

Stellungnahme: Aerosole & SARS CoV2 – Entstehung, Infektiosität, Ausbreitung & Minderung luftgetragener, virenhaltiger Teilchen in der Atemluft

Zusammenfassung & Empfehlungen

Aerosole, also gasgetragene flüssige oder feste Partikeln, werden **gegenwärtig als einer der wesentlichen Übertragungswege** für **SARS-CoV2** angesehen, wobei derzeit nicht abschließend geklärt ist, welcher Anteil der Ansteckungen tatsächlich auf Aerosole zurückzuführen ist. Durch **Atmen, Sprechen, Singen** oder **Schreien** – sowie durch **Husten** und **Niesen** emittieren Lebewesen Tröpfchen bzw. exhalierten zuvor eingeatmeten Feinstaub. Die mit der Luft ausgeatmeten Partikeln können dabei das Virus tragen. Die exhalierten Partikeln haben – je nach Aktivität – eine unterschiedliche Größe und werden mit unterschiedlicher Rate / in unterschiedlicher Konzentration ausgestoßen. **Tropfen verdunsten** – abhängig von ihrer Zusammensetzung, Größe und dem Zustand der umgebenden Luft (Sättigung) – unterschiedlich schnell. Zurück bleiben **feinste Nuklei**, die sich sehr **schnell um die Quelle und in (geschlossenen) Räumen** verteilen.

Eine Infektion kann immer auftreten, wenn infektiöses Virus auf die Schleimhäute des Atemtraktes einer empfänglichen Person trifft; je größer die Menge an infektiösen Viren, die eintritt, desto wahrscheinlicher wird die Infektion, zumindest im Mittel. Insofern sind sowohl die **Konzentration der infektiösen Viren** als auch die **Expositionsdauer** von **entscheidender Bedeutung**, eine **kritische Konzentration oder Zeit, bei deren Unterschreiten kein Risiko** bestünde, lässt sich jedoch nicht angeben. **Ebenso wenig kann man eine direkte Korrelation von Virusmenge und Dauer der Exposition angeben.** Es gibt aber Hinweise darauf, dass bei Exposition einer großen Virusmenge sowie in Abhängigkeit von der Penetrationstiefe im Atemwegstrakt (Partikeln $\leq 5 \mu\text{m}$ penetrieren tief in die Atemwege) der Krankheitsverlauf schwerer sein kann.

Die **Ansteckungsgefahr durch Aerosole** kann durch das **Atmen sauberer**, nicht mit Viren belasteter, **Atemluft** vermindert werden. Saubere – also nicht infektiöse – **Atemluft ist in der Regel in gut durchmischter Außenluft** bei genügend großem Abstand zu potentiell infektiösen Quellen vorhanden. Kommen sich Menschen näher, erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, dass man Exhalat anderer einatmet. Daher empfiehlt sich im **Außenbereich**:

- **Einhaltung großer Abstände** zu anderen Menschen – z.B. durch Wegführungen / Zonierungen
- **Aufenthaltsdauer in der Nähe von Menschen reduzieren** – z.B. durch Zugangs- und Aufenthaltskonzepte
- Wo **Abstände nicht eingehalten** werden können, empfiehlt sich das **korrekte Tragen einer möglichst wirksamen Maske**

In der kälteren Jahreszeit finden viele Zusammenkünfte von Menschen in **Innenräumen** statt. Hier kommt die **Qualität der Atemluft in Innenräumen** zum Tragen. Wesentlicher Baustein, ein Infektionsrisiko über Aerosole zu mindern, ist dabei die Sicherstellung sauberer Atemluft im Innenraum. Die **Zufuhr von Außenluft** über RLT-Anlagen oder Fensterlüftung / die **Abscheidung von Partikeln** stellen den **wirksamsten Weg der Minderung der Konzentration potentiell infektiöser Partikeln** in der Atemluft dar. Dies bedeutet:

- Ein **möglichst häufiger Luftaustausch** (Außenluftzufuhr) ist sicherzustellen - **Richtwerte für verschiedene Nutzungsszenarien** (wie z.B. **Büro, Klassenzimmer oder Hörsaal**) finden sich in Tabelle 6 ff.
- Dieser kann durch **richtiges, regelmäßiges Fenster-Lüften** erfolgen
 - **Ab einer Konzentration von 800 ppm CO₂ sollte gelüftet werden**
 - Zur **Ermittlung des Zeitpunkts eines Lüftens** und zur **Überprüfung des Lüftungs-Erfolgs** eignen sich genaue **CO₂-Messgeräte**

- **Stoß- und Querlüften** stellen die effizientesten Arten der **Fenster-Lüftung** dar
 - Alle Fenster weit öffnen („Kippen“ ist nicht „Lüften“)
 - Die **Lüftungsdauer** richtet sich nach der **Raumgröße**, der **Anzahl der Fenster** und dem **Temperaturunterschied** zwischen „innen“ und „außen“. Exemplarische Lüftungsdauern finden sich in Tabelle 7.

In Zeiten, in denen **Räume nicht ausreichend gelüftet werden** können oder in Situationen, die bspw. durch **viele Personenwechsel** gekennzeichnet sind, können hoch wirksame, **mobile Innenraumluftfilter** einen **zusätzlichen Baustein** zur Minderung der Partikelkonzentration in geschlossenen Innenräumen darstellen.

Zusätzlich können auch Technologien der Reinigung der Luft unter Voraussetzung eines Wirksamkeitsnachweises Mittel sein, um die Konzentration potentiell infektiöser Partikeln im Aerosol zu senken.

Lüften – oder auch Filtern/Reinigen der Luft – mindert jedoch alleine nicht das **Risiko** einer Infektion **durch kurzräumige Exposition** (bspw. durch direktes Anhusten). Daher sollten **neben Lüften und Filtern/Reinigen** auch in Innenräumen:

- Die Anzahl möglicher Quellen (**Anzahl an Personen**) **reduziert** werden
- **Abstände zu möglichen Quellen** maximiert werden
- Die **Aufenthaltsdauern** möglichst **kurzgehalten** werden
- Ausreichend groß dimensionierte **Plexiglas-Trennwände** zur **Minderung kurzzeitig kleinräumiger Exposition** nach Möglichkeit in bestimmten Situationen vorgesehen werden (z.B. in Kassen-Bereichen mit ständig wechselndem Kundenkontakt)
- **Wirkungsvolle Masken** zur Sicherstellung eines **bestmöglichen Fremd- wie Eigenschutzes richtig getragen** werden.

Das **korrekte Tragen** einer **wirkungsvollen Maske** ist im AHA+L-Konzept ein **essentieller Schutzbaustein**, dessen Wirkung gesteigert werden kann, wenn statt der nicht medizinischen Alltagsmasken bspw. sog. MNS (nach DIN 14683), FFP2-, KN95- oder N95-Halbmasken getragen werden (s. Frage 6).

Zusätzlich sollten die (bekanntesten) **Hygiene- und Verhaltensregeln** beachtet werden:

- **Hände ausreichend lange waschen & ggf. desinfizieren**
- **Nies- und Husten-Etikette einhalten** (z.B. in die Armbeuge)
- **Flächen geeignet reinigen** (Insbesondere Flächen, die häufig berührt werden, regelmäßig reinigen. Für Risikobereiche wie Krankenhäuser, Pflegeheime etc. liegen diesbezügliche Desinfektionspläne bereits vor.)
- **Bei Erkrankungszeichen**
 - **auf den Besuch** von chronisch kranken, abwehrgeschwächten Personen **verzichten**
 - **Kinder nicht in die Schule, Kita schicken**
 - **Erwachsene: nicht zur Arbeit gehen**

Vulnerable Personengruppen sind besonders schutzbedürftig. Hier kommen im medizinischen und öffentlichen Bereich sowohl **organisatorisch-logistische** als auch **baulich-technische Schutzmaßnahmen** zum Tragen, welche in den Tabellen 13-16 ausführlich und nach Personengruppen bzw. der räumlichen Nutzung differenziert dargestellt sind.

Zusammenfassend lässt sich festhalten: Die **konsequente Einhaltung** der **Kombination einer Vielzahl von wirksamen Einzelmaßnahmen mindert das Risiko** einer möglichen Infektion durch belastete Aerosole **bestmöglich**.

Stellungnahme: Aerosole & SARS CoV2 – Entstehung, Infektiosität, Ausbreitung & Minderung luftgetragener, virenhaltiger Teilchen in der Atemluft

Als **Aerosol** wird ein (heterogenes) Gemisch aus einem **Gas** und darin **schwebenden flüssigen oder festen Teilchen** verstanden, die sich mit der Luft frei durch den Raum bewegen können. Aerosole werden durch **Atmen, Sprechen, Husten, Niesen, Singen, Pusten, etc.** von Menschen emittiert und können bei infizierten Personen Viren enthalten und Infektionen übertragen.

Aerosole werden **gegenwärtig als einer der wesentlichen Übertragungswege für SARS-CoV2** angesehen, wobei derzeit nicht abschließend geklärt ist, welcher Anteil der Ansteckungen tatsächlich auf Aerosole zurückzuführen ist. Vor diesem Hintergrund hat sich der interdisziplinär zusammengesetzte „Expertenkreis Aerosole“ der Landesregierung Baden-Württemberg mit relevanten Fragenstellungen rund um „Aerosole“ befasst. Der **Expertenkreis** beschäftigt sich bezüglich dieser Fragestellungen mit **medizinisch/virologischen Fragen** bezüglich des **Vorhandenseins von Viren und des Erhalts der Infektiosität in Aerosolen** sowie mit **ingenieur-/naturwissenschaftlichen Fragestellungen** der **Ausbreitung und Minderung** luftgetragener, feinsten (potentiell infektiöser) Teilchen **in der Atemluft**.

In diesem Kontext werden vom Expertenkreis auch **übergeordnete Fragestellungen** aufgenommen und – so mit dem heutigen Stand des Wissens möglich – bestmöglich im Rahmen dieser ersten Stellungnahme **beantwortet**.

I. Virologische und medizinische Aspekte des Vorhandenseins von Viren und des Erhalts ihrer Infektiosität in Aerosolen

Verantwortliche für dieses Themenpaket: Prof. Dr. Hans-Georg Kräusslich, Stefan Brockmann, Prof. Dr. Thomas Iftner, Prof. Dr. Jennifer Niessner

Im Folgenden werden die von der Lenkungsgruppe gestellten Fragen im Kontext des aktuellen Wissens zu SARS-CoV-2 behandelt, wobei manche Aspekte derzeit nicht geklärt sind. In der Diskussion der Arbeitsgruppe wurde einvernehmlich festgestellt, dass **eine Angabe von Schwellenwerten oder Grenzkonzentrationen für die Übertragung einer Infektion nicht möglich ist, da zu viele Parameter mitspielen** (z.B. Interindividualität, Zeit nach Infektion der Quellperson, Umgebungsbedingungen, Gruppengröße, Anzahl an potentiellen Quellen im Raum, Virusvariante usw.). Insofern kann man die konkreten Fragen bezüglich kritischer Menge und Zeit mit dem derzeitigen Stand des Wissens nicht abschließend beantworten.

1. Wieviel virenbeladene Aerosole stößt ein infizierter Mensch aus? Nach welcher Zeit befindet sich eine kritische Konzentration in der Luft (in Abhängigkeit körperlicher Aktivitäten) um sie/ihn herum?

SARS-CoV-2 kann durch kontaminierte unbelebte Gegenstände, durch große Tröpfchen oder durch luftgetragene Aerosole übertragen werden. Große Tröpfchen werden vor allem freigesetzt beim Husten und Niesen und in geringerem Ausmaß beim Sprechen. Aerosole entstehen bei allen Formen der Aktivität. Große Tröpfchen fallen nach kurzer Zeit in einem Abstand von 1-2 m zu Boden; sie werden aufgenommen durch Mund, Augen und Nase. Aerosole können über längere Zeit in der Luft verbleiben, dabei größere Strecken zurücklegen und sich im Innenraum anreichern. Sie werden ebenfalls über die Atemwege aufgenommen.

Die Frage der Bedeutung der einzelnen Pfade für das Infektionsgeschehen insgesamt ist derzeit noch nicht abschließend beantwortet. Während die WHO primär von einer direkten Infektion durch größere Tröpfchen ausgeht, sehen andere Wissenschaftler eine deutlich größere Rolle bei den luftgetragenen Partikeln. „Super spreading events“ sowie die Tatsache,

dass sich viele Menschen eher im Innenraum anstecken, sind Hinweise darauf, dass der Einfluss luftgetragener Aerosole auf das Infektionsgeschehen relevant ist (siehe Tabellen 1 und 2).

Tabelle 1: Schematische Darstellung der derzeitigen Evidenz bezüglich der Übertragungswege größere Tröpfchen, Gegenstände & Aerosole
(Quelle: <https://tinyurl.com/FAQ-aerosols>)

| | Droplets | Fomites | Aerosols | Key: |
|---|----------|---------|----------|----------------------|
| Outdoors << Indoors | X | ✓ | ✓✓ | ✓: evidence |
| Similar viruses demonstrated | X | ✓ | ✓ | ✓✓: very strong ev. |
| Animal models | ? | ✓ | ✓ | X: no evidence |
| Superspreading events | X | X | ✓✓ | X: evidence against |
| Supersp. Patterns similar to known aerosol diseases | n/a | n/a | ✓ | n/a: not applicable |
| Importance of close proximity | ✓ | X | ✓✓ | (v1.45, 13-Sep-2020) |
| Consistency of close prox. & room-level | X | X | ✓ | |
| Physical plausibility (talking) | X | ✓ | ✓ | |
| Physical plausibility (cough, sneeze) | ✓ | ✓ | ✓ | |
| Impact of reduced ventilation | X | X | ✓ | |
| SARS-CoV-2 infectivity demonstrated in real world | X | X | ✓ | |
| SARS-CoV-2 infectivity demonstrated in lab | X | ✓ | ✓ | |
| "Droplet" PPE works reasonably well | ✓ | ✓ | ✓ | |
| Transmission by a/pre-symptomatics (no cough) | X | ✓ | ✓ | |
| Infection through eyes | ✓ | ✓ | ✓ | |
| Transmission risk models | ✓ | ✓ | ✓ | |

Only including the items that could bear on multiple pathways. See other slides for details and references

Table: [preliminary summary of the evidence](#) supporting each of the three routes of transmission. Aerosols has the most supporting evidence. Fomites has significant supporting evidence. Ballistic droplets have very little supporting evidence.

Tabelle 2: Beispiele vermuteter aerogener SARS-CoV2-Infektionen bzw. Infektionsgefahren

| Ort | Situation | Beschreibung | Quelle |
|----------------------------|--------------------------|---|---|
| Skagit County, USA | Chorsingen | 2,5 h Probe Infektionsrate 53 – 87 % (PCR-bestätigte / klinisch-epidemiologische Fälle); Infektionsübertragungen durch ballistische Tröpfchen , sonstige Ansteckungsträger oder Körperkontakt wurden weitgehend ausgeschlossen. | Miller et al https://doi.org/10.1111/ina.12751 Hamner et al. DOI: 10.15585/mmwr.mm6919e6 |
| Guangzhou, China | Restaurant | Drei Familien an separaten Tischen im Strom eines Umluft-Klimagerätes bei geringer Frischluftzufuhr um 3 m³/h pro Person | Li et al. Preprint DOI: 10.1101/2020.04.16.20067728 Lu et al DOI: 10.3201/eid2607.200764 Buonanno et al. DOI: 10.1016/j.envint.2020.106112 |
| Rheda-Wiedenbrück, D | Fleischzerlegungsbetrieb | Kühlraumarbeitsplätze Infektionsradius 8 m um den Indexfall | Günther et al. DOI: 10.2139/ssrn.3654517 |
| Provinz Hunan, China | Transport | 2,5 h Reisebus ; 1 h Minibus; Keine Maske; Infektionen bis 4,5 m Abstand | Luo et al. DOI: 10.1093/ofid/ofaa430 |
| Cheonan, Südkorea | Fitness-Studio | Intensives Gruppen-Tanztraining in kleinen Räumen, 50 min bis 4 h | Jang et al. DOI: 10.3201/eid2608.200633 |
| University of Florida, USA | Krankenhaus | Vitale SARS-CoV-2 in Luftsammelproben 2 und 4,8 m entfernt von Patienten gefunden | Lednicky et al. DOI: 10.1016/j.jid.2020.09.025 |
| Wuhan, China | Krankenhaus | SARS-COV-2-RNA in Luftproben einer Isolier-Intensivstation bei Luftwechselrate von 12 bis 16/h gefunden; Hauptsächlich, nicht ausschließlich abstromseitig von Patienten bis 4 m | Guo et al. https://dx.doi.org/10.3201/eid2607.200885 |
| Hong Kong | Krankenhaus | Keine SARS-CoV-2-RNA in Luftproben bei LW 12/h positiv auf Handy, Beträndern, Toilettentürkgriffen | Cheng et al. DOI: 10.1017/ice.2020.282 |

Für andere Viren, die über den Atemwegstrakt aufgenommen werden, ist die Übertragung durch Aerosole gesichert, wobei hier zum Teil eine wesentlich höhere Übertragungswahrscheinlichkeit als für SARS-CoV-2 besteht (hoher R-Wert; z.B. Masern); auch für das 2003 neu aufgetretene SARS-CoV-1 ist die Aerosolübertragung als möglicher Übertragungsweg gesichert. Im **Tiermodell** konnte die **Übertragung von SARS-CoV-2 durch Aerosole nachgewiesen** werden. Im Modell mit Syrischen Hamstern reichten z.B. 1000 infektiöse Viren aus um eine 100% Infektionsrate zu erzielen ([Imai et al.](#)). Neben der prinzipiellen Möglichkeit der Aerosolübertragung ist für die Übertragungswahrscheinlichkeit insbesondere die Virusmenge im oberen Atemwegstrakt des Überträgers von Bedeutung, die bei verschiedenen Personen unterschiedlich ist, aber auch bei asymptomatisch infizierten Personen hoch sein kann (s.u.).

Einer der **Hauptgründe für die unterschiedliche Sichtweise** der Bedeutung des Pfades „Aerosole“ für das Infektionsgeschehen liegt **vermutlich** in der **unterschiedlichen Definition** der Tröpfchen bzw. Aerosole. Die WHO legt die Grenze auf 5 µm fest, während eine Gruppe Internationaler Experten rund um Prof. Jimenez die Grenze eher bei 100 µm sieht. Hierdurch kommt es bei der Bewertung von Messwerten zu stark unterschiedlichen Ergebnissen. Die Grenze bei 5 µm erscheint für die Definition als Aerosol angemessener, da Partikeln von 100 µm Durchmesser bereits nach 6 Sekunden zu Boden sinken und daher als nicht luftgetragen angesehen werden können; Partikeln von 5 µm Durchmesser brauchen dagegen bei absoluter Windstille über 40 Minuten, um von einer Höhe von 2 Metern zu Boden zu sinken.

Die typischen gemessenen Partikelgrößenverteilungen direkt am Mund (beispielsweise beim Sprechen) liegen laut den Arbeiten von [Xie et al.](#) und [Chao et al.](#) zwischen 1 und 1.000 µm und haben ihr Maximum zwischen 10 und 100 µm Durchmesser. Die Arbeiten von [Morawska et al.](#) und [Mürbe et al.](#) kommen auf Partikelgrößenverteilungen mit deutlich niedrigerem Durchmesser von unter 5 µm. Hier wurde jedoch nicht der Luftraum direkt vor dem Mund untersucht, sondern in einer geänderten Versuchsumgebung erst eine Homogenisierung der Luft mittels einer „baffle faceplate“ durchgeführt und in einem Abstand von 80 cm gemessen. Die Menge an ausgestoßenen luftgebundenen Aerosolen variiert stark von Person zu Person (Tabelle 3). Beim Atmen durch die Nase wurden ca. 25 Partikel/s, beim Sprechen ca. 200 Partikel/s und beim Singen ca. 2.000 Partikel/s gemessen ([Hartmann et al.](#), [Buonano et al.](#); Tabelle 3 und 4). Beim Husten liegt der Partikelaustritt noch deutlich höher (Tabelle 4). In anderen Arbeiten werden ähnliche Werte berichtet: beim Sprechen von “Hello, World!” wurden jeweils 5 nl und 30 virale RNA Kopien und bei einem Hustenstoß 125 nl und 900 virale RNA Kopien RNA, erzeugt ([Johnson et al.](#); [Wölfel et al.](#)). Die Verteilung von Aerosolen im Raum erfolgt rasch, im Wesentlichen in Folge der von Wärmequellen und den anwesenden Personen ausgehenden Konvektionsströme.

Tabelle 3: Minimum, Maximum & Medianwert der Partikelemissionsrate (Partikel/s) beim Atmen, Sprechen & Singen (Quelle: Mürbe et al.); S1-S8 entspricht Messungen bei verschiedenen Personen

| ID | breathing | | | speaking | | | singing | | |
|----|-----------|--------|--------|----------|--------|--------|---------|---------|---------|
| | Min | Median | Max | Min | Median | Max | Min | Median | Max |
| S1 | 4.71 | 4.71 | 310.46 | 136.46 | 390.84 | 677.64 | 946.24 | 1552.39 | 2666.86 |
| S2 | 84.72 | 428.55 | 508.16 | 14.13 | 61.24 | 84.72 | 5370.32 | 6095.37 | 7177.94 |
| S3 | 14.13 | 14.13 | 18.84 | 32.96 | 61.24 | 79.98 | 1399.59 | 1761.98 | 2009.09 |
| S4 | 4.71 | 28.25 | 183.65 | 164.82 | 296.48 | 570.16 | 1256.03 | 1761.98 | 1954.34 |
| S5 | 9.42 | 11.53 | 28.25 | 42.36 | 70.63 | 84.72 | 630.96 | 753.36 | 997.70 |
| S6 | 4.71 | 56.49 | 457.09 | 4.71 | 14.13 | 37.67 | 734.51 | 860.99 | 970.51 |
| S7 | 4.71 | 12.47 | 131.83 | 28.25 | 47.10 | 84.72 | 881.05 | 1078.95 | 1253.14 |
| S8 | 4.71 | 6.67 | 32.96 | 122.46 | 127.06 | 805.38 | 941.89 | 1520.55 | 1694.34 |

Tabelle 4: Minimum, Maximum & Medianwert der Partikelemissionsrate (Partikel/s) beim Atmen durch Mund bzw. Nase, beim Sprechen und beim Husten (Quelle: Hartmann et al.)

| | Breathing through the nose | Breathing through the mouth | Speaking | Coughing |
|--------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------|------------------|
| Average value | 23 P/s | 134 P/s | 195 P/s | 13,709 P/Cough |
| Minimum | 0 P/s | 7 P/s | 17 P/s | 181 P/ Cough |
| Maximum | 296 P/s | 1018 P/s | 626 P/s | 287,697 P/ Cough |
| Number of subjects | 10 (4 f/6 m) | 18 (8 f/10 m) | 17 (8 f/9 m) | 8 (4 f/4 m) |

Bei **symptomatischer Erkrankung der oberen Atemwege** ist generell von einem **erhöhten Ausstoß von Tröpfchen und Aerosolen auszugehen**, wobei dies vermutlich für alle Infektionserreger gilt, die Symptome der oberen Atemwege verursachen. In Arbeiten welche die Abhängigkeit von Viruslast (mit PCR gemessen als C_t) und Symptomatik mit Anzahl von Partikeln $< 4\mu\text{m}$ bzw $>4\mu\text{m}$ bestimmten, konnten 5 Tage nach Infektion bei einem symptomatischen Patienten (mit Symptomen wie Husten und Atemnot) und einem C_t von 18,45 insgesamt 2000 Partikeln $>4\mu\text{m}$ bzw 1384 Partikeln mit 1-4 μm am Tag der Luftprobenahme pro Zeiteinheit gemessen werden, während im Vergleich bei einem asymptomatisch Infizierten mit einem C_t von 20,11 insgesamt 927 Partikeln $>4\mu\text{m}$ und 916 mit 1-4 μm im vergleichbaren Zeitraum gemessen wurden. ([Chia et al.](#)). Offensichtlich wird beim Husten und Niesen ein vermehrter Ausstoß sowohl größerer als auch kleinerer Tröpfchen entstehen, wobei derzeit kein Hinweis darauf vorliegt, ob dies bei vergleichbarer Stärke der Symptomatik abhängig vom Erreger unterschiedlich sein kann. Ebenfalls derzeit nicht bekannt ist, ob auch bei asymptomatischer Infektion mit SARS-CoV-2 ggf. ein erhöhter Ausstoß von Tröpfchen und/oder Aerosolen auftreten kann.

2. Was wissen wir über das Überleben der SARS-CoV-2 Viren an Aerosolen unter verschiedenen Bedingungen (z. B. Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit) und über die Zeit (Lebensdauer, Infektiosität)?

Ausgehend von Untersuchungen zur Virusmenge bei infizierten Personen ([Wölfel et al.](#); 7×10^6 Viruskopien im Durchschnitt und maximal $2,35 \times 10^9/\text{ml}$ im Rachenabstrich) haben [Stadnytskyi](#)

[et al.](#) die Wahrscheinlichkeit berechnet, mit der ein Tröpfchen in Abhängigkeit seiner Größe Virus RNA enthält. Bei einem 50 µm Partikel beträgt diese 37%, bei 10 µm 0,37%, und bei einem Tröpfchenkern von 1 µm 0,01%. Dementsprechend ist nach dieser Untersuchung die Wahrscheinlichkeit, dass ein Tröpfchen mehr als ein Viruspartikel enthält vernachlässigbar. Bei Partikelemissionsraten von mehreren Hundert bis mehreren Tausend Partikeln pro Sekunde (s.o.) ist demnach davon auszugehen, dass beim Sprechen oder Singen Viruspartikeln im Aerosol enthalten sind. Dementsprechend wurde in verschiedenen Untersuchungen die Erbinformation des SARS-CoV-2 in Tröpfchen nachgewiesen. Hierbei muss allerdings zusätzlich berücksichtigt werden, dass der Nachweis der viralen Nukleinsäure nicht direkt mit infektiösem Virus gleichzusetzen ist. Untersuchungen zum Vorhandensein von infektiösem Virus in Tröpfchen unterschiedlicher Größe ergeben derzeit kein einheitliches Bild. Es ist aber davon auszugehen, dass sowohl größere Tröpfchen als auch die dehydrierten Nuklei im Aerosol infektiöses SARS-CoV-2 enthalten können.

In die Luft ausgestoßenen Tröpfchen wird praktisch unmittelbar durch die Verdunstung Flüssigkeit entzogen und es bildet sich ein deutlich kleinerer Nukleus als Schwebeteilchen, das Salz, Virus und weitere Biomoleküle enthalten kann. Die Stabilität des Virus ist generell bei niedriger Temperatur größer ([Riddell et al.](#)). Die Hydratisierung der Nuklei ist ggf. bei höherer Luftfeuchte besser, was den Erhalt der Infektiosität des Virus verbessern könnte. Bei trockener Luft (35% rel. Feuchte; 23°C) entsteht aus einem 30 µm Tröpfchen in <1 s ein Nukleus, der sich innerhalb dieser Zeit ca. 1 m von Quelle zu Empfänger ausbreiten kann ([Liu et al.](#)). So können bereits geringe Unterschiede in der Luftfeuchtigkeit große Auswirkungen auf die Stabilität haben. Während bei einer relativen Luftfeuchte von 65% die Halbwertszeit des infektiösen Virus in Aerosolen 1,1 Stunden betrug ([van Doremalen, et al.](#)), war die korrespondierende Halbwertszeit bei 53% relativen Luftfeuchte bei 16 Stunden ([Fears et al.](#)).

3. Welcher Konzentrationsbereich an eingeatmeten virenbeladenen Aerosolen ist kritisch (mögliche Unterschiede gesunde bis vorbelastete Menschen) bzw. gibt es überhaupt eine unkritische Konzentration und damit einen Schwellenwert? Hängt Infektionsverlauf und –schwere mit der Anzahl inhalierten Viren zusammen? Welche Rolle spielt die Expositionsdauer versus Konzentration?

Eine Infektion kann immer auftreten, wenn infektiöses Virus auf die Schleimhäute des Atemtraktes einer empfänglichen Person trifft; je größer die Menge an infektiösen Viren, die eintritt, desto wahrscheinlicher wird die Infektion, zumindest im Mittel. Insofern sind sowohl die **Konzentration** der infektiösen Viren als auch die **Expositionsdauer** von entscheidender Bedeutung, eine **kritische Konzentration oder Zeit, bei deren Unterschreiten kein Risiko bestünde, lässt sich jedoch nicht angeben. Ebenso wenig kann man eine direkte Korrelation von Virusmenge und Dauer der Exposition angeben.** Es gibt aber Hinweise darauf, dass bei Exposition einer großen Virusmenge sowie in Abhängigkeit von der Penetrationstiefe im Atemwegstrakt (Partikeln ≤ 5 µm penetrieren tief in die Atemwege) der Krankheitsverlauf schwerer sein kann.

II. Ingenieurwissenschaftliche/naturwissenschaftliche Aspekte der Ausbreitung und Minderung gasgetragener Partikeln

Verantwortliche für dieses Themenpaket: Prof. Dr. Jennifer Niessner, Prof. Dr. Achim Dittler, Prof. Dr. Gunnar Grün, Prof. Dr. Michael Haibel, Prof. Dr. Boris Mizaikoff, Prof. Dr. Konstantinos Stergiaropoulos

4. Wie erfolgt die Verteilung der ausgestoßenen Aerosole im Raum (leer versus mit Mobiliar, Menschen, Schulranzen)? Wo reichern sich möglicherweise virenbeladene Aerosole im Raum unter verschiedenen Gegebenheiten (z. B. ohne jegliche Lüftung, mit Fensterlüftung, mit RLT-Anlagen unter unterschiedlich hoher Frischluftzufuhr) an?

Aerosole können sich mit der **Luftströmung** frei durch den Raum bewegen. Dabei kann eine Luftströmung alleine schon konvektiv durch **Temperaturunterschiede** im Raum erzeugt werden. Beispiele von **thermischen Strömungserzeugern** sind die Auftriebsströmungen an warmen Heizkörpern, Abtriebsströmungen an kühlen Außenwänden oder aufsteigende Luft an Menschen, elektrischen Verbrauchern wie Fernseher, Bildschirmen und Lampen. **Geöffnete Fenster** erzeugen auch thermisch induzierte Luftströmungen, wobei die kalte und damit schwerere Außenluft durch die Fensteröffnung in den Raum fällt, sich als Kaltluftsee am Boden ausbreitet und dabei die warme und damit leichte Raumluft mit den darin enthaltenen Aerosolen aus dem Fenster nach draußen verdrängt. Der **Luftaustausch** durch geöffnete Fenster (**Fensterlüftung**) ist witterungsabhängig und **hängt maßgeblich von der Temperatur und der Windgeschwindigkeit der Außenluft ab**.

Der Luftaustausch bei Einsatz von Lüftungsanlagen (**RLT-Anlagen**) erfolgt durch die darin verbauten Ventilatoren. Dabei wird Außenluft angesaugt, gefiltert und temperiert und als konditionierte Zuluft über Durchlässe in den Raum eingeblasen. Bei entsprechender Platzierung der Durchlässe entsteht im Raum eine großräumige, raumgreifende Luftströmung. Gleichzeitig wird Raumluft aus dem Raum abgesaugt und an die Umgebung abgegeben. Mit dieser abgesaugten **Abluft** werden auch **Aerosole** aus dem Raum abtransportiert. Es findet ein **Luftaustausch** statt, der **nicht vom klimatischen Zustand der Außenluft abhängt**. Heutige RLT-Anlagen werden mit einer Wärmerückgewinnung ausgestattet, so dass ca. 80% der Heizenergie wieder dem Raum zurückgeführt wird.

Bei einem **Quelllüftungssystem** (auch Schichtlüftung genannt) wird die Zuluft impulsarm mit geringer Geschwindigkeit und mit Untertemperatur gegenüber der Raumlufttemperatur meist in Bodennähe in den Raum eingebracht. Aufgrund der Temperatur- bzw. Dichtedifferenz stellt sich eine Schicht über die gesamte Bodenfläche in der Anforderungszone ein, welche eine bestimmte Höhe besitzt. Innerhalb dieser Schicht ist die Luftqualität nahezu identisch mit der Zuluftqualität. Die Luft erwärmt sich an den Wärmequellen im Raum, die zumeist auch Stoffquellen (Personen) sind und wird durch die thermischen Auftriebsströmungen nach oben gefördert. Somit wird der Raum in einen unteren Aufenthaltsbereich von Personen (Anforderungszone) mit geringer Stoffkonzentration und einen oberen Bereich (Restzone), in dem sich die Verunreinigungen sammeln, geteilt. Die Abluft muss daher in Deckennähe abgeführt werden.

Personen im Raum wirken sowohl als **primäre Aerosol-Quellen** als auch aufgrund ihrer Körperwärme als thermische Strömungserzeuger. Dadurch wird um die Person eine Auftriebsströmung erzeugt, die über die aufsteigende Luft eine Art von Luftschlauch um die Person ausbildet. Dieser aufsteigende Luftschlauch kann sowohl eine abschirmende Wirkung gegenüber der umgebenden aerosolhaltigen Raumluft sein, als auch ein **Transportvehikel für Aerosole aus dem bodennahen Bereich** des Raums.

Jede Art von Gegenständen im Raum stellen für die Raumströmungen **Strömungshindernisse** und **Strömungsumlenkungen** dar. Insbesondere dann, wenn sich ein Strömungshindernis quer zur Strömungsrichtung der Raumströmung befindet, kann es im

Strömungsschatten des Hindernisses zu einem **Stagnationsgebiet** kommen, in dem es zu keinem Luftaustausch und damit zu einer verringerten Abfuhr von Aerosolen kommt. Diese Stagnationsgebiete können sich insbesondere auch in Raumecken ausbilden. Strömungshindernisse jeglicher Art (Stellwände, Möblierung, etc.) stellen **kein Mittel** dar, die **Ausbreitung von Aerosolen** im Raum über längere Zeit zu verhindern und sind zudem im Hinblick auf eine mögliche Brandlast und die Sicherstellung von Fluchtwegen sicherheitstechnisch zu betrachten.

5. Gibt es einen (negativen) Zusammenhang zwischen Virenbelastung und Zeit nach der Emission unter Beachtung von z.B. Verdunstung, Koagulation, Abscheidung? Können diese Erkenntnisse in die Überwachung der Luftqualität (bisher auf CO₂ fokussiert) einfließen?

Die von Personen emittierten Aerosolpartikeln bestehen im Wesentlichen aus Wasser, Salz und Schleim. In Abhängigkeit ihrer Größe, der relativen Luftfeuchte und der Temperatur **verdunstet der Wasseranteil** in den Tröpfchen für typische Raumbedingungen relativ schnell, oft in weniger als 1 Sekunde. Übrig bleibt ein sog. Tropfennukleus aus Salz und eingetrocknetem Schleim, der komplett andere Strömungseigenschaften aufweist als das Ausgangsaerosolpartikel.

Der **Kohlenstoffdioxid-(CO₂)-Gehalt** in der Innenraumlufte ist ein anerkannter Indikator für die Raumluftqualität und kann somit zur Steuerung von Lüftungsmuster und -dauer herangezogen werden. Gemäß gültigen Normen und Richtlinien wird die Qualität der Innenraumlufte bei einer CO₂-Konzentration < 800 ppm (0,08%) als hoch eingestuft, sodass dieser Grenzwert vielfach als zu beachtender Regelparameter (z.B. Klima- bzw. Lüftungsanlagen) eingesetzt wird.

Es werden derzeit mehrere Grenzwerte der CO₂-Konzentrationen im Raum diskutiert, ab denen gelüftet werden soll. Hierzu ist zunächst anzumerken, dass **die CO₂-Konzentration in der Raumlufte kein Maß für eine mögliche Aerosol- und/oder Virenbelastung** im Raum ist. Unabhängig davon sollte eine möglichst hohe Raumluftqualität angestrebt werden. Die CO₂-Konzentration ist aber ein Maß für die **Qualität der Raumlufte**. Dabei gilt:

- hohe Raumluftqualität: CO₂-Konzentration ≤ 800 ppm
- mittlere Raumluftqualität: CO₂-Konzentration > 800 -1000 ppm
- mäßige Raumluftqualität: CO₂-Konzentration >1000 -1400 ppm
- niedrige Raumluftqualität: CO₂-Konzentration > 1400 ppm

Dabei sind Werte von 800 ppm für hohe Luftqualität und 1000 ppm für mittlere Luftqualität nicht als physiologisch eindeutig zuordenbare Grenzwerte zu verstehen, sondern vielmehr als **technische Richtwerte**, die einen bestimmten Qualitätsbereich der Raumlufte kennzeichnen.

Die Aufrechterhaltung der Luftqualität und die Reduktion der Aerosolbelastung in der Raumlufte erfordert unter anderem ein ausreichendes Lüften der Räume. Das Gremium ist der Überzeugung, dass ein Maß für das ausreichende Lüften eines Raumes die dadurch erzeugte Raumluftqualität ist. Eine **hohe Luftqualität**, gekennzeichnet durch eine **CO₂-Konzentration < 800 ppm** ist dabei ein Lüftungszustand, der auch den **besten Ansatz zur Reduktion der Aerosolbelastung** im Raum bietet. Daher würde das Gremium einen **technischen Richtwert von 800 ppm CO₂ für das Lüften** empfehlen, wiewohl derzeit keine Hinweise vorliegen, dass eine mittlere Luftqualität mit **1000 ppm CO₂** nicht ausreichend wäre.

Es ist zu beachten, dass die CO₂-Konzentration in Innenräumen von einer Vielzahl an Faktoren abhängt, die neben der grundlegenden anthropogenen Emission durch Ausatmung Faktoren

wie die Raumgröße, Raumbelugung, Belegungsdichte, generelle Belüftungssituation, Zeitdauer der Raumnutzung, Anzahl der Personen und deren Aktivität, etc. umfasst.

Nach dem derzeitigen Wissensstand liegt **keine nachgewiesene generelle Korrelation zwischen der Aerosol- und CO₂-Konzentration** in Innenräumen vor. Gleiches gilt daher für einen möglichen Zusammenhang zwischen der CO₂-Konzentration und einer möglichen Virenbeladung der Aerosole bzw. der Innenraumluft. Dennoch kann die **Überwachung der CO₂-Konzentration als Indikator** für den **Zeitpunkt notwendiger Lüftungsmaßnahmen** dienen, da eine bessere Durchlüftung wiederum einer Reduktion der Aerosolbelastung zuträglich ist.

6. Wie effektiv sind Maßnahmen, die Virenquellen – also den Eintrag in einen Raum - zu mindern? Welche Maßnahmen gibt es? Wie wirken diese?
Wie kann man das Einatmen infektiöser Aerosole reduzieren? Welche Gegenmaßnahmen schützen?

Bei den Virenquellen unterscheiden wir zwischen **Primärquellen** (Personen) und **Sekundärquellen** (Oberflächen, auf denen sich Tröpfchen abgeschiedenen haben), die aus diversen Gründen wieder aufgewirbelt werden können. Im Folgenden fokussieren wir uns auf **Primärquellen**. In Bezug auf die Ermittlung der Bedeutung von Sekundärquellen besteht weiterer Forschungsbedarf.

Primärquellen können **gemindert** werden durch die Limitierung der **Anzahl Personen** und der **Aufenthaltsdauer** in einem Raum (Zugangskontrolle), durch **Abstand** (Vermeidung von direkter Exposition) und durch das Tragen von **Masken**, siehe Abbildung 1.

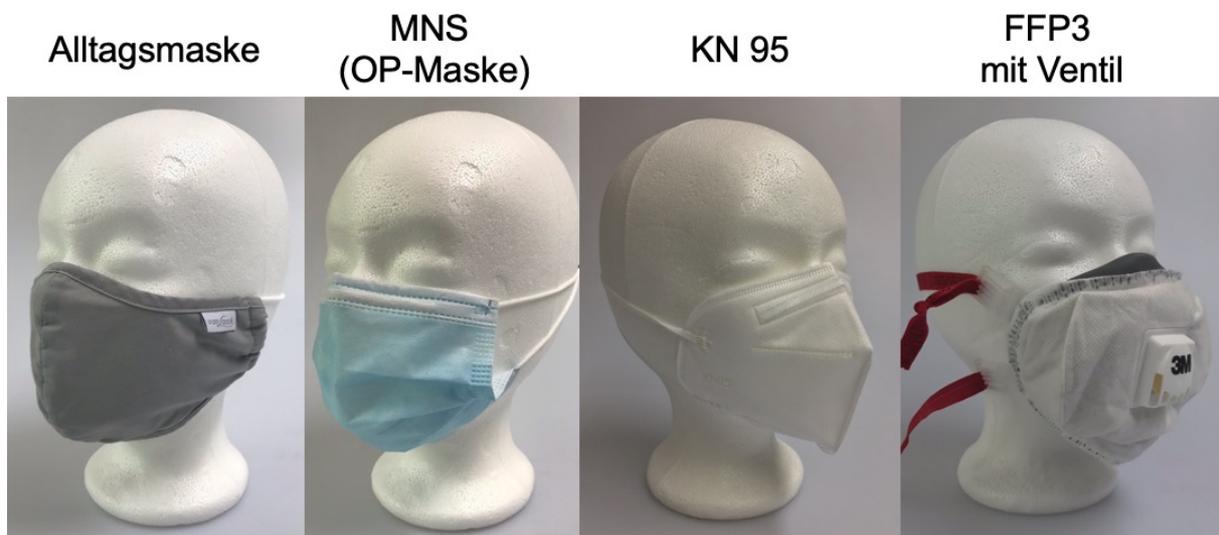


Abbildung 1: Unterschiedliche Halbmasken

Masken reduzieren die ein- und ausgeatmete Konzentration an Partikeln und dienen dadurch dem **Fremd- & Eigenschutz**. Generell ist darauf zu achten, eine möglichst **wirkungsvolle Maske** zu verwenden und diese **richtig zu tragen**, d.h. sie muss **Mund und Nase vollständig bedecken** und **eng anliegen**. Leckagen und Bypass-Strömungen können die Schutzwirkung drastisch mindern, siehe Abbildung 2.

Masken lassen sich – abhängig von Abscheidegrad gegenüber Partikeln – in verschiedene Kategorien einteilen. Man unterscheidet Fremd- und Eigenschutz und differenziert bezüglich des Abscheidungsvermögens größerer ($> 1 \mu\text{m}$) und feinsten ($< 1 \mu\text{m}$) Partikeln. Tabelle 5 zeigt eine Übersicht.

Nicht medizinische **Alltagsmasken** (sog. „Community-Masken“) mindern die Auswurfweite ausgeatmeter Partikeln und scheiden größere Tropfen (bspw. beim Husten, Niesen) wirkungsvoll ab, sprich: sie dienen als Spuckschutz. Die Abscheidung von Partikeln $< 1 \mu\text{m}$ ist für Alltagsmasken sehr unterschiedlich, werden sie doch oft nicht nach klaren Vorgaben (selbst) hergestellt. So beeinflussen u.a. die Art des Stoffes, die Lagenanzahl und die Fasereigenschaften das Abscheideverhalten signifikant. Wenig verwunderlich ist daher die Bandbreite des Abscheidevermögens gegenüber Partikeln $< 1 \mu\text{m}$. Sie ist sehr groß (Bereich von 10 – 70 %). Letztlich ist dies Abbild der Tatsache, dass es bezgl. Alltagsmasken keine Prüfnorm gibt.

Tabelle 5: Fremd- und Selbstschutz gebräuchlicher Halbmasken, von links nach rechts geordnet nach zunehmendem Eigenschutz

| | Alltagsmaske | MNS | FFP1 | FFP2/3 mit Ventil | FFP2 | KN95 | N95 | FFP3 |
|--|--------------|-----------|-----------|----------------------|-----------|----------|----------------|-----------|
| Prüfung | keine | EN 14683 | EN 149 | EN 149 | EN 149 | GB 2626 | 42 CFR Part 84 | EN 149 |
| Fremdschutz | | | | | | | | |
| Minderung Auswurfweite | ja | ja | ja | ja | ja | ja | ja | ja |
| Wirkung als Spuckschutz | ja | ja | ja | ja | ja | ja | ja | ja |
| Minderung Ausatmen feiner Partikeln ($< 1 \mu\text{m}$) | 10 – 70 % | 40 - 90 % | $> 80 \%$ | nein | $> 94 \%$ | $> 95\%$ | $> 95 \%$ | $> 99 \%$ |
| Eigen- Minderung Einatmen feiner Partikeln ($< 1 \mu\text{m}$) | | | | $> 94 / 99 \%$ | | | | |

Bei **OP-Masken (oder auch „Mund-Nasen-Schutz“ genannt)** handelt es sich um **medizinische Gesichtsmasken**, die primär den Eintrag infektiöser Keime aus dem Mund-Nasen-Bereich des Tragenden in sein Umfeld verhindern. Diese Masken sind in EN 14683 genormt und werden überwiegend auf die Abscheidung von Partikeln $> 1 \mu\text{m}$ geprüft. Wiewohl diese „OP-Masken“ – normgerecht – primär nicht auf die Abscheidung feinsten Partikeln ($< 1 \mu\text{m}$) abzielen, erreichen manche OP-Masken in diesem Bereich doch z.T. Abscheidegrade von Halbmasken in der FFP-Kategorie.

FFP-Masken (filternde Halbmasken) sind Bestandteil einer sog. „persönlichen Schutzausrüstung“. Sie werden in 3 Kategorien eingeteilt. Masken der Kategorie 1 weisen den geringsten Abscheidegrad auf, Masken der Kategorie 3 den höchsten.

KN95/N95-Masken beruhen auf chinesischer oder amerikanischer Prüfnorm. N95 oder KN95-Masken sind in etwa **mit FFP2-Masken vergleichbar**. Die zugrundeliegenden Prüfnormen sind unterschiedlich definiert.

KN95/N95/FFP2/FFP3-Masken bieten guten **Fremd- und Eigenschutz** und werden daher (auch zusammen mit Visieren als Spritzschutz) als persönliche Schutzausrüstung im medizinischen Bereich eingesetzt. Sie sind genormt. Bei der Anwendung hoch wirksamer FFP-Masken ist die in der Prüfnorm genannte maximale Tragedauer am Stück (FFP2 – 75 min) sowie die anschließende Erholungszeit (ohne Maske – 30 min) zu beachten. Bei wieder verwendbaren FFP-Masken müssen die spezifizierten Einsatzdauern berücksichtigt werden. Für die kleinen Aerosole $< 1 \mu\text{m}$, die besonders lange in Schwebelage bleiben und deren Beitrag

zum Infektionsgeschehen wesentlich zu sein scheint, unterscheiden sich die Schutzwirkungen der Masken stark. In diesem Bereich weisen die zertifizierten Masken, insbesondere die FFP2/FFP3/KN95/N95–Masken eine deutlich größere Wirksamkeit gegenüber Alltagsmasken auf. Maximalen Schutz im Bereich der FFP-Kategorien bieten filternde Halbmasken nach FFP3.

Weil Masken **nicht unfehlbar** sind (Verrutschen, Beschädigung, schlechter Sitz bzw. da in nicht zertifizierten Alltagsmasken u.U. auch Material mit geringem Abscheidegrad verwendet wird), muss **zusätzlich immer ein möglichst maximaler Abstand** gehalten und die **Aufenthaltsdauer** in der Nähe von Personen bestmöglich reduziert werden.

Abbildung 2 veranschaulicht die Verteilung feinsten Tröpfchen um eine OP-Maske (links) und einer FFP2-Maske mit Ausatemventil. Es wird deutlich, dass Tröpfchen bei schlechtem Sitz um die Maske strömen oder durch ein Ausatemventil ungehindert in die Umgebung gelangen können. Die Ausbreitungsweite wird jedoch gemindert.

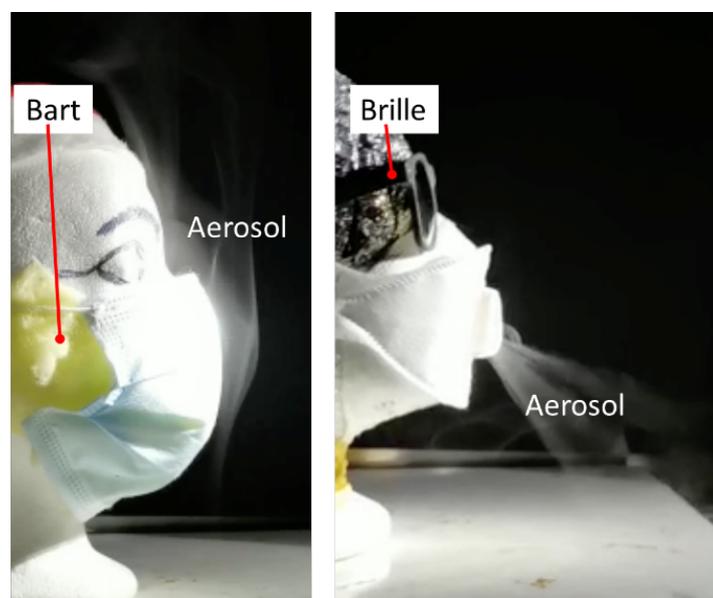


Abbildung 2: Mögliche Bypass- und Leckagepfade für Aerosole sind schlecht sitzende Masken, Bärte (links, Bsp. OP-Maske) und Masken mit Ausatemventil (rechts, Bsp. FFP2-Maske mit Ausatem-Ventil)

Visiere und Plexiglaswände dienen der Abscheidung großer Tröpfchen und **beeinflussen die Ausbreitungsrichtung** sowie die **lokale Konzentration** von Partikeln $< 1 \mu\text{m}$ im Raum. Damit dienen sie bei kurzzeitigem Kontakt für **größere Tröpfchen** als „**Spuck- und Spritzschutz**“ und für **Partikeln $< 1 \mu\text{m}$** als **Strömungshindernis**. Die Luft mit den darin enthaltenen kleinen Aerosolpartikeln kann allerdings mit der Zeit um das Strömungshindernis herum strömen, so dass die globale Aerosolkonzentration im Raum durch Visiere und Plexiglaswände über sehr lange Zeit nicht beeinflusst wird. Beide Vorrichtungen ändern also **kurzfristig und kurzräumig die Aerosolverteilung**, nicht aber die langfristige Verteilung und ebenso wenig die Gesamtanzahl an kleinen Aerosolpartikeln im Raum.

Einwegmasken sind ordnungsgemäß über den Restmüll zu **entsorgen**. Bei **Mehrwegmasken** ist auf fachgerechte **Sterilisation** zu achten, da bei nicht sachgerechter Durchführung Gefahr von Sekundäremission besteht.

7. Wie effektiv sind verschiedene technische/nichttechnische Maßnahmen zur Entfernung von Partikeln aus der (Raum)-Luft (reiner Luftaustausch versus Filter oder Entkeimung)? Wie sieht das Kosten/Nutzen Verhältnis aus, wie umsetzbar und nachhaltig sind die Schutz- und Überwachungskonzepte?

Grundsätzlich kommen drei Arten von Maßnahmen für die Reduktion der Virenbelastung in Frage: **(a) Austausch mit unkontaminierter Luft**, **(b) Abscheidung der Partikeln/Viren**, **(c) Inaktivierung der Viren**. Allen Maßnahmen ist gemein, dass eine ausreichende Menge an Luft behandelt werden muss, um abhängig von der Quellenstärke und –verteilung die Viruslast weitestgehend zu reduzieren.

(a) Austausch mit unkontaminierter Luft

Durch den Austausch mit unkontaminierter Luft wird die Raumluft verdünnt, so dass die Aerosolkonzentration sinkt. Wesentlich hierfür ist die Luftwechselzahl, die angibt wie häufig in einer Stunde das Raumluftvolumen getauscht wird. Aus der Luftwechselzahl, dem Raumluftvolumen und der Anzahl an Personen ergibt sich unmittelbar der Außenluftvolumenstrom pro Person. Beispiele hierzu werden in Frage 9 behandelt.

- Raumlufttechnische Anlagen mit Außenluft

Raumlufttechnische Anlagen sorgen für einen Zuluftstrom in die Räumlichkeiten. Hierbei ist darauf zu achten, dass dieser ausreichend unbelastete Außenluft enthält, ein Betrieb mit unbehandelter Umluft ist zu vermeiden (siehe auch Abschnitt zu Abscheidung).

- Lüften mittels Fenster

Der Außenluftstrom bei der natürlichen Lüftung (Fensterlüftung) hängt wesentlich vom Temperaturunterschied zwischen Raum- und Außenluft und der aktuellen Windlage ab. Die einseitige Fensterlüftung erfolgt hauptsächlich durch Temperaturunterschiede zwischen innen und außen. Ist es außen kälter als innen, so strömt die wärmere Raumluft im oberen Fensterbereich nach außen und die kühlere Außenluft im unteren Fensterbereich nach innen. Bei der zweiseitigen Fensterlüftung (Querlüftung) besteht ein Druckunterschied zwischen den beiden Seiten des Gebäudes und die Luft strömt quer durch den Raum. **Gekippte Fenster** haben eine **ingeschränkte Lüftungswirkung**, temporäre Stoßlüftung bzw. Querlüftung sollten daher bevorzugt genutzt werden. Eine ausreichende natürliche Lüftung kann dabei nicht ständig gewährleistet werden. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass effiziente Fensterlüftung in der kalten Jahreszeit immer auch zu einer temporären Abkühlung des Raums führt (s. Tabellen 6 ff.).

(b) Abscheidung

Abscheidung erfolgt zumeist durch **Filter**, in denen die Partikeln hängen/haften bleiben. Deren Effektivität wird durch eine Prozentzahl beschrieben, die angibt, welche Menge an Teilchen durch den Filter abgeschieden werden. Für den Einsatz zum Schutz vor Luftkeimen werden typischerweise sogenannte *high efficiency particulate air* **HEPA** Filter verwendet. Diese haben Abscheidegrade von >99,95% bzw. >99,995% und werden mit H13 bzw. H14 (veraltet) sowie mit ISO 35 H bzw. ISO 45 H bezeichnet. Je größer der Abscheidegrad, desto effizienter ist der Filter. Abscheidung kann darüber hinaus auch z.B. durch Abscheidung in elektromagnetischen Feldern erfolgen, z.B. an Niedertemperaturplasmaelektroden. Bei diesen Technologien kann aufgrund der hohen lokalen Energiedichte Ozon entstehen sowie können flüchtige organische Stoffe in neue Beiprodukte zerfallen. Diese Technologien sollten nicht eingesetzt werden, wenn nicht sichergestellt ist, dass diese Produkte im Anschluss ausreichend entfernt werden.

Bereiche, in denen eine RLT-Anlage eingesetzt wird

Bestehende RLT-Anlagen sollten eine ausreichende Zuluftmenge bereitstellen (s.o.) und hinsichtlich der Nachrüstung mit Abscheidetechnologien überprüft werden. Insbesondere, wenn Umluftanteile für den Betrieb erforderlich sind, sollten diese mit Filtern ausgerüstet werden (oder die Umluft außer Betrieb genommen werden). Bei dem Einsatz von Filtern höherer Abscheidegrade (z.B. H14) als zuvor müssen entsprechende Vorfilterungen für gröbere Bestandteile sowie die zunehmenden Druckverluste beachtet werden. U.U. erfordert dies eine Anpassung der Ventilatorleistungen (hierbei sollte dann auf den Einsatz energieeffizienter und optimierter Ventilatoren geachtet werden!). Es sollte grundsätzlich darauf geachtet werden, dass die Räume möglichst effektiv durchlüftet werden.

Bereiche, in denen keine RLT-Anlage installiert ist

In Bereichen in denen keine Raumlufttechnische Anlagen installiert sind, sollte geprüft werden, inwieweit sie **aufgerüstet** werden können – dabei sollten **passende Filter** vorgesehen werden (s.o.). Zusätzlich können mobile Innenraumluftfilter eingesetzt werden. Diese ergänzen die Maßnahmen zur Verdünnung durch Lüften und führen damit zu einer schnelleren Entfernung von potentiellen Virenbelastungen.

Mobile Innenraumluftfilter scheiden Partikeln aus der Raumluft nach dem Prinzip der Filtration ab. Dabei durchströmt partikelbeladene Luft ein Filtermedium. Das Gas passiert den Filter, Partikeln werden abgeschieden und verbleiben im Filtermedium zurück. Durch die Entfernung von Partikeln aus der Luft wirken mobile Innenraumluftfilter als sog. „Senken“, die möglichen Partikelquellen im Raum entgegenwirken. Befinden sich **keine Partikelquellen** im Raum, sinkt die Partikelanzahlkonzentration beim Betrieb eines mobilen Innenraumluftfilters mit der Zeit – und zwar umso schneller, je höher das Verhältnis des Volumenstroms durch das Filtermedium im Verhältnis zum Raumvolumen ist. Werte oberhalb 5 h^{-1} sind beim Einsatz eines solchen Geräts anzustreben. Auch sollte darauf geachtet werden, dass die Geräte mit mehreren Filterstufen ausgestattet sind und in der letzten Stufe mit einem hoch wirksamen Filtermedium ausgerüstet sind. Befinden sich **temporär Partikelquellen** im Raum, so **begrenzt** ein wirksamer, richtig angewandter Innenraumfilter **den Anstieg der Partikelkonzentration** im Raum. Es stellt sich ein niedrigeres Niveau ein als ohne Innenraumfilter. Verlässt die Quelle den Raum, so wird die Partikelanzahlkonzentration im Raum kontinuierlich gemindert.

Ein Innenraumfilter scheidet Partikeln ab. Bezüglich CO_2 ist er wirkungslos. Er sorgt lediglich über den Ventilator über eine Gleichverteilung der Gaskonzentration im Raum. Eine Versorgung mit Außenluft ist daher weiterhin erforderlich. Neben der Ausstattung mit einem **hoch wirksamen Filterelement** und einem zur Raumgröße passenden **Volumenstrom**, den das Gerät im Dauerbetrieb durchsetzen sollte, ist bei der Wahl eines Geräts auch auf dessen **Geräuschentwicklung**, den **Stromverbrauch und -anschluss** sowie **Wartungsintervalle/-kosten** und der **Vermeidung von Sekundäremissionen** durch das Gerät (bspw. Ozon) zu achten.

Mobile Innenraumfilter können die bestehenden **AHA+L-Regeln nicht ersetzen**, denn sie verhindern die kurzräumige Exposition zu Aerosolquellen nicht (bspw. wenn 2 Personen im Raum ohne Maske mit kurzem Abstand über längere Zeit zusammenkommen). Die Geräte können – bei Einhaltung der bestehenden AHA+L-Regeln – durch die Minderung der globalen Partikelkonzentration im Raum einen weiteren zusätzlichen, **wirkungsvollen Baustein** in einem **Gesamtkonzept zur Risikominderung** darstellen – insbesondere in Zeiten, in denen Räume wechselnd belegt und/oder schlecht oder nicht gelüftet werden können.

(c) Inaktivieren (ohne Anzahl zu mindern)

Viren können auch durch Einwirkung so inaktiviert werden, dass sie im Anschluss nicht mehr vermehrungsfähig sind. Dies kann z.B. durch **Bestrahlung mit UV-C**, Reaktion mit **Radikalen**, wie **Ozon**, oder **thermische Behandlung** erfolgen.

- Nach Durchströmen der Inaktivierungsstrecke sind die Virenpartikeln noch vorhanden, jedoch im Idealfall nicht mehr vermehrungsfähig (intensitätsabhängig). Über die Wirksamkeit solcher Geräte sollte stets ein **Nachweis auf die Wirksamkeit gegenüber Corona-Viren im Betriebsbereich vorgelegt werden**. Hierzu **existieren derzeit keine zertifizierten Prüfverfahren** – Gerätezertifikate gibt es daher derzeit nicht. Hierzu besteht Forschungsbedarf, um diese zu implementieren.
- Durch die Einwirkungen können **Nebeneffekte** auftreten, die zu einer Produktion von **Ozon** (wirkt reizend auf die Atemwege) oder auch einer Reaktion mit oder einem Zerfall von anderen Luftbestandteilen in unbekannte (eventuell auch schädliche) Folgeprodukte führen können. Für ozonproduzierende Geräte sind Nachweise über die Ozonbelastung sowie die Belastung mit flüchtigen organischen Stoffen (VOC) zu erbringen.
- Bei der Verwendung von UV-C Strahlung ist zudem zu beachten, dass diese **für den Menschen, insbesondere die Augen, schädlich** ist und entsprechend nicht aus den Geräten austreten darf sowie sichere Abschaltvorrichtungen beim Öffnen von Geräten vorhanden sind.
- Bezüglich der Wirksamkeit einer Inaktivierung/Agglomeration mit (bipolaren) **Ionen** existiert **keine systematische Validierung**.

Bei den **Inaktivierungsverfahren** besteht **weiterer Forschungsbedarf**, um die Wirksamkeiten und Folgeeffekte (Ozon, mutierte Viren) bestimmen zu können.

Beim Einsatz von RLT-Anlagen sollte darauf geachtet werden, dass die Raumluft nicht unnötig verwirbelt, sondern zügig abgeführt wird. Innenraumluftfilter sollten **entlang des Abluftstroms** platziert werden, um Sekundärkontaminationen oder auch Depositionen entlang der Luftwege zu minimieren.

Tisch- oder Stehventilatoren bzw. Heizlüfter (z.B. um bei wärmeren Temperaturen für Luftzug oder bei kälteren Temperaturen für eine zusätzliche Beheizung zu sorgen) bewirken eine **Durchmischung** der Raumluft. Damit gleichen sich also Unterschiede in den Aerosolkonzentrationen im Raum schneller aus. Falls die Konzentration virenbeladener Aerosole so hoch ist, dass dadurch global eine für eine Infektion kritische Schwelle überschritten ist, ist der Effekt der Geräte negativ, da auch weiter von der Quelle entfernte Personen infiziert werden können. Falls umgekehrt eine nur lokal kritische Konzentration auf ein unkritisches Level verdünnt wird, kann der Effekt der Geräte im Einzelfall auch positiv sein.

III. Übergreifende Fragestellungen

Verantwortliche für dieses Themenpaket: Prof. Dr. Heike von Baum, Prof. Dr. Gunnar Grün, Prof. Dr. Thomas Iftner, Prof. Dr. Konstantinos Stergiaropoulos, Prof. Dr. Dr. Claudia Spahn

9. Gibt es seriöse Aufenthaltsempfehlungen abhängig von der Raumgröße, Personenzahl, Luftaustauschrate etc.?

Die Abschätzung des Infektionsrisikos in Räumen wurde von Buonanno & Müller bereits thematisiert. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf, z.B. zur Annahme der idealen Durchmischung der Raumluft. Als Orientierung beim Aufenthalt mehrerer Personen (personenbezogene Ermittlung) können die Empfehlungen aufgrund der Kohlenstoffdioxidkonzentrationen einen ersten Anhalt geben.

Ziel ist es, je nach Raumgröße, Nutzungsart und Nutzungsdauer der Räume, abhängig von der Anzahl der dort befindlichen (asymptomatischen) Personen und deren Aktivitätsniveau eine Vorgabe zur

- **Lüftungsdauer** und **Lüftungsfrequenz** bei **Fensterlüftung**
- Anzahl der notwendigen **Luftwechsel** bei **RLT-Anlagen**

zur Verfügung zu stellen.

Unter Frage 7 wurde erläutert, dass **Fensterlüftung keinen konstanten, witterungsunabhängigen Luftstrom** ermöglicht. Die nachfolgenden Tabellen basieren auf empirischen Forschungsarbeiten und auf Annahmen. Die Annahmen sind:

- die Fensterfläche beträgt 1,8 m²
- die Fenster sind Drehfenster und der
- Öffnungswinkel ist 90°
- der Raum hat nur auf einer Raumumfassungsfläche eine Fensterfront und somit ist keine Querlüftung möglich.

In Abhängigkeit der Außentemperatur strömt beim Öffnen eines oder mehrerer Fenster ein Außenluftstrom in den Raum. Um das Raumvolumen (Raumluft) vollständig auszutauschen (Näherung) sind das oder die Fenster für eine Zeitspanne zu öffnen. Diese Zeitspanne steht in den Tabellen für unterschiedlich große Räume.

Tabelle 6: Volumenstrom in einen Raum über Drehfenster (1,8m², 90° Öffnung) bei unterschiedlichen Außentemperaturen

| | | \dot{V}_{ist} in m ³ /h | | | | | |
|---------------|---|---|------|------|------|------|-------|
| | | 15°C | 10°C | 5°C | 0°C | -5°C | -10°C |
| Fensteranzahl | 1 | 646 | 842 | 1000 | 1136 | 1258 | 1369 |
| | 2 | 1292 | 1684 | 2000 | 2273 | 2516 | 2738 |
| | 3 | 1938 | 2525 | 3000 | 3409 | 3774 | 4107 |
| | 4 | 2584 | 3367 | 4000 | 4545 | 5032 | 5476 |
| | 5 | 3230 | 4209 | 5000 | 5682 | 6290 | 6844 |

Je niedriger die Außentemperatur desto höher ist der Volumenstrom. Je mehr Fenster geöffnet werden, desto höher ist der Volumenstrom.

Tabelle 7: Zeitspanne in Minuten (offene Fenster) für einen **20 m² großen Raum**, um das Raumluftvolumen einmal auszutauschen.

| | | Benötigte Zeit in Minuten | | | | | |
|---------------|---|---------------------------|------|-----|-----|------|-------|
| | | 15°C | 10°C | 5°C | 0°C | -5°C | -10°C |
| Fensteranzahl | 1 | 6 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 |
| | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Das bedeutet für den Austausch des Raumluftvolumens eines 20 m² großen Raums z.B. bei einer Außentemperatur von 15°C müsste 1 Fenster 6 min geöffnet werden, bei der gleichen Außentemperatur von 15°C müssten 3 Fenster 2 min geöffnet werden. Bei einer Außentemperatur von 0°C müsste 1 Fenster 3 min geöffnet werden, bei der gleichen Außentemperatur von 0°C müssten 3 Fenster 1 min geöffnet werden, um das Raumvolumen jeweils einmal auszutauschen.

Tabelle 8: Zeitspanne in Minuten (offene Fenster) für einen **40 m² großen Raum**, um das Raumluftvolumen einmal auszutauschen.

| | | Benötigte Zeit in Minuten | | | | | |
|---------------|---|---------------------------|------|-----|-----|------|-------|
| | | 15°C | 10°C | 5°C | 0°C | -5°C | -10°C |
| Fensteranzahl | 1 | 11 | 9 | 7 | 6 | 6 | 5 |
| | 2 | 6 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 |
| | 3 | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |

Tabelle 9: Zeitspanne in Minuten (offene Fenster) für einen **60 m² großen Raum**, um das Raumluftvolumen einmal auszutauschen.

| | | Benötigte Zeit in Minuten | | | | | |
|---------------|---|---------------------------|------|-----|-----|------|-------|
| | | 15°C | 10°C | 5°C | 0°C | -5°C | -10°C |
| Fensteranzahl | 1 | 17 | 13 | 11 | 10 | 9 | 8 |
| | 2 | 8 | 6 | 5 | 5 | 4 | 4 |
| | 3 | 6 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 |
| | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 |

Tabelle 10: Zeitspanne in Minuten (offene Fenster) für einen **80 m² großen Raum**, um das Raumluftvolumen einmal auszutauschen.

| | | Benötigte Zeit in Minuten | | | | | |
|---------------|---|---------------------------|------|-----|-----|------|-------|
| | | 15°C | 10°C | 5°C | 0°C | -5°C | -10°C |
| Fensteranzahl | 1 | 22 | 17 | 14 | 13 | 11 | 11 |
| | 2 | 11 | 9 | 7 | 6 | 6 | 5 |
| | 3 | 7 | 6 | 5 | 4 | 4 | 4 |
| | 4 | 6 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 |

Die Tabellenwerte zeigen: Bei höheren Außentemperaturen sind die notwendigen Lüftungsdauern sehr hoch, bei niedrigen Außentemperaturen sind sie relativ kurz – dabei

entstehen jedoch unbehagliche Raumtemperaturen, insbesondere wenn über eine längere Zeit gelüftet wird.

Nach welcher Zeitspanne der Raum über Fensterlüftung wieder belüftet werden sollte, ist von der Anzahl an Personen und deren Aktivität abhängig. Obwohl eine **eindeutige Korrelation zwischen Virenlast und CO₂-Ausstoß** der Menschen **nicht vorhanden** ist, gibt die CO₂-Konzentration im Raum die Innenraumluftqualität wieder und damit eine erste Annäherung. Die nachfolgenden Angaben in Minuten zeigen das Erreichen eines **Leitwertes von 800 ppm** als Indikator für eine **sehr gute Luftqualität**. Beim Erreichen dieses Wertes sollten die Fenster wieder geöffnet werden und um die Minuten gemäß den obigen Tabellen belüftet werden.

Tabelle 11: Zeitspanne bis zum Erreichen einer CO₂-Konzentration von 800 ppm für unterschiedlich genutzte Räume, nutzungsbezogenem Aktivitätsgrad und dem entsprechenden Ausstoß an CO₂/Person und unterschiedlich großen Raumvolumina.

| Nutzungen | Raumhöhe | Fläche | Anzahl an Personen | Erreichen einer CO ₂ -Konzentration von 800ppm |
|-------------------------------------|----------|----------------|--------------------|---|
| | m | m ² | - | min |
| Büro (Einzelzimmer) | 3 | 10 | 1 | 35 |
| Büro (Großraum) | 3 | 400 | 27 | 53 |
| Besprechungsraum | 3 | 36 | 9 | 13 |
| Klassenzimmer | 3 | 66 | 22 | 13 |
| Kita (Raum) | 3 | 50 | 13 | 13 |
| Krankenzimmer/Bettzimmer/Praxisraum | 3 | 36 | 2 | 66 |

In der nachfolgenden Tabelle werden **Räume unterschiedlicher Nutzung** mit exemplarischen, statistisch erhobenen Raumdaten verknüpft. Im zweiten Schritt werden die gemäß derzeit gültigen Normen vorgesehenen **Belegungsdichten mit Personen unter Berücksichtigung der Abstandsregeln** neu festgelegt. Somit ist die **gleiche Fläche** für den Betrieb in der **Zeit der Pandemie mit weniger Personen belegt**. Wenn nun zugrunde gelegt wird, dass die maschinell belüfteten Räume ein hohes Maß an Erwartung erfüllen sollen (800 ppm CO₂-Konzentration), sind in den letzten beiden Spalten Volumenströme entweder flächenbezogen oder personenbezogen angegeben. Diese Werte sind bei richtig geplanten RLT-Anlagen ohne Umluftanteil einhaltbar. **Gebäudebetreiber sollten somit ihre RLT-Anlagen dahingehend prüfen**, ob diese **die Volumenströme pro Person erbringen** können bzw. die **Volumenströme dahingehend anpassen**. Falls die Volumenströme nicht eingehalten werden können, kann **alternativ die Belegungsdichte mit Personen reduziert** d.h. **der Zugang von Personen entsprechend limitiert** werden.

Tabelle 12: Vorschlag Einteilung von Gebäuden bzw. Nutzung und Außenluftströmen in m³ je Stunde und Person oder in m³ je Stunde und m². Zahlenwerte sind angelehnt an die gültigen Normen für die Einhaltung einer sehr guten Raumlufthqualität und heute bestehenden, organisatorischen Regeln zur Bekämpfung der Pandemie.

| Nutzung | Raumdaten | | | Belegungsdichte | | Anzahl an Personen | | Auslegung sehr gute Raumlufthqualität | | |
|---|------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------------|--------------------|----------|---------------------------------------|--------------------|-------------------|
| | Raumhöhe in m | Fläche m ² | Volumen m ³ | Fläche je Person | | Normauslegung | Pandemie | Pandemie | | |
| | | | | m ² /P (Norm) | m ² /P (Pandemie) | | | m ² /hm ² | m ² /hP | m ³ /h |
| Büro (Einzelzimmer) | 3 | 10 | 30 | 10 | 10 | 1 | 1 | 7 | 72 | 72 |
| Büro (Großraum) | 3 | 400 | 1.200 | 12 | 15 | 33 | 27 | 6 | 90 | 2.400 |
| Besprechungsraum | 3 | 36 | 108 | 3 | 4 | 12 | 9 | 13 | 50 | 454 |
| Klassenzimmer | 3 | 66 | 198 | 2,5 | 3 | 26 | 22 | 16 | 47 | 1.030 |
| Hörsaal | 3,4 | 350 | 1.190 | 1,2 | 4 | 292 | 88 | 13 | 50 | 4.410 |
| Verkauf/Lebensmittelgeschäft/-abteilung | 4 | 400 | 1.600 | 8,0 | 10 | 50 | 40 | 7 | 72 | 2.880 |
| Theater/Zuschauerbereich/Vorstellungsraum | 7 | 400 | 2.800 | 1,2 | 4 | 333 | 100 | 13 | 50 | 5.040 |
| Restaurant | 3 | 144 | 432 | 4 | 5 | 36 | 29 | 11 | 54 | 1.555 |
| Kita (Raum) | 3 | 50 | 150 | 3,3 | 4 | 15 | 13 | 13 | 50 | 630 |
| Turnhalle | 5 | 250 | 1.250 | 10 | 10 | 25 | 25 | 7 | 72 | 1.800 |
| Museen (Ausstellungsraum) | 7 | 400 | 2.800 | 8 | 10 | 50 | 40 | 7 | 72 | 2.880 |
| Krankenzimmer/Bettzimmer/Praxisraum | 3 | 36 | 108 | 15 | 15 | 2 | 2 | 6 | 90 | 216 |
| Ausstellungsraum/Mehrzweckhalle/Messeabteil | 7 | 400 | 2.800 | 4 | 5 | 100 | 80 | 11 | 54 | 4.320 |
| Fitnessraum | 3,5 | 250 | 875 | 10 | 10 | 25 | 25 | 7 | 72 | 1.800 |

Unter der Annahme, dass eine CO₂-Konzentration von 800 ppm eine sehr gute Raumlufthqualität darstellt und das Infektionsrisiko dadurch gemindert wird, dürfen sich in Pandemiezeiten z.B. in Hörsälen mit der angegebenen Raumhöhe von 3,4 m und einer Fläche von 350 m² anstelle von 292 Studierenden nur 88 Studierende aufhalten. Dabei muss die RLT-Anlage pro Stunde 4410 m³ (88 Personen x 50 m³/(Person x h)) Außenluft zugeführt werden.

Musikbereich

Im **Musikbereich** wurden am Beispiel der Hochschule für Musik Freiburg und der Musikakademie Staufen CO₂-Messungen in verschiedenen Räumen mit natürlicher Lüftung in 47 unterschiedlichen Settings (Singen, Instrumentalspiel, Personenanzahl) mit 141 MusikerInnen durchgeführt (Freiburger Institut für Musikermedizin). Hierbei wurde eine CO₂-Konzentration von 800 ppm als Wert angenommen, bei dessen Erreichen gelüftet werden soll (Daten zur natürlichen Lüftung nach Fensteranzahl und Raumgröße vgl. Tabellen 7-10). Es zeigte sich, dass bei unterschiedlichen musikalischen Aktivitäten (Singen und verschiedene Instrumente) die CO₂-Konzentration von 800 ppm unterschiedlich schnell (zwischen 27 und 37 Min.) erreicht wurde (Abb. 3).

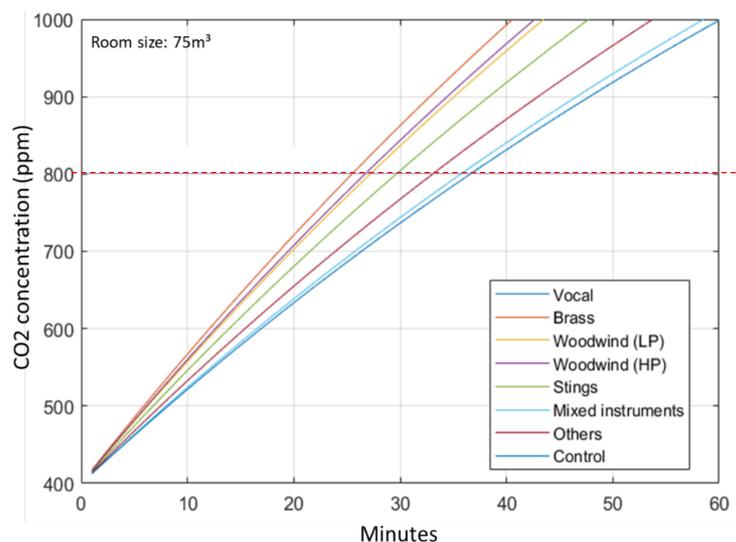


Abbildung 3: Anstieg der CO₂-Konzentration in einem Raum von 75 m³ mit jeweils zwei Personen: Gesang, Blechblasinstrumente, Holzblasinstrumente (LP=Niederdruck; HP=Hochdruck), Streicher, unterschiedliche Instrumente, andere Instrumente (Harfe, Klavier, Marimba), Kontrolle (Sprechen)

Eine Überprüfung der Raumluftqualität mittels CO₂-Ampeln scheint in der jeweils spezifischen musikalischen Situation empfehlenswert. Stehen diese Ampeln nicht zur Verfügung, können die Zeitspannen, nach denen gelüftet werden soll, anhand der Personenzahl, der musikalischen Aktivität und der Raumgröße orientierend eingeschätzt werden. Zur Erstellung entsprechender Richtwerte im Musikbereich sind weitere Messungen erforderlich.

Um eine möglichst **realitätsnahe Risikoeinschätzung** im Bereich **musikalischer Settings** (insbesondere Chöre und Blasmusikensembles) zu ermöglichen, hat das MWK Baden-Württemberg seit Juli 2020 am Freiburger Institut für Musikermedizin (HfM und Universität Freiburg) eine **Beratungsstelle für den Bereich der Amateurmusik** eingerichtet. Hier werden auf Anfrage individualisierte Beratungen zur Anwendung notwendiger Hygienemaßnahmen durchgeführt (<https://fim.mh-freiburg.de/beratung-amateurmusik/>).

Eine **spezifische Risikoeinschätzung** und Anwendung der hier dargestellten risikoreduzierenden Maßnahmen für den Bereich der Musikausübung – insbesondere für das Singen und Spielen von Blasinstrumenten – findet sich im Papier „Risikoeinschätzung einer Coronavirus-Infektion im Bereich Musik“, welches mittlerweile im fünften Update veröffentlicht ist (Spahn & Richter, 2020; <https://www.mh-freiburg.de/hochschule/covid-19-corona/risikoeinschaetzung>).

Fazit:

Fensterlüftung ist eine **einfache und universell praktikable Möglichkeit**, um einen Luftaustausch durchzuführen, dadurch kontaminierte Luft zu verdünnen und die Luftqualität zu verbessern. Die **Effektivität ist höher**, wenn **zwischen Innen- und Außenluft** möglichst **große Temperaturdifferenzen** bestehen.

Limitiert wird die Maßnahme **durch**

- **fehlende Akzeptanz der Nutzer** wegen großer Temperaturabfälle im Raum (eingeschränkte Behaglichkeit und Compliance, Schäden bei Musikinstrumenten)
- **die baulichen Gegebenheiten.**

Fensterlüftung stellt eine sinnvolle Maßnahme im Maßnahmenbündel mit Einhaltung der Abstandsregel und dem Tragen möglichst wirksamer Masken dar. Im Falle **mehrerer infizierter Personen im Raum hat Fensterlüftung nur eine begrenzte Wirkung.**

10. Welche Schutzkonzepte oder deren Kombinationen sind für welche Situationen/Raumbedingungen geeignet?

Es empfiehlt sich eine prinzipielle Unterscheidung für Räumlichkeiten im Gesundheitswesen bzw. zur Versorgung besonders schutzbedürftiger Personen (Alte, Neugeborene, Immunsupprimierte) und dem öffentlichen Leben. Die Auswahl des Schutzkonzeptes orientiert sich am besten an der vorgesehenen Nutzung der Räumlichkeit und dem zu erwartenden Aktivitätsniveau. Zur Anwendung gelangen **organisatorisch-logistische** vs. **baulich-technische** Maßnahmen.

Die 4 nachfolgend dargestellten Tabellen verstehen sich als orientierende Übersicht und wurden für den **Medizinischen Bereich** und den **öffentlichen Raum** beispielhaft, differenziert für die genannten **organisatorisch-logistischen** und **baulich-technischen Maßnahmen** erstellt, weitere Bereiche müssen aufgenommen werden.

Grundsätzlich sind Maßnahmen zur Verhinderung einer Übertragung von Krankheitserregern im Medizinischen Bereich sowie in der Betreuung von Senioren und Menschen mit besonderen Bedürfnissen in den Hygiene- und Desinfektionsplänen der Einrichtungen verpflichtend

festgelegt und werden mit Unterstützung des Hygienefachpersonals umgesetzt. Die Einhaltung dieser Maßnahmen wird vom ÖGD überwacht/geprüft. Auch die persönliche Schutzausrüstung (PSA) der Mitarbeiter ist anhand des Gefährdungsgrades und Einsatzbereiches vom Arbeitsschutz festgelegt und einzuhalten.

Tabelle 13: Organisatorisch-logistische Maßnahmen im Medizinischen Bereich

| Medizinischer Bereich / Bereich zur Versorgung besonders Schutzbedürftiger organisatorisch-logistisch unter der Annahme einer Versorgung durch Fachpersonal | | | | | | | |
|--|--------------------------|---|--------------------------|-----------------------|---|---|--------------------------------------|
| Räumlichkeit Nutzung | Zugangs- beschränkung | Eingangstest auf SARS CoV2 [§] | Belegungs- begrenzung | Desinfektions plan | MNS Pflicht generell [*] | Schutzkleidung am Patienten [#] | Abstandsregeln |
| – Hochrisikobereich Intensiv/Überwachung- Infektionsstation | × | × | × | × | × | × | |
| Medizinischer Bereich - Normalstation | × | (×) | × | × | × | × | |
| Medizinischer Bereich – Ambulanzen, Arztpraxen | × | | × | × | × | × | Wartebereich |
| Vollstationäre und tagesklinische Altenpflege | × | | (×) | × | teilweise [°] | × | Gemeinschafts- räume schwierig |
| Einrichtungen für Menschen mit Behinderung | × | | (×) | × | teilweise [°] | | Gemeinschafts- räume schwierig |

*Personal und Besucher möglich; Patienten bzw. Bewohner nur eingeschränkt

#auch vom Arbeitsschutz definiert, Stichwort Aerosolproduzierende Prozeduren

°In der Altenpflege sowie in der Betreuung von Menschen mit Behinderung ist die MNS Pflicht nur eingeschränkt umsetzbar aufgrund der körperlichen/psychischen Einschränkungen einiger Bewohner

§Als Goldstandard zum Nachweis einer Infektion mit SARS-CoV2 gelten nach wie vor die PCR basierten Verfahren. Es sollten keine nicht ausreichend evaluierten Verfahren zum Einsatz kommen.

Die Impfung aller Mitarbeiter/innen mit Patientenkontakt gegen impfpräventable Erkrankungen gehört ebenfalls zu den hygienischen Basismaßnahmen.

Die technische Ausstattung im Hinblick auf die Raumluft/Luftqualität orientiert sich an der notwendigen Schutzstufe für die betreuten Patienten (z.B. Immunsupprimierte/ Transplantations-patienten), dem Schutz von Mitarbeitern und Umgebung (Unterbringung von hochinfektösen Patienten) und der Nutzung des Raumes (z.B. OP zur Fremdkörperimplantation).

Tabelle 14: Baulich-technische Maßnahmen im Medizinischen Bereich

| Medizinischer Bereich / Bereich zur Versorgung besonders Schutzbedürftiger baulich - technisch | | | | |
|---|---------------------------|----------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Räumlichkeit Nutzung | Wegeführung/ Zonierung | Lüftungskonzept Fenster | RLT Anlage zentral | Luftfiltergeräte mobil |
| – Hochrisikobereich Intensiv/Überwachungs- station | × | | × | × |
| Infektionsstation | × | | × | |
| Medizinischer Bereich - Normalstation | × | × | | |
| Medizinischer Bereich – Ambulanzen, Arztpraxen | × | × | | |
| Vollstationäre und tagesklinische Altenpflege | teilweise ^o | × | | |
| Einrichtungen für Menschen mit Behinderung | teilweise ^o | × | | |

^oIn der Altenpflege sowie in der Betreuung von Menschen mit Behinderung ist die Wegeführung/Zonierung nur eingeschränkt umsetzbar aufgrund der körperlichen/psychischen Einschränkungen einiger Bewohner

Einige der organisatorisch-logistischen Maßnahmen lassen sich für den öffentlichen Raum zumindest teilweise übernehmen. Hierzu zählt die angemessene Mund-Nasen-Bedeckung, die Festlegung einer maximalen Personenzahl pro Raum und die Einhaltung der Abstandsregeln.

Tabelle 15: Organisatorisch-logistische Maßnahmen im Öffentlichen Raum

| Öffentlicher Raum organisatorisch-logistisch | | | | | | |
|---|--------------------------|---|--------------------------|---------------------|-------------------------|---|
| Räumlichkeit Nutzung | Zugangs- beschränkung | Test auf SARS CoV2? | Belegungs- begrenzung | Reinigungs- plan | MNS Pflicht generell | Abstandsregeln |
| Sitzend- überwiegend rezipierend (z.B. Hörsaal) | teilweise | | × | × | × | × |
| Sitzend-sprechend (z.B. Klassenzimmer) | × | | × | × | × | × |
| Singen und Musizieren (moderate Bewegung, Ein- und Ausatmung) | × | in spezifischen Settings z.B. Musiktheater | × | × | × | generell 1,50m bei Sängern und Bläsern 2m |
| Mobil mit gesteigerter Atmung (z.B. Sporthalle) | × | | (x) | × | | |

In verschiedenen Settings des Musikbereichs, insbesondere Orchester, Chor und Musiktheater sowie im klassischen Bühnentanz werden Testkonzepte erprobt, mithilfe derer eine künstlerische Ausübung ohne Abstandsregeln und MNS ermöglicht wird. Eingesetzt werden PCR Tests in meist zweitägigem Abstand ohne komplette Quarantäne der beteiligten Personen. Weitere wissenschaftliche Auswertungen müssen durchgeführt und umgesetzt werden.

Tabelle 16: Baulich-technische Maßnahmen im Öffentlichen Raum

| Öffentlicher Raum baulich - technisch | | | | |
|---|---------------------------|----------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Räumlichkeit Nutzung | Wegeführung/ Zonierung | Lüftungskonzept Fenster | RLT Anlage zentral | Luftfiltergeräte mobil |
| Sitzend- überwiegend rezipierend (z.B. Hörsaal, Seminarraum) | × | × | × | in Erprobung |
| Sitzend-sprechend (z.B. Klassenzimmer) | × | × | | in Erprobung |
| Singen und Musizieren (moderate Bewegung, Ein- und Ausatmung) | × | × | × | in Erprobung |
| Mobil mit gesteigerter Atmung (z.B. Sporthalle) | | × | × | |

Baulich-technisch ist auf eine geeignete Wegeführung/Zonierung sowie ausreichende Lüftung zu achten. Die Nutzung der Räumlichkeiten sollte so gestaltet werden, dass Abstände zwischen Personen maximiert werden können und sich diese nicht unnötig begegnen, Wege kreuzen oder z.B. in Aufzügen kurzzeitig enge geschlossene Räume nutzen müssen. Für die Räumlichkeiten muss entweder über Fensterlüftung oder Raumluftechnische Anlagen für eine Lüftung je nach Personenanzahl und Tätigkeit gesorgt werden (siehe hierzu auch Frage 9).

Mitglieder des Expertenkreises:

Prof. Dr.-Ing. Achim Dittler (Sprecher), Ingenieur, Leiter des [Instituts für Mechanische Verfahrenstechnik und Mechanik](#) (MVM), Arbeitsgruppe Gas-Partikel-Systeme (GPS), KIT: Projekte zur Entstehung und Abscheidung von Tropfenaerosolen, Charakterisierung von Ultrafeinstaub, neue Partikelmessverfahren, aktuelle Projekte zur Aerosolforschung.

Prof. Dr. Boris Mizaikoff, Chemiker, [Institut für Analytische und Bioanalytische Chemie](#), Universität Ulm: Fachgebiet Analyse von Viren und selektive Anreicherung von virenbeladenen Aerosolen, Projekte im Bereich der Infrarot Sensortechnologie und Spektroskopie sowie biomimetischer Erkennung auf Basis molekular geprägter Polymere

Prof. Dr.-Ing. Jennifer Niessner, Umweltschutztechnikerin, Direktorin des [Instituts für Strömung in additiv gefertigten porösen Strukturen](#) (ISAPS) und Leiterin des Strömungslabors, Hochschule Heilbronn: Fachgebiet Strömung in porösen Medien, Forschungsprofessorin für Fluidmechanik, diverse Projekte zu Aerosolthemen, u.a. Schutzmasken.

Prof. Dr. med. Hans-Georg Kräusslich, Leiter des [Zentrums für Infektiologie](#), Dekan der Medizinischen Fakultät Heidelberg, Mitglied der Heidelberger Akademie der Wissenschaften sowie der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina: Fachgebiet Infektiologie und Virologie, Initiator der Sonderförderlinie COVID-19 des Ministeriums für Wissenschaft Forschung und Kunst ([Kinderstudie](#) und Forschung).

Prof. Dr. Thomas Iftner, Biologe, Direktor des [Instituts für Medizinische Virologie und Epidemiologie der Viruskrankheiten](#): Fachgebiet Virologie und Epidemiologie, im Gutachtergremium der Sonderförderlinie COVID-19 Forschung, des Ministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kunst

Prof. Dr. Gunnar Grün, Experte für Raumklima, stellvertretender Leiter des [Fraunhofer Instituts für Bauphysik](#) IBP, Institut für Akustik und Bauphysik an der Universität Stuttgart, vielfältige Forschungsarbeiten im Themenfeld Aerosolausbreitung/Raumluftströmungen.

Stefan Brockmann, [Landesgesundheitsamt](#) am Regierungspräsidium Stuttgart, Leiter des Referats Gesundheitsschutz und Epidemiologie

Prof. Dr. med. Heike von Baum, Leiterin [Sektion Krankenhaushygiene, Schwerpunkt Infektionsepidemiologie, Universitätsklinikum Ulm](#): Fachgebiet Hygiene und Infektionsverhütung, Hygienestandards, Stellvertretende Vorsitzende der RKI KRINKO Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention.

Prof. Dr. med. Dr. phil. Claudia Spahn und **Prof. Dr. med. Bernhard Richter**, Freiburger Institut für Musikermedizin, Hochschule für Musik und Universitätsklinikum Freiburg: Forschung und Lehre im Fachgebiet Musikphysiologie; musikermedizinische Behandlung von Instrumentalisten und Stimpatienten (Sängern) <https://fim.mh-freiburg.de/>

Prof. Dr.-Ing. Michael Haibel, Professor für Lüftungs- und Klimatechnik, Thermodynamik und Baubiologie, Wissenschaftlicher Leiter [Labor für Raumluftechnik, Hochschule für angewandte Wissenschaften Biberach](#): Fachgebiet Lüftungs- und Klimatechnik, Thermodynamik und Baubiologie.

Prof. Dr. Konstantinos Stergiaropoulos, Leiter des [Institutes für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung \(IGTE\), Universität Stuttgart](#): Fachgebiet Energieforschung, Umwelttechnik, Adaptives Bauen, Schwerpunkte: Wärmeübertragung, Kältetechnik, Thermische Speicher, Raumklima, Energiemanagement, Nachhaltige Gebäude und Quartiere.