumentenfiltern stellt sich die Frage, wie die Atemluft des Musizierenden gefiltert wird, welche nicht durch das Instrument entweicht. Ein Abdecken z. B. der Schallbechers mit Stoff bietet – ähnlich wie selbst genähte Stoffmasken – kaum einen Schutz vor Aerosolen.

²<https://livinguard.com/promask/>

³<https://www.casada.de>

⁴<https://winguard.de>

6.2 Schutzwirkung von Masken

Um die Ansteckungsgefahr mit SARS-CoV-2 über Aerosole (ausgeatmete Lungenaerosolpartikel, LAP) und größere Tröpfchen möglichst gering zu halten, sollte bei Begegnungen mit Menschen, die nicht im eigenen Haushalt wohnen, eine Maske getragen werden. Zusätzlich sollte eine Kombination der weiteren bekannten Maßnahmen angewandt werden, wie z. B. Abstand halten und auf Hygiene achten ([Kapitel 5](#)) sowie ein effizientes Lüften von Innenräumen durchgeführt werden ([Kapitel 7](#)). Masken bieten grundsätzlich einen Schutz vor der Übertragung von Krankheitserregern durch Aerosolpartikel und größere Tröpfchen in der Atemluft, einerseits für die Personen mit Maske und andererseits auch für die Menschen in deren Umgebung. Das Infektionsrisiko ist kleiner, je dichter die Maske am Gesicht abschließt und je geringer die Leckage der Filter ist.

Das Übertragungsrisiko von SARS-CoV-2 kann durch eine einfache OP-Maske um einen Faktor von ca. 2–4 verringert werden. Beim Tragen einer FFP2-Maske, die an den Rändern gut abschließt, wird das Risiko um den Faktor 10 oder größer reduziert [[PW21](#); [Bag+21](#)]. Tragen alle Maske, also die infizierten und die zu schützenden Personen, ist die Schutzwirkung noch größer. Zur Wirksamkeit von Mund-Nasen-Bedeckungen aus Stoff (sog. Alltagsmasken oder Community-Masken) kann hier keine Aussage getroffen werden, da die Wirksamkeit vom verwendeten Material, seiner Verarbeitung und den Leckagen beim Tragen abhängt.

Häufig werden in einem Atemzug mit den oben aufgezählten Masken auch die sogenannten Gesichtsvisiere genannt. Sie lassen sich mit der filtrierenden Wirkung von Masken nicht vergleichen. Sie bieten keinen Schutz gegen Aerosole, nur einen zusätzlichen Tröpfchenschutz, z. B. für die Augen. Als zusätzliche Schutzmaßnahme zu Masken oder in gut belüfteten Räumen können sie einen ergänzenden Schutz bieten.

Wie wirksam der Schutz vor einer Ansteckung durch Aerosole und Tröpfchen ist, zeigen Untersuchungen von Bagheri [[Bag+21](#)] zur Ansteckungswahrscheinlichkeit unter ungünstigsten Bedingungen. Mit dicht angelegten FFP2-Masken bleibt das Ansteckungsrisiko selbst bei einem Gespräch ohne Abstand (Maskenspitze an Maskenspitze) nach 20 Minuten deutlich unter 1%. Dagegen kann bei einem Gespräch mit 1,5 m Abstand ohne weitere Schutzmaßnahmen das Ansteckungsrisiko unter ungünstigen Bedingungen bereits nach 1,5 min auf über 90% ansteigen. Mit schlecht sitzender FFP2-Maske liegt die Wahrscheinlichkeit einer Infektion nach 20 Minuten bei ca. 4%. Wenn beide Personen eine OP-Maske aufsetzen, ist eine Infektion nach 20 Minuten Gespräch in bis zu 10% der Fälle möglich.

Das Infektionsgeschehen wird zunehmend von infektiöseren Varianten von SARS-CoV-2 bestimmt und deshalb sollten auch bei steigender Impfquote die Masken weiterhin genutzt werden, um die Infektionszahlen niedrig zu halten. Die Masken haben eine hohe Schutzwirkung gegen SARS-CoV-2-Infektionen und sollten in Innenräumen und in Menschenmengen weiter aufgesetzt werden. Das Tragen von Masken allein ist nicht ausreichend, sondern nur Teil eines umfangreichen Schutzkonzeptes.

7 Lüften & Lüftungstechnik

Durch regelmäßiges und gründliches Lüften kann in Innenräumen das Infektionsrisiko gesenkt werden. Wichtig ist ein hoher Luftaustausch mit Frischluft, um die potenziell infektiösen Lungenaerosolpartikel (LAP) (Kapitel 2) in der Raumluft möglichst zu entfernen. Bei einem Luftaustausch von etwa 50 – 75 m³ pro Stunde und Person werden die Aerosole ausreichend verdünnt. Lüften ersetzt aber nicht die AHA-Regeln (Kapitel 5), sie gelten weiterhin zur Vermeidung von Infektionen über Tröpfchen oder direkten Kontakt.

Die effektivsten Arten des freien Lüftens sind das Stoß- und Querlüften. Ein sehr effizientes Lüften ist vor allem in hohen Räumen gegeben, die Oberlichter oder Fenster weit oben im Raum haben. Wie häufig und wie lange gelüftet werden muss, ist abhängig von der Raumnutzung und Größe. Gerade im Winter kann durch die große Temperaturdifferenz bereits ein gekipptes Fenster einen ausreichenden Luftaustausch ermöglichen. Somit ist eine Zeitangabe zu ungenau und das Lüften sollte durch Messungen der CO₂-Konzentration (Kapitel 8) in der Raumluft kontrolliert werden.

Im Vergleich zur Fensterlüftung besitzen Lüftungsanlagen deutlich zuverlässigere Luftwechselraten. Beim Betrieb von raumlufttechnischen Anlagen (RLT-Anlagen) wird das Prinzip der Quell- oder Schichtlüftung mit 100 Prozent Frischluftzufuhr empfohlen, sowie die Kontrolle der Raumluftqualität durch CO₂-Messungen. Bei diesem Verfahren wird frische kühle Luft in Bodennähe eingebracht und die verbrauchte warme Luft an der Decke nach außen abgeführt, also passend dazu, wie LAP durch Thermik aufsteigen und sich zunächst an der Decke anreichern (Kapitel 2).

Luftreiniger oder RLT-Anlagen im Umluftbetrieb sind mit Vorsicht zu behandeln. Hierbei wird die Luft lediglich umgewälzt und die LAP nicht nach außen abgeführt. Um die Viren aus der Raumluft zu entfernen, müssen z. B. effiziente Filter verwendet werden. Dafür sollten, wie bei mobilen Luftreinigungsgeräten, zum Beispiel die Kombination der Filtervliese F7 und F9 nach DIN EN 779:2012 mit elektrostatischer Aufladung verwendet werden [GAe20]. Außerdem arbeiten viele mobile Luftreiniger entgegen der Ausbreitung der Aerosole. Verbrauchte Luft wird am Boden abgesaugt und an der Decke die gereinigte Luft (und Frischluft) wieder eingebracht. Wird ein Luftvolumenstrom von 50 – 75 m³ pro Stunde pro Person bei der Reinigung eingehalten, ist bei der Kontrolle der Raumluftqualität ein Wert kleiner 1000 ppm (Kapitel 8) bereits ausreichend.

Eine grobe Abschätzung, ob die RLT-Anlage für den entsprechenden Raum geeignet ist, kann mit Hilfe der Angaben der Luftvolumenströme und der Raumebelegung (die Anzahl der Personen) bestimmt werden. Zur Reduktion der Lärmbelastung sollte die Anlage nicht dauerhaft auf höchster Leistungsstufe laufen müssen. Das bestehende Restrisiko steigt mit der Aufenthaltsdauer im Raum und je mehr Personen sich gleichzeitig im Raum befinden.

Veranstaltungen im Freien sollten bevorzugt werden, da im Freien der beste Luftaustausch stattfindet.

7.1 Lüften

Wichtig ist bei den Lüftungsmaßnahmen ein hoher Luftwechsel mit Frischluft, eine geringe Verwirbelung der Luft und ein schneller Abtransport der Atemluft. Eine einfache Möglichkeit ist das regelmäßige und gründliche Lüften durch geöffnete Fenster und Türen (freie Lüftung).

Bei der freien Lüftung ist das Stoß- und Querlüften die effektivste Art

nach Kähler et al. [KH20], Dittler et al. [Dit+20], Moriske et al. [Mor+21]:

- Alle Fenster weit öffnen (Kippen ist nur bei großer Temperaturdifferenz oder starkem Wind ausreichend).
- Die Häufigkeit und Lüftungsdauer ist abhängig von der Raumgröße, der Personenanzahl, der Aktivität im Raum und der Größe der Fenster.
- Zur groben Abschätzung können Modellrechner (Abschnitt 9.3) eingesetzt werden.
- Um den Zeitpunkt des Lüftens zu bestimmen und die Wirkung der Lüftung zu kontrollieren, eignen sich genaue CO₂-Messungen (Kapitel 8).

Die Effizienz der Fensterlüftung ist jedoch beschränkt und zusätzlich abhängig von der Witterung. Ein guter Luftaustausch wird bei starkem Wind vor den Fenstern und niedrigen Außentemperaturen erreicht. Durch den Temperaturunterschied breitet sich die kalte und damit schwere Frischluft auf dem Boden des Raumes aus und die warme Raumluft mit den Aerosolpartikeln wird nach oben und aus den Fenstern verdrängt. Ein sehr effizientes Lüften ist so vor allem in hohen Räumen gegeben, die über Oberlichter oder Fenster weit oben im Raum belüftet werden können.

Für Räume mit schlechter Lüftungsmöglichkeit empfehlen z. B. Moriske et al. [Mor+21], das Umweltbundesamt [Mor20] und Dittler et al. [Dit+20], die Anzahl der Anwesenden zu reduzieren und sich nur für die Dauer der Veranstaltung im Gebäude aufzuhalten (mehr dazu in Kapitel 9).

Bereits einfache und kostengünstige Unterstützung durch Ventilatoren oder Ablufthauben [MPI21; HKP21] können eine gute Ergänzung zum Lüften bieten. Die Verwendung von raumluftechnischen Anlagen (RLT-Anlagen) erlaubt jedoch einen wesentlich effizienteren Luftaustausch.

7.2 Raumluftechnische Anlagen

Bei der Verwendung von raumluftechnischen Anlagen (RLT-Anlagen) wird von Moriske et al. [Mor+21] und Dittler et al. [Dit+21] empfohlen, diese mit dem Prinzip der Quell-Lüftung und 100 Prozent Frischluftzufuhr zu betreiben. Im Umluftbetrieb ohne effiziente Filterung der potenziellen Virenlast kann eine RLT-Anlage ansonsten zu einer Anreicherung der aerosolpartikelgetragenen SARS-CoV-2-Viren in der Raumluft führen.

Optimal ist die Quell- oder Schichtlüftung, die insbesondere bei großen Räumen eingesetzt wird. Dabei wird kalte Zuluft in Bodennähe eingebracht, die erwärmte Raumluft oder Atemluft steigt mit den Verunreinigungen und LAP nach oben und wird dort durch Abluftöffnungen abgeführt.

Moriske et al. [Mor+21] und Dittler et al. [Dit+21] empfehlen bei Lüftungsanlagen Frischluftvolumenströme von etwa 50 – 75 m³ pro Stunde und Person, um das Infektionsrisiko deutlich zu reduzieren. Dieser Wert kann anhand des Raumvolumens auch als Luftwechselrate, die Anzahl der Luftwechsel pro Stunde in einem Raum, angegeben werden.

Um die vorhandenen Aerosolpartikel in der Raumluft zu reduzieren, sollte die RLT-Anlage bereits vor der Veranstaltung (ca. 1 Stunde) und im Anschluss daran (ca. weitere 2 Stunden) in Betrieb sein. Die Qualität der Raumluft kann durch die Messung der CO₂-Konzentration (**Kapitel 8**) im Raum ermittelt werden und zur Prüfung der effektiven Wirkung der RLT-Anlage dienen.

Zur Reduktion der Lärmbelastung sollte die Anlage nicht dauerhaft auf höchster Leistungsstufe laufen müssen.

Ein Beispiel

für den Aufbau einer Lüftungsanlage ist das Pilotprojekt RLT-Anlage des Sängerbund Dehrn/Hessen <http://www.saengerbund-dehrn.de/aktuelles>: Aufbau einer Vertikallüftung (Luftschiefer). Die Luftschiefer vom Boden zur Decke trennen die jeweiligen Sitzreihen im Saal für Chorproben. Die Frischluft wird am Boden eingebracht und an der Decke abgesaugt und nach außen abtransportiert.

Weitere Studien

in verschiedenen Konzerthäusern wurden von Dittler et al. [**Dit+21**] betrachtet: Es handelt sich dabei um wissenschaftliche Untersuchungen im Zuschauerraum von Spielstätten (Konzerthaus Dortmund/ Fraunhofer-Institut Goslar, Bayerische Staatsoper/TU München, Staatstheater Nürnberg/ Universität Erlangen), um das Hygienekonzept der Salzburger Festspiele, das sich in der Praxis als pandemietauglich bewährt hat und um das „Hygienekonzept für Kultureinrichtungen im Land Berlin“ (September 2020). Bei sehr guter Belüftung wurden auch kleinere Sitzabstände (**Kapitel 5**) als sicher eingestuft. Die aktuellen Ergebnisse können aber bisher nicht ohne Weiteres auf andere Räume übertragen werden.

In der Studie im Konzerthaus Dortmund [**Sch+21a**] wurde zum Beispiel gezeigt, dass außerhalb des Umkreises von 1,5 Metern einer Person ohne Maske im Publikumsraum keine Anreicherung von Aerosolen oder CO₂ stattfindet, wenn der Raum mit dem Prinzip der Quell-Lüftung und einer Luftwechselrate von dreimal pro Stunde, einem Luftvolumenstrom von 51 m³ pro Stunde und pro Person, belüftet wird.

7.3 Mobile Luftreinigungsgeräte & RLT-Anlagen im Umluftbetrieb

Können RLT-Anlagen nicht auf 100 Prozent Frischluftzufuhr umgestellt werden, muss der Umluftanteil zur Reduzierung der potenziellen Virenlast gereinigt werden. Es gibt verschiedene Verfahren zur Reinigung der Luft: Physikalische Filter, UV-Desinfektion und Ionisation durch Hochspannung oder Plasma und Ozon. Die reaktiven Verfahren durch UV-Licht, Ionisation und Ozon müssen mit Vorsicht behandelt werden [**Heb+05**], da hier sehr reaktive Fragmente (Radikale) entstehen können. Im Falle von UV-Licht kann mit entsprechender technischer Umsetzung die Bildung von Ozon vermieden werden, was vom Hersteller nachgewiesen werden muss.

Geeignete Filter sind zum Beispiel die Kombination der Filtervliese F7 und F9 nach DIN EN 779:2012 mit elektrostatischer Aufladung [**GAe20; BM21**]. Hochleistungsschwebstoff-Filter (HEPA-Filter) der Klasse H13 oder H14 wurden von Moriske [**Mor+21**] vorgeschlagen, da sie (wie im Reinraum) nahezu alle Partikel aus der Luft entfernen. Doch Elektretfilter sind eine effektive und kostengünstige Alternative, da sie bei gleicher Druckdifferenz und Oberfläche einen deutlich höheren Luftdurchsatz aufweisen

und geringere Wartungskosten verursachen. Eine Übersicht zur Klassifizierung der Filter gibt es zum Beispiel bei EMW Filtertechnik [EMW21] oder <https://de.wikipedia.org/wiki/Partikelfilterklassen>.

Elektretfilter (häufig auch in Atemschutzmasken/Staubsaugern) mit elektrisch geladenen Fasern sind sehr effizient für kleine Partikel, da diese im Filter polarisiert werden und somit an der Filteroberfläche adsorbiert werden (Kapitel 2). Die elektrische Ladung – und damit die Effizienz des Filters – lässt aber nach einer gewissen Zeit nach und bei hoher Luftfeuchte noch schneller. Es sind regelmäßige Filterwechsel nötig [GAe20]. Diese Filter sind aber bisher zu relativ niedrigen Preisen erhältlich im Vergleich zu den HEPA-Filtern, welche ebenfalls regelmäßig getauscht werden müssen. Ein weiterer Vorteil der Elektretfilter ist, dass sie die potentiell virenbeladenen Partikel aufgrund ihrer elektrostatischen Ladung adsorbieren und nicht wieder an die Umgebung abgeben.

Die Belichtungsdosis zur Inaktivierung von SARS-CoV-2 mittels UV-Licht wird in Kapitel 2 angeführt. Der Einsatz von Strahlungsquellen als offene UV-C Lampe und auch in mobilen Luftreinigern wird vom Umweltbundesamt [BM20] für den nicht gewerblichen Einsatz als kritisch betrachtet. Der Nachweis der Gerätesicherheit und der Nachweis der Wirksamkeit zur Desinfektion ist notwendig.

Mobile Luftreiniger sind nur ergänzend zum Lüften zu verwenden, sind aber wirksamer als Stoßlüftung mit offenen Fenstern oder Türen allein [BOZ21]. Es gibt zwei Ansätze wie die Luft effektiv gereinigt wird:

1. Eine möglichst homogene Durchmischung und somit Verdünnung der verunreinigten Luft mit gereinigter Luft. Aktuelle Studien bestätigen z.B., dass TAC-Hochleistungsluftreiniger die aerogene SARS-CoV-2-Infektionsgefahr in Innenräumen wirksam reduzieren [KFH20]. Für Klassenräume in Schulen wurde gezeigt, dass das Infektionsrisiko durch den Einsatz von Luftreinigern mit H13 Filtern um das 6-fache reduziert werden kann [CGS21]. Hier sind recht große Luftvolumenströme nötig, die eventuell auch als unangenehm oder Zugluft im Raum empfunden werden.
2. Ein weiterer Ansatz für die Funktionsweise ist wie beim Prinzip der Schichtlüftung: die verunreinigte Luft wird an der Decke ansaugt und die gereinigte Luft am Boden wieder ausgeblasen, um turbulente Vermischung der Raumluft zu vermeiden, die thermische Luftströmung im Raum zu nutzen und Zugluft zu vermeiden. Dieses Konzept wurde vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt [DLR20] im Auftrag der OHB System AG, der HT Group und DASTEX getestet und bestätigt die Effizienz des untersuchten Lüftungssystems im Vergleich zu einer Fensterlüftung.

Bei der Filterung der Umluft durch Luftreinigungsgeräte oder Lüftungsanlagen im Umluftbetrieb werden der Luft zwar Feinstaub und Aerosolpartikel, nicht aber das CO₂, entnommen. Wird ein Luftvolumenstrom von 50 – 75 Kubikmeter pro Stunde pro Person bei der Reinigung eingehalten, ist bei der Kontrolle der Raumluftqualität ein Wert kleiner 1000 ppm (Kapitel 8) bereits ausreichend.

7.4 Anforderungen an Luftreiniger

Laut Expertenkreis für Aerosole [Dit+21] ist ein Luftvolumenstrom von 50 – 75 Kubikmeter pro Stunde pro Person erforderlich, um das Infektionsrisiko deutlich zu reduzieren. Das heißt für 30 Personen ist ein Luftvolumenstrom von mind. 1.500 m³ / h erforderlich. In Räumen mit großer Auslastung ist der höhere Volumenstrom sicherer. Es können mehrere Geräte verwendet werden, sodass in Summe der Wert erreicht wird.

Das Umweltbundesamt [Umw21a] stellt detaillierte Vorgaben zu den Prüf- und Einsatzbedingungen mobiler Luftreinigungsgeräte zur Verfügung und hat ergänzend dazu eine Sonder-Arbeitsgruppe des VDI unter Vorsitz des UBA erarbeitet. Die Ergebnisse beinhalten unter anderem Vorgaben zu Filtern, Lärmentwicklung, Luftdurchsatz und Leistungsüberprüfung. Die folgenden Aspekte werden in der VDI-Richtlinie EE 4300 [And21a; And21b] im Besonderen betrachtet:

- Aufstellpositionen im Raum sollen entsprechend der Anweisungen der Hersteller erfolgen
- Filterklassen wie HEPA H13 (nach EN 1822 plus Vorfilterung z. B. ISO ePM10 50 % nach ISO 16890), Kombinationen von ISO ePM₁ 50% und ISO ePM₁ 80% nach ISO 16890 (ehemals F7 + F9) oder gleichwertig bei Geräten mit Filtern; Filter der Klasse H14 sind für die eingangs erwähnten Räumlichkeiten nicht erforderlich
- Sicherheit und Schutz vor Vandalismus
- bei UVC-Luftentkeimern: Vermeidung von UV-Strahlung außerhalb des Gerätes
- Luftvolumenstrom, der mindestens dem 4-fachen Luftwechsel pro Stunde entspricht; Dadurch wird ein Luftdurchsatz erreicht, der ausreichend hoch ist, um die gesamte Raumluft binnen hinreichend kurzer Zeit durch die Geräte zu leiten.
- Geräuschentwicklung bei dem geforderten Luftvolumenstrom (Schalldruckpegel) nach ASR 3.7 (z.B. für Schulen Schalldruckpegel ≤ 35 dB(A))
- Behaglichkeitsaspekte (Vermeiden von Zugluft)
- Reinigungsleistung bei Filtergeräten (Effizienz der Filterung > 90 %, Prüfung im Labor unter realraumähnlichen Bedingungen)
- Mindestdosis bei UVC-Luftentkeimern bei Einmalpassage ≥ 70 J/m²
- Vermeidung unerwünschter Nebenprodukte (vor allem Ozon bei Verfahren mit Ionisation/Plasma, UV-C); der Resteintrag von Ozon in die Raumluft soll unter 10 µg/m³ liegen.

7.5 Beispiele für Luftreiniger

(in alphabetischer Reihenfolge¹)

AEROSorp3700 - Edition "Event" <https://www.inoxair.de/de/downloads>

- UVP des Herstellers 3.150 € zzgl. Fracht und Umsatzsteuer, Vorzugspreis für Amateurmusiker: 1.900,00 € inkl. gesetzlicher MwSt. Bestellung über Carsten Wille | InoxAir GmbH c.wille@inoxair.de; Betreff NEUSTART AMATEURMUSIK
- Kombination von F7 + F9 Filter, Der Luftreiniger ist ein von Prof. Bodenschatz geprüftes Serienprodukt nach dem Modell laut dem Vortrag 12/2020: „Humane Tröpfchen und Aerosole“ <https://www.youtube.com/watch?v=RH1RBcvf3mM>.
- Luftvolumenstrom 1.650 m³ /h (Normalbetrieb) bis 3.700 m³ /h
- Schalldruckpegel von max. 40 dB(A) (Normalbetrieb)
- Aufstellung: Ansaugung auf Kopfhöhe, Ausblas am Boden (oder umgekehrt möglich)

¹Die angeführte Produktauswahl dient als Beispiel und stellt keine Empfehlung oder Aufforderung zum Kauf dar. Die Gültigkeit der Informationen ist auf den Zeitpunkt der Erstellung dieser Unterlagen beschränkt und kann sich je nach Marktentwicklung jederzeit und ohne vorherige Ankündigung ändern.

- Betriebskosten²: ca. 76 € pro Jahr (Leistung 90 W), ca. 90 € Betriebskosten pro Jahr (Filter)
- Optional DMX-Controller für Luftleistung (Steuersignal für Veranstaltungstechnik)

CLAIRonaut CL3 <https://www.claironaut.de/technische-Details/>

- ab 1.309 € inkl. gesetzlicher MwSt.
- Vorfilter und H14 Filter
- Luftvolumenstrom 550 – 700 m³ / h
- Schalldruckpegel 53–57 dB(A)
- Aufstellung: Ansaugung auf Kopfhöhe, Ausblas am Boden
- Betriebskosten²: ca. 140 € pro Jahr (max. Leistung 170 W), ca. 196 € H14 Filter alle 2 Jahre, Vorfilter abwaschbar

sasoo m <https://www.sasoo-aircleaner.com/>

- kostet ca. 4.034 € inkl. gesetzlicher MwSt. (inklusive CO₂-Sensor, auch Mietkauf oder Leasing)
- Vorfilter und H14 Filter
- Luftvolumenstrom 250 – 750 m³ / h
- Schalldruckpegel 52 dB(A) (Normalbetrieb)
- Aufstellung: Ansaugung am Boden, Ausblas auf Kopfhöhe
- Betriebskosten²: ca. 67 € pro Jahr (70-180 W max. Leistung 771 W)

TAC ECO II <https://de.trotec.com>

- 2.969,05 € inkl. gesetzlicher MwSt.
- Vorfilter und H14 Filter
- Luftvolumenstrom max. 1.800 m³ / h
- Schalldruckpegel 33–61 dB(A) in 1 Meter Abstand
- Aufstellung: Ansaugung am Boden, Ausblas auf Kopfhöhe
- Betriebskosten²: ca. 130 € pro Jahr (max. Leistung 160 W)

ULMAIR X200 <https://www.ulmair.de>

- ab 4.034 € inkl. gesetzlicher MwSt. (3.390,00 € zzgl. MwSt.)
- Vorfilter und H14 Filter
- Luftvolumenstrom 200 – 2.850 m³ / h
- Schalldruckpegel ca. 30–55 dB(A)
- Aufstellung: Ansaugung am Boden, Ausblas auf Kopfhöhe
- Betriebskosten²: ca. 630 € pro Jahr (Leistung ca. 750 W), Vorfilter ca. 96 € 1 bis 2 mal pro Jahr, H-14 Filter 2 x ca. 436 € = 872 € alle 3 bis 4 Jahre, Aktivkohlefilter ca. 75 € alle 3 bis 4 Jahre, je nach Belastung

youvee® <https://youvee.de>

- ab 2.260 € inkl. gesetzlicher MwSt.
- UV-C Strahlungsröhren (Nachweis der Wirkung: <https://zenodo.org/record/5145453#.YQgMS44zab>), kein Ozon nachweisbar

²Für die Betriebskosten werden 300 Tage/Jahr, 10h/Tag Betrieb angenommen bei 0.28 €/kWh.

- Luftvolumenstrom 835 m³ / h
- Schalldruckpegel von max. 57 dB(A)
- Aufstellung: Ansaugung auf Kopfhöhe, Ausblas am Boden
- Betriebskosten²: ca. 120 € pro Jahr (max. Leistung 155 W) ca. 10 € pro Jahr (Lampenwechsel nach 8.000 Betriebsstunden)

Selbstgebaute Luftreinigungsanlagen

- Von selbstgebauten Be- und Entlüftungsanlagen ist abzuraten, da Größe der Zuluftfilter und Leistung des Abluftventilators (z. B. im Fenster zur Unterstützung der freien Lüftung) zwingend aufeinander abgestimmt sein müssen, um Reinigungsleistungen der Filter zu gewährleisten und fehlgerichtete Luftströmungen zu vermeiden.
- Sollten dennoch Selbstbausätze zum Einsatz kommen, müssen diese geprüft werden. Diese Prüfung kann nur in einem zertifizierten Labor unter Einsatz geeichter und wissenschaftlich zulässiger Messgeräte erfolgen.

Hinweis

Ein zertifiziertes Prüfverfahren für RLT-Anlagen als Infektionsschutz vor SARS-CoV-2 wird aktuell in einem Forschungsprojekt erarbeitet [BW21]. Es gibt auch eine Initiative, ein Forschungs- und Beratungsprogramm zur gesunden Raumluft, von der Fraunhofer Gesellschaft [FG21].

8 CO₂-Messung

Die Übertragung von SARS-CoV-2-Viren (Ansteckung) erfolgt vor allem über zwei Wege: Über eine direkte Tröpfchenübertragung und durch Übertragung über Aerosolpartikel in der Luft. Während die direkte Tröpfchenübertragung durch geeignete Hygienemaßnahmen (AHA-Regel, [Kapitel 5](#)) relativ gut reduziert werden kann, ist die Übertragung über Aerosolpartikel problematischer, da sich kleine Aerosolpartikel, und damit auch darin eventuell enthaltene Viren, über längere Zeit in der Luft halten und verteilen können ([Kapitel 2](#)).

Ein effektiver Prozess zur Verringerung der Partikelkonzentration in einem Raum – und damit in analoger Weise der Konzentration von virenhaltigen Aerosolpartikeln – ist die Verdünnung mit sauberer, partikelärmerer, d. h. virenfreier Frischluft. Im Außenbereich findet Verdünnung ständig durch natürliche Luftbewegungen statt. Im Innenbereich kann eine Verdünnung durch effizientes Lüften erreicht werden ([Kapitel 7](#)). Insbesondere durch Querlüften oder über Raumluftechnische Anlagen (RLT-Anlagen) kann das Risiko einer Infektion mit SARS-CoV-2 deutlich reduziert werden [[Dit+20](#); [Umw21b](#)].

8.1 CO₂-Konzentration als Maß für die Raumlufqualität

Die Kohlendioxidkonzentration (CO₂-Konzentration) gilt allgemein als Maß für die Beurteilung der Raumlufqualität. In Innenräumen ist der Mensch die bedeutendste Quelle für CO₂. Die CO₂-Konzentration ist neben der Konzentration in der Außenluft stark von der Belegung des Raumes, der Raumgröße und der Belüftungssituation abhängig. Eine CO₂-Konzentration im Innenraum kleiner 1000 ppm (0,1 Vol-%) (sogenannte Pettenkofer-Zahl; benannt nach dem Hygieniker Max von Pettenkofer) zeigt unter normalen Bedingungen einen hygienisch ausreichenden Luftwechsel an [[Umw20](#)]. Bei unzureichenden Lüftungsverhältnissen oder unter Raumnutzungsbedingungen mit hoher Personenbelegung kann die CO₂-Konzentration laut Boos [[Boo+06](#)] in Innenräumen allein durch die von den Personen ausgeatmeten Mengen bis zu einer Größenordnung von 10000 ppm (18300 mg / m³) ansteigen. Die CO₂-Emission hängt nicht nur von der Anzahl der Personen, sondern auch von deren Aktivität ab: Je stärker die körperliche Aktivität, desto mehr CO₂ wird freigesetzt. Eine erwachsene Person emittiert bei einer leichten Aktivität (z. B. Sitzen am Schreibtisch) etwa 20 l/h. Bei anstrengenden Tätigkeiten (z. B. Sport oder körperlich anstrengender Arbeit) kann der CO₂-Ausstoß über 70 l/h liegen. Die Ergebnisse aus einer Studie von Nusseck et al. [[Nus+20](#)] zeigen, dass der CO₂-Ausstoß beim Musizieren im Bereich der mäßigen Aktivitäten liegt. Die gemessene CO₂-Emission lag zwischen 28 l/h und 39 l/h. Blasinstrumente hatten die höchsten CO₂-Emissionen, Sänger zeigten niedrigere CO₂-Emissionsraten.

CO₂ wird ebenso bei der menschlichen Atmung ausgeschieden wie eventuell virenbelastete Aerosolpartikel. Eine Korrelation zwischen dem ausgeatmeten CO₂ und den ausgeatmeten Aerosolpartikeln liegt nahe, ist aber nach derzeitigem wissenschaftlichen Kenntnisstand nicht direkt nachgewiesen. Hartmann und Kriegl [[HK20](#)] zeigen mit einer Modellrechnung, wie man aus der CO₂-Konzentration auf eine wahrscheinliche Aerosolkonzentration schließen kann. Das Modell zeigt, dass eine unbedenkliche

Konzentration der eventuell virenbelasteten Aerosole für CO₂-Konzentrationen im Bereich von 800 – 1000 ppm herrscht. Es ist bereits bekannt, dass es auch bei der Emission von Aerosolpartikeln Unterschiede zwischen den Instrumentengruppen gibt. Ähnlich wie bei der CO₂-Emission ist auch die Produktion von Aerosolpartikeln beim Spielen von Blasinstrumenten höher als beim Singen.

8.2 Rechtzeitiges und wirksames Lüften durch CO₂-Messungen

Die CO₂-Konzentration kann als Indikator für die Konzentration exhalierter Aerosolpartikel angenommen werden. Durch die Unterschiede bei den CO₂-Emissionsraten zwischen den (musikalischen) Aktivitäten, bei dem jeweils vorliegenden Raumvolumen und weiteren Parametern wird offensichtlich, dass eine allgemeine Empfehlung für Lüftungspausen (z. B. nach 30 Minuten) nicht plausibel ist. Die Frequenz und Dauer der Lüftungspausen sollte die spezifischen Verhältnisse berücksichtigen. Dies kann durch eine kontinuierliche Messung der CO₂-Konzentration geschehen. So kann die Leistung und Funktionsfähigkeit einer ggf. vorhandenen RLT-Anlage oder die Notwendigkeit des Lüftens überwacht werden. Mit einem hohen Luftwechsel können sowohl niedrige CO₂-Konzentrationen als auch niedrige Aerosolkonzentrationen erreicht werden.

Wenn eine aktive Filterung der Innenraumluft, z. B. mit Luftreinigern oder Lüftungsanlagen im Umluftbetrieb vorgenommen wird, werden der Luft zwar Aerosolpartikel, nicht aber das CO₂ entnommen. Dies würde bedeuten, dass bei einer Kopplung der Lüftung an die CO₂-Messung tendenziell zu häufig gelüftet würde, was zwar energetisch ungünstig sein kann, aber das Risiko einer Infektion eher senkt.

Vorteile einer CO₂-Messung

- Die CO₂-Messung spiegelt permanent den aktuellen Status der Luftqualität, auch bei sich zeitlich verändernden Parametern wie Personenanzahl, Altersstruktur, Atemfrequenzen und körperliche Belastungsgrade.
- Die CO₂-Messung spiegelt die tatsächliche Ist-Situation im Gegensatz zu Modellrechnern, die die Gegebenheiten vor Ort immer nur näherungsweise abbilden können.
- Die CO₂-Messung spiegelt die Wirkung der ggf. eingebauten Lüftungssysteme inklusive der Frischluft- und Umluftanteile.
- Die CO₂-Messung übererfüllt die Risikoeinschätzung, wenn zusätzlich Raumluftreiniger vorhanden sind bzw. Filtersysteme in RLT-Anlagen mit Umluft eingebaut sind.

CO₂-Messungen und daraus abgeleitete Lüftungs- und Pausenregelungen sind eine gute Möglichkeit, um das Infektionsrisiko in Verbindung mit anderen Maßnahmen wie das Tragen von Masken ([Kapitel 6](#)) und das Einhalten von Abständen ([Kapitel 5](#)) deutlich zu reduzieren.

Ab welcher CO₂-Konzentration gelüftet werden soll, ist Gegenstand aktueller Diskussion. Um ein hohes Maß an Sicherheit zu gewährleisten, empfehlen wir einen Wert, der noch deutlich unter der Pettenkofer-Zahl liegt. Nach der Europäischen Norm für Innenräume (EN 13779) liegt die höchste Stufe der Luftqualität (IDA 1: Hohe Raumluftqualität) bei einer CO₂-Konzentration unter 800 ppm. Bei diesem Grenzwert sollte die musikalische Tätigkeit unterbrochen und gelüftet werden. Dieser Wert orientiert sich an der Empfehlung des Freiburger Instituts für Musikermedizin (FIM) [[SR20](#)]. Die Lüftungspause sollte so lange dauern, bis wieder eine CO₂-Konzentration zwischen 400 und 500 ppm erreicht ist. Aus-

reichend genaue CO₂-Monitore (auch als CO₂-Ampeln bekannt) sind im Handel relativ kostengünstig erhältlich.

8.3 Beispiele für CO₂-Messgeräte

Anforderung an CO₂-Messung und Messgeräte¹

- Anzahl der Messstellen: min. 1 Messsonde pro 100 m²
- Platzierung der Messsonden: in Kopfhöhe; nicht im Bereich der Luftströmung zwischen Fenstern oder zwischen Tür und Fenster
- Messgenauigkeit: ± 80 ppm
- Auflösung: 10 ppm
- Messbereich: 0 – 2000 ppm
- Messintervall: ≤ 5 min.
- Datenspeicherung: ja
- Alarmierung bei Grenzwertüberschreitung: ja
- Zentrale Alarmierung beim Einsatz mehrerer Messstellen: wünschenswert

¹Die angeführte Produktauswahl dient als Beispiel und stellt keine Empfehlung oder Aufforderung zum Kauf dar. Die Gültigkeit der Informationen ist auf den Zeitpunkt der Erstellung dieser Unterlagen beschränkt und kann sich je nach Marktentwicklung jederzeit und ohne vorherige Ankündigung ändern.

Alle mit mindestens "gut" bewerteten Geräte aus einem Vergleichstest der Stiftung Warentest (02/2021)

Gerät	Mittlerer Onlinepreis (Euro)	Qualitätsurteil	Stärken (bezogen auf die konkreten Anforderungen)	Schwächen (bezogen auf die konkreten Anforderungen)
Technoline WL 1030	85,50	GUT (1,9)	+ Optische Anzeige (CO ₂ -Ampel) + Optischer und akustischer Alarm + Schwellenwerte (Ampelfarben) einstellbar	- Keine Speicherung der Messwerte
TFA Dostmann AirCO2ntrol Life	121	GUT (2,0)	+ Optische Anzeige (CO ₂ -Ampel) + Akustischer Alarm	- Schwellenwerte (Ampelfarben) nicht einstellbar - Keine Speicherung der Messwerte
TFA Dostmann AirCO2ntrol Mini	69	GUT (2,0)	+ Optische Anzeige (CO ₂ -Ampel)	- Schwellenwerte (Ampelfarben) nicht einstellbar - Kein akustischer Alarm - Keine Speicherung der Messwerte
Chauvin Arnoux C.A 1510	400	GUT (2,3)	+ Optische Anzeige (Ampelähnlich) + Akustischer Alarm + Speicherung der Messwerte + Vernetzung mit PC/Notebook über USB und Bluetooth (Onlinebetrieb) + Batteriebetrieb möglich	- Schwellenwerte (Ampelfarben) nicht einstellbar
Rotronic CO2 Display	495	GUT (2,4)	+ Optische Anzeige (CO ₂ -Ampel) + Grenzwerte einstellbar + Speicherung der Messwerte	- Kein akustischer Alarm
Netatmo Smarter Raumluftsensor	110	GUT (2,4)	+ Vernetzung über WLAN mit Smartphone und Steuerung auch mehrerer Sensoren über eine kostenlose App und "Netatmo-Konto" + Speicherung der Messwerte + Alarmierung über App	- Ampelanzeige nicht CO ₂ -Wert sondern "Hausgesundheitsindex" - Schwellenwerte (Ampelfarben) nicht einstellbar
Renz Air2Color	246	GUT (2,0)	+ Optische Anzeige (CO ₂ -Ampel) + Akustischer Alarm	- Schwellenwerte (Ampelfarben) nicht einstellbar - keine Anzeige von Messwerten

Alle mit mindestens "gut" bewerteten Geräte aus einem Vergleichstest der Stiftung Warentest (02/2022)

Gerät	Mittlerer Onlinepreis (Euro)	Qualitätsurteil	Stärken (bezogen auf die konkreten Anforderungen)	Schwächen (bezogen auf die konkreten Anforderungen)
Hama Luftqualität-Messgerät Safe	80	GUT (1,8)	+ Anzeige der Messwerte + Optische Anzeige (CO ₂ -Ampel) + Akustischer Alarm	- Schwellenwerte (Ampelfarben) nicht einstellbar - Keine Speicherung der Messwerte
FA Dostmann AirCO2ntrol 5000	136	GUT (1,8)	+ Optische Anzeige (CO ₂ -Ampel) + Akustischer Alarm + Schwellenwerte (Ampelfarben) einstellbar + Speicherung der Messwerte (auf Micro-SD-Karte) und Auswertung auf PC	
Conrad Voltcraft CO-60	150	GUT (1,9)	+ Anzeige der Messwerte + Optische Anzeige (CO ₂ -Ampel) + Akustischer Alarm	- Schwellenwerte (Ampelfarben) nicht einstellbar - Keine Speicherung der Messwerte
Ebro RM 100	180	GUT (1,9)	+ Anzeige der Messwerte + Optische Anzeige (CO ₂ -Ampel) + Akustischer Alarm	- Schwellenwerte (Ampelfarben) nicht einstellbar - Keine Speicherung der Messwerte
Renz Air2Color Pro	470	GUT (1,9)	+ Anzeige der Messwerte + Optische Anzeige (CO ₂ -Ampel) + Akustischer Alarm + Schwellenwerte (Ampelfarben) einstellbar + Speicherung der Messwerte	
PCE PCE-RCM 16	262	GUT (2,2)	+ Anzeige der Messwerte + Optische Anzeige (CO ₂ -Ampel) + Akustischer Alarm + Speicherung der Messwerte	- Schwellenwerte (Ampelfarben) nicht einstellbar
Rotronic CL 11	385	GUT (2,2)	+ Anzeige der Messwerte + Optische Anzeige + Akustischer Alarm + Schwellenwerte (Ampelfarben) einstellbar + Speicherung der Messwerte + PC-Schnittstelle	
Airthings View Plus	299	GUT (1,9)	+ Bedienung über App + Anzeige der Messwerte + Optische Anzeige (kurzzeitig) + Push-Nachricht an App + Schwellenwerte (Ampelfarben) einstellbar	- Schwellenwerte (Ampelfarben) nicht einstellbar - keine Speicherung der Messwerte

Alle mit mindestens "gut" bewerteten Geräte aus einem Vergleichstest der Stiftung Warentest (02/2022)

Gerät	Mittlerer Onlinepreis (Euro)	Qualitätsurteil	Stärken (bezogen auf die konkreten Anforderungen)	Schwächen (bezogen auf die konkreten Anforderungen)
Caru Air	199	GUT (1,6)	+ Optische Anzeige (Ampel)	- keine Anzeige der Messwerte - Schwellenwerte (Ampelfarben) nicht einstellbar - Keine Speicherung der Messwerte
AddAid AeroMio	180	GUT (1,8)	+ Optische Anzeige (Ampel)	- keine Anzeige der Messwerte - Schwellenwerte (Ampelfarben) nicht einstellbar - Keine Speicherung der Messwerte
LuftLicht CO2-Ampel	189	GUT (2,2)	+ Optische Anzeige (Ampel)	- keine Anzeige der Messwerte - Schwellenwerte (Ampelfarben) nicht einstellbar - Keine Speicherung der Messwerte

Weitere Geräte

Gerät	Mittlerer Onlinepreis (Euro)	Stärken (bezogen auf die konkreten Anforderungen)	Schwächen (bezogen auf die konkreten Anforderungen)
Testo testo160 IAQ	ca. 500	+ Optische Anzeige (CO ₂ -Ampel) + Schwellenwerte (Ampelfarben) einstellbar + Alarmierung über E-Mail/SMS + Speicherung der Messwerte + Vernetzung über WLAN und zentrale Alarmierung beim Einsatz von mehreren Geräten (über "testo-Cloud") + Batteriebetrieb möglich (mit Einschränkung der Funktionen)	- Messintervall \geq 15 Min. (kleinere Messintervalle sind möglich, dann entstehen laufende Lizenzkosten von 13-18 €/Jahr je nach Laufzeit)
SAF Tehnika Aranet4 Home	ca. 200	+ Optische Anzeige (CO ₂ -Ampel) + Akustischer Alarm + Schwellenwerte (Ampelfarben) einstellbar + Speicherung der Messwerte + Vernetzung über Bluetooth mit Smartphone und Steuerung auch mehrerer Geräte über eine kostenlose App + speziell als mobiles Gerät konzipiert (Batteriebetrieb)	
kaiterrra Laser Egg+ CO2	ca. 190	+ Akustischer Alarm + Schwellenwerte (Ampelfarben) einstellbar + Speicherung der Messwerte + Vernetzung über WLAN-Internetanbindung und App + Alarmierung über Push-Nachricht + speziell als mobiles Gerät konzipiert (Batteriebetrieb)	
ISIS IC CO2-Ampel CONNY (Ampel ohne Display, Anzeige nur in der App))	ca. 280	+ Optische Anzeige (CO ₂ -Ampel) + Akustischer Alarm + Schwellenwerte (Ampelfarben) einstellbar + Speicherung der Messwerte + Vernetzung über WLAN-Internetanbindung und App + Alarmierung über Push-Nachricht	
Trotec BZ30 CO2-Luftqualitätsmonitor	ca. 190	+ Optische Anzeige (Smileys) + Akustischer Alarm + Schwellenwerte (Ampelfarben) einstellbar + Speicherung der Messwerte + USB-Schnittstelle und Analysesoftware für den PC	

9 Parameter des Veranstaltungsorts

In einem größeren und höheren Raum verteilen sich potenziell infektiöse Aerosole zunächst in einer niedrigeren Konzentration im ganzen Raum und steigen durch Thermik auf, womit die Gefahr geringer ist, sich anzustecken. Aus diesem Grund sollten für musikalische Veranstaltungen vermehrt sehr große und hohe Räume (Kirchen, Stadthallen, etc.) auch als Probenräume angeboten und genutzt werden. Ob ein Raum „groß“ ist hängt davon ab, wie viel Raumvolumen pro Person zur Verfügung steht. Eine technische Lüftung (Kapitel 7) oder regelmäßiges Lüften anhand der Kontrolle der Raumluftqualität durch CO₂-Messung (Kapitel 8) ergänzt durch Luftreinigung reduziert das Infektionsrisiko in geschlossenen Räumen deutlich.

Es gibt Modellrechner (Abschnitt 9.3), die anhand der Größe des Raumes und weiteren Parametern sowie der Annahme einer infizierten Person im Raum errechnen, wie hoch das Ansteckungsrisiko ist. Diese Modellrechner können zur Ergänzung von Hygienekonzepten verwendet werden. Im Kapitel 10 wird das Ansteckungsrisiko für einen exemplarischen Proberaum (Konzert) mit verschiedenen Schutzmaßnahmen berechnet.

Bei Veranstaltungen im Freien findet praktisch keine Ansteckung über Aerosole statt (Kapitel 2), sodass hier nur die Maßnahmen zum Schutz vor direkten Tröpfcheninfektionen nötig sind, wie Abstand oder Masken oder Trennwände (Kapitel 5).

9.1 Geschlossene Räume

Sogenannte Cluster- oder Gruppeninfektionen finden hauptsächlich in Innenräumen statt, wie im offenen Brief und der Stellungnahme der Gesellschaft für Aerosolforschung (GAeF) hervorgehoben wird [Asb+21; Asb+20].

Große Räume, vor allem in Bezug auf die Raumhöhe, sind von Vorteil, da die Aerosole zunächst durch Thermik (z. B. durch die Körperwärme) aufsteigen und sich nicht unmittelbar bei den Personen im Raum anreichern [SR20]. Kontrolliertes, regelmäßiges Lüften (Kapitel 8) oder besser ein kontinuierlicher Luftaustausch mittels durch technische Lüftung oder Luftreinigung als Ergänzung zum Lüften reduzieren das Infektionsrisiko in geschlossenen Räumen (Kapitel 7).

Die Definition der Raumgröße ist abhängig davon, wie viel Raumvolumen pro Person zur Verfügung steht. Das heißt, auch sehr große Hallen oder Kirchen können klein sein, wenn sehr viele Personen anwesend sind. Im Rahmen eines Modellprojektes in 2021 mit wissenschaftlicher Begleitung des Freiburger Instituts für Musikermedizin (FIM) [Spa+21] wurden vom Bund Deutscher Blasmusikverbände (BDB) Daten zur Raumsituation verschiedener Blasmusikvereine erfasst. Anhand der Messung der CO₂-Konzentration wird deutlich, wie schnell die Raumluftqualität beim gemeinsamen Musizieren abnimmt. Je nach Besetzung und Raumgröße ist hier zum Vergleich angegeben, wie viel Volumen pro Person im Raum zur Verfügung steht.

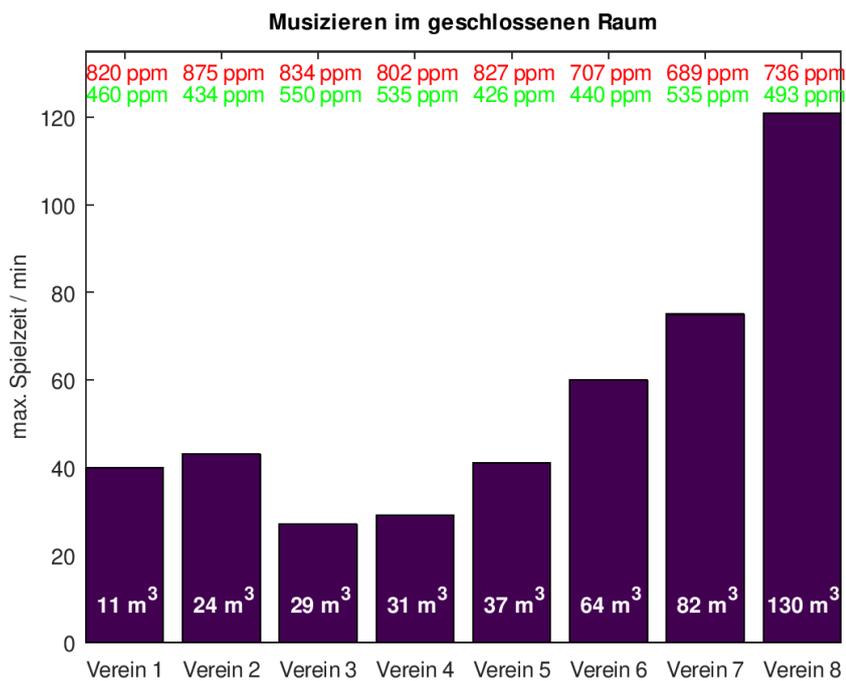


Abbildung 9.1: Maximale Spielzeit von 8 Vereinen beim Musizieren bis bei ca. 800 ppm CO₂-Konzentration gelüftet wurde. Das Volumen des Raums pro Person (weiß) und die CO₂-Konzentration zu Beginn (grün) und Ende (rot) der Spielzeiten bis zur Lüftungspause sind angegeben.

In Abbildung 9.1 ist die maximale Spielzeit für verschiedene Raumsituationen (Verein 1 bis 8) für Proben bei geschlossenen Fenstern und Türen dargestellt mit der Angabe der CO₂-Konzentration zu Beginn und am Ende der Spielzeit, bis gelüftet wurde. Wie erwartet kann prinzipiell umso länger geprobt werden, je mehr Raumvolumen pro Person zur Verfügung steht. Im Falle von Verein 1 & 2 mit geringerem Volumen pro Person als Verein 3 & 4 konnte dennoch länger geprobt werden, da eine größere Spanne der CO₂-Konzentration ausgeschöpft wurde. Zusätzlich können unterschiedliche Luftwechselraten durch Undichtigkeiten der Räume die Spielzeit beeinflussen. Bei der Risikobetrachtung in Kapitel 10 wird deutlich, dass Lüften mit Kontrolle der CO₂-Konzentration alleine nicht immer ausreichend ist um einen vergleichbaren Schutz zum Tragen einer FFP2-Maske in geschlossenen Räumen zu erreichen. Bei hohen Inzidenzen ist dies nur mit weiteren Maßnahmen wie z. B. Coronatests aller Teilnehmenden und technischer Lüftung/Luftreinigung als Ergänzung zum Lüften möglich. So kann für das gemeinsame Musizieren ohne FFP2-Masken das Infektionsrisiko weiter reduziert werden.

Außerdem ist eine durchdachte Raumnutzung sinnvoll, z. B. wenn immer mit den gleichen Gruppen in den Räumen geprobt und bei einer Belegung durch verschiedene Ensembles eine Pause eingeplant wird, um den Raum ausgiebig zu lüften und keine Begegnungen unterschiedlicher Gruppen vor dem Raum zu forcieren. Hierzu gehört auch ein geregelter Teilnehmenden- und Besucher*innen-Verkehr (Kapitel 4).

"Da sich die physikalischen Eigenschaften des Virus nach aktuellem Stand der Wissenschaft bei keiner der neuen Varianten verändern, gelten die gleichen Übertragungswege und Schutzmechanismen wie für die bisher bekannten Varianten des SARS-CoV-2 auch für die neuen Varianten. Es ist allerdings davon auszugehen, dass infolge der höheren Infektiosität der Varianten eine geringere Menge an Viren für eine Infektion hinreichend sein könnte. Insofern ist eine noch stringenteren Einhaltung der bereits etablierten Schutzmaßnahmen erforderlich." [Dit+21].

Um eine Risikoeinschätzung bestimmter Raumsituationen vornehmen zu können, haben verschiedene Institute Programme entwickelt (Abschnitt 9.3), die durch das Eingeben unterschiedlicher Parameter errechnen, wie lange es bei der angegebenen "Konstellation" im Innenraum sicher ist, wenn sich mindestens eine infizierte Person im Raum befindet. Dies sind z. B. die Modellrechnung des Hermann-Rietschel-Instituts der TU Berlin, die Risikoberechnung des Max-Planck-Instituts Göttingen und der COVID-19 INDOOR SAFETY GUIDE des Massachusetts Institute of Technology (MIT). Die größte Auswahl an Parametern bietet der COVID-19 INDOOR SAFETY GUIDE des MIT. Wichtig ist, dass es sich bei diesen Modellrechnern lediglich um theoretische Risikoeinschätzungen handelt.

9.2 Im Freien

Ist ein Proben im Freien möglich, sollte dies z. B. laut Spahn [SR20] unbedingt vorgezogen werden. Die Gefahr einer Ansteckung im Freien gilt als sehr gering.

Im Außenbereich werden Aerosolpartikel, die möglicherweise mit SARS-CoV-2-Viren beladen sind, schneller abtransportiert und reichern sich nicht an. Zudem wird der Inaktivierungsvorgang der Erreger durch die natürliche UV-Strahlung stark beschleunigt. Dadurch wird die für eine Infektion erforderliche Menge an SARS-CoV-2-Viren in der Regel nicht mehr erreicht und in der Gesamtwirkung dadurch das Ansteckungsrisiko viel geringer. Bei face-to-face-Situationen ist es auch im Freien sinnvoll, Abstände

einzuhalten oder eine Maske zu tragen um einzelne Ansteckungen durch Tröpfchen zu verhindern (Kapitel 5). Personen eines Haushalts können ohne Mindestabstand zusammen sitzen.

Als eine Art Zwischenlösung könnten Veranstaltungszelte eingesetzt werden. In Zelten muss jedoch wie in geschlossenen Räumen beachtet werden, dass sich Aerosole anreichern können. Es ist zum Beispiel sinnvoll, keine Planen als Wände anzubringen, um einen möglichst großen Luftaustausch unter dem Zeltdach zu erreichen.

9.3 Modellrechner zur Risikoeinschätzung für Innenräume

(in alphabetischer Reihenfolge)

Airborne.cam Savvas Gkantonas, Daniel Zabotti, Dr. Pedro Magalhães de Oliveira, Dr. Leo C.C. Mesquita, Prof. Epaminondas Mastorakos

<https://airborne.cam/>

- Berechnung der Ansteckungsgefahr mit COVID-19 in Innenbereichen über Aerosole als Träger der SARS-CoV-2-Viren.
- Erlaubt ein Einstellen der Raumgröße, Luftwechselrate des Raumes, Dauer der Veranstaltung, Anzahl und Tätigkeit der Anwesenden, Einbau von Lüftungspausen und der Anzahl der infizierten Person. Der erweiterte Modus erlaubt darüber hinaus ein Einstellen der Luftreinigungsrate und Auswahl verschiedener Filter eines Luftreinigers oder einer RLT sowie der Virenlast infizierter Personen.
- Die Berechnung folgt der Arbeit von Oliveira et al. [Oli+21] und basiert auf dem Modell eines gut durchmischten Raumes.

COVID 19 Aerosol Transmission Risk Calculator (MPIC)

Max-Planck-Institut für Chemie (MPIC), <https://www.mpic.de/4747361/risk-calculator>

- Berechnung der Ansteckungsgefahr mit COVID-19 in Innenbereichen über Aerosole als Träger der SARS-CoV-2-Viren.
- Die Eigenschaft der infizierten Person, des Raumes, Veranstaltungsdetails, Aerosol-Eigenschaften und Viruseigenschaften können eingegeben werden. Es gibt aber auch Beispiele zum Übernehmen und anklicken, sowie Schnellsetzen von Optionen wie Maskentyp, Luftaustausch, Virusvariante, Superspreader und der Wechsel zwischen quasi-stationären und transienten Bedingungen.
- Die Berechnungen zur Abschätzung von Infektionsrisiken basieren auf dem Artikel von Lelieveld et al. [Lel+20]: Quasi-stationäre Bedingungen unter der Annahme, dass eine hochinfektiöse Person (Viruseigenschaften) schon einige Zeit vor der Veranstaltung im Raum war (>3 h): 9.9% Wahrscheinlichkeit, dass ein bestimmter Teilnehmer infiziert wird. 92% Wahrscheinlichkeit, dass mindestens ein Teilnehmer infiziert wird.

COVID-19 Indoor Safety Guideline

Kasim Khan, John W. M. Bush, and Martin Z. Bazant, <https://indoor-covid-safety.herokuapp.com>

- Diese App verwendet das theoretische Modell von Bazant et al. [BB20], um möglichst sichere Expositionszeiten und Belegungsgrade für Innenräume zu berechnen. Durch Anpassen der

Raumspezifikationen, der Belüftungs- und Filterraten, der Verwendung von Gesichtsmasken, der Atmungsaktivitäten und der Risikotoleranz (in den anderen Registerkarten) kann berechnet werden, welche Situation im Raum sicher sein sollte in Bezug auf die Anzahl von Personen und die gemeinsame Aufenthaltszeit.

- Auf Deutsch, Englisch, Französisch, Hindi und Schwedisch verfügbar. Es kann eine Auswahl zwischen SARS-CoV-2 (ursprgl. Corona-Virus) und SARS-CoV-2 B 1.1.7. (Mutation aus GB) getroffen werden. Insgesamt ist eine recht große Auswahl an Parametern möglich (u.a. als Aktivität „Singen“ und Raum „Kirche“).
- Raumgröße unbegrenzt

COVID-19 Infektionsrisiko durch Aerosole

Hermann-Rietschel-Institut TU Berlin, <https://hri-pira.github.io/>

- Modellrechnung von Kriegel et al. [Kri+20] zur Risikobewertung von virusbeladenen Aerosolen in geschlossenen Räumen.
- bis zu einem Raumvolumen von 500 m³, auswählbare Aktivitäten: Sitzen, Stehen oder Sprechen, Singen, Physische Arbeit, Sport
- Für die Berechnung mit der neuartigen Mutation SARS-CoV-2 B.1.1.7 liegt ein um 0,65 erhöhter R-Wert zugrunde.

HEADS — Human Emission of Aerosol and Droplet Statistics

Max-Planck-Institut Göttingen, <https://aerosol.ds.mpg.de/de/>

- Risikoberechnung für Infektionen auf Basis verschiedener Parameter (Raumvolumen, Anzahl und Alter der Personen, Anzahl infizierter Personen, Aufenthaltsdauer, Tätigkeit, etc.) mit einem vorläufigen einfachen Modell, welches mit dem Source-Sink-Modell und Dosis-Wirkungsmodell von Nordsiek et al. [NBB21], mit der Inaktivierungsrate für SARS-CoV-2 von etwa 0,64 hr⁻¹ nach Doremalen et al. [Dor+20] und von Schlenzcek et al. [Sch+20a] implementiert ist.
- Ergebnis als geschätzte Wahrscheinlichkeit, dass mindestens eine Person infiziert ist und als Risiko für jede einzelne nicht infizierte Person, infiziert zu werden.
- (Derzeit) bis zu einer Raumfläche von 100 m². Es ist eine vereinfachte Ansicht und erweiterte Ansicht mit zusätzlichen Informationen und Einstellungsmöglichkeiten vorhanden.

CO2 Timer (App)

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V.,

<https://www.dguv.de/ifa/praxishilfen/innenraumarbeitsplaetze/raumlftqualitaet/co2-app/index.jsp>

- Mit der App lässt sich die CO₂-Konzentration in Räumen berechnen und sie schlägt den Zeitpunkt zum Lüften vor.
- Es muss die Art des Raums aus vorgegebenen Vorschlägen ausgewählt werden, keine Aktivität anzugeben. Der Rechner basiert auf den Ergebnissen einer Studie von Neumann [Neu18], in der die CO₂-Konzentration während 720 Unterrichtsstunden in 111 Schulen gemessen wurde. Die Datenbasis ermöglicht für die Primär- und Sekundarstufe im Schulbereich jeweils eine Berechnung für die Sommerzeit (April bis Oktober) und die Winterzeit (November bis März).

10 Risikobetrachtung – Ein exemplarischer Proberaum

Das **modulare Schutzkonzept** des Kompetenznetzwerks NEUSTART AMATEURMUSIK umfasst die konkrete Anwendung der vorgestellten Schutz- und Hygienemaßnahmen. Je höher die 7-Tage-Inzidenz und je mehr Personen an einer Veranstaltung teilnehmen, desto höher ist der Schutzbedarf. Entsprechend sollten mehr Komponenten umgesetzt werden.

Umgekehrt kann bei geringer Inzidenz und kleinen Treffen eher auf Komponenten verzichtet werden. Masken sind dabei die effektivste Maßnahme.

Beim Musizieren und Singen soll ein gleichwertiger Schutz zum Tragen einer FFP2-Maske durch Kombination folgender Maßnahmen erreicht werden:

- Sehr gute Belüftung/Luftreinigung der Räume
- Zugangskontrolle mit Tests aller Anwesenden

Ergänzend bieten medizinische Masken oder Trennwände oder Abstand von mind. 1,5 Metern einen Schutz vor direkten Infektionen (Tröpfcheninfektionen).

10.1 Proberaum

Wir betrachten einen beispielhaften Raum (Abbildung 10.1) mit einer Personenbelegung wie er bei einer Ensemble-Probe vorkommen könnte (Abbildung 10.2). In einem Raum mit 100 m^2 Grundfläche bzw. einem Volumen von 280 m^3 proben 28 Personen. Für die Berechnung des Ansteckungsrisikos wird angenommen, dass eine infektiöse Person anwesend ist.

Die Personen halten grundsätzliche Hygienemaßnahmen ein um Tröpfchen- und Schmierinfektionen zu vermeiden (Kapitel 5), diese werden im Modell nicht nachgebildet. Ein Abstand zwischen den Personen wird im Modell benötigt, um die Annahme des gut durchmischten Raumes zu gewährleisten. Eine andere Aufstellung bzw. Sitzordnung kann eine veränderte lokale Aerosoldichte erzeugen, was nach Kapitel 2 für Clusterinfektionen eine untergeordnete Rolle spielt.

Der am schwierigsten zu kontrollierende Übertragungsweg ist die Ansteckung über luftgetragene,

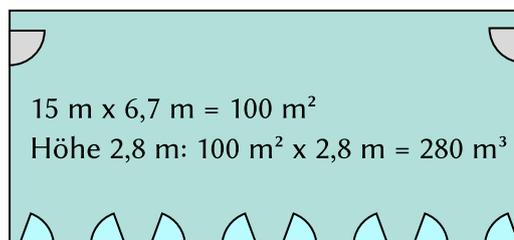


Abbildung 10.1: Grundriss Proberaum. Oben sind an den Enden links und rechts die Türen für den Zugang. Unten ist eine Fensterfront mit Flügeln, von denen 2/3 geöffnet werden können.

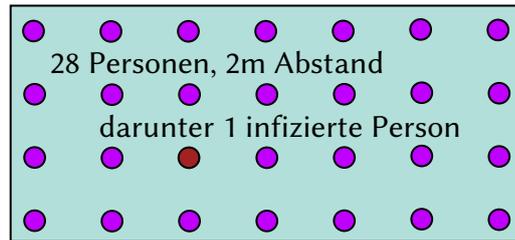


Abbildung 10.2: Personen im Raum.

Tabelle 10.1: Wahrscheinlichkeit, in einer Probe mit $N = 28$ Teilnehmenden mindestens eine infizierte Person X zu finden bzw. bei einem Konzert mit $N = 300$ Teilnehmenden.

Inzidenz	$P_{N=28}(X \geq 1)$	$P_{N=300}(X \geq 1)$
10	0,28 %	3 %
50	1,4 %	14 %
100	2,8 %	26 %
500	13 %	78 %
1000	25 %	95 %

lungengängige Aerosolpartikel (LAP). Gerade dieser ist für SARS-CoV-2 der dominante Ansteckungsweg [Wan+21].

Die Berechnung der Ansteckungswahrscheinlichkeit wird mit dem frei verfügbaren Online-Tool airborne.cam durchgeführt, dem das Modell eines gut durchmischten Raumes zugrunde liegt [Gka+21; Oli+21]. Die Lüftungsparameter können gewählt werden und sind im folgenden angegeben. Zum Vergleich wurde ein Parametersatz mit dem Online-Tool HEADS aerosol.ds.mpg.de des Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation Göttingen verglichen (Tabelle 10.4).

Statistik der Anwesenden

Für die Szenarien wird zunächst abgeschätzt, wie wahrscheinlich es ist, mindestens eine infizierte Person in einer Probe zu finden. Dafür werden aus der Bevölkerung (Grundgesamtheit) die N_{Probe} Probenenden als Stichprobe vom Umfang N_{Probe} gezogen¹. Die Grundgesamtheit besteht dabei aus N_{CoV} potentiell ansteckenden Personen, wobei ihre Anzahl der 7-Tage-Inzidenz entspricht. Die übrige Bevölkerung $N_0 = 100\,000 - N_{\text{CoV}}$ wird als nichtansteckend angenommen. Vereinfachend nehmen wir den ungünstigen Fall an, dass alle Erkrankten asymptomatisch sind oder die Probe trotz Symptomen besuchen.

Die Wahrscheinlichkeit, mindestens eine infizierte Person in dieser Probe mit N_{Probe} Personen zu haben, folgt aus der hypergeometrischen Verteilung für die Wahrscheinlichkeit, keine einzige infizierte Person $X = 0$ in einer Probe zu finden: $1 - P(X = 0)$. Für einige Inzidenzen ist diese Wahrscheinlichkeit in Tabelle 10.1 aufgeführt. Bei geringer Inzidenz ist die individuelle Wahrscheinlichkeit infiziert zu sein mal Anzahl der Personen $N_{\text{CoV}}/N_0 \cdot N$ eine sehr gute Näherung.

¹Ziehung ohne Zurücklegen, wobei der Unterschied zu Ziehung mit Zurücklegen durch die große Grundgesamtheit vernachlässigbar ist.

10.2 Ansteckungswahrscheinlichkeiten

Die Virenlast kann in Einzelfällen 10^{10} Viren/mL überschreiten, liegt jedoch meist zwischen 10^8 Viren/mL und 10^9 Viren/mL. Schnelltests als Zugangskontrolle können diese hohen Virenlasten zuverlässig ausschließen, viele Tests erreichen bereits bei über 10^6 Viren/mL eine Treffsicherheit von 100 Prozent (Abschnitt 3.2) [Sch+21b].

Um die Szenarien mit hoher Virenlast sicher ausschließen zu können müssen alle Teilnehmer ausnahmslos getestet werden, da immunisierte Personen eine vergleichbare Virenlast entwickeln können wie nicht-immunisierte [LT+21a; Rie+21].

Die Referenzsituation ist ein Aufenthalt mit FFP2-Maske im beschriebenen Proberaum, wenn eine hochinfektiöse infizierte Person anwesend ist. In Tabelle 10.2, Tabelle 10.3 und Tabelle 10.4 kann somit ausgehend von einem Referenzszenario mit FFP2-Maske und sehr hoher Infektiosität (linke Spalte unten) durch Ausschluss hochinfektiöser Szenarien ein gleichwertiger Schutz bereits ohne weitere Maßnahmen (rechte Spalte oben) erreicht werden. Um zusätzlich eine Absicherung gegen potentiell fehlerhafte Schnelltests zu erreichen und Clusterinfektionen zu verhindern, ist es sinnvoll, die Virenkonzentration in der Luft durch Abführen oder Entfernen der Aerosole (LAP) zu reduzieren. Einen minimalen Schutz stellt hier konsequentes Lüften, kontrolliert durch die Überwachung des CO_2 -Gehalts dar. Zuverlässiger ist der Einsatz mechanischer Lüftungen (RLT-Anlage) oder Luftreiniger, da so eine kontinuierliche LAP-Entfernung sichergestellt wird. Diese Maßnahme stellt sicher, dass selbst im Fall einer infizierten Person in der Probe nur einzelne Ansteckungen stattfinden (z.B. nach Tabelle 10.3: mit 10^8 Viren/mL bei 9 Prozent der Anwesenden) und nicht ein Großteil der Anwesenden (z.B. nach Tabelle 10.3: mit 10^8 Viren/mL 33 Prozent der Anwesenden) infiziert wird.

Sind nur immunisierte Personen anwesend, reduziert sich die Ansteckungswahrscheinlichkeit noch einmal um den Schutz durch die Impfung, die zwischen 34 Prozent [Sin+21] und 92 Prozent [Ros+21] liegt, je nach dem wie viel Zeit seit der letzten Impfung vergangen ist und wie intensiv der Kontakt mit einer infizierten Person war (Kapitel 3). Bei einer Auffrischung („Booster“) ist der Schutz vor Infektion in den ersten zwei Monaten 70 bis 84 Prozent [Bar+21] und vor symptomatischer Infektion mit über 90 Prozent noch etwas höher [RKI21j].

kein Schutz

Zunächst betrachten wir eine Probe ohne jede Vorkehrung zum Schutz vor Ansteckung. Die 28 Musizierenden proben für 2 Stunden in einem Raum mit einer natürlichen Luftaustauschrate von einem Luftwechsel pro Stunde.

Ist eine infektiöse Person anwesend, ist in dieser Konfiguration eine Clusterinfektion fast sicher, unabhängig ob vergleichsweise große Tröpfchen wie Tabelle 10.2 berücksichtigt werden oder wie in Tabelle 10.3 vernachlässigt werden, da sie schnell zu Boden sinken. Bei geringer Inzidenz ist der einzige „Schutz“ die geringe Wahrscheinlichkeit, dass überhaupt eine infektiöse Person in der Probe anwesend ist.

Die Virenlast geimpfter Personen mit Booster-Impfung ist im Mittel um einen Faktor 2,6 geringer als die Virendichte ungeimpfter Personen (Kapitel 3), [LT+21a; LT+21b]. In den Tabellen 10.2 und 10.3 sind die Ansteckungswahrscheinlichkeiten für verschiedene Virenlasten aufgeführt, die sich in den Spalten je um einen Faktor 10 unterscheiden. Es ist nachvollziehbar, dass der geringfügige Rückgang

Tabelle 10.2: Individuelle Wahrscheinlichkeit einer Infektion in verschiedenen Konfigurationen. Maximale Aerosolpartikel-Größe von 0,02 mm. Die Virenlast liegt in der anstecken Phase meist zwischen 10^8 Viren/mL und 10^9 Viren/mL. Berechnet mit airborne.cam. Stoßlüften kann nicht simuliert werden, es wurde ein kontinuierlicher Luftaustausch gewählt, sodass eine CO_2 -Konzentration von 800 ppm nicht überschritten wird.

Schutzmaßnahme	10^{10} Viren/mL	10^9 Viren/mL	10^8 Viren/mL
kein Schutz	82 %	16 %	1,7 %
Lüften auf 800 ppm	50 %	6,7 %	0,7 %
Luftreiniger + 1000 ppm	27 %	3 %	0,31 %
medizinische Maske + 1000 ppm	15 %	1,7 %	0,17 %
FFP2-Maske	1,7 %	0,17 %	0,02 %

Tabelle 10.3: Individuelle Wahrscheinlichkeit einer Infektion in verschiedenen Konfigurationen. Maximale Aerosolpartikel-Größe von 0,1 mm, was effektiv Proben ohne Abstand entspricht. Die Virenlast liegt in der anstecken Phase meist zwischen 10^8 Viren/mL und 10^9 Viren/mL. Berechnet mit airborne.cam. Stoßlüften kann nicht simuliert werden, es wurde ein kontinuierlicher Luftaustausch gewählt, so eine CO_2 -Konzentration von 800 ppm bzw. 1000 ppm nicht überschritten wird.

Schutzmaßnahme	10^{10} Viren/mL	10^9 Viren/mL	10^8 Viren/mL
kein Schutz	100 %	99 %	37 %
Lüften auf 800 ppm	100 %	92 %	23 %
Luftreiniger + 1000 ppm	100 %	85 %	17 %
medizinische Maske + 1000 ppm	99 %	37 %	4,4 %
FFP2-Maske	37 %	4,6 %	0,47 %

Tabelle 10.4: Individuelle Wahrscheinlichkeit einer Infektion in verschiedenen Konfigurationen. Maximale Aerosolpartikel-Größe von 0,05 mm. Berechnet mit HEADS v1.0 aerosol.ds.mpg.de. Stoßlüften kann nicht simuliert werden, es wurde der Luftaustausch von 3 bzw. 5 Luftwechseln pro Stunde aus obiger Berechnung übernommen.

Schutzmaßnahme	10^9 Viren/mL	10^8 Viren/mL
kein Schutz	65 %	11 %
Lüften auf 800 ppm	47 %	6,5 %
Luftreiniger + 1000 ppm	31 %	4,1 %
medizinische Maske + 1000 ppm	38 %	5 %
FFP2-Maske	10 %	1,2 %

der Virenlast geimpfter Personen keinen Einfluss auf die Ansteckungswahrscheinlichkeit hat, was von Singanayagam et al. auch beobachtet wurde [Sin+21].

FFP2-Masken

Bereits relativ früh in der Pandemie wurde klar, dass korrekt getragene FFP2-Masken einen sehr guten Schutz bieten [Bur+21; Asb+20], was später immer wieder bestätigt wurde [Bur+21; Asb+20; Bag+21]. Zu Beginn wurde mangels Verfügbarkeit ausreichender Mengen an Masken keine flächendeckende Nutzung empfohlen. Details zum Tragen von Masken sind in [Kapitel 6](#) zu finden.

Abstand

Durch einen ausreichenden Abstand von 1,5 m kann die Übertragung von großen Tröpfchen unterbunden werden, wenn keine Maske getragen wird. In einer Probensituation, in der alle Musizierenden in die gleiche Richtung atmen, ist die Übertragung von großen Tröpfchen vom ausgeatmeten Luftstrom in den eingeatmeten Luftstrom einer weiteren Person unwahrscheinlich. Dabei ist zu beachten, dass direkte Gespräche ohne Maske, bei der sich zwei Personen das Gesicht zuwenden, ein Risiko darstellen. Bei festen Plätzen in der Probe führt dies jedoch lediglich zu einem Risiko für die direkten Nachbarn und nicht zu Clusterinfektionen.

Musikalisch Leitende, welche meist den Musizierenden zugewandt sind, werden bei zu geringem Abstand den Tröpfchen vieler potentiell infektiöser Musizierender ausgesetzt. In diesem Fall ist die Einhaltung eines ausreichenden Abstands sehr empfehlenswert.

Lüften anhand CO₂-Ampel

Die Luftwechselrate wurde mit [Airborne.cam](#) so gewählt, dass 800 ppm bzw. 1000 ppm erreicht werden. Dies ergibt für den Beispielraum mit 28 Personen eine Luftwechselrate für 800 ppm von 50 m³/h/P oder 5 h⁻¹ (5 Luftwechsel pro Stunde).

zusätzlich Luftreiniger

Im Beispielproberaum sind 2 Luftreiniger mit je 1400 m³/h Luftdurchsatz aufgestellt. Dies entspricht einer Umwälzung 28 l/s/P (Liter je Sekunde und Person) bzw. 100 m³/h/P (Kubikmeter je Stunde und Person). Im Beispielraum mit einem Volumen von 280 m³ ist die Umwälzungsrate somit 10 h⁻¹. Zusätzlich wird mit Hilfe einer CO₂-Ampel auf einen CO₂-Gehalt von unter 1000 ppm gelüftet, was einen zusätzlichen Luftaustausch von 3 h⁻¹ bzw. 30 m³/h/P entspricht.

10.3 Nutzen von Schnelltests

Schnelltests schließen Personen mit hoher Virenlast relativ zuverlässig aus. Das PEI fordert bei einer Virenlast von über ca. 10⁶ Viren/mL eine Erkennungssicherheit von mindestens 80 Prozent (Sensitivität) [Sch+21b]. Tests, welche die Anforderungen erfüllen, werden auf einer Liste des Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte (BfArM) geführt [BfA22]. Details zu den verschiedenen Testmethoden und verfügbaren Tests sind in [Kapitel 3.2](#) beschrieben.

In den Szenarien in [Abschnitt 10.2](#) kann so der Verlauf mit der höchsten Ansteckungswahrscheinlichkeit (linke Spalten in [Tabelle 10.2](#) bis [Tabelle 10.4](#)) weitgehend ausgeschlossen werden.

Bei geringen Inzidenzen, also einer geringen Wahrscheinlichkeit, eine infizierte Person in der Probe

Tabelle 10.5: Wahrscheinlichkeit, bei der aktuellen Inzidenz eine infizierte Person mit einer erhöhten Virenlast mit einem Schnelltest (hier: 95,4 % Sensitivität, 99,1 % Spezifität) zu finden. Berechnet mit <https://schnelltestrechner.de/>. Die vierte Spalte zeigt die berechnete Wahrscheinlichkeit, dass eine infizierte Person in der Beispielprobe mit $N = 28$ Personen anwesend ist.

Inzidenz	echt positiv	falsch-negativ	$P_{N=28}(\text{Test} X \geq 1)$	$P_{N=300}(\text{Test} X \geq 1)$
10	1,08 %	0,00047 %	0,013 %	0,14 %
50	5,2 %	0,0023 %	0,064 %	0,69 %
100	9,9 %	0,0047 %	0,13 %	1,4 %
500	35,5 %	0,024 %	0,64 %	6,7 %
1000	52,5 %	0,047 %	1,3 %	13 %

zu haben, sind die wenigen positiven Ergebnissen nur bei einem Bruchteil ein Hinweis auf eine echte Infektion (viele falsch-positive). Umgekehrt können infizierte Personen zu fast 100 Prozent von einem potentiell ansteckenden Probenbesuch abgehalten werden.

Bei hohen Inzidenzen wird unter den positiven Schnelltests immer noch ein nennenswerter Anteil nicht infektiöser Personen sein (falsch-positive). Ebenso ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass eine infektiöse Personen unwissend in der Probe anwesend ist. Dieses Risiko kann je nach Test selbst bei einer 7-Tage-Inzidenz von 1000 unter 0,05 Prozent gehalten werden.

Die Wahrscheinlichkeit, ein falsch-positives Ergebnis zu erhalten sowie die potentiell risikoreichen falsch-negativen kann mit dem SchnellTestRechner <https://schnelltestrechner.de/> leicht berechnet werden. In Tabelle 10.5 sind beispielhaft für einen durchschnittlichen Schnelltest bei einige Inzidenzen die Wahrscheinlichkeiten aufgeführt. Die Tests und die Bewertung eines Testergebnisses ist in Abschnitt 3.2 beschrieben.

Die angegebenen Häufigkeiten sind statistische Erwartungswerte, d. h. bei sehr vielen Proben in vielen Vereinen wird die Anzahl der Ereignisse im Mittel diese Werte annehmen. Ein einzelner Verein kann trotz aller Vorsichtsmaßnahmen in einem Monat zwei Infektionsereignisse feststellen, andere Vereine dafür kein einziges. Der Erwartungswert der Anzahl von Proben zwischen zwei Ereignissen kann jedoch eine Vorstellung davon geben, ob in einem Jahr mit hoher Wahrscheinlichkeit kein Ereignis auftritt oder mit einem Ereignis zu rechnen ist.

10.4 Wahrscheinlichkeiten in Proben

Bei einer geringen Inzidenz von 10 werden durch die Tests² 0,9 Prozent der Probenbesuchenden abgewiesen, also bei jeder vierten Probe eine von 28 Personen. Dabei ist die Wahrscheinlichkeit, überhaupt eine infizierte Person in der Probe zu haben nur 0,28 Prozent, sodass bei jeder 357sten Probe ein Risiko besteht.

Bei einer erhöhten Inzidenz von 100 werden durch die Tests 1 Prozent der Probenbesuchenden abgewiesen, von denen wiederum 10 Prozent tatsächlich infiziert waren. Dies ist der Preis, um das Risiko in

²Im Beispiel ein Schnelltest mit 95,4 % Sensitivität, 99,1 % Spezifität

2,8 Prozent der Proben, in denen eine infektiöse Person anwesend sein könnte, zu verhindern. Es wird also in jeder vierten Probe eine Person möglicherweise unbegründet abgewiesen, um nicht in jeder 36sten Probe eine mögliche Clusterinfektion zu erhalten.

Bei den sehr hohen Inzidenzen von 1000 werden durch Tests bereits 1,9 Prozent der Probenbesuchenden abgewiesen, also bei jeder zweiten Probe eine Person. Bei dieser hohen Inzidenz wäre ohne Tests in jeder vierten Probe eine infektiöse Person anwesend, mit Schnelltests nur in jeder 76sten Probe.

Die Abwägung zwischen ungerechtfertigt abgewiesenen Personen und dem Risiko einer Infektion in einer Probe legt nahe, bei einer 7-Tage-Inzidenz kleiner 50 je 100 000 Einwohner auf Tests zu verzichten, darüber Tests durchzuführen. Nehmen nur Geimpfte an einer Veranstaltung teil, kann die Schwelle höher ausfallen, da die Inzidenz unter den Geimpften als Bezugsgröße herangezogen werden kann. In Deutschland gibt es dafür keine verlässlichen Daten, die symptomatischen Fälle zeigen, dass die Inzidenz unter immunisierten etwa einen Faktor 10 kleiner ist als die Inzidenz unter nicht-immunisierten Personen [[RKI21m](#); [RKI21j](#); [RKI21k](#)].

10.5 Wahrscheinlichkeit bei Konzerten

Bei einer Veranstaltung mit vielen Personen ist grundsätzlich die Wahrscheinlichkeit höher, dass infizierte Personen unter den Anwesenden sind. Aus Tabelle 10.1 wird klar, dass bereits bei einer Inzidenz von 100 ein Konzert so ausgelegt werden sollte, dass von einer unwissentlich infizierten Person keine Gefahr ausgeht. Dies lässt sich praktisch nur durch eine Kombination von FFP2-Maske (auch am Platz) und guter Lüftung realisieren. Ob unter diesen Bedingungen 300 oder 3000 Zuhörer beim Konzert anwesend sind macht für die Auslegung der Schutzmaßnahmen keinen Unterschied mehr.

Mit Tests als Zugangskontrolle (Tabelle 10.5) kann bei Inzidenzen unter 100 bei guter Lüftung auf eine Maske am festen Platz verzichtet werden. Einzelne Infektionen sind dann im Fall, dass doch eine infizierte Person teilnimmt, nicht auszuschließen.



NEUSTART
AMATEURMUSIK

11 Versionsverlauf

Version	Datum	Änderung zur vorherigen Version
2.0	15.02.22	Vollständige Überarbeitung Kapitel SARS-CoV-2 Infektionsgeschehen: Analysen bekannter Clusterinfektionen Kapitel Impfen & Coronatests: Aktuelle Informationen zur Impfung & Tests Kapitel Teilnehmende & Kontaktdaten: Freiwillige Kontaktdatenerfassung Kapitel Abstand & Hygienemaßnahmen: Neubewertung Abstandsempfehlung Kapitel Lüften & Lüftungstechnik: Auswahlkriterien Raumlufreiniger Kapitel Parameter des Veranstaltungsortes: Definition „große“ Räume neues Kapitel: Risikoeinschätzung für Beispielhafte Probe
1.6	19.08.21	Kapitel Empfehlungen: Coronatests für geimpfte Personen Kapitel wissenschaftliche Grundlagen zum SARS-CoV-2 Infektionsgeschehen: - wissenschaftliches Positionspapier Deutsche Forschungsgemeinschaft - Entwicklung des Infektionsgeschehens Kapitel Tragen von Masken: Redaktionelle Änderungen und wiederverwendbare Masken Kapitel Coronatests & Impfen: Test-, Impfstrategie und Delta-Variante Kapitel Lüften & Lüftungstechnik: Anforderungen an Raumlufreiniger
1.5	28.06.21	Kapitel Tragen von Masken wurde redaktionell aktualisiert Kapitel Coronatests & Impfen: Impfstrategie zur Überwindung der Pandemie
1.4	02.06.21	Kapitel Coronatests & Impfen: Lockerungen für genesene und geimpfte Personen
1.3	28.05.21	Redaktionelle Änderungen am Text und Layout
1.2	21.05.21	Weiterer Angaben zur Literatur. Kapitel wissenschaftliche Grundlagen zum SARS-CoV-2 Infektionsgeschehen: - Luftbewegungen beim Musizieren und Singen mit den Bamberger Symphonikern - Luftbewegungen beim Musizieren und Singen der Bauhausuniversität Weimar Kapitel CO ₂ -Messung: CO ₂ -Ausstoß beim Musizieren und Singen
1.1	07.05.21	Redaktionelle Änderungen am Text und Layout Kapitel Wissenschaftliche Grundlagen: Mindestabstand beim Musizieren Kapitel Coronatests & Impfen: mehr Freiheit für Geimpfte Kapitel Lüften & Lüftungstechnik: konkrete Beispiele für verschiedene Luftreiniger
1.0	21.04.21	

Literaturverzeichnis

- [ARCB21] Laith J. Abu-Raddad, Hiam Chemaitelly und Roberto Bertollini. “Severity of SARS-CoV-2 Reinfections as Compared with Primary Infections”. In: *New England Journal of Medicine* 0.0 (2021), null. DOI: [10.1056/NEJMc2108120](https://doi.org/10.1056/NEJMc2108120). eprint: <https://doi.org/10.1056/NEJMc2108120>. URL: <https://doi.org/10.1056/NEJMc2108120> (siehe Seite 16).
- [AR+21] Laith J. Abu-Raddad u. a. “SARS-CoV-2 antibody-positivity protects against reinfection for at least seven months with 95% efficacy”. In: *eClinicalMedicine* 35 (2021). ISSN: 2589-5370. DOI: [10.1016/j.eclinm.2021.100861](https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2021.100861) (siehe Seite 16).
- [And21a] Andreas Kirchner. “Anforderungen an mobile Luftreiniger”. In: *VDI-Richtlinie EE 4300-14* (2021). URL: https://www.vdi.de/fileadmin/pages/vdi_de/redakteure/vor_ort/bv/hamburger-bv/dateien/Welche_Anforderungen_muessen_mobile_Luftreiniger_erfuellen___VDI.pdf (siehe Seite 33).
- [And21b] Andreas Kirchner. “Prüfkriterien für mobile Luftreiniger”. In: *VDI EE 4300 Blatt 14* (2021). URL: https://www.vdi.de/fileadmin/pages/vdi_de/redakteure/ueber_uns/fachgesellschaften/KRdL/dateien/Pruefkriterien_fuer_Luftreiniger__2021-07-23__VDI_AG_Kurzfassung.pdf (siehe Seite 33).
- [And+21] Nick Andrews u. a. “Effectiveness of COVID-19 vaccines against the Omicron (B.1.1.529) variant of concern”. In: *medRxiv* (2021). DOI: [10.1101/2021.12.14.21267615](https://doi.org/10.1101/2021.12.14.21267615). eprint: <https://www.medrxiv.org/content/early/2021/12/14/2021.12.14.21267615.full.pdf>. URL: <https://www.medrxiv.org/content/early/2021/12/14/2021.12.14.21267615> (siehe Seite 15).
- [Asb+20] Dr. Christof Asbach u. a. “Positionspapier der Gesellschaft für Aerosolforschung zum Verständnis der Rolle von Aerosolpartikeln beim SARS-CoV-2 Infektionsgeschehen”. In: (2020). URL: <https://www.info.gaef.de/positionspapier> (siehe Seiten 43, 52).
- [Asb+21] Dr. Christof Asbach u. a. *Ansteckungsgefahren aus Aerosolwissenschaftlicher Perspektive*. 2021. URL: <https://www.info.gaef.de/positionspapier> (besucht am 11.04.2021) (siehe Seiten 9, 43).
- [Bag+21] Gholamhossein Bagheri u. a. “An upper bound on one-to-one exposure to infectious human respiratory particles”. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 118.49 (2021). ISSN: 0027-8424. DOI: [10.1073/pnas.2110117118](https://doi.org/10.1073/pnas.2110117118). eprint: <https://www.pnas.org/content/118/49/e2110117118.full.pdf>. URL: <https://www.pnas.org/content/118/49/e2110117118> (siehe Seiten 11, 26, 28, 52).
- [Bar+21] Noam Barda u. a. “Effectiveness of a third dose of the BNT162b2 mRNA COVID-19 vaccine for preventing severe outcomes in Israel: an observational study”. In: *The Lancet* 398.10316 (2021), Seiten 2093–2100. ISSN: 0140-6736. DOI: [10.1016/S0140-6736\(21\)02249-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)02249-2) (siehe Seiten 14, 15, 50).

- [BB20] Martin Z Bazant und John W M Bush. “Beyond Six Feet: A Guideline to Limit Indoor Airborne Transmission of COVID-19”. In: *medRxiv* (2020). DOI: [10.1101/2020.08.26.20182824](https://doi.org/10.1101/2020.08.26.20182824). URL: <https://www.medrxiv.org/content/early/2020/11/03/2020.08.26.20182824> (siehe Seite 46).
- [BGV20] Lia Becher, Amayu Wakoya Gena und Prof. Dr.-Ing. Conrad Völker. “Risikoeinschätzung zur Ausbreitung der Atemluft bei Blasinstrumenten und Sängern während der COVID-19 Pandemie”. In: *Bauhaus-Universität Weimar* (2020). URL: https://www.uni-weimar.de/fileadmin/user/fak/bauing/professuren_institute/Bauphysik/00_Aktuelles/Risikoeinschaetzung_zur_Ausbreitung_der_Atemluft.pdf (siehe Seiten 12, 24).
- [Bec+20] Lia Becher u. a. “Einsatz von Filtern zur Reduktion der Ausbreitung der Atemluft beim Spielen von Blasinstrumenten und beim Singen während der COVID-19 Pandemie”. In: *Bauhaus-Universität Weimar* (2020). URL: https://www.uni-weimar.de/fileadmin/user/fak/bauing/professuren_institute/Bauphysik/00_Aktuelles/Einsatz_von_Filtern_zur_Reduktion_der_Ausbreitung_der_Atemluft.pdf (siehe Seite 12).
- [Bec+04] Johannes Beckers u. a. “Großes Netzwerk für kleine Teilchen - Aerosolforschung in der GSF”. In: *GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Mitglied der Helmholtzgemeinschaft* (2004). URL: <https://www.yumpu.com/de/document/view/7017304/pdf-aerosolforschung-in-der-gsf-helmholtz-zentrum-munchen> (siehe Seite 9).
- [BfA20a] BfArM. *Hinweise des BfArM zur Verwendung von Mund-Nasen-Bedeckungen, medizinischen Gesichtsmasken sowie partikelfiltrierenden Halbmasken (FFP-Masken)*. 2020. URL: <https://www.bfarm.de/SharedDocs/Risikoinformationen/Medizinprodukte/DE/schutzmasken.html> (besucht am 17. 03. 2021) (siehe Seite 26).
- [BfA20b] BfArM. *Hinweise des BfArM zur Verwendung von Mund-Nasen-Bedeckungen, medizinischen Gesichtsmasken sowie partikelfiltrierenden Halbmasken (FFP-Masken)*. 2020. URL: <https://www.bfarm.de/SharedDocs/Risikoinformationen/Medizinprodukte/DE/schutzmasken.html> (besucht am 17. 03. 2021) (siehe Seiten 26, 27).
- [BfA22] BfArM. *Liste zugelassener Selbsttests*. 2022. URL: https://www.bfarm.de/DE/Medizinprodukte/Antigentests/_node.html (besucht am 31. 01. 2022) (siehe Seiten 19, 52).
- [Bhu+21] Prakash Bhuyan u. a. “Very rare thrombosis with thrombocytopenia after second AZD1222 dose: a global safety database analysis”. In: *The Lancet* 398.10300 (2021), Seiten 577–578. ISSN: 0140-6736. DOI: [10.1016/S0140-6736\(21\)01693-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01693-7) (siehe Seite 17).
- [BG+20] BIOCUMSC-Gompertz u. a. *European Covid-19 Forecast Hub*. 2020. URL: <https://covid19forecasthub.eu/visualisation.html> (besucht am 13. 08. 2021) (siehe Seite 13).
- [BM20] Dr. Wolfram Birmili und Dr.-Ing. Heinz-Jörn Moriske. “Mobile Luftreiniger in Schulen: Nur im Ausnahmefall sinnvoll”. In: *Umweltbundesamt* (2020). URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/mobile-luftreiniger-in-schulen-nur-im-ausnahmefall> (siehe Seite 32).

- [BOZ21] Philomena M Bluysen, Marco Ortiz und Dadi Zhang. “The effect of a mobile HEPA filter system on ‘infectious’ aerosols, sound and air velocity in the SenseLab”. In: *Building and Environment* 188 (2021), Seite 107475. ISSN: 0360-1323. DOI: [10.1016/j.buildenv.2020.107475](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107475). URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132320308428> (siehe Seite 32).
- [BB21] BMG und BZgA. *Zusammen gegen Corona*. 2021. URL: <https://www.zusammengegencorona.de> (besucht am 13.03.2021) (siehe Seite 18).
- [BM21] Prof. Dr. Dr. h.c. Bodenschatz und Rudolf Müller. *LAP-Adsorber*. 2021. URL: <https://blasmusik-nrw.de/aktuelles/forschungsortchester> (besucht am 16.04.2021) (siehe Seiten 12, 27, 31).
- [Boo+06] Dipl.-Ing. Dr. Rolf Boos u. a. “Bewertung Der Innenraumluft Physikalische Faktoren Kohlenstoffdioxid als Lüftungsparameter”. In: (2006) (siehe Seite 36).
- [Bro+21] Catherine M. Brown u. a. “Outbreak of SARS-CoV-2 Infections, Including COVID-19 Vaccine Breakthrough Infections, Associated with Large Public Gatherings — Barnstable County, Massachusetts, July 2021”. In: *Morbidity and Mortality Weekly Report* 70.31 (2021), Seiten 1059–1062. DOI: [10.15585/mmwr.mm7031e2](https://doi.org/10.15585/mmwr.mm7031e2) (siehe Seite 15).
- [Buo+20] Manuela Buonanno u. a. “Far-UVC light (222 nm) efficiently and safely inactivates airborne human coronaviruses”. In: *Scientific Reports* 10.1 (2020), Seite 10285. ISSN: 2045-2322. DOI: [10.1038/s41598-020-67211-2](https://doi.org/10.1038/s41598-020-67211-2). URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67211-2> (siehe Seiten 9, 11).
- [Bur+21] Henry C. Burridge u. a. “The ventilation of buildings and other mitigating measures for COVID-19: a focus on wintertime”. In: *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 477.2247 (2021). ISSN: 1471-2946. DOI: [10.1098/rspa.2020.0855](https://doi.org/10.1098/rspa.2020.0855). URL: <http://dx.doi.org/10.1098/rspa.2020.0855> (siehe Seiten 26, 52).
- [Bus+21] Lewis F. Buss u. a. “Three-quarters attack rate of SARS-CoV-2 in the Brazilian Amazon during a largely unmitigated epidemic”. In: *Science* 371.6526 (2021), Seiten 288–292. DOI: [10.1126/science.abe9728](https://doi.org/10.1126/science.abe9728). eprint: <https://www.science.org/doi/pdf/10.1126/science.abe9728>. URL: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.abe9728> (siehe Seite 14).
- [BW21] BW. *Das Land BW fördert ein Forschungsprojekt zur Aerosolausbreitung und Luftreinigung mit 1,6 Millionen Euro*. 2021. URL: <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/land-foerdert-forschungsprojekt-luftreinigung-und-aerosole-1/> (besucht am 16.03.2021) (siehe Seite 35).
- [BZg21a] BZgA. *Corona-Schutzimpfung: Antworten auf häufig gestellte Fragen*. 2021. URL: <https://www.infektionsschutz.de/coronavirus/schutzimpfung/fragen-und-antworten/#faq4706> (besucht am 12.04.2021) (siehe Seite 18).
- [BZg21b] BZgA. *Mund-Nasen-Schutz für Kinder*. 2021. URL: <https://www.kindergesundheit-info.de/themen/risiken-vorbeugen/coronavirus-sars-cov-2-elterninformationen/corona-zeiten-mund-nasen-schutz/> (besucht am 17.03.2021) (siehe Seite 26).

- [Che+21] Yafang Cheng u. a. “Face masks effectively limit the probability of SARS-CoV-2 transmission”. In: *Science* 372.6549 (2021), 1439 LP –1443. DOI: [10.1126/science.abg6296](https://doi.org/10.1126/science.abg6296). URL: <http://science.sciencemag.org/content/372/6549/1439.abstract> (siehe Seite 26).
- [Chi+20] Alex W H Chin u. a. “Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions”. In: *THE LANCET* 1.1 (2020), e10. DOI: [10.1016/S2666-5247\(20\)30003-3](https://doi.org/10.1016/S2666-5247(20)30003-3). URL: [https://doi.org/10.1016/S2666-5247\(20\)30003-3](https://doi.org/10.1016/S2666-5247(20)30003-3) (siehe Seiten 10, 11).
- [Chr+21] Paul A. Christensen u. a. “Delta variants of SARS-CoV-2 cause significantly increased vaccine breakthrough COVID-19 cases in Houston, Texas”. In: *medRxiv* (2021). DOI: [10.1101/2021.07.19.21260808](https://doi.org/10.1101/2021.07.19.21260808). eprint: <https://www.medrxiv.org/content/early/2021/10/07/2021.07.19.21260808.full.pdf>. URL: <https://www.medrxiv.org/content/early/2021/10/07/2021.07.19.21260808> (siehe Seite 15).
- [Cit22] New York City, Herausgeber. *Cases, Hospitalizations and Deaths*. 2022. URL: <https://www1.nyc.gov/site/doh/covid/covid-19-data.page#daily> (besucht am 24. 01. 2022) (siehe Seiten 14, 16).
- [CGS21] J Curtius, M Granzin und J Schrod. “Testing mobile air purifiers in a school classroom: Reducing the airborne transmission risk for SARS-CoV-2”. In: *Aerosol Science and Technology* 55.5 (2021), Seiten 586–599. ISSN: 0278-6826. DOI: [10.1080/02786826.2021.1877257](https://doi.org/10.1080/02786826.2021.1877257). URL: <https://doi.org/10.1080/02786826.2021.1877257> (siehe Seite 32).
- [Dag+21] Noa Dagan u. a. “BNT162b2 mRNA Covid-19 Vaccine in a Nationwide Mass Vaccination Setting”. In: *New England Journal of Medicine* 384.15 (2021), Seiten 1412–1423. DOI: [10.1056/NEJMoa2101765](https://doi.org/10.1056/NEJMoa2101765). eprint: <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2101765>. URL: <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2101765> (siehe Seite 15).
- [DFG21] DFG. “Coronavirus-Pandemie: Wie lassen sich Infektionen durch Aerosole verhindern?” In: *Deutsche Forschungsgemeinschaft* (2021). URL: https://www.dfg.de/download/pdf/foerderung/corona_infos/positionspapier_aerosole.pdf (siehe Seiten 11, 26, 27).
- [Dit+20] Prof. Dr.-Ing. Achim Dittler u. a. “Stellungnahme des Expertenkreis Aersole der Landesregierung Baden-Württemberg”. In: (2020). URL: https://mwk.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mwk/intern/dateien/Anlagen_PM/20201204_Stellungnahme_Aerosole_SARS_CoV2.pdf (siehe Seiten 11–13, 30, 36).
- [Dit+21] Prof. Dr.-Ing. Achim Dittler u. a. “2. Stellungnahme Expertenkreis Aerosole der Landesregierung Baden-Württemberg”. In: (2021). URL: https://mwk.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mwk/intern/dateien/pdf/Expertenkreis_Aerosole_-_2._Stellungnahme_02.pdf (siehe Seiten 30–32, 45).
- [DLR20] DLR. *DLR testet Filtersystem zur Verringerung der Virenlast in Räumen*. 2020. URL: https://www.dlr.de/content/de/artikel/news/2020/04/20201103_dlr-testet-filtersystem-zur-verringerung-der-virenlast-in-raeumen.html (besucht am 03. 11. 2020) (siehe Seite 32).

- [Dor+20] Neeltje van Doremalen u. a. “Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1”. In: *New England Journal of Medicine* 382.16 (2020), Seiten 1564–1567. DOI: [10.1056/NEJMc2004973](https://doi.org/10.1056/NEJMc2004973). URL: <https://doi.org/10.1056/NEJMc2004973> (siehe Seiten 9, 10, 47).
- [Dub21] Filip Dubovsky. *Novavax clinical study (SAGE)*. Herausgegeben von Novavax. 2021. URL: <https://cdn.who.int/media/docs/default-source/immunization/sage/2021/december/2021-12-16-extraordinary-sage-submitted-novavax.pdf> (besucht am 24. 01. 2022) (siehe Seite 18).
- [Ech+20] Matthias Echternach u. a. “Impulse dispersion of aerosols during singing and speaking”. In: *medRxiv* (2020). DOI: [10.1101/2020.07.21.20158832](https://doi.org/10.1101/2020.07.21.20158832). URL: <https://www.medrxiv.org/content/early/2020/07/24/2020.07.21.20158832> (siehe Seiten 12, 24).
- [Edw+21] David A Edwards u. a. “Exhaled aerosol increases with COVID-19 infection, age, and obesity”. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 118.8 (2021). ISSN: 0027-8424. DOI: [10.1073/pnas.2021830118](https://doi.org/10.1073/pnas.2021830118). URL: <https://www.pnas.org/content/118/8/e2021830118> (siehe Seite 12).
- [EMW21] EMW. *Filterklassen gemäß EN 779 und EN 1822*. 2021. URL: <https://www.emw.de/de/filter-campus/filterklassen.html> (besucht am 31. 03. 2021) (siehe Seite 32).
- [Eur] EMA European Medicines Agency, Herausgeber. *EMA issues advice on use of Paxlovid (PF-07321332 and ritonavir) for the treatment of COVID-19: rolling review starts in parallel*. URL: <https://www.ema.europa.eu/en/news/ema-issues-advice-use-paxlovid-pf-07321332-ritonavir-treatment-covid-19-rolling-review-starts> (besucht am 21. 01. 2022) (siehe Seite 17).
- [Fer+21] Neil Ferguson u. a. *Report 50: Hospitalisation risk for Omicron cases in England*. Technischer Bericht. Imperial College London, 2021. (Besucht am 22. 12. 2021) (siehe Seite 15).
- [FMWM21] FH-Münster und WWU-Münster. *Möglichkeiten und Grenzen der eigenverantwortlichen Wiederverwendung von FFP2- Masken für den Privatgebrauch*. 2021. URL: <https://www.fh-muenster.de/gesundheitsforschung/forschungsprojekte/moeglichkeiten-und-grenzen-der-eigenverantwortlichen-wiederverwendung-von-ffp2-masken-im-privatgebrauch/index.php> (besucht am 17. 03. 2021) (siehe Seite 26).
- [FEH11] Paul Fine, Ken Eames und David L Heymann. ““Herd Immunity”: A Rough Guide”. In: *Clinical Infectious Diseases* 52.7 (2011), Seiten 911–916. ISSN: 1058-4838. DOI: [10.1093/cid/cir007](https://doi.org/10.1093/cid/cir007). URL: <https://doi.org/10.1093/cid/cir007> (siehe Seite 14).
- [FC20] Arnaud Fontanet und Simon Cauchemez. “COVID-19 herd immunity: where are we?” eng. In: *Nature reviews. Immunology* 20.10 (2020), Seiten 583–584. ISSN: 1474-1741. DOI: [10.1038/s41577-020-00451-5](https://doi.org/10.1038/s41577-020-00451-5). URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32908300https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7480627/> (siehe Seite 14).
- [FG21] Fraunhofer-Gesellschaft. *Healthy Air Initiative*. 2021. URL: <https://www.initiative-gesunde-raumluft.de> (besucht am 17. 03. 2021) (siehe Seite 35).

- [Fre+21] Jennifer K. Frediani u. a. “Multidisciplinary assessment of the Abbott BinaxNOW SARS-CoV-2 point-of-care antigen test in the context of emerging viral variants and self-administration”. In: *Scientific Reports* 11.1 (2021), Seite 14604. ISSN: 2045-2322. DOI: [10.1038/s41598-021-94055-1](https://doi.org/10.1038/s41598-021-94055-1) (siehe Seite 19).
- [GAe20] GAeF. “Positionspapier der Gesellschaft für Aerosolforschung zum Verständnis der Rolle von Aerosolpartikeln beim SARS-CoV-2 Infektionsgeschehen”. Köln, 2020. URL: <https://www.info.gaef.de/positionspapier> (siehe Seiten 9, 11, 27, 29, 31, 32).
- [Gan+21] Sophia Gantner u. a. “Impulse dispersion of aerosols during playing wind instruments”. In: *medRxiv* (2021). DOI: [10.1101/2021.01.25.20248984](https://doi.org/10.1101/2021.01.25.20248984). URL: <https://www.medrxiv.org/content/early/2021/01/26/2021.01.25.20248984> (siehe Seiten 12, 24).
- [GSH20] Oliver Garcia und Dr. Alfons Schulze-Hagen. *Art. 13 Informationspflicht bei Erhebung von personenbezogenen Daten bei der betroffenen Person*. 2020. URL: <https://www.datenschutzkanzlei.de/speicherung-von-besucherdaten-in-corona-zeiten/> (besucht am 24. 03. 2021) (siehe Seite 23).
- [Gka+21] S. Gkantonas u. a. *airborne.cam: a risk calculator of SARS-CoV-2 aerosol transmission under well-mixed ventilation conditions*. 2021. URL: <https://doi.org/10.17863/CAM.72192> (siehe Seite 49).
- [Gro21] Gisela Gross. *Wie gut die Kennzahlen den Pandemie-Verlauf abbilden*. 2021. URL: <https://www.forschung-und-lehre.de/politik/wie-gut-die-kennzahlen-den-pandemie-verlauf-abbilden-3681/> (besucht am 29. 04. 2021) (siehe Seite 13).
- [Gu+22] Haogao Gu u. a. “Probable Transmission of SARS-CoV-2 Omicron Variant in Quarantine Hotel, Hong Kong, China, November 2021”. In: *Emerging infectious diseases* 28.2 (Feb. 2022), Seiten 460–462. ISSN: 1080-6059 1080-6040. DOI: [10.3201/eid2802.212422](https://doi.org/10.3201/eid2802.212422). URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34860154>; <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8798678> (siehe Seite 10).
- [Gue+20] Thomas Guenther u. a. “Investigation of a superspreading event preceding the largest meat processing plant-related SARS-Coronavirus 2 outbreak in Germany”. In: *SSRN* (2020). URL: <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3654517>; <https://ssrn.com/abstract=3654517> (siehe Seite 10).
- [Haa+21] Eric J Haas u. a. “Impact and effectiveness of mRNA BNT162b2 vaccine against SARS-CoV-2 infections and COVID-19 cases, hospitalisations, and deaths following a nationwide vaccination campaign in Israel: an observational study using national surveillance data”. In: *The Lancet* 397.10287 (2021), Seiten 1819–1829. ISSN: 0140-6736. DOI: [10.1016/S0140-6736\(21\)00947-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)00947-8). URL: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)00947-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)00947-8) (siehe Seite 14).
- [Haa+22] Julia W. Haas u. a. “Frequency of Adverse Events in the Placebo Arms of COVID-19 Vaccine Trials: A Systematic Review and Meta-analysis”. In: *JAMA Network Open* 5.1 (Jan. 2022), e2143955–e2143955. ISSN: 2574-3805. DOI: [10.1001/jamanetworkopen.2021.43955](https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2021.43955). eprint: <https://jamanetwork.com/journals/jamanetworkopen/articlepdf/2788172/haas>



- [_2022_oi_211215_1641846536.6824.pdf](#). URL: <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2021.43955> (siehe Seite 16).
- [HK20] Anne Hartmann und Martin Kriegel. “Risikobewertung von virenbeladenen Aerosolen anhand der CO₂-Konzentration”. 2020. URL: <http://dx.doi.org/10.14279/depositonce-10361.3> (siehe Seite 36).
- [Hea21] Discovery Health, Herausgeber. *Discovery Health, South Africa’s largest private health insurance administrator, releases at-scale, real-world analysis of Omicron outbreak based on 211 000 COVID-19 test results in South Africa, including collaboration with the South Africa*. 2021. URL: <https://www.discovery.co.za/corporate/news-room> (besucht am 10. 01. 2022) (siehe Seite 15).
- [Hea+21] Paul T. Heath u. a. “Safety and Efficacy of NVX-CoV2373 Covid-19 Vaccine”. In: *New England Journal of Medicine* 385.13 (2021), Seiten 1172–1183. DOI: [10.1056/NEJMoa2107659](https://doi.org/10.1056/NEJMoa2107659). eprint: <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2107659>. URL: <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2107659> (siehe Seite 18).
- [Heb+05] H. Heberer u. a. “Überlegungen zur Wirkung und toxikologischen Relevanz von NTP-Luftreinigungsgeräten”. In: *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft* 65.10 (2005), Seiten 419–424 (siehe Seite 31).
- [HKP21] Frank Helleis, Thomas Klimach und Ulrich Pöschl. “Vergleich von Fensterlüftungssystemen und anderen Lüftungs- bzw. Luftreinigungsansätzen gegen die Aerosolübertragung von COVID-19 und für erhöhte Luftqualität in Klassenräumen”. In: (2021). DOI: [10.5281/ZENODO.5154017](https://doi.org/10.5281/ZENODO.5154017). URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5154017#.YR-X8xxW9Sg.mendeley> (siehe Seite 30).
- [Ift+21] Emil N. Iftekhar u. a. *Ein Blick in die Zukunft der COVID-19-Pandemie in Europa: Eine Expertenbefragung*. 2021. URL: <https://www.containcovid-pan.eu/statement/delphi/German> (besucht am 16. 08. 2021) (siehe Seiten 9, 13, 14).
- [Jan+21] Lauren Jansen u. a. “Investigation of a SARS-CoV-2 B.1.1.529 (Omicron) Variant Cluster — Nebraska, November–December 2021”. In: *Morbidity and Mortality Weekly Report* 70.5152 (2021), Seiten 1782–1784. URL: <http://dx.doi.org/10.15585/mmwr.mm705152e3> (siehe Seite 21).
- [Joh22] JHU John Hopkins University & Medicine, Herausgeber. *Mortality Analyses*. 2022. URL: <https://coronavirus.jhu.edu/data/mortality> (besucht am 21. 01. 2022) (siehe Seite 14).
- [Käh21] Christian J. Kähler. “Trendwende durch Trennwände – Schutzscheiben vermindern das Risiko von Corona-Infektionen”. In: *PHYSIKKonkret* Nr. 56 (2021). URL: www.physikkonkret.de (siehe Seite 24).
- [KFH20] Christian J. Kähler, Thomas Fuchs und Rainer Hain. *Können mobile Raumlüftreiniger eine indirekte SARS-CoV-2 Infektionsgefahr durch Aerosole wirksam reduzieren?* Technischer Bericht. 2020. URL: <https://www.unibw.de/lrt7/raumlueftreiniger> (siehe Seite 32).

- [KH20] Christian J. Kähler und Rainer Hain. “Musizieren während der Pandemie - was rät die Wissenschaft?” München, 2020. URL: <https://youtu.be/0JmcjRhV-rs> (siehe Seiten 24, 25, 30).
- [Kat21] Kathy Katella. *Comparing the COVID-19 Vaccines: How Are They Different?* 2021. URL: <https://www.yalemedicine.org/news/covid-19-vaccine-comparison> (besucht am 20. 12. 2021) (siehe Seite 16).
- [Kös21] Thomas Köster. Artillerieweg 39b, D-26129 Oldenburg, 2021. URL: <https://corona-impf.info/vergleich-sterblichkeit-mit-und-ohne-impfung> (besucht am 10. 01. 2022) (siehe Seite 14).
- [Kri20] Martin Kriegel. *FAQ zu Aerosolen in Bezug auf Sars-CoV-2*. 2020. URL: <https://www.tu.berlin/forschen/themenportal-forschen/2020/august/faq-zu-aersolen-in-bezug-auf-sars-cov-2/> (besucht am 17. 03. 2021) (siehe Seite 12).
- [Kri+20] Martin Kriegel u. a. “Predicted Infection Risk for Aerosol Transmission of SARS-CoV-2”. In: *medRxiv* (2020). DOI: 10.1101/2020.10.08.20209106. URL: <https://www.medrxiv.org/content/early/2020/11/05/2020.10.08.20209106> (siehe Seite 47).
- [Lel+20] Jos Lelieveld u. a. “Model Calculations of Aerosol Transmission and Infection Risk of COVID-19 in Indoor Environments”. In: *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17.21 (2020). ISSN: 1660-4601. DOI: 10.3390/ijerph17218114. URL: <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/21/8114> (siehe Seite 46).
- [Leó+22] Tomás M. León u. a. “COVID-19 Cases and Hospitalizations by COVID-19 Vaccination Status and Previous COVID-19 Diagnosis — California and New York, May–November 2021”. In: *Morbidity and Mortality Weekly Report* 71 (2022). URL: <http://dx.doi.org/10.15585/mmwr.mm7104e1> (siehe Seiten 14–16).
- [LT+21a] Matan Levine-Tiefenbrun u. a. “Initial report of decreased SARS-CoV-2 viral load after inoculation with the BNT162b2 vaccine”. In: *Nature Medicine* 27.5 (2021), Seiten 790–792. ISSN: 1546-170X. DOI: 10.1038/s41591-021-01316-7 (siehe Seiten 15, 50).
- [LT+21b] Matan Levine-Tiefenbrun u. a. “Viral loads of Delta-variant SARS-CoV-2 breakthrough infections after vaccination and booster with BNT162b2”. In: *Nature Medicine* (2021). ISSN: 1546-170X. DOI: 10.1038/s41591-021-01575-4 (siehe Seiten 15, 50).
- [Li+21] Yuguo Li u. a. “Probable airborne transmission of SARS-CoV-2 in a poorly ventilated restaurant”. In: *Building and Environment* 196 (2021), Seite 107788. ISSN: 0360-1323. DOI: 10.1016/j.buildenv.2021.107788. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132321001955> (siehe Seite 10).
- [Lin+21] Andreas K. Lindner u. a. “Head-to-head comparison of SARS-CoV-2 antigen-detecting rapid test with self-collected nasal swab versus professional-collected nasopharyngeal swab”. In: *European Respiratory Journal* 57.4 (2021). ISSN: 0903-1936. DOI: 10.1183/13993003.03961-2020. eprint: <https://erj.ersjournals.com/content/57/4/2003961.full.pdf>. URL: <https://erj.ersjournals.com/content/57/4/2003961> (siehe Seite 19).



- [LMU20] LMU. *Berichte zum Infektionsgeschehen und der Sterblichkeit von COVID-19*. 2020. URL: <https://www.covid19.statistik.uni-muenchen.de/newsletter/index.html> (besucht am 13. 08. 2021) (siehe Seite 13).
- [Mil+21] Shelly L. Miller u. a. "Transmission of SARS-CoV-2 by inhalation of respiratory aerosol in the Skagit Valley Chorale superspreading event". In: *Indoor Air* 31.2 (2021), Seiten 314–323. DOI: 10.1111/ina.12751. eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/ina.12751>. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ina.12751> (siehe Seite 10).
- [MPL20] Michael J. Mina, Roy Parker und Daniel B. Larremore. "Rethinking Covid-19 Test Sensitivity – A Strategy for Containment". In: *New England Journal of Medicine* 383.22 (2020), e120. DOI: 10.1056/NEJMp2025631. eprint: <https://doi.org/10.1056/NEJMp2025631>. URL: <https://doi.org/10.1056/NEJMp2025631> (siehe Seiten 18, 19).
- [Mor+21] Dr. Heinz-Jörn Moriske u. a. "Eckpunkte zur Durchführung von Kulturveranstaltungen (Theater, Konzerthäuser, Kinos) unter Pandemiebedingungen". 2021. URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/dokumente/moriske_et_al_eckpunkte_zur_durchfuehrung_von_kulturveranstaltungen_-_theater_konzerthaeuser_kinos_-_unter_pandemiebedingungen_3.3.2021.pdf (siehe Seiten 30, 31).
- [Mor20] or Dr.-Ing. H.-J. Moriske. "Das Risiko einer Übertragung von SARS-CoV-2 in Innenräumen lässt sich durch geeignete Lüftungsmaßnahmen reduzieren". In: *Umweltbundesamt* (2020). URL: <https://www.umweltbundesamt.de/dokument/stellungnahme-kommission-innenraumluftthygiene-zu> (siehe Seite 30).
- [MPI21] MPIC. *Fensterlüftungssystem für Klassenräume entwickelt am Max-Planck-Institut für Chemie*. 2021. URL: <https://www.ventilation-mainz.de/> (besucht am 07. 08. 2021) (siehe Seite 30).
- [Mür+20] Dirk Mürbe u. a. "Erhöhung der Aerosolbildung beim professionellen Singen". 2020. URL: <http://dx.doi.org/10.14279/depositonce-10374> (siehe Seite 12).
- [Mür+21] Dirk Mürbe u. a. "Aerosol emission of adolescents voices during speaking, singing and shouting". In: *PLoS ONE* 16 (2021), Seite 2. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246819> (siehe Seiten 12, 24).
- [Neu18] Dr.-Ing. Heinz-Dieter Neumann. "Abschätzung der CO₂-Konzentration in Räumen anhand empirisch gewonnener Daten – Update des Rechners und Erweiterung des Anwendungsbereichs". In: *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft* (2018). URL: <https://www.dguv.de/ifa/praxishilfen/innenraumarbeitsplaetze/raumluftqualitaet/co2-app/index.jsp> (siehe Seite 47).
- [NLL21] Verena Niederberger-Leppin und Wolfgang Luxenberger. *Korrekte Technik und Risiken der Abstrichentnahme aus dem Nasenrachen*. 2021. URL: https://www.aekwien.at/documents/263869/411179/Abstrichtechnik_Nasenrachen.pdf (besucht am 01. 02. 2022) (siehe Seite 19).

- [NBB21] Freja Nordsiek, Eberhard Bodenschatz und Gholamhossein Bagheri. “Risk assessment for airborne disease transmission by poly-pathogen aerosols”. In: *arXiv* (2021). arXiv: [arXiv: 2011.14118v2\[q-bio.QM\]](https://arxiv.org/abs/2011.14118). URL: <https://arxiv.org/abs/2011.14118> (siehe Seite 47).
- [Nus+20] Manfred Nusseck u. a. “CO2 measurements in instrumental and vocal closed room settings as a risk reducing measure for a Coronavirus infection”. In: *medRxiv* (2020). DOI: [10.1101/2020.10.26.20218354](https://doi.org/10.1101/2020.10.26.20218354). URL: <https://www.medrxiv.org/content/early/2020/10/27/2020.10.26.20218354> (siehe Seite 36).
- [Oli+21] P. M. de Oliveira u. a. “Evolution of spray and aerosol from respiratory releases: theoretical estimates for insight on viral transmission”. In: *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 477.2245 (2021), Seite 20200584. DOI: [10.1098/rspa.2020.0584](https://doi.org/10.1098/rspa.2020.0584). eprint: <https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rspa.2020.0584>. URL: <https://royalsocietypublishing.org/doi/abs/10.1098/rspa.2020.0584> (siehe Seiten 46, 49).
- [PEI21a] “Verdachtsfälle von Nebenwirkungen und Impfkomplicationen nach Impfung zum Schutz vor COVID-19 seit Beginn der Impfkampagne am 27.12.2020 bis zum 31.08.2021”. In: *Sicherheitsbericht* (2021). Herausgegeben von PEI Paul-Ehrlich-Institut (siehe Seiten 16, 17).
- [PEI21b] Paul-Ehrlich-Institut PEI, Herausgeber. *SARS-CoV-2-Antigentests für Nachweis der Omikron-Infektion geeignet*. 2021. URL: <https://www.pei.de/DE/newsroom/hp-meldungen/2021/211230-antigentests-omikron-variante.html> (besucht am 26. 01. 2022) (siehe Seite 19).
- [PEI22] Paul-Ehrlich-Institut PEI, Herausgeber. *Impfnachweis im Sinne der COVID-19-Schutzmaßnahmen-Ausnahmenverordnung und der Coronavirus-Einreiseverordnung*. 2022. URL: https://www.pei.de/DE/newsroom/dossier/coronavirus/coronavirus-inhalt.html?nn=169730&cms_pos=3 (besucht am 24. 01. 2022) (siehe Seite 18).
- [PW21] Prof. Dr. Ulrich Pöschl und Prof. Dr. med. Christian Witt. *Stellungnahme zur Wirksamkeit und Nutzung von Gesichtsmasken gegen COVID-19*. 2021. URL: https://www.mpic.de/4972349/poschlitt_stellungnahmeGesichtsmasken_2021-06-28_final.pdf (besucht am 28. 06. 2021) (siehe Seiten 26, 28).
- [Pri+21] Viola Priesemann u. a. “An action plan for pan-European defence against new SARS-CoV-2 variants”. In: *The Lancet* 397.10273 (2021), Seiten 469–470. URL: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)00150-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)00150-1) (siehe Seiten 9, 13, 14).
- [Pru+22] Ottavia Prunas u. a. “Waning Effectiveness of the BNT162b2 Vaccine Against Infection in Adolescents”. In: *medRxiv* (2022). DOI: [10.1101/2022.01.04.22268776](https://doi.org/10.1101/2022.01.04.22268776). eprint: <https://www.medrxiv.org/content/early/2022/01/05/2022.01.04.22268776.full.pdf>. URL: <https://www.medrxiv.org/content/early/2022/01/05/2022.01.04.22268776> (siehe Seite 15).
- [Qia+20] Hua Qian u. a. “Indoor transmission of SARS-CoV-2”. In: *medRxiv* (2020). DOI: [10.1101/2020.04.04.20053058](https://doi.org/10.1101/2020.04.04.20053058). URL: <https://www.medrxiv.org/content/early/2020/04/07/2020.04.04.20053058> (siehe Seite 9).



- [Qia+21] Hua Qian u. a. “Indoor transmission of SARS-CoV-2”. In: *Indoor Air* 31.3 (2021), Seiten 639–645. DOI: [10.1111/ina.12766](https://doi.org/10.1111/ina.12766). eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/ina.12766>. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ina.12766> (siehe Seiten 9, 10).
- [Ren+22] Hanna Renk u. a. “Robust and durable serological response following pediatric SARS-CoV-2 infection”. In: *Nature Communications* 13.1 (2022), Seite 128. ISSN: 2041-1723. DOI: [10.1038/s41467-021-27595-9](https://doi.org/10.1038/s41467-021-27595-9). URL: <https://www.medrxiv.org/content/early/2021/07/22/2021.07.20.21260863> (siehe Seite 16).
- [Ric+21] Bernhard Richter u. a. “From classic to rap: Airborne transmission of different singing styles, with respect to risk assessment of a SARS-CoV-2 infection”. In: *medRxiv* (2021). DOI: [10.1101/2021.03.25.21253694](https://doi.org/10.1101/2021.03.25.21253694). URL: <https://www.medrxiv.org/content/early/2021/03/26/2021.03.25.21253694> (siehe Seiten 12, 24).
- [Rie+21] Kasen K. Riemersma u. a. “Shedding of Infectious SARS-CoV-2 Despite Vaccination”. In: *medRxiv* (2021). DOI: [10.1101/2021.07.31.21261387](https://doi.org/10.1101/2021.07.31.21261387). eprint: <https://www.medrxiv.org/content/early/2021/11/06/2021.07.31.21261387.full.pdf>. URL: <https://www.medrxiv.org/content/early/2021/11/06/2021.07.31.21261387> (siehe Seiten 15, 50).
- [RKI20] RKI. *Liste der vom Robert Koch-Institut geprüften und anerkannten Desinfektionsmittel und -verfahren*. 2020. URL: https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/Krankenhaushygiene/Desinfektionsmittel/Desinfektionsmittellist/Desinfektionsmittelliste_node.html (besucht am 03.05.2021) (siehe Seiten 11, 25).
- [RKI21a] RKI. “COVID-19-Impfung”. In: *Epidemiologisches Bulletin, Robert Koch Institut* 19 (2021). URL: https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/EpidBull/Archiv/2021/19/Art_01.html (siehe Seite 18).
- [RKI21b] RKI. *COVID-19 und Impfen: Antworten auf häufig gestellte Fragen (FAQ)*. 2021. URL: <https://www.rki.de/SharedDocs/FAQ/COVID-Impfen/gesamt.html> (besucht am 12.04.2021) (siehe Seite 18).
- [RKI21c] RKI. *Epidemiologischer Steckbrief zu SARS-CoV-2 und COVID-19*. 2021. URL: https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Steckbrief.html (besucht am 25.02.2021) (siehe Seiten 9, 10, 21, 23).
- [RKI21d] RKI. *Kontaktpersonen-Nachverfolgung bei SARS-CoV-2-Infektionen*. 2021. URL: https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Kontaktperson/Management.html (besucht am 05.03.2021) (siehe Seite 23).
- [RKI21e] RKI. *SARS-CoV-2: Virologische Basisdaten sowie Virusvarianten*. 2021. URL: https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Virologische_Basisdaten.html (besucht am 23.02.2021) (siehe Seiten 9, 21, 23).
- [RKI21f] RKI. “STIKO-Empfehlung zur COVID-19-Impfung: Personen mit Immundefizienz | Ko-administration mit Totimpfstoffen”. In: *Epidemiologisches Bulletin, Robert Koch Institut* (2021). DOI: [10.25646/9044](https://doi.org/10.25646/9044). URL: www.rki.de/epidbull (siehe Seite 18).

- [RKI21g] Robert Koch Institut RKI, Herausgeber. *Abstrich*. 2021. URL: <https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/NRZ/Influenza/hinweise/Abstrich.html> (besucht am 02. 02. 2022) (siehe Seite 19).
- [RKI21h] Robert Koch Institut RKI, Herausgeber. *COVID-19 und Impfen*. 2021. URL: <https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/Impfen/ImpfungenAZ/COVID-19/COVID-19.html> (besucht am 21. 01. 2022) (siehe Seite 18).
- [RKI21i] Robert Koch Institut RKI, Herausgeber. *Vorbereitung auf den Herbst/Winter 2021/22*. 2021. URL: https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Downloads/Vorbereitung-Herbst-Winter.pdf?__blob=publicationFile (besucht am 22. 07. 2021) (siehe Seite 15).
- [RKI21j] *Wöchentlicher Lagebericht des RKI zur Coronavirus-Krankheit-2019 (COVID-19) vom 06.01.2022*. Technischer Bericht. RKI, Robert Koch Institut, 2021 (siehe Seiten 50, 54).
- [RKI21k] *Wöchentlicher Lagebericht des RKI zur Coronavirus-Krankheit-2019 (COVID-19) vom 13.01.2022*. Technischer Bericht. RKI, Robert Koch Institut, 2021 (siehe Seite 54).
- [RKI21l] *Wöchentlicher Lagebericht des RKI zur Coronavirus-Krankheit-2019 (COVID-19) vom 16.12.2021*. Technischer Bericht. RKI, Robert Koch Institut, 2021 (siehe Seite 15).
- [RKI21m] *Wöchentlicher Lagebericht des RKI zur Coronavirus-Krankheit-2019 (COVID-19) vom 23.12.2021*. Technischer Bericht. RKI, Robert Koch Institut, 2021 (siehe Seite 54).
- [RKI22a] “Aktuelle Daten und Informationen zu Infektionskrankheiten und Public Health”. In: *Epidemiologisches Bulletin*. Epidemiologisches Bulletin 2022.3 (2022). Herausgegeben von Robert Koch Institut RKI. URL: https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/EpidBull/epid_bull_form.html (siehe Seite 18).
- [RKI22b] Robert Koch Institut RKI, Herausgeber. *Hinweise zur Testung von Patienten auf Infektion mit dem neuartigen Coronavirus SARS-CoV-2*. 2022. URL: https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Vorl_Testung_nCoV.html (besucht am 26. 01. 2022) (siehe Seite 19).
- [Ros+21] Eli S. Rosenberg u. a. “New COVID-19 Cases and Hospitalizations Among Adults, by Vaccination Status”. In: *Morbidity and Mortality Weekly Report* 70.37 (2021), Seiten 1306–1311. URL: <http://dx.doi.org/10.15585/mmwr.mm7037a7> (siehe Seiten 14, 15, 50).
- [Röß21] Annette Rößler. *Paxlovid wirkt sehr gut, auch gegen Omikron*. Herausgegeben von PZ Pharmazeutische Zeitung. 2021. URL: <https://www.pharmazeutische-zeitung.de/paxlovid-wirkt-sehr-gut-auch-gegen-omikron-130282> (besucht am 23. 12. 2021) (siehe Seite 17).
- [RBS20] Natalia Ruetalo, Ramona Businger und Michael Schindler. “Rapid and efficient inactivation of surface dried SARS-CoV-2 by UV-C irradiation”. In: *bioRxiv* (2020). DOI: 10.1101/2020.09.22.308098. URL: <https://www.biorxiv.org/content/early/2020/09/22/2020.09.22.308098> (siehe Seite 9).



- [Run] WDR Westdeutscher Rundfunk, Herausgeber. *Maske: Funktion*. URL: https://www.wdrmaus.de/filme/sachgeschichten/maske_funktion.php5 (besucht am 15. 12. 2021) (siehe Seite 26).
- [Sal+21] Phillip P. Salvatore u. a. "Transmission potential of vaccinated and unvaccinated persons infected with the SARS-CoV-2 Delta variant in a federal prison, July–August 2021". In: *medRxiv* (2021). DOI: [10.1101/2021.11.12.21265796](https://doi.org/10.1101/2021.11.12.21265796). eprint: <https://www.medrxiv.org/content/early/2021/11/19/2021.11.12.21265796.full.pdf>. URL: <https://www.medrxiv.org/content/early/2021/11/19/2021.11.12.21265796> (siehe Seite 15).
- [Sch+21a] Wolfgang Schade u. a. "Experimental Investigation of Aerosol and CO2 Dispersion for Evaluation of COVID-19 Infection Risk in a Concert Hall". In: *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18.6 (2021). ISSN: 1660-4601. DOI: [10.3390/ijerph18063037](https://doi.org/10.3390/ijerph18063037). URL: <https://www.mdpi.com/1660-4601/18/6/3037> (siehe Seite 31).
- [Sch+21b] Heinrich Scheiblauer u. a. "Comparative sensitivity evaluation for 122 CE-marked SARS-CoV-2 antigen rapid tests". In: *medRxiv* (2021). DOI: [10.1101/2021.05.11.21257016](https://doi.org/10.1101/2021.05.11.21257016). eprint: <https://www.medrxiv.org/content/early/2021/05/12/2021.05.11.21257016.full.pdf>. URL: <https://www.medrxiv.org/content/early/2021/05/12/2021.05.11.21257016> (siehe Seiten 18, 19, 50, 52).
- [Sch+20a] Dr. Oliver Schlenczek u. a. *HEADS – Human Emission of Aerosol and Droplet Statistics*. 2020. URL: <https://aerosol.ds.mpg.de/de/> (besucht am 23. 03. 2021) (siehe Seiten 13, 47).
- [Sch21] Jan Kus Tim Schneider. *Wir für Digitalisierung*. 2021. URL: <https://www.wirfuerdigitalisierung.de/ber-uns> (besucht am 24. 03. 2021) (siehe Seiten 21, 22).
- [Sch+20b] Michael Schuit u. a. "Airborne SARS-CoV-2 Is Rapidly Inactivated by Simulated Sunlight". In: *J Infect Dis.* 222(4) (2020), Seiten 564–571. DOI: [10.1093/infdis/jiaa334](https://doi.org/10.1093/infdis/jiaa334) (siehe Seiten 9, 11).
- [Sie21] Sven Siebenand. *EMA startet mit Überprüfung*. Herausgegeben von PZ Pharmazeutische Zeitung. 2021. URL: <https://www.pharmazeutische-zeitung.de/ema-startet-mit-ueberpruefung-129703> (besucht am 23. 12. 2021) (siehe Seite 17).
- [Sin+21] Anika Singanayagam u. a. "Community transmission and viral load kinetics of the SARS-CoV-2 delta (B.1.617.2) variant in vaccinated and unvaccinated individuals in the UK: a prospective, longitudinal, cohort study". In: *The Lancet Infectious Diseases* (2021). ISSN: 1473-3099. DOI: [10.1016/S1473-3099\(21\)00648-4](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(21)00648-4) (siehe Seiten 15, 50, 52).
- [SR20] Claudia Spahn und Bernhard Richter. "Risikoeinschätzung einer Coronavirus-Infektion im Bereich Musik". 2020. URL: <https://www.mh-freiburg.de/hochschule/covid-19-corona/risikoeinschaetzung> (siehe Seiten 14, 21, 24, 37, 43, 45).
- [Spa+20] Claudia Spahn u. a. "Airflow and air velocity measurements while playing wind instruments, with respect to risk assessment of a SARS-CoV-2 infection". In: *medRxiv* (2020). DOI: [10.1101/2020.12.17.20248234](https://doi.org/10.1101/2020.12.17.20248234). URL: <https://www.medrxiv.org/content/early/2020/12/23/2020.12.17.20248234> (siehe Seiten 12, 24).

- [Spa+21] Claudia Spahn u. a. "Coronavirus vaccination rates in cultural areas in Germany". In: *medRxiv* (2021), Seite 2021.07.28.21261246. DOI: [10.1101/2021.07.28.21261246](https://doi.org/10.1101/2021.07.28.21261246). URL: <http://medrxiv.org/content/early/2021/07/30/2021.07.28.21261246.abstract> (siehe Seite 43).
- [Ter21] Mathias Tertilt. *Herdenimmunität, Wann die Corona-Pandemie endet*. 2021. URL: <https://www.quarks.de/gesundheit/medizin/warum-ein-impfstoff-die-pandemie-auch-2021-nicht-beendet/> (besucht am 28. 06. 2021) (siehe Seite 14).
- [TO21] Mathias Tertilt und Christopher Ophoven. *Wie viele Menschen sterben an Corona?* 2021. URL: <https://www.quarks.de/gesundheit/medizin/wie-viele-menschen-sterben-an-corona/> (besucht am 15. 03. 2021) (siehe Seite 13).
- [Tes21] Test. *FFP2-Masken im Test*. 2021. URL: <https://www.test.de/Masken-Welcher-Mund-Nasen-Schutz-hilft-am-besten-gegen-Corona-5692592-0/> (besucht am 19. 07. 2021) (siehe Seite 27).
- [Umw20] Umweltbundesamt. *„Richtiges Lüften reduziert Risiko der SARS-CoV-2-Infektion“*. 2020. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/richtiges-lueften-reduziert-risiko-der-sars-cov-2> (besucht am 17. 03. 2021) (siehe Seite 36).
- [Umw21a] Umweltbundesamt. *Anforderungen an mobile Luftreiniger an Schulen*. 2021. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/anforderungen-an-mobile-luftreiniger-an-schulen> (besucht am 27. 07. 2021) (siehe Seite 33).
- [Umw21b] Umweltbundesamt. *Infektiöse Aerosole in Innenräumen*. 2021. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/umwelteinfluesse-auf-den-menschen/innenraumlucht/infektioese-aerosole-in-innenraeumen#verwendete-quellen> (besucht am 17. 03. 2021) (siehe Seite 36).
- [U.S21a] FDA U.S. Food and Drug Administration, Herausgeber. 2021. URL: <https://www.fda.gov/medical-devices/coronavirus-covid-19-and-medical-devices/sars-cov-2-viral-mutations-impact-covid-19-tests#omicronvariantimpact> (besucht am 01. 02. 2022) (siehe Seite 19).
- [U.S21b] FDA U.S. Food and Drug Administration, Herausgeber. *Coronavirus (COVID-19) Update: FDA Authorizes First Oral Antiviral for Treatment of COVID-19*. 2021. URL: <https://www.fda.gov/news-events/press-announcements/coronavirus-covid-19-update-fda-authorizes-first-oral-antiviral-treatment-covid-19> (besucht am 23. 12. 2021) (siehe Seite 17).
- [VAF22] Verband Forschender Arzneimittelhersteller e. V. VAF, Herausgeber. *Covid-19: zugelassene und zur Zulassung eingereichte Medikamente*. 2022. URL: <https://www.vfa.de/de/arzneimittel-forschung/coronavirus/zugelassene-zur-zulassung-eingereichte-medikamente-covid-19> (besucht am 26. 01. 2022) (siehe Seite 17).
- [Wan+21] Chia C. Wang u. a. "Airborne transmission of respiratory viruses". In: *Science* 373.6558 (2021), eabd9149. DOI: [10.1126/science.abd9149](https://doi.org/10.1126/science.abd9149). eprint: <https://www.science.org/doi/pdf/10.1126/science.abd9149>. URL: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.abd9149> (siehe Seite 49).

[Zem+76] Klaus Zemke u. a. *ticketmaster*. 1976. URL: <https://business.ticketmaster.de/news/datenerfassung-besucher-corona-zeitfenster-online-ticketing/> (siehe Seite 21).