

# GRUNDLAGEN für das Musizieren unter Pandemie- bedingungen

Version 2.1



# Grundlagen für das Musizieren unter Pandemiebedingungen

Kompetenznetzwerk  
NEUSTART AMATEURMUSIK

Version 2.1

30. Januar 2023

Aktualisierungen unter [bundemusikverband.de/grundlagen](https://bundemusikverband.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.)  
**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 Cäcilienverband für Deutschland e. V.)  
**Dr. Arnold Meißner** (Bund Deutscher Blasmusikverbände e. V.)  
**Dr. Saskia Meißner** (Bund Deutscher Blasmusikverbände e. V.)  
**Johanna Mörmel** (Bundesmusikverband Chor & Orchester 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 Cäcilienverband für Deutschland e. V.)

**Kontakt:** [grundlagen@bundesmusikverband.de](mailto: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. Während der Pandemie in Deutschland hat ein Großteil der Amateurmusikensembles seine Aktivitäten immer wieder über längere Zeiträume eingestellt bzw. auf digitalen Wegen fortgeführt. Einer Umfrage des Bundesmusikverbands Chor & Orchester e. V. (BMCO) zufolge sind rund 90 Prozent aller Konzerte im Jahr 2020 ausgefallen. Die Unterbrechungen des Probenbetriebs könnten 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 BMCO 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 dem [Infoportal der Amateurmusik 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. Auch wenn SARS-CoV-2 zu den endemischen Krankheiten zählen wird, werden die Auswirkungen auf die Gesellschaft, Politik und jeden Einzelnen, sowie der Umgang mit Long Covid auch künftig relevant sein. Verständlich aufbereitete Informationen zum Schutz vor Infektionen sind in pandemischen Lagen am wichtigsten, da nur so eine größtmögliche Einhaltung von evaluierten Schutzmaßnahmen durch die Bevölkerung erreicht werden kann. Diese Publikation bietet die wissenschaftliche Grundlage für praktische Handlungsempfehlungen und deren nachvollziehbare Erklärung für Amateurmusizierende. Die Informationsweitergabe über die verlässlichen, glaubwürdigen und reichweitenstarken Strukturen der Amateurmusik wirkt über deren Akteure als Multiplikatoren zusätzlich positiv in weitere Bevölkerungskreise.

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.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Empfehlungen als Grundlage für Hygienekonzepte</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>SARS-CoV-2 Infektionsgeschehen</b>	<b>9</b>
2.1	Analyse bekannter Clusterinfektionen . . . . .	9
2.2	Indirekte Übertragung und Stabilität . . . . .	10
2.3	Die Rolle der Aerosole beim Infektionsgeschehen . . . . .	11
2.4	Vorbeugung und Einfluss auf die Übertragung . . . . .	13
2.5	Wirksamkeit nicht-pharmazeutischer Maßnahmen . . . . .	14
2.6	Entwicklung des SARS-CoV-2 Infektionsgeschehens . . . . .	16
2.7	Long Covid . . . . .	17
<b>3</b>	<b>Impfen &amp; Coronatests</b>	<b>19</b>
3.1	Impfung . . . . .	19
3.2	Coronatests . . . . .	23
<b>4</b>	<b>Teilnehmende &amp; Kontaktdaten</b>	<b>25</b>
4.1	Geregelter Zugang . . . . .	25
4.2	Kontaktdatenerfassung . . . . .	26
4.3	Maßnahmen beim Auftreten von Symptomen . . . . .	26
<b>5</b>	<b>Abstands- &amp; Hygienemaßnahmen</b>	<b>27</b>
5.1	Abstand . . . . .	27
5.2	Trennwände . . . . .	27
5.3	Hygiene . . . . .	28
<b>6</b>	<b>Tragen von Masken</b>	<b>29</b>
6.1	Maskentypen . . . . .	29
6.2	Schutzwirkung von Masken . . . . .	30
<b>7</b>	<b>Lüften &amp; Lüftungstechnik</b>	<b>32</b>
7.1	Lüften . . . . .	32
7.2	Raumlufttechnische Anlagen . . . . .	33
7.3	Mobile Luftreinigungsgeräte & RLT-Anlagen im Umluftbetrieb . . . . .	33
7.3.1	Energiebilanz Luftreiniger . . . . .	34
7.3.2	Anforderungen an Luftreiniger . . . . .	35
7.3.3	Nutzung von Luftreinigern . . . . .	36

<b>8</b>	<b>CO<sub>2</sub>-Messung</b>	<b>37</b>
8.1	CO <sub>2</sub> -Konzentration als Maß für die Raumluftqualität . . . . .	37
8.2	Rechtzeitiges und wirksames Lüften durch CO <sub>2</sub> -Messungen . . . . .	38
8.3	Anforderungen an CO <sub>2</sub> -Messgeräte . . . . .	39
<b>9</b>	<b>Parameter des Veranstaltungsorts</b>	<b>40</b>
9.1	Geschlossene Räume . . . . .	40
9.2	Im Freien . . . . .	42
9.3	Modellrechner zur Risikoeinschätzung für Innenräume . . . . .	43
<b>10</b>	<b>Risikobetrachtung – Ein exemplarischer Proberaum</b>	<b>45</b>
10.1	Proberaum . . . . .	45
10.2	Ansteckungswahrscheinlichkeiten . . . . .	46
10.3	Nutzen von Schnelltests . . . . .	49
10.4	Wahrscheinlichkeiten in Proben . . . . .	51
10.5	Wahrscheinlichkeit bei Konzerten . . . . .	51
<b>11</b>	<b>Versionsverlauf</b>	<b>52</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>53</b>

# 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. 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 bieten eine hohe Impfquote und ergänzende Coronatests mehr Sicherheit.
- Die Erfassung der Kontaktdaten (DSGVO-konform) aller Teilnehmenden erleichtert das rückwirkende Informieren, sollten im Nachgang einer Veranstaltung Infektionen auftreten.
- Die Kontaktdatenerfassung ist auch per App (Abschnitt 4.2) bzw. digitaler Anwesenheitsliste beim Probenbetrieb möglich. Beachtet werden sollten dabei eventuell datenschutzrechtliche Lücken der jeweiligen Software.

## Abstands- & Hygienemaßnahmen

- Abstand verhindert keine Ansteckung über Aerosole in geschlossenen Räumen.
- Ein Abstand von 1,5 Metern, Gesichtsvisiere 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.
- Musizierende sollten ihr Kondenswasser aus Blasinstrumenten auffangen und sicher entsorgen.
- Gemeinsame Nutzung von Instrumenten und Gegenständen sollte vermeiden werden (bei Austausch fachgerecht reinigen/desinfizieren).

## Tragen von Masken

- OP-Masken sind ein guter Tröpfchenschutz und dicht anliegende FFP-Masken schützen in geschlossenen Räumen zusätzlich vor der Ansteckung über Aerosole.
- Masken mit Ausatemventil bieten nur einen Eigenschutz.
- Die Maske sollte nur an den dafür vorgesehenen Bändchen angefasst werden.

## Lüften & Lüftungstechnik

- Effektives Lüften ist in Innenräumen eine der wichtigsten Schutzmaßnahmen zur Reduzierung des Infektionsrisikos.
- Kontrolliertes Lüften: Häufigkeit und Dauer sollte durch Überwachung der Raumluftqualität mittels CO<sub>2</sub>-Messungen erfolgen.
  - Freies Lüften ist mit dem Prinzip des Stoß- und Querlüften am effektivsten.
  - Raumlufttechnische Anlagen sollten mit dem Prinzip der Quell-Lüftung und 100 Prozent Frischluftzufuhr betrieben werden (sehr gute Belüftung möglich mit 50 – 75 m<sup>3</sup> pro Stunde und Person).
  - Raumlufttechnische Anlagen im Umluftbetrieb sowie Luftreiniger sollten möglichst z. B. mit der Kombination von Filtervliese F7 und F9 nach DIN EN 779:2012 ausgestattet sein.
  - Luftreiniger können ergänzend zum freien Lüften genutzt werden, z. B. für Räume mit schlechter Lüftungsmöglichkeit. Ab einer Reinigung von 50 – 75 m<sup>3</sup> pro Stunde und Person ist bei der Kontrolle der Raumluftqualität ein CO<sub>2</sub>-Gehalt kleiner 1000 ppm bereits ausreichend.
- Durch den Einsatz von Luftreinigern oder technisch unterstütztem Lüften (z. B. mit CO<sub>2</sub>-Messung) wird unnötiges Lüften vermieden, was Energie einsparen kann.

## CO<sub>2</sub>-Messung

- Da CO<sub>2</sub> genauso durch die menschliche Atmung entsteht wie eventuell virenbelastete Aerosolpartikel, kann die CO<sub>2</sub>-Konzentration als Indikator für die Konzentration ausgeatmeter Aerosolpartikel angenommen werden. Kontinuierliche CO<sub>2</sub>-Messungen und daraus abgeleitete Lüftungs- und Pausenregelungen sind deshalb in Verbindung mit anderen Maßnahmen eine gute Möglichkeit, um das Infektionsrisiko deutlich zu reduzieren.
- Als Grenzwert wird eine CO<sub>2</sub>-Konzentration von 800 ppm empfohlen.
- Ausreichend genaue CO<sub>2</sub>-Monitore (auch als CO<sub>2</sub>-Ampeln bekannt) sind im Handel relativ kostengünstig erhältlich (Abschnitt 8.3).

## Parameter des Veranstaltungsorts

- Große Räume wie z. B. Kirchen oder Hallen sollten bevorzugt genutzt werden, das Raumvolumen pro Person und die Lüftung sind entscheidend.
- Ein Lüftungskonzept für den jeweiligen Raum ist sinnvoll (Kapitel 7, Kapitel 8) oder die maximale Raumbelastung und Aufenthaltszeit möglichst kurz zu halten.
- Veranstaltungen im Freien sollten, aufgrund des geringeren Infektionsrisikos (optimale Belüftung, Inaktivierung der Viren durch UV-Strahlung), bevorzugt werden.
- Individuelle Risikoeinschätzung unter Berücksichtigung der Impfquote, dem Schutzbedarf der Teilnehmenden (Altersstruktur) oder örtlichen Gegebenheiten wie dem Infektionsgeschehen und der Raumsituation sind sinnvoll.
- Modellrechner (Abschnitt 9.3) zur Risikoeinschätzung können als Ergänzung zu Hygienekonzepten genutzt werden (Achtung: nur theoretische Annahmen).

## Risikobetrachtung – Ein exemplarischer Proberaum

- Das Infektionsrisiko für zwei konkrete Ereignisse, Probe und Konzert, wird abgeschätzt.
- 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 verlässlich ausschließen.

## 2 SARS-CoV-2 Infektionsgeschehen

Die Übertragung von SARS-CoV-2 findet laut RKI [RKI21a; RKI21b] 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<sub>2,5</sub>, also Partikel kleiner 2,5 µm.

Das Spielen auf Blasinstrumenten verbreitet weniger Viren über ausgeatmete Aerosole als beim Sprechen [Sch+23]. Beim Gesang ist die Verbreitung von Viren vergleichbar wie beim Sprechen und weniger als beim Schreien [Bag+21b].

Ein Abstand von 1,5 Metern reduziert das Risiko durch Tröpfcheninfektion im Freien und in Räumen, vor allem bei Unterhaltungen oder Gesang von **Angesicht zu Angesicht** (face-to-face). 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), wodurch die Anreicherung von LAP im Raum reduziert wird. Dabei sollten turbulente Luftbewegungen vermieden und die LAP gezielt nach draußen 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 erklärt, warum Clusterinfektionen fast ausschließlich in Innenräumen stattfinden. [Qia+20; Qia+21]. Zudem ist 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, sie kann durch einfache Hygienemaßnahmen (Kapitel 5) deutlich reduziert werden.

Eine Expertenbefragung fasst die Perspektiven für die kommenden 3 bis 5 Jahre zusammen [Ift+21; Pri+21]. Auch wenn SARS-CoV-2 zu den **endemischen** Krankheiten zählen wird, werden die **Auswirkungen** auf die Gesellschaft, Politik und jeden Einzelnen, sowie der **Umgang mit Long Covid** die Zukunft mitbestimmen.

### 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. Infektionen durch Unterschreiten von Mindestabständen oder durch gemeinsame Nutzung von Gegenständen und Oberflächen tragen nicht signifikant zum Infektionsgeschehen bei.

- Ansteckungen in China bis Februar 2020: Von 318 Infektionsereignissen mit mehr als drei Betroffenen fanden alle in geschlossenen Räumen statt. Lediglich eine einzige Infektion 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

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 [RKI21a] bereits bekannt, dass Viren auf verschiedenen Oberflächen einige Tage infektiös bleiben können. Auf **glatten** Oberflächen wie z. B. Edelstahl und Plastik bleiben sie bis zu **7 Tage** infektiös, 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 Musikinstrumenten 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 der Oberflächen 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-UV-C-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 Minuten 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 beim Infektionsgeschehen

Schon vor der Corona-Pandemie wurde im Falle von Influenza bereits beobachtet, dass die Ausbreitung und Ansteckung über Aerosole ein wichtiger Übertragungsweg ist [Yan+18]. 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 µm Durchmesser). **Größere Partikel oder Tröpfchen ab ca. 50 µm fallen schon nach knapp 1–2 Metern zu Boden** (ballistische Ausbreitung aus einer Höhe von 1,7 Metern) [Bag+21a]. Partikel kleiner als 0,1 µm 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 Aerosole 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 die 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.

In Flugzeugen ist eine Ansteckung trotz des geringen Abstands und der langen gemeinsamen Aufenthaltsdauer von mehreren Stunden vergleichsweise gering, da die Luft 20 mal je Stunde ausgetauscht wird [Hu+21].

#### 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, Strö-

mung durch Bewegung der Personen im Raum, Strömung durch Luftaustausch beim Lüften oder durch RLT-Anlagen nehmen Einfluss auf die Konzentration. 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

Laut Max Planck Institute for Dynamics and Self-Organization (MPIDS) verbreitet das **Spielen auf Blasinstrumenten weniger Viren** über ausgeatmete Aerosole, LAP, **als beim Sprechen** [Sch+23]. **Beim Gesang ist die Verbreitung von Viren vergleichbar** wie beim Sprechen und weniger als beim Schreien [Bag+21b]. Bei der Atmung in Ruhe werden am wenigsten Viren verbreitet. Zu Beginn der Pandemie wurden auch verschiedenen Studien zur **Sichtbarmachung der Ausbreitung der Aerosole beim Musizieren und Singen** durchgeführt. Sie zeigen zwar die Strömungsbewegungen der Luft aber **nicht die Menge an Aerosolen**, die ausgeatmet werden. So sind daraus abgeleitete Empfehlungen für Abstände nicht zwingend einzuhalten. Wichtiger ist die Konzentration, also die Menge an potentiell infektiösen Aerosolen im Raum. Um das **Infektionsrisiko in Räumen** zu senken, ist die **Verdünnung** der ausgeatmeten Aerosole **durch Luftreinigung oder Frischluftzufuhr** entscheidend.

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 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 weniger 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 bestimmt 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 Prozent 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 CO<sub>2</sub>-Konzentration. Mit einem bestimmten Grenzwert kann diese als Orientierung zum Lüften dienen (Kapitel 8), da beim Atmen, Singen etc. sowohl LAP als auch CO<sub>2</sub> ausgeatmet wird. Damit ist keine Bestimmung der tatsächlichen Virenlast im Raum möglich, da die Korrelation zwischen CO<sub>2</sub> 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 Vorbeugung und Einfluss auf die Übertragung**

### **Schutz durch feuchte Atemwege und Inhalation**

Die trockene Raumluft, die in beheizten Räumen in der kalten Jahreszeit vorherrscht, begünstigt die Ausbreitung von aerosolgetragenen Infektionskrankheiten. Chronische Dehydratisierung der oberen Atemwege begünstigt zudem die Entwicklung von Atemwegserkrankungen wie Allergien [Wol18], Asthma [RW+20] und chronisch obstruktiver Lungenerkrankung (COPD) [MHI20].

Die Befeuchtung der Atemwege mit calciumreichen Lösungen wirkt dem Austrocknen der oberen Atemwege entgegen. Calciumchlorid ist als Lebensmittelzusatzstoff (E 509) zugelassen. Die Applikation einer Lösung mit Calcium- und Magnesiumchlorid reduziert die Empfänglichkeit der oberen Atemwege für Infektionen und reduziert die Emission von Aerosolen aus den Atemwegen [Geo+22]. Einfache salzhaltige Nasensprays (Kochsalz = Natriumchlorid) zeigen keinen Einfluss auf die Menge der ausgeatmeten Aerosole. Ein Bericht zur „Prävention von COVID-19 durch viruzides Gurgeln und viruziden Nasenspray“ wird von Kramer et al. [Kra+22] bereit gestellt.

### **Infektionswahrscheinlichkeiten abhängig von der Blutgruppe**

In regelmäßigen Abständen wird berichtet, dass die Blutgruppe einen Einfluss auf die Infektionswahrscheinlichkeit hat. Erste Studien weisen teilweise das Problem auf, dass aufgrund der geringen Anzahl von Fällen keine statistisch signifikante Aussage getroffen werden kann. Zudem wurde nicht unterschieden, ob der Effekt eine Eigenschaft der eigenen Blutgruppe ist oder mit der Blutgruppe der infektiösen Person zusammenhängt [Abd+20].

Weitere Untersuchungen unterscheiden zwischen der Infektionswahrscheinlichkeit einer Blutgrup-

pe und der Ansteckungswahrscheinlichkeit zwischen kompatiblen und inkompatiblen Blutgruppen [Bou+22]. Die Wahrscheinlichkeit, dass sich eine Person mit Blutgruppe 0 bei einer Person mit Blutgruppe A, B oder AB ansteckt, ist dabei um ca. 40 Prozent geringer, als sich an einer Person mit Blutgruppe 0 anzustecken. Entsprechend stecken sich Personen mit Blutgruppe A bevorzugt bei Personen mit Blutgruppe A oder 0 an, B bei B oder 0 und AB bei allen.

## 2.5 Wirksamkeit nicht-pharmazeutischer Maßnahmen

Maßnahmen zur Reduktion der Ausbreitung von Infektionen, die nicht auf einer medizinischen Wirkung basieren, werden als nicht-pharmazeutische Interventionen (NPI) bezeichnet. Die Bewertung der Wirksamkeit der NPI erfolgt, indem ihre Auswirkung auf die Reproduktionsrate angegeben wird. Wird bei einer Reproduktionsrate von 1,1 – d. h. 10 Personen stecken 11 weitere an – eine Maßnahme mit Wirksamkeit 0,2 eingeführt, so sinkt die wirksame Reproduktionsrate auf 0,9 und die Zahl der Infizierten nimmt ab. Je stärker die Reproduktionsrate gesenkt wird, desto wirksamer ist eine Maßnahme. Mit Hilfe gezielter Informationskampagnen zur Umsetzung der NPI können größere Clusterinfektionen vermieden werden. Große Infektionsherde können ganze Personengruppen lahmlegen, die ihre Aufgaben dann für einige Tage oder Wochen nicht mehr erfüllen können. Infiziert sich zum Beispiel ein großer Teil eines Ensembles bei einer Probe, ist das Ensemble bis zur Genesung nicht spielfähig. Gerade bei der Konzertvorbereitung ist solch ein Ereignis besonders störend und durch die intensivere Probenarbeit besonders wahrscheinlich. Tritt eine Clusterinfektion beispielsweise bei einem Feuerwehrfest auf, ist die Feuerwehr im ungünstigsten Fall zwei Wochen nicht einsatzfähig.

### Internationaler Vergleich zur Wirksamkeit von NPI

Das Kiel Institute for the World Economy wertete Daten aus 107 Ländern aus, um die Wirksamkeit der NPI zu bewerten [LS22]. Der internationale Vergleich erlaubt, aus verschiedenen Maßnahmenpaketen, die in vielen Ländern unterschiedlich kombiniert wurden, die Wirksamkeit der einzelnen Maßnahmen abzuschätzen. Die Auswertung zeigt, dass die öffentliche Informationskampagne mit einer Reduktion um 0,352 international am erfolgreichsten war. Darauf folgen Schulschließungen (0,242), öffentlicher Zugang zu Tests (0,225), die Kontaktnachverfolgung (0,151) und internationale Reisebeschränkungen (0,138). Astikas et al. bewertet ebenfalls die Wirksamkeit der NPI mit Hilfe von Daten aus 175 Ländern [ATV21]. Die Auswertung zeigt, dass Beschränkungen der internen Bewegung und des öffentlichen Verkehrs keine Auswirkungen hatten, weil die vorab auferlegten Kontaktbeschränkungen und Anordnung zur Arbeit zu Hause bereits die Mobilität einschränkten. Auch internationale Reisebeschränkungen, obwohl früh auferlegt, hatten nur eine kurzlebige Wirkung, weil sie weniger streng waren, sodass die Epidemie zu einer Pandemie wurde.

Bei der Einführung von NPI ist die Abwägung der sozialen und ökonomischen Kosten im Verhältnis zum Nutzen der Maßnahme ein wichtiger Faktor in Bezug auf die Akzeptanz und damit Wirksamkeit der Maßnahmen. Starke Einschränkungen im sozialen Bereich führen bei geringem Nutzen zu einer niedrigen Akzeptanz und lassen damit die Wirksamkeit der Maßnahme noch weiter sinken. Umgekehrt nahm die Wirksamkeit der Informationskampagne und der Maskenpflicht in der zweiten Welle zu.

## Wirksamkeit der NPI in verschiedenen Strukturen

Eine Übersicht über 34 Studien, ausgewertet von Mendez-Brito et al. [MBEPM21], zeigt, wie unterschiedlich sich vermeintlich identische Maßnahmen in verschiedenen Bevölkerungsstrukturen auswirken können.

In 6 von 8 Studien spiegelt sich eine Wirksamkeit der **öffentlichen Informationskampagne** wider. Dies ist eine Maßnahme mit geringen Einschränkungen. Dabei zeigt sich ein positiver Einfluss auf die Reproduktionsrate und die Fallzahlen, weniger eindeutig eine Wirkung auf die Sterblichkeit. Im Laufe der Zeit steigt die Wirksamkeit der Informationskampagne an, im Gegensatz zum Nachlassen der Wirksamkeit bei stark restriktiven Maßnahmen. Die Wirksamkeit verschiedener NPI zeigen einen deutlichen Verhaltenseinfluss, wie Galanis et al. in England (UK) untersuchten [Gal+21]. Angekündigte Maßnahmen werden teilweise vor Inkrafttreten der Verordnungen umgesetzt. Ihr Einfluss auf die Reproduktionsrate und damit ihre Wirksamkeit lässt jedoch nach wenigen Wochen nach. **Die Akzeptanz der Schutzmaßnahme spielt daher eine maßgebliche Rolle für ihre Wirksamkeit.**

Die Verpflichtung zum **Tragen von Masken** zeigt laut Mendez-Brito et al. [MBEPM21] unterschiedliche, aber eher geringe Wirksamkeit. Inwiefern dies mit dem Maskentyp, dem korrekten Tragen oder anderen Randbedingungen zusammenhängt, wird nicht weiter betrachtet, obwohl dies wichtige Faktoren für die Bewertung sind. Es ist deshalb weiterhin davon auszugehen, dass korrekt sitzende FFF2-Masken ein wirksames Mittel gegen eine Virenübertragung durch die Luft sind. Wird eine Pflicht zum Tragen von Masken hingegen in allen Regionen eines Landes für alle öffentlichen Plätze verhängt, ist die Maßnahme wirksamer.

**Tests** zeigen in keiner von 6 Studien eine reduzierende Wirkung auf die Reproduktions- oder Fallzahlen. Hier wird einschränkend erwähnt, dass durch vermehrte Testung auch Fälle erkannt werden, die sonst verborgen bleiben. Dies kann zu höheren erkannten Fallzahlen führen, was die reduzierende Wirkung durch vermiedene Ansteckungen kompensiert. Ebenso zeigt die Kontaktnachverfolgung kaum einen Einfluss auf die Fallzahlen, zumal sie bei hohen Inzidenzen in vielen Ländern nicht zentral zu leisten ist.

Die **Quarantäneregelungen** zeigen in 2 von 4 Studien eine Reduktion der Fallzahlen, gehören jedoch zu den am wenigsten effektiven Maßnahmen.

Zu den effektivsten Maßnahmen gehört die **Schulschließung**, die in allen Studien eine hohe Wirksamkeit zeigt. Diese Maßnahme ist gleichzeitig mit den größten sozioökonomischen Kosten verbunden und sollte daher mit Bedacht eingesetzt werden. Das **Schließen von Arbeitsplätzen, Geschäften und Untersagen von öffentlichen Veranstaltungen (ab 10 Personen)** zeigt ebenfalls eine **hohe Wirksamkeit bei starken Einschränkungen.**

Eine gute Informationskampagne sowie das Tragen von Masken sind effektive Maßnahmen, die mit geringen Einschränkungen durchführbar sind. Werden Maßnahmen zum Verhindern von Ansteckungen in Schulen getroffen, so reduziert sich die Wirksamkeit der Schulschließungen. Eine sehr übersichtliche, grafische Aufarbeitung einer Auswahl möglicher Maßnahmen erarbeiteten Brauner et al. [Bra+21].

## Bericht des Sachverständigenausschusses

Ein Bericht des Sachverständigenausschusses nach § 5 Abs. 9 IfSG [IfS22] erläutert die Probleme der empirischen Vorgehensweise beim Aufdecken von Ursache-Wirkungsgesetzen in komplexen, realen Si-

tuationen. Unter anderem werden die Lockdown-Maßnahmen kritisiert. Dabei wird unterstellt, dass ohne Lockdown keine vergleichbaren einschränkenden Folgen für das Gesundheitssystem und weltweite Hilfsprogramme eingetreten wären. Die Analyse des Zusammenhangs (in Kap. 6) zwischen eingeführten Maßnahmen und zeitlichem Verlauf der Inzidenz zeigt keinen Zusammenhang. Dies ist verständlich, da

1. alle Maßnahmen addiert werden, was eine Zuordnung in wirksame und weniger wirksame Maßnahmen verhindert.
2. NPI möglicherweise eine kleine Änderung der Reproduktionsrate bewirken, die in den Exponenten der Inzidenz eingeht. Dargestellt ist die Summe der NPI und die Reproduktionsrate im Exponent. In dieser Darstellung wäre ein Zusammenhang selbst dann schwer abzulesen, wenn er signifikant vorhanden wäre.

Ein Vergleich mit der Erkrankungssituation in einer weiteren Infektionswelle kann helfen, um die Situation ohne Lockdown darzustellen. Bei hohen Krankenständen sind ebenfalls Teile der Infrastruktur nicht funktionsfähig.

### **Akzeptanz ist entscheidend für die Wirksamkeit der NPI**

Die Wirksamkeit der Maßnahmen hängt maßgeblich von der Stringenz ihrer Umsetzung ab. Solange verordnete Maßnahmen nicht mit hohem Aufwand und potentiell hohen Strafen durchgesetzt werden, ist der Erfolg abhängig vom Willen der Bevölkerung, die Maßnahmen umzusetzen. Damit ist die kohärente, konsistente öffentliche Information über die Ausbreitungswege, mögliche Schutzmaßnahmen und ihren Nutzen unabdingbar. Ein konsistentes Bild liefert der Stand der Wissenschaft, der seit Ende 2020 [Bur+21] im Wesentlichen unveränderte Empfehlungen liefert.

Voraussetzung für eine nachhaltige Akzeptanz der Maßnahmen sind geringe Einschränkungen, die durchgehend akzeptiert und eingehalten werden. Wird die Maßnahme nachvollziehbar aufgearbeitet und erläutert, so kann **durch die hohe Akzeptanz eine nachhaltige Wirkung** erzielt werden.

Für Schulen sind von Mendez-Brito et al. [MBEPM21] Studien aufgeführt, welche die Wirksamkeit der kompletten Schulschließung in Frage stellen, wenn stattdessen Maßnahmen innerhalb der Schule getroffen werden. Die fehlende Wirksamkeit der Schließung des öffentlichen Nahverkehrs kann auf diesen Effekt zurückgeführt werden: Die Fahrzeuge sind in der Regel gut belüftet, zusätzlich ist das Tragen von Masken oft obligatorisch. Die Schließung bringt dann keinen weiteren Vorteil mehr.

Wird durch die Informationskampagne die konsistente und konsequente Durchführung von Schutzmaßnahmen bei Proben und Veranstaltungen erreicht, kommt es durch die generelle Untersagung aller Veranstaltungen zu keiner weiteren Reduktion der Ansteckungen. Umgekehrt zeigte sich, dass durch die Verlagerung von Treffen in den privaten Bereich das Ansteckungsrisiko sogar zunehmen kann, da dort kaum Schutzmaßnahmen getroffen werden.

## **2.6 Entwicklung des SARS-CoV-2 Infektionsgeschehens**

Eine internationale Übersicht der Virusvariantenentwicklung wird von der **World Health Organisation** (WHO) regelmäßig aktualisiert und verfolgt [WHO19]. Die aktuelle Situation der Pandemie wird z. B. von der LMU München in den regelmäßigen Berichten zum Infektionsgeschehen und der Sterb-

lichkeit an COVID-19 [LMU20] mit dem Fokus auf Deutschland bereitgestellt. 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. In Deutschland gab es während der Pandemie keine Übersterblichkeit, die allein auf SARS-CoV-2 beruht. Laut statistischem Bundesamt ist z. B. die Übersterblichkeit im Jahr 2021 nur teilweise auf Corona zurückzuführen – weitere signifikante Ursachen sind z. B. die Hitzewellen und die zunehmende Alterung der Gesellschaft.

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 verlässliche Vorhersage getroffen werden kann.

In den kommenden Jahren wird SARS-CoV-2 zu den bereits bekannten endemischen humanen Coronaviren zählen [Ift+21; Pri+21]. Auch wenn die Pandemie überstanden ist und der **Übergang zur endemischen Krankheit**<sup>1</sup> eintritt, bleibt SARS-CoV-2 mit seinen **Auswirkungen** auf Gesellschaft, Politik und jeden Einzelnen **präsent**. Auch das **Ausmaß und Risiko von Long Covid** betroffen zu sein ist aktueller Gegenstand der Forschung, zum Beispiel in der **Hamburg City Health Study (HCHS)** [Pet+22].

## 2.7 Long Covid

Gesundheitliche **Langzeitfolgen**, die **nach einer Infektion mit dem Coronavirus** auftreten können, werden hier unter dem Oberbegriff **Long Covid** zusammengefasst. In Medizin und Forschung wird stärker differenziert. Dabei spielen der zeitliche Verlauf, die Symptome und betroffenen Körperregionen eine Rolle. Für langanhaltende Beschwerden, die mehr als zwölf Wochen bestehen, wird auch der Begriff Post Covid genutzt. Long Covid wird somit als Synonym für einen Post-COVID-Zustand und das Vorhandensein spezifischer Symptome über vier Wochen nach Erkrankungsbeginn hinaus verwendet [Gog+21; Rab+21]. Da Long Covid die bekanntere Bezeichnung ist und die gesamte Zeit nach der akuten Erkrankung einschließt, wird im Folgenden von Long Covid gesprochen und damit auch solche Fälle mit eingerechnet, die monatelange Beschwerden haben.

Die Zahl der Personen, welche nach einer Coronainfektion Long Covid entwickeln, kann derzeit noch nicht genau bestimmt werden. Laut Davis et. al [Dav+23] sind Anfang 2023 nach einer Infektion mit SARS-CoV-2 mindestens 10 Prozent von Long Covid betroffen. Grundsätzlich kann jede\*r Folgebeschwerden entwickeln, auch nach milden oder asymptomatischen Infektionen. Bestimmte Risikofaktoren für Long Covid könnten z. B. Vorerkrankungen oder ein schwerer Krankheitsverlauf sein. Von

<sup>1</sup>„Eine Krankheit gilt als „endemisch“, wenn sie in einer Region fortwährend auftritt. Beispiele dafür sind viele virusbedingte Atemwegserkrankungen, die nicht immer in der gleichen Häufigkeit nachzuweisen sind, sondern in Wellen auftreten. Die COVID-19-Pandemie war von heftigen Infektions- und Krankheitswellen geprägt und geht allmählich in ein endemisch-wellenförmiges Geschehen über. Dieser Übergang kann nicht eindeutig anhand eines „Schwellenwertes“ festgelegt werden und findet nicht überall auf der Welt gleichzeitig statt.“ [infektionsschutz.de](https://www.infektionsschutz.de)

Long Covid betroffene Personen sind nicht ansteckend. Die Symptome bei Long Covid sind vielfältig und können die Atemwege, das Herz-Kreislauf-System, den Muskelapparat, das Nervensystem, die Psyche und den Stoffwechsel betreffen [Dav+23]. Beschwerden können schubförmig auftreten und sich nach körperlicher/geistiger Anstrengung verschlechtern [Gog+21; Rab+21]. Eine Metastudie [LL+21] hat aus primären Einzelstudien die Häufigkeit von 48 Long-Covid-Symptomen erfasst: **Die sieben häufigsten Symptome** sind starke Erschöpfung (58 Prozent), Kopfschmerzen (44 Prozent) Konzentrationsstörungen (27 Prozent), Haarverlust (25 Prozent), Atemnot (24 Prozent), Geruchs- (21 Prozent) und Geschmacksverlust (23 Prozent). Für Betroffene sind die Beschwerden durch Long Covid sehr belastend und ihre Lebensqualität ist nachweislich stark eingeschränkt. Insgesamt ist die Forschung zum Krankheitsbild Long Covid und den Therapieoptionen bisher im Anfangsstadium. Wann Long-Covid-Symptome bleiben und wann sie mit der Zeit wieder verschwinden, ist deshalb noch nicht hinreichend bekannt. Wie im Falle des Infektionsschutzes, ist für Betroffene und deren Umfeld **gut aufbereitete Information und die Sensibilisierung für den Umgang mit Long Covid** ein entscheidender Schritt auf dem Weg zur **Akzeptanz und Genesung** [DS21; FVM21; BZg21a; RKI22a].

Über die **medizinischen Ursachen** von Long Covid ist bisher noch wenig bekannt. Erste Ansätze werden z. B. in folgenden Bereichen erforscht: Eine starke Immunreaktion gegen das Virus könnte dazu führen, dass sich die Immunantwort nicht mehr gegen das Virus, sondern gegen eigene, gesunde Zellen richtet [Vla+20]. Durch kleine Blutgerinnsel in den Gefäßen könnte die Durchblutung beeinträchtigt werden, so dass z. B. Muskeln, Organe und das Gehirn nicht ausreichend mit Sauerstoff versorgt werden [Wan+22]. Im Körper könnten hartnäckige Viren oder Virusreste verbleiben, die das Immunsystem dauerhaft reizen und so zu ständigen oder wiederkehrenden Entzündungsreaktionen führen [Fre+22].

Behandlung und Therapieoptionen orientieren sich bisher am Schwerpunkt der Symptome mit dem Ziel, die Beschwerden zu lindern. Folgende Maßnahmen können je nach Krankheitsbild sinnvoll sein: Atemtherapie, Training der Koordination und Haltung, Kraft- und Ausdauertraining, Kräftesparendes Verhalten und Aktivitätsmanagement (Pacing), Training der Gedächtnis- und Konzentrationsleistung, Sprech- und Schlucktraining, Psychologische Betreuung und Austausch mit anderen Betroffenen (z. B. in **Selbsthilfegruppen**). **Gemeinsames Musizieren und bewusstes Atmen** kann einen positiven Einfluss auf Gesundheit und Wohlbefinden haben (siehe auch **Positive Aspekte des Musizierens**), davon können auch Long-Covid-Betroffene profitieren.

## 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.

#### 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) ist in Deutschland seit Mitte 2021 von 1,4 Prozent (14 000 je 1 Million) auf 0,4 Prozent gesunken [Joh22]. Fälle von Reinfektionen werden dabei als *confirmed cases* wie Erstinfektionen gezählt. 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, Abschnitt §2.7) 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 [RKI21d]. 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 [RKI21g] 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 einer 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 einer 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 [Röß21].

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.S21a]. In den USA hat das Medikament bereits eine Notfallzulassung erhalten [U.S21a]. 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 Prozent 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.

## 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 Erkrankten 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 Infektiosität 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 verlangsamen, wie z. B. RapidTests Deutschland auf [rapidtests.de](https://www.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.S21b]. 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]. Die Empfindlichkeit zur Erkennung der Omikron-Variante ist gegenüber der Delta-Variante um einen Faktor 10 bis 100 reduziert, stark infektiöse Personen werden dennoch erkannt [Ost+22]. Tests mit hoher Sensitivität gegenüber der Delta-Variante erkennen auch die Omikron-Variante noch sehr gut. Das Paul-Ehrlich-

Institut [Sch+21b] hat dazu die Sensitivität verschiedener Antigentests unabhängig vom Hersteller bestimmt. Eine europaweite Liste von Tests wird von der Europäischen Kommission geführt [EU].

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 [RKI21c]. 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  $P_{\text{Sens}}$  ist die Wahrscheinlichkeit, eine infizierte Person positiv zu testen. Die Spezifität  $P_{\text{Spez}}$  ist die Wahrscheinlichkeit, eine nicht infizierte Person negativ zu testen [IQW]. Die Wahrscheinlichkeit, bei einem Test ein positives Testergebnis  $P_{\text{positiv}}$  zu erhalten, berechnet sich aus der Sensitivität, der Spezifität und der Wahrscheinlichkeit, infiziert zu sein (Vortestwahrscheinlichkeit  $P_{\text{CoV}}$ ):  $P_{\text{positiv}} = (1 - P_{\text{Spez}}) + P_{\text{CoV}} \cdot P_{\text{Sens}}$ .

## 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 eigenverantwortliche Selbsteinschätzung, eine durchdachte Raumnutzung während der Veranstaltung und Erfassung aller Teilnehmenden, um mögliche Ansteckungswege nachvollziehen zu können.

Zur Selbsteinschätzung 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 Veranstaltungen ist ein kontaktlosen Einlass wie z. B. mit „ticketmaster“ [Zem+76], das Vermeiden von Warteschlangen und Begegnungsverkehr sinnvoll. Das Risiko, sich mit SARS-CoV-2 zu infizieren, kann so minimiert werden.

Eine freiwillige Erfassung der Kontaktdaten aller Teilnehmenden (z. B. Name, Adresse oder Telefonnummer) mit Datum und Uhrzeit der Anwesenheit ist sinnvoll, um im Falle einer Infektion Kontaktpersonen zu informieren, die sich angesteckt haben könnten.

### 4.1 Geregelter Zugang

#### Einlass

Neben den allgemeinen Hygiene- und Abstandsempfehlungen 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

Das verantwortungsvolle Verhalten des Veranstalters komplettiert die eigenverantwortliche Abwägung zum Schutz der Gemeinschaft:

- Veranstalter informieren Teilnehmende über geltende Schutz- und Hygienemaßnahmen.
- Nutzung von Apps, Software zur Kontaktdatenerfassung bzw. Nachvollziehung von Begegnungen

- bei nachgewiesener Infektion 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**

Um das Infektionsrisiko mit SARS-CoV-2 weiter zu vermindern, sind bei Proben oder Veranstaltungen folgende Maßnahmen bezüglich der Raumnutzung sinnvoll:

- kontaktloser Einlass, Vermeidung von Warteschlangen
- möglichst keine Barzahlung
- möglichst Einbahnwege
- möglichst getrennte Ein- und Ausgänge, um Begegnungsverkehr zu vermeiden
- bei Begegnungen außerhalb des Probe- oder Veranstaltungsraums (beispielsweise Flur- oder Eingangsbereich) auf Abstände hinweisen
- Abstände von mind. 1,5 Meter in Blickrichtung
- 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 möglich.

Um auf eine analoge Mitschrift verzichten zu können, gibt es diverse Apps oder Software wie beispielsweise die „Corona-Warn-App“, die eine solche Erfassung von Begegnungen leisten.

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.

## **4.3 Maßnahmen beim Auftreten von Symptomen**

Typische Symptome einer Infektion mit SARS-CoV-2 sind laut RKI [RKI21a] 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 nehmen Sie Kontakt zum zuständigen Gesundheitsamt bzw. Hausärzt\*in auf. Die Anweisungen des Gesundheitsamtes, wie beispielsweise zur Durchführung eines PCR-Tests oder Quarantäne bzw. häusliche Isolation, müssen eingehalten 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 [Mür 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+21a] 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.

Um einen bestmöglichen Schutz zu leisten, sollten die Masken 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.

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 bereit [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+21a].

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. 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 bieten nur einen Eigenschutz, da die ausgeatmeten Aerosole nicht gefiltert werden und ungehindert nach außen dringen können. Empfehlenswert sind sie deshalb maximal für Risikogruppen, denen ein längeres Tragen dadurch erträglich wird.

### 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 Livinguard](#)<sup>1</sup> ist als medizinische Gesichtsmaske zugelassen. Die [Nano-Maske von Casada](#)<sup>2</sup> sowie von [Maskengrün](#)<sup>3</sup> sind als FFP2-Maske zertifiziert.

## 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 durchführen 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.

---

<sup>1</sup><https://livinguard.com/promask/>

<sup>2</sup><https://www.casada.de>

<sup>3</sup><https://winguard.de>

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+21a]. 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 Gesichtsvisionen 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+21a] zur Ansteckungswahrscheinlichkeit unter ungünstigsten Bedingungen. Mit dicht anliegenden FFP2-Masken bleibt das Ansteckungsrisiko selbst bei einem Gespräch ohne Abstand (Maskenspitze an Maskenspitze) nach 20 Minuten deutlich unter ein Prozent. Dagegen kann bei einem Gespräch mit 1,5 Metern Abstand ohne weitere Schutzmaßnahmen das Ansteckungsrisiko unter ungünstigen Bedingungen bereits nach 1,5 Minuten auf über 90 Prozent ansteigen. Mit schlecht sitzender FFP2-Maske liegt die Wahrscheinlichkeit einer Infektion nach 20 Minuten bei ca. vier Prozent. Wenn beide Personen eine OP-Maske aufsetzen, ist eine Infektion nach 20 Minuten Gespräch in bis zu 10 Prozent der Fälle möglich.

Das Infektionsgeschehen wird zunehmend von infektiöseren Varianten von SARS-CoV-2 bestimmt, sodass die Masken weiterhin getragen werden sollten, um die Infektionszahlen niedrig zu halten. Die Masken haben eine hohe Schutzwirkung gegen SARS-CoV-2-Infektionen, bei gleichzeitig wenig Einschränkungen in der persönlichen Bewegungsfreiheit und sind besonders in Innenräumen und Menschenmengen empfehlenswert. Untersuchungen der Wirksamkeit von Masken unter verschiedenen Umgebungsbedingungen zeigen, dass sie insbesondere in Kombination mit einem guten Luftaustausch wirksam sind [Che+21]. Das Tragen von Masken allein ist nicht ausreichend, sondern nur Teil eines umfangreichen Schutzkonzeptes.

## 7 Lüften & Lüftungstechnik

Effektives Lüften ist in Innenräumen eine der wichtigsten Schutzmaßnahmen zur Reduzierung des Infektionsrisikos. Dabei kann technisch unterstütztes Lüftungsmanagement bei niedrigen Außentemperaturen sogar wirksam Wärmeenergie einsparen. Wichtig ist ein hoher Luftaustausch mit Frischluft oder die Luftreinigung, um die potenziell infektiösen Lungenaerosolpartikel (LAP) (Kapitel 2) in der Raumluft möglichst zu entfernen. Bei einem Luftaustausch oder Luftreinigung von etwa  $50 - 75 \text{ m}^3$  pro Stunde und Person werden die Aerosole ausreichend verdünnt. Lüften schützt aber nicht vor direkten Infektionen über Tröpfchen oder direkten Kontakt, die durch Abstand (Kapitel 5) oder Masken (Kapitel 6) reduziert werden können.

Technisch unterstütztes Lüftungsmanagement mit Hilfe von  $\text{CO}_2$ -Messgeräten ermöglicht effektives Lüften. Durch gezieltes Lüften ab 800 ppm  $\text{CO}_2$ -Konzentration wird das Infektionsrisiko effektiv reduziert und Energie eingespart im Vergleich zum Dauerlüften. Der Einsatz von Luftreinigungsgeräten ermöglicht weniger zu Lüften, da aufgrund der gereinigten Luft ein Luftaustausch erst ab 1000 ppm erforderlich wird. Im Vergleich zur Fensterlüftung besitzen Lüftungsanlagen deutlich zuverlässigere Luftwechselraten und können im Falle von Wärmerückgewinnung noch mehr Energie einsparen.

### 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  $\text{CO}_2$ -Messungen (Kapitel 8).

#### **Die Wirksamkeit der Fensterlüftung ist begrenzt**

Sie ist 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 raumlufttechnischen Anlagen (RLT-Anlagen) erlaubt jedoch einen wesentlich effizienteren Luftaustausch.

## 7.2 Raumlufttechnische Anlagen

Optimal ist die Quell- oder Schichtlüftung, wie Moriske et al. [Mor+21] und Dittler et al. [Dit+21] empfehlen, 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. Für Lüftungsanlagen und Raumlufthereiniger werden Frischluft- oder Luftvolumenströme von etwa 50–75 m<sup>3</sup> pro Stunde und Person empfohlen, um das Infektionsrisiko deutlich zu reduzieren. Dieser Wert entspricht einer guten Raumlufqualität, bei der eine CO<sub>2</sub>-Konzentration von 800 ppm nicht überschritten wird (Kapitel 8). Wird die Luftwechselrate, die Anzahl der Luftwechsel pro Stunde in einem Raum, angegeben ist das Raumvolumen entscheidend, um den Wert des Luftvolumenstroms zu erhalten.

### Weitere Studien

in verschiedenen Konzerthäusern wurden von Dittler et al. [Dit+21] betrachtet: Es handelt sich dabei um wissenschaftliche Untersuchungen im Zuschauerraum von Spielstätten im Konzerthaus Dortmund (Fraunhofer-Institut Goslar), in der Bayerischen Staatsoper (TU München), im Staatstheater Nürnberg (Universität Erlangen), um das Hygienekonzept der Salzburger Festspiele, das sich in der Praxis als pandemietauglich bewährt hat und um das „Hygienerahmenkonzept 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 CO<sub>2</sub> stattfindet, wenn der Raum mit dem Prinzip der Quell-Lüftung und einer Luftwechselrate von dreimal pro Stunde, entsprechend einem Luftvolumenstrom von 51 m<sup>3</sup> pro Stunde und pro Person, belüftet wird.

## 7.3 Mobile Luftreinigungsgeräte & RLT-Anlagen im Umluftbetrieb

Mobile Luftreiniger sind eine technische Ergänzung im Lüftungsmanagement, helfen dabei auch Wärmeenergie zu sparen und sind 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 CO<sub>2</sub>, entnommen. Entspricht der Luftvolumenstrom 50–75 Kubikmeter pro Stunde pro Person bei der Reinigung, ist bei der Kontrolle der Raumluftqualität ein Wert kleiner 1000 ppm (Kapitel 8) bereits ausreichend. Durch die Luftreinigung werden die potentiell infektiösen Aerosole ausreichend verdünnt, sodass der Grenzwert der CO<sub>2</sub>-Konzentration höher angesetzt werden kann.

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 (Elektretfilter) [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. 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>.

### 7.3.1 Energiebilanz Luftreiniger

Bei der Nutzung eines Luftreinigers oder einer Lüftungsanlage mit Filtern im Umluftbetrieb ist es möglich, durch die Reduktion der Lüftungsintervalle einen Teil der Energie zum Aufwärmen der Außenluft einzusparen. Nach DIN EN 13779:2007 kennzeichnet ein CO<sub>2</sub>-Gehalt bis 800 ppm eine „hohe Raumluftqualität“. Bis 1000 ppm ist eine „Mittlere Raumluftqualität“, bis 1400 ppm eine „Mäßige Raumluftqualität“ vorhanden. Steigt der CO<sub>2</sub>-Gehalt über 1400 ppm, sollte gelüftet werden, da eine „Niedrige Raumluftqualität“ vorliegt [Umw08].

Reduziert man bei einer Probe bei einer Außentemperatur von 5°C und einer Innentemperatur von 20°C die Lüftungsintervalle so, dass erst bei 1000 ppm statt bereits bei 800 ppm gelüftet wird, benötigt

man anstatt 4,5 kW Wärmeleistung nur 2 kW Wärmeleistung, um die ausgetauschte Luft zu erwärmen. Liegen keine weiteren Wärmeverluste vor, würde man bei 5 °C und Lüften bei einem Grenzwert von 1400 ppm keine zusätzliche Wärmeleistung benötigen, da die Musizierenden ebensoviel Wärme abgeben, wie kalte Luft aufgewärmt werden muss. Diese Werte sind unabhängig von der Raumgröße, da mit abnehmendem Raumvolumen häufiger gelüftet werden muss, dafür jedoch je Lüftungsvorgang ein kleineres Volumen ausgetauscht wird. Je anwesender Person wird eine Abwärmeleistung der Person von 100 W angenommen, was der Ruheleistung entspricht. Der elektrische Leistungsbedarf des Luftreinigers wird durch die Einsparung bei der aufzuwärmenden Luft für alle praktischen Fälle kompensiert. Zudem trägt die elektrische Leistungsaufnahme des Gebläses in geringem Maß zur Erwärmung der Raumluft bei.

### 7.3.2 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 m<sup>3</sup>/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.

Die folgenden Aspekte werden in der VDI-Richtlinie EE 4300 [HSN21] 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 Prozent nach ISO 16890), **Kombinationen von ISO ePM<sub>1</sub> 50 Prozent und ISO ePM<sub>1</sub> 80 Prozent nach ISO 16890** (ehemals F7 + F9) oder gleichwertig bei Geräten mit Filtern; Filter der Klasse H14 sind für die eingangs erwähnten Räumlichkeiten nicht erforderlich (aber in vielen Geräten Standard)
- 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 (Schalldruckpegel) bei dem geforderten Luftvolumenstrom nach ASR 3.7 (z. B. für Schulen **Schalldruckpegel 35 – 55 dB(A)**)
- Behaglichkeitsaspekte (Vermeiden von Zugluft)
- Reinigungsleistung bei Filtergeräten (Effizienz der Filterung > 90 Prozent, Prüfung im Labor unter realraumähnlichen Bedingungen)
- Mindestdosis bei **UVC-Luftentkeimern bei Einmalpassage  $\geq 70 \text{ J/m}^2$**
- **Vermeidung unerwünschter Nebenprodukte** (vor allem **Ozon** bei Verfahren mit Ionisation/Plasma, UV-C); der Resteintrag von Ozon in die Raumluft soll unter 10 µg/m<sup>3</sup> liegen.

### 7.3.3 Nutzung von Luftreinigern

Eine Liste mit Beispiele für verschiedene Gerätetypen, die den genannten Anforderungen entsprechen, steht auf der Website des BMCO im [Lüftungskonzept](#) bereit.

#### **Auswahl der Filter (auch für RLT-Anlagen mit Umluftanteil)**

In Bezug auf den Infektionsschutz ist bereits eine Kombination von Filtern der Klasse F7 und F9 (Elektretfilter) ausreichend. Der Vorteil der elektrostatischen Filter ist, dass sie nicht so feinporig wie z. B. HEPA-Filter der Klasse H13 und H14 Filter sind und somit ein größere Luftdurchsatz mit weniger Geräusentwicklung möglich ist. Sinnvoll ist es auch Grobfilter vorzuschalten, um die Feinfilter vor Verschmutzung zu schützen und deren Lebensdauer zu erhöhen.

#### **Auswahl der Gerätegröße**

Werden Raumlufreiniger vornehmlich „stationär“ (im Raum verbleibend) eingesetzt, können große/schwere Geräte mit hohem Luftvolumenstrom genutzt werden. Müssen Geräte häufig transportiert und/oder in schwer zugängliche Räume gebracht werden, können alternativ mehrere kleinere Geräte (die in Summe den notwendigen Luftvolumenstrom leisten) eingesetzt werden. Kleinere Geräte sind eventuell auch für Einzelunterricht (Instrumental, Vocal) ausreichend, da sich dabei nur zwei Personen im Raum befinden (geringe Aerosolemission).

#### **Auswahl der Leistungsstufe**

Während Proben/Konzerten ist ein Betrieb von Raumlufreinigern auf reduzierter Leistungsstufe sinnvoll, um deren Geräusentwicklung auf einem akzeptablen Niveau, subjektiv und von Nutzungsart abhängig, zu halten. Vor/nach Raumnutzung und in Pausen sollte die höchste Leistungsstufe zur schnelleren Luftreinigung genutzt werden.

#### **Hinweis**

Die Deutsche Theatertechnische Gesellschaft ([DTHG](#)) bietet eine Zertifizierung der Raumlufqualität in Theatern, Kinos und Konzerthäusern an. Es gibt auch eine Initiative, ein Forschungs- und Beratungsprogramm zur gesunden Raumluf, von der Fraunhofer Gesellschaft [[FG21](#)].

## 8 CO<sub>2</sub>-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](#); [Umw21](#)].

### 8.1 CO<sub>2</sub>-Konzentration als Maß für die Raumlufqualität

Die Kohlendioxidkonzentration (CO<sub>2</sub>-Konzentration) gilt allgemein als Maß für die Beurteilung der Raumlufqualität. In Innenräumen ist der Mensch die bedeutendste Quelle für CO<sub>2</sub>. Die CO<sub>2</sub>-Konzentration ist neben der Konzentration in der Außenluft stark von der Belegung des Raumes, der Raumgröße und der Belüftungssituation abhängig. Eine CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-Konzentration laut Boos [[Boo+06](#)] in Innenräumen allein durch die von den Personen ausgeatmeten Mengen bis zu einer Größenordnung von 10000 ppm (18300 mg / m<sup>3</sup>) ansteigen. Die CO<sub>2</sub>-Emission hängt nicht nur von der Anzahl der Personen, sondern auch von deren Aktivität ab: Je stärker die körperliche Aktivität, desto mehr CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>-Ausstoß über 70 l/h liegen. Die Ergebnisse aus einer Studie von Nusseck et al. [[Nus+20](#)] zeigen, dass der CO<sub>2</sub>-Ausstoß beim Musizieren im Bereich der mäßigen Aktivitäten liegt. Die gemessene CO<sub>2</sub>-Emission lag zwischen 28 l/h und 39 l/h. Blasinstrumente hatten die höchsten CO<sub>2</sub>-Emissionen, Sänger zeigten niedrigere CO<sub>2</sub>-Emissionsraten.

CO<sub>2</sub> wird ebenso bei der menschlichen Atmung ausgeschieden wie eventuell virenbelastete Aerosolpartikel. Eine Korrelation zwischen dem ausgeatmeten CO<sub>2</sub> und den ausgeatmeten Aerosolpartikeln liegt nahe, ist aber nach derzeitigem wissenschaftlichen Kenntnisstand nicht direkt nachgewiesen. Hartmann und Kriegel [[HK20](#)] zeigen mit einer Modellrechnung, wie man aus der CO<sub>2</sub>-Konzentration auf eine wahrscheinliche Aerosolkonzentration schließen kann. Das Modell zeigt, dass eine unbedenkli-

che Konzentration der eventuell virenbelasteten Aerosole für CO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Bereich von 800 – 1000 ppm herrscht.

## 8.2 Rechtzeitiges und wirksames Lüften durch CO<sub>2</sub>-Messungen

Die CO<sub>2</sub>-Konzentration kann als Indikator für die Konzentration exhalierter Aerosolpartikel angenommen werden. Durch die Unterschiede bei den CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub> entnommen. Dies würde bedeuten, dass bei einer Kopplung der Lüftung an die CO<sub>2</sub>-Messung tendenziell zu häufig gelüftet würde, was zwar energetisch ungünstig sein kann, aber das Risiko einer Infektion eher senkt.

### Vorteile einer CO<sub>2</sub>-Messung

- Die CO<sub>2</sub>-Messung spiegelt permanent den aktuellen Status der Luftqualität, auch bei sich zeitlich verändernden Parametern wie Personenanzahl, Altersstruktur, Atemfrequenzen und körperlichen Belastungsgraden.
- Die CO<sub>2</sub>-Messung spiegelt die tatsächliche Ist-Situation im Gegensatz zu Modellrechnern, die die Gegebenheiten vor Ort immer nur näherungsweise abbilden können.
- Die CO<sub>2</sub>-Messung spiegelt die Wirkung der ggf. eingebauten Lüftungssysteme inklusive der Frischluft- und Umluftanteile.
- Die CO<sub>2</sub>-Messung übererfüllt die Risikoeinschätzung, wenn zusätzlich Raumluftreiniger vorhanden sind bzw. Filtersysteme in RLT-Anlagen mit Umluft eingebaut sind.

CO<sub>2</sub>-Messungen und daraus abgeleitete Lüftungs- und Pausenregelungen sind eine gute Möglichkeit, um das Infektionsrisiko in Verbindung mit anderen Maßnahmen wie dem Tragen von Masken ([Kapitel 6](#)) und dem Einhalten von Abständen ([Kapitel 5](#)) deutlich zu reduzieren.

Ab welcher CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-Konzentration zwischen 400 und 500 ppm erreicht ist. Ausreichend genaue CO<sub>2</sub>-Monitore (auch als CO<sub>2</sub>-Ampeln bekannt) sind im Handel relativ kostengünstig erhältlich.

### 8.3 Anforderungen an CO<sub>2</sub>-Messgeräte

Folgende Anforderungen für CO<sub>2</sub>-Messgeräte sind laut Angaben der Hersteller und den genannten Aspekten sinnvoll:

- Anzahl der Messstellen: min. 1 Messsonde pro 100 m<sup>2</sup>
- Platzierung der Messsonden: in Kopfhöhe; nicht im Bereich der Luftströmung zwischen Fenstern oder zwischen Tür und Fenster
- Messgenauigkeit:  $\pm 80$  ppm
- Auflösung: 10 ppm
- Messbereich: 0 – 2000 ppm
- Messintervall:  $\leq 5$  min.
- Datenspeicherung: ja
- Alarmierung bei Grenzwertüberschreitung: ja
- Zentrale Alarmierung beim Einsatz mehrerer Messstellen: wünschenswert

Eine Liste mit konkreten Beispielen für CO<sub>2</sub>-Messgeräte, welche die genannten Anforderungen erfüllen, wird auf der Website des BMCO unter [Schutzkomponenten](#) bereit gestellt.

## 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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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.

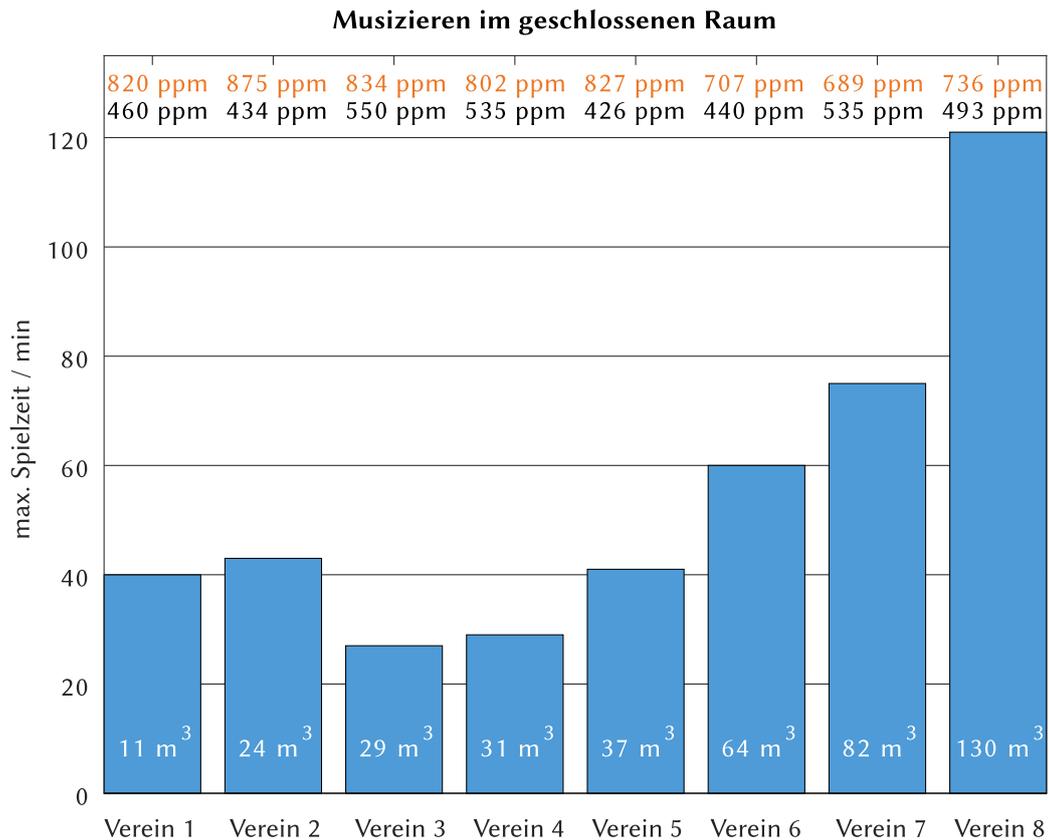


Abbildung 9.1: Maximale Spielzeit von 8 Vereinen beim Musizieren bis bei ca. 800 ppm CO<sub>2</sub>-Konzentration gelüftet wurde. Das Volumen des Raums pro Person (weiß) und die CO<sub>2</sub>-Konzentration zu Beginn (schwarz) und Ende (orange) der Spielzeiten bis zur Lüftungspause sind angegeben.

In Abbildung 9.1 ist die maximale Spielzeit für verschiedene Raumsituationen (Verein 1 bis 8) für Proben bei geschlossenen Fenstern und Türen dargestellt, ohne Nutzung von Luftreinigungsgeräten oder Lüftungsanlagen, mit der Angabe der CO<sub>2</sub>-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 mit einem niedrigeren CO<sub>2</sub>-Startwert begonnen wurde und somit eine größere Spanne ausgeschöpft wurde bis zur Lüftungspause. Zusätzlich können unterschiedliche Luftwechselraten durch Undichtigkeiten der Räume die Spielzeit beeinflussen. Bei der Risikobetrachtung in Kapitel 10 wird deutlich, dass Lüften mit Kontrolle der CO<sub>2</sub>-Konzentration alleine nicht immer ausreichend ist um einen vergleichbaren Schutz zum Tragen einer FFP2-Masken 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 gemeinsames 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 stringenterer 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 Prozent Wahrscheinlichkeit, dass ein bestimmter Teilnehmer infiziert wird. 92 Prozent 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 (ursprüngl. 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 m<sup>3</sup>, auswählbare Aktivitäten: Sitzen, Stehen oder Sprechen, Singen, Physische Arbeit, Sport
- Für die Berechnung mit der 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<sup>-1</sup> nach Doremalen et al. [Dor+20] und von Schlenczek 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 m<sup>2</sup>. 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/raumlufqualitaet/co2-app/index.jsp>

- Mit der App lässt sich die CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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  $100\text{ m}^2$  Grundfläche bzw. einem Volumen von  $280\text{ m}^3$  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,

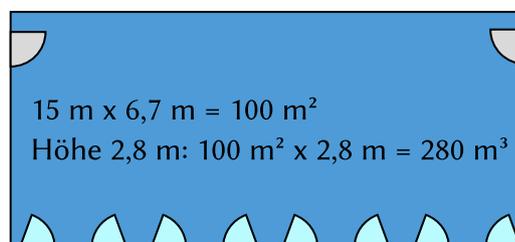


Abbildung 10.1: Grundriss Proberaum. Oben sind an den Enden links und rechts die Türen für den Zugang. Unten ist eine Fensterfront mit Flügeln, von denen 2/3 geöffnet werden können.



Abbildung 10.2: Personen im Raum.

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. Neben der Virenlast im Raum erlaubt [airborne.cam](#) eine Berechnung der zu erwartenden CO<sub>2</sub>-Konzentration im Raum, wodurch der Bezug zur Kontrolle der Raumluftqualität hergestellt werden kann. 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  $N_{\text{Probe}}$  Probenenden als Stichprobe vom Umfang  $N_{\text{Probe}}$  gezogen<sup>1</sup>. Die Grundgesamtheit besteht dabei aus  $N_{\text{CoV}}$  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  $N_{\text{Probe}}$  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.

## 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 aus-

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

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 %

nahmslos 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  $\text{CO}_2$ -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 17 Prozent der Anwesenden) und nicht ein Großteil der Anwesenden (z. B. nach Tabelle 10.3: mit  $10^8$  Viren/mL 37 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 [RKI21e].

### 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

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](https://www.airborne.cam). Stoßlüften kann nicht simuliert werden, es wurde ein kontinuierlicher Luftaustausch gewählt, sodass eine  $\text{CO}_2$ -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 $3 \text{ h}^{-1}$ + 1000 ppm	45 %	5,8 %	0,6 %
Luftreiniger $5 \text{ h}^{-1}$ + 1000 ppm	38 %	4,6 %	0,47 %
Luftreiniger $10 \text{ h}^{-1}$ + 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](https://www.airborne.cam). Stoßlüften kann nicht simuliert werden, es wurde ein kontinuierlicher Luftaustausch gewählt, so eine  $\text{CO}_2$ -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](https://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 %

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 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+21a](#)]. 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 Metern 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 CO<sub>2</sub>-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 m<sup>3</sup>/h/P oder 5 h<sup>-1</sup> (5 Luftwechsel pro Stunde).

### Zusätzlich Luftreiniger

Im Beispielproberaum sind 2 Luftreiniger mit je 1400 m<sup>3</sup>/h Luftdurchsatz aufgestellt. Dies entspricht einer Umwälzung 28 l/s/P (Liter je Sekunde und Person) bzw. 100 m<sup>3</sup>/h/P (Kubikmeter je Stunde und Person). Im Beispielraum mit einem Volumen von 280 m<sup>3</sup> ist die Umwälzungsrate somit 10 h<sup>-1</sup>. Zusätzlich wird mit Hilfe einer CO<sub>2</sub>-Ampel auf einen CO<sub>2</sub>-Gehalt von unter 1000 ppm gelüftet, was einen zusätzlichen Luftaustausch von 3 h<sup>-1</sup> bzw. 30 m<sup>3</sup>/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. 10<sup>6</sup> 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.

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 %

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 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 Tests<sup>2</sup> 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 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 [[RKI21h](#); [RKI21e](#); [RKI21f](#)].

## 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.

<sup>2</sup>Im Beispiel ein Schnelltest mit 95,4 % Sensitivität, 99,1 % Spezifität

## 11 Versionsverlauf

Version	Datum	Änderung zur vorherigen Version
2.1	30.01.23	<p>Kapitel SARS-CoV-2 Infektionsgeschehen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Analysen bekannter Clusterinfektionen: Redaktionell</li> <li>- Die Rolle der Aerosole beim Infektionsgeschehen: Publikation des MPIDS, Musizieren mit Blasinstrumenten weniger ansteckend als Sprechen</li> <li>- <b>Neu:</b> Vorbeugung und Einfluss auf die Übertragung</li> <li>- <b>Neu:</b> Wirksamkeit nicht-pharmazeutischer Maßnahmen</li> <li>- <b>Neu:</b> Long Covid</li> </ul> <p>Kapitel Impfen &amp; Coronatests: Empfindlichkeit der Tests für Omicron-Variante            Kapitel Teilnehmende &amp; Kontaktdaten, Abstands- &amp; Hygienemaßnahmen: Redaktionell            Kapitel Tragen von Masken: Erläuterung FFP2-Masken mit Ventil            Kapitel Lüften &amp; Lüftungstechnik: Aspekt Energie sparen            Kapitel Risikoeinschätzung für beispielhafte Probe:            - Redaktionell, Begründung zur Auswahl des Aerosolrechners</p>
2.0	15.02.22	<p>Vollständige Überarbeitung</p> <p>Kapitel SARS-CoV-2 Infektionsgeschehen: Analysen bekannter Clusterinfektionen            Kapitel Impfen &amp; Coronatests: Aktuelle Informationen zur Impfung &amp; Tests            Kapitel Teilnehmende &amp; Kontaktdaten: Freiwillige Kontaktdatenerfassung            Kapitel Abstand &amp; Hygienemaßnahmen: Neubewertung Abstandsempfehlung            Kapitel Lüften &amp; Lüftungstechnik: Auswahlkriterien Raumlüftreiner            Kapitel Parameter des Veranstaltungsortes: Definition „große“ Räume            neues Kapitel: Risikoeinschätzung für Beispielhafte Probe</p>
1.6	19.08.21	<p>Kapitel Empfehlungen: Coronatests für geimpfte Personen            Kapitel wissenschaftliche Grundlagen zum SARS-CoV-2 Infektionsgeschehen:            - wissenschaftliches Positionspapier Deutsche Forschungsgemeinschaft            - Entwicklung des Infektionsgeschehens</p> <p>Kapitel Tragen von Masken: Redaktionelle Änderungen und wiederverwendbare Masken            Kapitel Coronatests &amp; Impfen: Test-, Impfstrategie und Delta-Variante            Kapitel Lüften &amp; Lüftungstechnik: Anforderungen an Raumlüftreiner</p>
1.5	28.06.21	<p>Kapitel Tragen von Masken wurde redaktionell aktualisiert            Kapitel Coronatests &amp; Impfen: Impfstrategie zur Überwindung der Pandemie</p>
1.4	02.06.21	<p>Kapitel Coronatests &amp; Impfen: Lockerungen für genesene und geimpfte Personen</p>
1.3	28.05.21	<p>Redaktionelle Änderungen am Text und Layout</p>
1.2	21.05.21	<p>Weiterer Angaben zur Literatur.</p> <p>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<sub>2</sub>-Messung: CO<sub>2</sub>-Ausstoß beim Musizieren und Singen</p>
1.1	07.05.21	<p>Redaktionelle Änderungen am Text und Layout            Kapitel Wissenschaftliche Grundlagen: Mindestabstand beim Musizieren            Kapitel Coronatests &amp; Impfen: mehr Freiheit für Geimpfte            Kapitel Lüften &amp; Lüftungstechnik: konkrete Beispiele für verschiedene Luftreiner</p>
1.0	21.04.21	<p>Veröffentlichung von Grundlagen für das Musizieren unter Pandemiebedingungen</p>

## Literaturverzeichnis

- [Abd+20] Alireza Abdollahi u. a. “The Novel Coronavirus SARS-CoV-2 Vulnerability Association with ABO/Rh Blood Types”. In: *Iranian Journal of Pathology* 15.3 (2020), Seiten 156–160. ISSN: 1735-5303. DOI: [10.30699/ijp.2020.125135.2367](https://doi.org/10.30699/ijp.2020.125135.2367). eprint: [https://ijp.iranpath.org/article/\\_39842\\_eae7669eee8d65cc47ff0c700c489e63.pdf](https://ijp.iranpath.org/article/_39842_eae7669eee8d65cc47ff0c700c489e63.pdf). URL: [https://ijp.iranpath.org/article\\_39842.html](https://ijp.iranpath.org/article_39842.html) (siehe Seite 13).
- [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 21).
- [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 21).
- [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 20).
- [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 40, 49).
- [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, 40).
- [ATV21] Nikolaos Askitas, Konstantinos Tatsiramos und Bertrand Verheyden. “Estimating worldwide effects of non-pharmaceutical interventions on COVID-19 incidence and population mobility patterns using a multiple-event study”. In: *Scientific Reports* 11.1 (2021), Seite 1972. ISSN: 2045-2322. DOI: [10.1038/s41598-021-81442-x](https://doi.org/10.1038/s41598-021-81442-x) (siehe Seite 14).
- [Bag+21a] 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, 29, 31, 49).

- [Bag+21b] Gholamhossein Bagheri u. a. “Exhaled particles from nanometre to millimetre and their origin in the human respiratory tract”. In: *medRxiv* (2021), Seite 2021.10.01.21264333. DOI: [10.1101/2021.10.01.21264333](https://doi.org/10.1101/2021.10.01.21264333). URL: <http://medrxiv.org/content/early/2021/10/03/2021.10.01.21264333.abstract> (siehe Seiten 9, 12).
- [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 19, 20, 47).
- [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 44).
- [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](https://www.uni-weimar.de/fileadmin/user/fak/bauing/professuren_institute/Bauphysik/00_Aktuelles/Risikoeinschaetzung_zur_Ausbreitung_der_Atemluft.pdf) (siehe Seiten 12, 27).
- [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](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 29).
- [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 29, 30).
- [BfA22] BfArM. *Liste zugelassener Selbsttests*. 2022. URL: [https://www.bfarm.de/DE/Medizinprodukte/Antigentests/\\_node.html](https://www.bfarm.de/DE/Medizinprodukte/Antigentests/_node.html) (besucht am 31. 01. 2022) (siehe Seiten 23, 49).
- [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 22).

- [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 17).
- [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: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107475>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132320308428> (siehe Seite 33).
- [BM21] Prof. Dr. Dr. h.c. Bodenschatz und Rudolf Müller. *LAP-Adsorber*. 2021. URL: <https://blasmusik-nrw.de/aktuelles/forschungorchester> (besucht am 16. 04. 2021) (siehe Seite 34).
- [Boo+06] Dipl.-Ing. Dr. Rolf Boos u. a. “Bewertung Der Innenraumluft Physikalische Faktoren Kohlenstoffdioxid als Lüftungsparameter”. In: (2006) (siehe Seite 37).
- [Bou+22] Rachida Boukhari u. a. “ABO Blood Group Incompatibility Protects Against SARS-CoV-2 Transmission”. In: *Frontiers in Microbiology* 12 (2022). ISSN: 1664-302X. DOI: [10.3389/fmicb.2021.799519](https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.799519). URL: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fmicb.2021.799519> (siehe Seite 14).
- [Bra+21] Jan M. Brauner u. a. “Inferring the effectiveness of government interventions against COVID-19”. In: *Science* 371.6531 (2021), eabd9338. DOI: [10.1126/science.abd9338](https://doi.org/10.1126/science.abd9338). eprint: <https://www.science.org/doi/pdf/10.1126/science.abd9338>. URL: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.abd9338> (siehe Seite 15).
- [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 20).
- [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. Burrige 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 16, 29, 49).
- [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 19).
- [BZg21a] BZgA. *Long COVID: Langzeitfolgen von COVID-19*. 2021. URL: <https://www.infektionsschutz.de/coronavirus/basisinformationen/long-covid-langzeitfolgen-von-covid-19/> (besucht am 16. 01. 2023) (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 29).
- [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 Seiten 29, 31).
- [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 20).
- [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 19, 21).
- [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 34).
- [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 20).
- [Dav+23] Hannah E. Davis u. a. “Long COVID: major findings, mechanisms and recommendations”. In: *Nature Reviews Microbiology* (2023). ISSN: 1740-1534. DOI: [10.1038/s41579-022-00846-2](https://doi.org/10.1038/s41579-022-00846-2) (siehe Seiten 17, 18).
- [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](https://www.dfg.de/download/pdf/foerderung/corona_infos/positionspapier_aerosole.pdf) (siehe Seiten 11, 29).
- [Dit+20] Prof. Dr.-Ing. Achim Dittler u. a. “Stellungnahme des Expertenkreis Aerosole 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](https://mwk.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mwk/intern/dateien/Anlagen_PM/20201204_Stellungnahme_Aerosole_SARS_CoV2.pdf) (siehe Seiten 11, 13, 32, 33, 37).
- [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](https://mwk.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mwk/intern/dateien/pdf/Expertenkreis_Aerosole_-_2._Stellungnahme_02.pdf) (siehe Seiten 33, 35, 42).

- [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-verringern-der-virenlast-in-raeumen.html](https://www.dlr.de/content/de/artikel/news/2020/04/20201103_dlr-testet-filtersystem-zur-verringern-der-virenlast-in-raeumen.html) (besucht am 03. 11. 2020) (siehe Seite 34).
- [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, 44).
- [DS21] Tobias Dreischulte und Sven Schmiedl. “COVID-19-Report - Arzneimittel in Entwicklung, Prävention und Therapie”. In: *Techniker Krankenkasse* (2021). URL: <https://www.tk.de/techniker/gesundheits-und-medizin/behandlungen-und-medizin/infektionen/corona-virus/covid-19-report-2121758> (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, 27).
- [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 34).
- [EU] EU. *COVID-19 In Vitro Diagnostic Devices and Test Methods Database*. URL: <https://covid-19-diagnostics.jrc.ec.europa.eu/> (besucht am 25. 01. 2023) (siehe Seite 24).
- [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 22).
- [Fer+21] Neil Ferguson u. a. *Report 50: Hospitalisation risk for Omicron cases in England*. Technischer Bericht. Imperial College London, 2021. URL: <https://www.imperial.ac.uk/mrc-global-infectious-disease-analysis/covid-19/report-50-severity-omicron/> (besucht am 22. 12. 2021) (siehe Seite 20).
- [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 29).
- [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 19).
- [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 19).

- [FG21] Frauenhofer-Gesellschaft. *Healthy Air Initiative*. 2021. URL: <https://www.initiative-gesunde-raumluft.de> (besucht am 17. 03. 2021) (siehe Seite 36).
- [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 23).
- [Fre+22] Justin J. Frere u. a. “SARS-CoV-2 infection in hamsters and humans results in lasting and unique systemic perturbations after recovery”. In: *Sci. Trans. Med.* 14.eabq3059 (2022). URL: <https://www.science.org/doi/10.1126/scitranslmed.abq3059> (siehe Seite 18).
- [FVM21] Jördis Frommhold, Daniel Christian Vilser und Eberhardt Mehl. *Ärzte und Ärztinnenverband Long COVID*. 2021. URL: <https://long-covid-verband.de/long-covid/definition/> (besucht am 16. 01. 2023) (siehe Seite 18).
- [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, 12, 29, 30, 34).
- [Gal+21] Giorgos Galanis u. a. “The effectiveness of Non-pharmaceutical interventions in reducing the COVID-19 contagion in the UK, an observational and modelling study”. In: *PLOS ONE* 16.11 (Nov. 2021), Seiten 1–13. DOI: [10.1371/journal.pone.0260364](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260364). URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260364> (siehe Seite 15).
- [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, 27).
- [Geo+22] Carolin Elizabeth George u. a. “COVID-19 symptoms are reduced by targeted hydration of the nose, larynx and trachea”. In: *Scientific Reports* 12.1 (2022), Seite 4599. DOI: [10.1038/s41598-022-08609-y](https://doi.org/10.1038/s41598-022-08609-y) (siehe Seite 13).
- [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 46).
- [Gog+21] C. Gogoll u. a. “S1-Leitlinie Long-/Post-COVID”. In: *AWMF 020-027* (2021). URL: <https://register.awmf.org/de/leitlinien/detail/020-027> (siehe Seiten 17, 18).
- [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 17).
- [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 19).
- [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](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 21).
- [HK20] Anne Hartmann und Martin Kriegel. “Risikobewertung von virenbeladenen Aerosolen anhand der CO<sub>2</sub>-Konzentration”. 2020. URL: <http://dx.doi.org/10.14279/depositonce-10361.3> (siehe Seite 37).
- [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 20).
- [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. URL: [https://www.dguv.de/medien/ifa/de/pub/grl/pdf/2005\\_145.pdf](https://www.dguv.de/medien/ifa/de/pub/grl/pdf/2005_145.pdf) (siehe Seite 34).
- [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 33).
- [HSN21] Elisabeth Hösen-Seul und Rudolf Neuroth. “Informationen zum Einsatz von mobilen Luftreinigern”. In: *Auszüge aus der Expertenempfehlung VDI-EE 4300 Blatt 14* (2021). URL: [https://www.vdi.de/fileadmin/pages/mein\\_vdi/redakteure/publikationen/Informationen\\_zum\\_Einsatz\\_von\\_mobilen\\_Luftreinigern.pdf](https://www.vdi.de/fileadmin/pages/mein_vdi/redakteure/publikationen/Informationen_zum_Einsatz_von_mobilen_Luftreinigern.pdf) (siehe Seite 35).
- [Hu+21] Maogui Hu u. a. “Risk of SARS-CoV-2 Transmission among Air Passengers in China”. In: *Clinical infectious diseases* (2021). URL: <https://doi.org/10.1093/cid/ciab836> (siehe Seite 11).

- [IfS22] “Evaluation der Rechtsgrundlagen und Maßnahmen der Pandemiepolitik”. In: (2022). Herausgegeben von Sachverständigenausschuss §5 Abs. 9 nach IfSG. URL: <https://www.tagesschau.de/gutachten-sachverstaendigenrat-corona-101.pdf> (siehe Seite 15).
- [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, 17, 19).
- [IQW] IQWiG. *Sensitivität und Spezifität*. URL: <https://www.gesundheitsinformation.de/sensitivitaet-und-spezifitaet.html> (besucht am 26. 01. 2023) (siehe Seite 24).
- [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 25).
- [Joh22] JHU John Hopkins University & Medicine, Herausgeber. *Mortality Analyses*. 2022. URL: <https://coronavirus.jhu.edu/data/mortality> (besucht am 21. 01. 2022) (siehe Seite 19).
- [Käh21] Christian J. Kähler. “Trendwende durch Trennwände – Schutzscheiben vermindern das Risiko von Corona-Infektionen”. In: *PHYSIKKonkret* Nr. 56 (2021). URL: [www.physikkonkret.de](http://www.physikkonkret.de) (siehe Seite 27).
- [KFH20] Christian J. Kähler, Thomas Fuchs und Rainer Hain. *Können mobile Raumlufreiniger eine indirekte SARS-CoV-2 Infektionsgefahr durch Aerosole wirksam reduzieren?* Technischer Bericht. 2020. URL: <https://www.unibw.de/lrt7/raumlufreiniger> (siehe Seite 34).
- [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 27, 28, 32).
- [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 21).
- [Kra+22] Axel Kramer u. a. *Prävention von COVID-19 durch viruzides Gurgeln und viruziden Nasenspray – aktualisierte Fassung Februar 2022*. 2022. URL: [https://www.krankenhaushygiene.de/pdfdata/2022\\_03\\_02\\_Viruzides-Gurgeln.pdf](https://www.krankenhaushygiene.de/pdfdata/2022_03_02_Viruzides-Gurgeln.pdf) (siehe Seite 13).
- [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](https://doi.org/10.1101/2020.10.08.20209106). URL: <https://www.medrxiv.org/content/early/2020/11/05/2020.10.08.20209106> (siehe Seite 44).

- [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](https://doi.org/10.3390/ijerph17218114). URL: <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/21/8114> (siehe Seite 43).
- [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 19–21).
- [LS22] Anthonin Levelu und Alexander Sandkamp. “A lockdown a day keeps the doctor away: The effectiveness of non-pharmaceutical interventions during the Covid-19 pandemic”. In: (2022). <https://www.ifw-kiel.de/de/publikationen/kieler-arbeitspapiere/2022/a-lockdown-a-day-keeps-the-doctor-away-the-effectiveness-of-non-pharmaceutical-interventions-during-the-covid-19-pandemic-17298>. URL: [https://www.ifw-kiel.de/fileadmin/Dateiverwaltung/IfW-Publications/-ifw/Kiel\\_Working\\_Paper/2022/KWP\\_2221\\_A\\_lockdown\\_a\\_day\\_keeps\\_the\\_doctor\\_away\\_\\_The\\_effectiveness\\_of\\_non-pharmaceutical\\_interventions\\_during\\_the\\_Covid-19\\_pandemic/KWP\\_2221.pdf](https://www.ifw-kiel.de/fileadmin/Dateiverwaltung/IfW-Publications/-ifw/Kiel_Working_Paper/2022/KWP_2221_A_lockdown_a_day_keeps_the_doctor_away__The_effectiveness_of_non-pharmaceutical_interventions_during_the_Covid-19_pandemic/KWP_2221.pdf) (siehe Seite 14).
- [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](https://doi.org/10.1038/s41591-021-01316-7) (siehe Seiten 20, 47, 49).
- [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](https://doi.org/10.1038/s41591-021-01575-4) (siehe Seiten 20, 49).
- [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](https://doi.org/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](https://doi.org/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 24).
- [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 17).
- [LL+21] Sandra Lopez-Leon u. a. “More than 50 long-term effects of COVID-19: a systematic review and meta-analysis”. In: *Scientific Reports* 11.1 (2021), Seite 16144. ISSN: 2045-2322. DOI: [10.1038/s41598-021-95565-8](https://doi.org/10.1038/s41598-021-95565-8). URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95565-8> (siehe Seite 18).

- [MBEPM21] Alba Mendez-Brito, Charbel El Bcheraoui und Francisco Pozo-Martin. “Systematic review of empirical studies comparing the effectiveness of non-pharmaceutical interventions against COVID-19”. In: *Journal of Infection* 83.3 (2021). doi: 10.1016/j.jinf.2021.06.018, Seiten 281–293. ISSN: 0163-4453. DOI: [10.1016/j.jinf.2021.06.018](https://doi.org/10.1016/j.jinf.2021.06.018) (siehe Seiten 15, 16).
- [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](https://doi.org/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](https://doi.org/10.1056/NEJMp2025631). eprint: <https://doi.org/10.1056/NEJMp2025631>. URL: <https://doi.org/10.1056/NEJMp2025631> (siehe Seite 23).
- [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](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 32–34).
- [Mor20] 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-innenraumlufthygiene-zu> (siehe Seite 33).
- [MHI20] Miyu Moriyama, Walter J. Hugentobler und Akiko Iwasaki. “Seasonality of Respiratory Viral Infections”. In: *Annual Review of Virology* 7.1 (2020). PMID: 32196426, Seiten 83–101. DOI: [10.1146/annurev-virology-012420-022445](https://doi.org/10.1146/annurev-virology-012420-022445). eprint: <https://doi.org/10.1146/annurev-virology-012420-022445>. URL: <https://doi.org/10.1146/annurev-virology-012420-022445> (siehe Seite 13).
- [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 33).
- [Mür+21] Dirk Mürbe u. a. “Aerosol emission of adolescents voices during speaking, singing and shouting”. In: *PLoS ONE* 16 (2021), Seite 2. DOI: [10.1371](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246819). URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246819> (siehe Seite 27).
- [Neu18] Dr.-Ing. Heinz-Dieter Neumann. “Abschätzung der CO<sub>2</sub>-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 44).

- [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](https://www.aekwien.at/documents/263869/411179/Abstrichtechnik_Nasenrachen.pdf) (besucht am 01. 02. 2022) (siehe Seite 24).
- [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 44).
- [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 37).
- [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 43, 46).
- [Ost+22] Andreas Osterman u. a. “Impaired detection of omicron by SARS-CoV-2 rapid antigen tests”. In: *Medical Microbiology and Immunology* (2022). ISSN: 1432-1831. DOI: [10.1007/s00430-022-00730-z](https://doi.org/10.1007/s00430-022-00730-z) (siehe Seite 23).
- [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. URL: <https://www.pei.de/DE/newsroom/dossier/coronavirus/sicherheitsbericht-covid-19-impfstoffe-aktuell.html> (siehe Seiten 21, 22).
- [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 23).
- [Pet+22] Elina Larissa Petersen u. a. “Multi-organ assessment in mainly non-hospitalized individuals after SARS-CoV-2 infection: The Hamburg City Health Study COVID programme”. In: *European Heart Journal* 43.11 (2022), Seiten 1124–1137. ISSN: 0195-668X. DOI: [10.1093/eurheartj/ehab914](https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab914). URL: <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab914> (siehe Seite 17).
- [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/poschlwitt\\_stellungnahmegesichtsmasken\\_2021-06-28\\_final.pdf](https://www.mpic.de/4972349/poschlwitt_stellungnahmegesichtsmasken_2021-06-28_final.pdf) (besucht am 28. 06. 2021) (siehe Seiten 29, 31).

- [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, 17, 19).
- [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. 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 20).
- [Qia+20] Hua Qian u. a. “Indoor transmission of SARS-CoV-2”. In: *medRxiv* (2020). DOI: 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. 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).
- [Rab+21] Susanne Rabady u. a. “Leitlinie S1: Long COVID: Differenzialdiagnostik und Behandlungsstrategien”. In: *Wiener klinische Wochenschrift* 133.7 (2021), Seiten 237–278. ISSN: 1613-7671. DOI: 10.1007/s00508-021-01974-0. URL: <https://doi.org/10.1007/s00508-021-01974-0> (siehe Seiten 17, 18).
- [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. URL: <https://www.medrxiv.org/content/early/2021/07/22/2021.07.20.21260863> (siehe Seite 21).
- [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. URL: <https://www.medrxiv.org/content/early/2021/03/26/2021.03.25.21253694> (siehe Seiten 12, 27).
- [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. 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 20, 47).
- [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](https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/Krankenhaushygiene/Desinfektionsmittel/Desinfektionsmittellist/Desinfektionsmittelliste_node.html) (besucht am 03. 05. 2021) (siehe Seiten 11, 28).
- [RKI21a] RKI. *Epidemiologischer Steckbrief zu SARS-CoV-2 und COVID-19*. 2021. URL: [https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges\\_Coronavirus/Steckbrief.html](https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Steckbrief.html) (besucht am 25. 02. 2021) (siehe Seiten 9, 10, 26).

- [RKI21b] RKI. SARS-CoV-2: *Virologische Basisdaten sowie Virusvarianten*. 2021. URL: [https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges\\_Coronavirus/Virologische\\_Basisdaten.html](https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Virologische_Basisdaten.html) (besucht am 23. 02. 2021) (siehe Seite 9).
- [RKI22a] RKI. *Long COVID*. 2022. URL: [https://www.rki.de/SharedDocs/FAQ/NCOV2019/FAQ\\_Liste\\_Gesundheitliche\\_Langzeitfolgen.html](https://www.rki.de/SharedDocs/FAQ/NCOV2019/FAQ_Liste_Gesundheitliche_Langzeitfolgen.html) (besucht am 16. 01. 2023) (siehe Seite 18).
- [RKI21c] 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 24).
- [RKI21d] 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](https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Downloads/Vorbereitung_-_Herbst_-_Winter_.pdf?__blob=publicationFile) (besucht am 22. 07. 2021) (siehe Seite 20).
- [RKI21e] *Wöchentlicher Lagebericht des RKI zur Coronavirus-Krankheit-2019 (COVID-19) vom 06.01.2022*. Technischer Bericht. RKI, Robert Koch Institut, 2021. URL: [https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges\\_Coronavirus/Situationsberichte/Wochenbericht/Wochenbericht\\_2022-01-06.pdf](https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Situationsberichte/Wochenbericht/Wochenbericht_2022-01-06.pdf) (siehe Seiten 47, 51).
- [RKI21f] *Wöchentlicher Lagebericht des RKI zur Coronavirus-Krankheit-2019 (COVID-19) vom 13.01.2022*. Technischer Bericht. RKI, Robert Koch Institut, 2021. URL: [https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges\\_Coronavirus/Situationsberichte/Wochenbericht/Wochenbericht\\_2022-01-13.pdf](https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Situationsberichte/Wochenbericht/Wochenbericht_2022-01-13.pdf) (siehe Seite 51).
- [RKI21g] *Wöchentlicher Lagebericht des RKI zur Coronavirus-Krankheit-2019 (COVID-19) vom 16.12.2021*. Technischer Bericht. RKI, Robert Koch Institut, 2021. URL: [https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges\\_Coronavirus/Situationsberichte/Wochenbericht/Wochenbericht\\_2021-12-16.pdf](https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Situationsberichte/Wochenbericht/Wochenbericht_2021-12-16.pdf) (siehe Seite 20).
- [RKI21h] *Wöchentlicher Lagebericht des RKI zur Coronavirus-Krankheit-2019 (COVID-19) vom 23.12.2021*. Technischer Bericht. RKI, Robert Koch Institut, 2021. URL: [https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges\\_Coronavirus/Situationsberichte/Wochenbericht/Wochenbericht\\_2021-12-23.pdf](https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Situationsberichte/Wochenbericht/Wochenbericht_2021-12-23.pdf) (siehe Seite 51).
- [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](https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Vorl_Testung_nCoV.html) (besucht am 26. 01. 2022) (siehe Seite 24).
- [RW+20] Anna Romaszko-Wojtowicz u. a. "Relationship between biometeorological factors and the number of hospitalizations due to asthma". In: *Scientific Reports* 10.1 (2020), Seite 9593. DOI: [10.1038/s41598-020-66746-8](https://doi.org/10.1038/s41598-020-66746-8) (siehe Seite 13).
- [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 19, 20, 47).

- [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 22).
- [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](https://doi.org/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](https://www.wdrmaus.de/filme/sachgeschichten/maske_funktion.php5) (besucht am 15. 12. 2021) (siehe Seite 29).
- [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 20).
- [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 33).
- [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 24, 46, 49).
- [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, 44).
- [Sch+23] Oliver Schlenczek u. a. “Experimental measurement of respiratory particles dispersed by wind instruments and analysis of the associated risk of infection transmission”. In: *Journal of Aerosol Science* 167 (2023), Seite 106070. ISSN: 0021-8502. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2022.106070>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021850222001070> (siehe Seiten 9, 12).
- [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 22).

- [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 20, 47, 49).
- [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 19, 25, 27, 38, 40, 42).
- [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, 27).
- [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 40).
- [Ter21] Mathias Tertilt. *Herdenimmunität, Wann die Corona-Pandemie endet*. 2021. URL: <https://www.quarks.de/gesundheitsmedizin/warum-ein-impfstoff-die-pandemie-auch-2021-nicht-beendet/> (besucht am 28. 06. 2021) (siehe Seite 19).
- [TO21] Mathias Tertilt und Christopher Ophoven. *Wie viele Menschen sterben an Corona?* 2021. URL: <https://www.quarks.de/gesundheitsmedizin/wie-viele-menschen-sterben-an-corona/> (besucht am 15. 03. 2021) (siehe Seite 17).
- [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 30).
- [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 37).
- [Umw21] Umweltbundesamt. *Infektiöse Aerosole in Innenräumen*. 2021. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheitsmedizin/umwelteinfluesse-auf-den-menschen/innenraumluft/infektiuese-aerosole-in-innenraeumen#verwendete-quellen> (besucht am 17. 03. 2021) (siehe Seite 37).
- [Umw08] “Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft”. In: *Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz* 51 (2008). Herausgegeben von UBA Umweltbundesamt, Seiten 1358–1369. DOI: [10.1007/s00103-008-0707-2](https://doi.org/10.1007/s00103-008-0707-2) (siehe Seite 34).
- [U.S21a] 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 22).

- [U.S21b] FDA U.S. Food and Drug Administration, Herausgeber. *SARS-CoV-2 Viral Mutations: Impact on COVID-19 Tests*. 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 23).
- [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 22).
- [Vla+20] Panayiotis G Vlachoyiannopoulos u. a. “Autoantibodies related to systemic autoimmune rheumatic diseases in severely ill patients with COVID-19”. In: *Annals of the Rheumatic Diseases* 79.12 (2020), 1661 LP –1663. DOI: [10.1136/annrheumdis-2020-218009](https://doi.org/10.1136/annrheumdis-2020-218009). URL: <http://ard.bmj.com/content/79/12/1661.abstract> (siehe Seite 18).
- [Wan+22] Chengyue Wang u. a. “Long COVID: The Nature of Thrombotic Sequelae Determines the Necessity of Early Anticoagulation”. In: *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology* 12 (2022). ISSN: 2235-2988. DOI: [10.3389/fcimb.2022.861703](https://doi.org/10.3389/fcimb.2022.861703). URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fcimb.2022.861703> (siehe Seite 18).
- [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 46).
- [WHO19] WHO. *Tracking SARS-CoV-2 variants*. 2019. URL: <https://www.who.int/activities/tracking-SARS-CoV-2-variants> (besucht am 16. 01. 2023) (siehe Seite 16).
- [Wol18] Peder Wolkoff. “The mystery of dry indoor air – An overview”. In: *Environment International* 121 (2018), Seiten 1058–1065. ISSN: 0160-4120. DOI: [10.1016/j.envint.2018.10.053](https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.10.053). URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412018320725> (siehe Seite 13).
- [Yan+18] Jing Yan u. a. “Infectious virus in exhaled breath of symptomatic seasonal influenza cases from a college community”. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115.5 (2018). Herausgegeben von Walt Adamson u. a., Seiten 1081–1086. ISSN: 0027-8424. DOI: [10.1073/pnas.1716561115](https://doi.org/10.1073/pnas.1716561115). eprint: <https://www.pnas.org/content/115/5/1081.full.pdf>. URL: <https://www.pnas.org/content/115/5/1081> (siehe Seite 11).
- [Zem+76] Klaus Zemke u. a. *ticketmaster*. 1976. URL: <https://business.ticketmaster.de/news/datenerfassung-besucher-corona-zeitfenster-online-ticketing/> (siehe Seite 25).