

Das SARS-CoV-2-Virus wird nach derzeitigem Kenntnisstand im Verlauf gesellschaftstypischer Interaktionen vor allem direkt vom Mensch zu Mensch übertragen. Halten sich viele Personen in einem geschlossenen Raum auf, werden beim Atmen, Sprechen und Husten/Niesen Flüssigkeitspartikel aus Mundhöhle und Rachenraum in die Atemluft emittiert. Die dabei entstehende Ausbreitungswolke enthält sowohl größere Tröpfchen als auch kleine, nicht sichtbare Aerosolpartikel ($< 5 \mu\text{m}$). Während die größeren Tröpfchen schnell sedimentieren und einer respiratorischen Aufnahme nicht mehr zur Verfügung stehen, können Aerosolteilchen über lange Zeiträume in der Raumluft schweben und sich dispers im Innenraum verteilen. Beim Atmen und Sprechen, vor allem mit höherer Lautstärke, werden fast ausschließlich Aerosolpartikel emittiert. Beim Husten und Niesen dagegen entstehen deutlich mehr größere Tröpfchen, die über die Schleimhäute aufgenommen werden. Grundsätzlich ist im Umkreis von ein bis zwei Metern um eine an Covid 19 erkrankte Person das Risiko erhöht, mit virushaltigen Tröpfchen direkt infiziert zu werden, während eine Übertragung über luftgetragene Flüssigkeitspartikel in der Atemluft indirekt und über größere Distanzen stattfindet.



Foto 1: Lufttechnisches SARS-COV-2-Schutzsystem für Büro- und Aufenthaltsräume (Versuchsanlage)

Bei unserem *lufttechnischen SARS-COV-2-Schutzsystem* handelt es sich um das derzeit einzige Verfahren für Innenräume, welches Flüssigkeitspartikel von $0,3$ bis $5\ \mu\text{m}$ (*Aerosolpartikel*) sowie von 5 bis $25\ \mu\text{m}$ Durchmesser (*Tröpfchen*), die beim Atmen, Sprechen und Husten/Niesen in die Atemluft gelangen und für eine Infektion relevant sind, durch *indirekte Absaugung* in der Raumluft abreichern sowie durch *gezielte Absaugung* unmittelbar an der Emissionsstelle (Mundöffnung) entfernen kann. Die abgesaugten Teilchen werden dann einem hocheffizienten Virenfilter zugeführt, der sie zuverlässig abscheidet, und können nicht mehr respiratorisch aufgenommen werden.

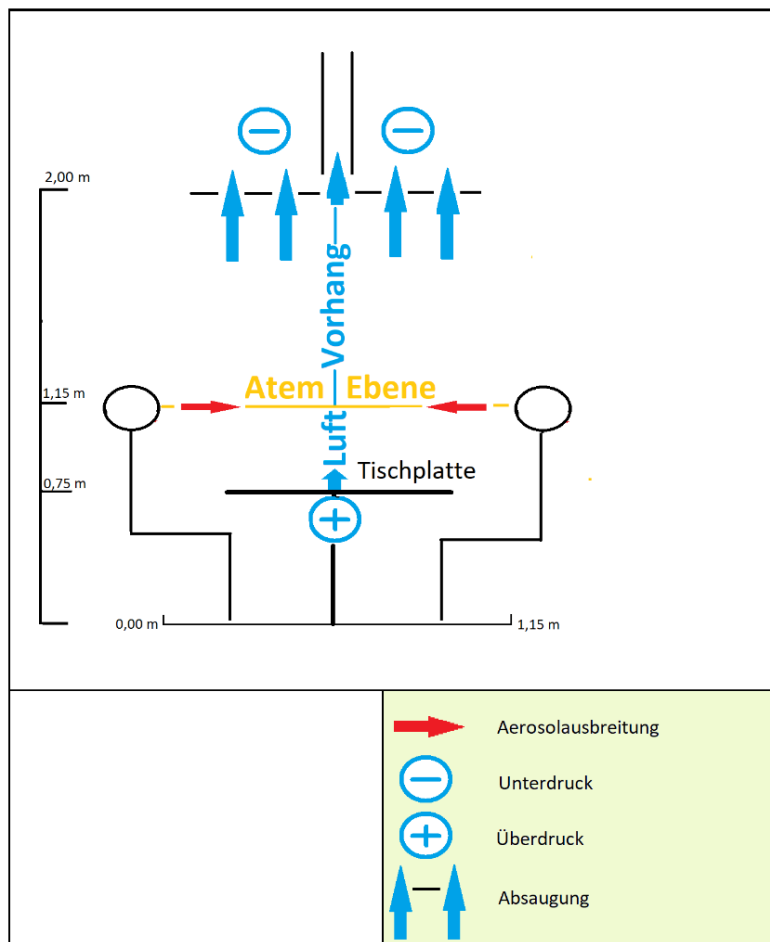


Abb. 1: Anwendungsschema des lufttechnischen SARS-COV-2-Schutzsystems für Innenräume

Als Beispiel soll ein Tisch dienen, an dem sich 2 Personen gegenüber sitzen. Die Absaugung oberhalb dieser Personen kann die Schwebstofflast der Innenraumluft mit einer exakt berechneten, auf die Atemebene bezogenen Luftgeschwindigkeit erheblich reduzieren. Bei nur wenig höheren Absauggeschwindigkeiten können darüber hinaus gerade erst emittierte Aerosolteilchen direkt am Ort ihrer Entstehung (Mundöffnung) gezielt abgesaugt werden. Die durch *direkte* und *indirekte* Absaugung entzogene und über *HEPA*-Filterklasse *H 14* gereinigte Atemluft wird in den Innenraum zurückgeführt (Reinluftrückführung). Der Frischluftanteil der Zuluft kann zum Bei-

spiel in Schulen durch freies Lüften bereitgestellt werden, die erforderlichen Lüftungsquerschnitte und die maximal zulässigen Raumtiefen vorausgesetzt. Unter *freier* oder *natürlicher Lüftung* versteht man die Nutzung lokaler Luftdruckunterschiede an der Außenseite der Gebäudehülle, um Frischluft in den Innenraum zu transportieren und innere Schadstoff-, Wärme- oder Feuchtelasten abzuführen. In hoch frequentierten Innenräumen senkt die natürliche Frischluftzufuhr die CO_2 -Lasten der Atemluft und flankiert das Schutzsystem. Zur zuverlässigen Abreicherung der Aerosolpartikel in der Raumluft kann die Anlage so ausgelegt werden, dass ein 15- bis 20-facher Luftwechsel pro Stunde möglich ist.

Die zweite wesentliche Komponente des Schutzsystems ist ein aufgehender *Luftvorhang*, der zwischen den Personen senkrecht zur Atemebene erzeugt wird. Dabei handelt es sich um eine lufttechnische

Konstruktion, die mit Hilfe eines Gebläses unterhalb des Tisches durch einen engen Spalt auf Höhe der Tischplatte eine flächenhafte, aufwärts gerichtete, turbulenzarme Luftströmung aufbaut, die Luftmassen voneinander trennen und so den Austausch von beim Atmen, Sprechen und Husten/Niesen emittierten Flüssigkeitsteilchen verhindert. Diese Barriere aus aufsteigender Luft reicht vom Ausblaspalt bis zum Absaugtrichter und hat den Nebeneffekt, unmittelbar benachbarte Luftschichten ebenfalls in eine Aufwärtsbewegung zu versetzen und darin transportierte Partikel der Absaugung zuzuführen. Die Geschwindigkeit des Luftschleiers ist so berechnet, dass sich die ausströmende Luft bis auf die Höhe der Atemebene laminar verhält, um Turbulenzen zu vermeiden, die Partikel verwirbeln und unkontrolliert im Raum verteilen könnten. Das kann mit sehr hohen Strömungsgeschwindigkeiten von 15 bis 20 m/s oder mit vergleichsweise niedrigen Werten von weniger als 1,5 m/s erreicht werden, wobei bei geringen Ausblasgeschwindigkeiten eine potenzielle Belastung durch auftretende Zugluft entfällt. Das natürliche Ausbreitungsverhalten der relevanten Partikelgrößen in der Innenraumluft beim Atmen, Sprechen und Husten/Niesen ist Grundlage für die Berechnung der erforderlichen Luftleistung des Schutzsystems und der Strömungsgeschwindigkeiten von Luftvorhang und Absaugung.

Ein 5 µm großes Aerosolpartikel sinkt in der Atemluft geschlossener Räume mit einer Geschwindigkeit von nur 0,0007 m/s zu Boden, das 10 µm-Teilchen mit 0,0028 m/s und ein 25 µm-Teilchen mit 0,017 m/s. Diese Sinkgeschwindigkeiten sind so gering, dass die Partikel über Stunden in der Raumluft schweben können und ihre Bewegungsrichtung und -geschwindigkeit von kleinsten Luftströmungen bestimmt werden. Schon sehr geringe Absauggeschwindigkeiten (gemessen auf der Atemebene) reichen aus, Partikel dieser Größenordnung unmittelbar an der Mundöffnung aus der Raumluft zu entfernen (vgl. Abb. 2). Größere Flüssigkeitspartikel dagegen (Durchmesser > 100 µm), die weniger beim Atemvorgang, sondern eher beim Sprechen und insbesondere beim Husten emittiert und als Tröpfchen bezeichnet werden, sind in Ihren Bewegungen deutlich durch die Schwerkraft bestimmt und können innerhalb weniger Sekunden zu Boden sinken.

Neben den Lüftungstechnischen Installationen wie leistungsstarken Axialgebläsen, schallunterdrückenden Verrohrungen zur geräuscharmen Luftleitung und hocheffizienten HEPA-Filtern (High Efficiency Particulate Airfilter) der Klasse H 14, ist es der turbulenzarme *Luftvorhang*, der den hohen Schutzstandard unseres Systems gewährleistet. Dabei hat der Luftschleier eine doppelte Schutzfunktion. Auf der einen Seite trennt er sich gegenüber sitzende/stehende Personen lufttechnisch voneinander, so dass eine direkte Übertragung des Virus auf der Atemebene via Aerosolpartikel unterbunden wird. Die beim Atmen, Sprechen und Husten ausgestoßenen Teilchen können diese für Personen nicht wahrnehmbare lufttechnische Barriere nicht überwinden.

Die zweite wichtige Aufgabe der aufsteigenden Luftströmung besteht darin, die Absaugung zu unterstützen. Während die *gezielte Absaugung* Partikel von 0,3 bis 25 µm direkt von der Atemebene abführt, laufen die schwereren Teilchen bis 100 µm, die nach dem Emittieren der Schwerkraft folgen und in kurzer Zeit sedimentieren, Gefahr, durch den durch die oben positionierte Absaugung erzeugten Auftrieb bis auf die Atemebene angehoben zu werden. Der aufwärts gerichtete Luftvorhang verleiht dieser kritischen Partikelfraktion von 25 bis 100 µm einen zusätzlichen Bewegungsimpuls, der sie beschleunigt und sicher über die Atemebene hinaus in den Wirkungsbereich der Absaugung befördert.

Die Aerosolpartikel mit einem Durchmesser größer $100\ \mu\text{m}$ sinken mit Geschwindigkeiten von $0,94\ \text{m/s}$ ($250\ \mu\text{m}$) und $2,08\ \text{m/s}$ ($500\ \mu\text{m}$) bis zu $3,78\ \text{m/s}$ ($1.000\ \mu\text{m}$) so schnell, dass sie sich beim Sprechen oder leichten Husten auf der Atemebene nicht weit von der Mundöffnung entfernen können. Sie sind so schwer, dass sie weder den Luftvorhang erreichen noch von der Absaugung erfasst werden sondern sich in kürzester Zeit ablagern und damit einer respiratorischen Aufnahme entzogen sind.

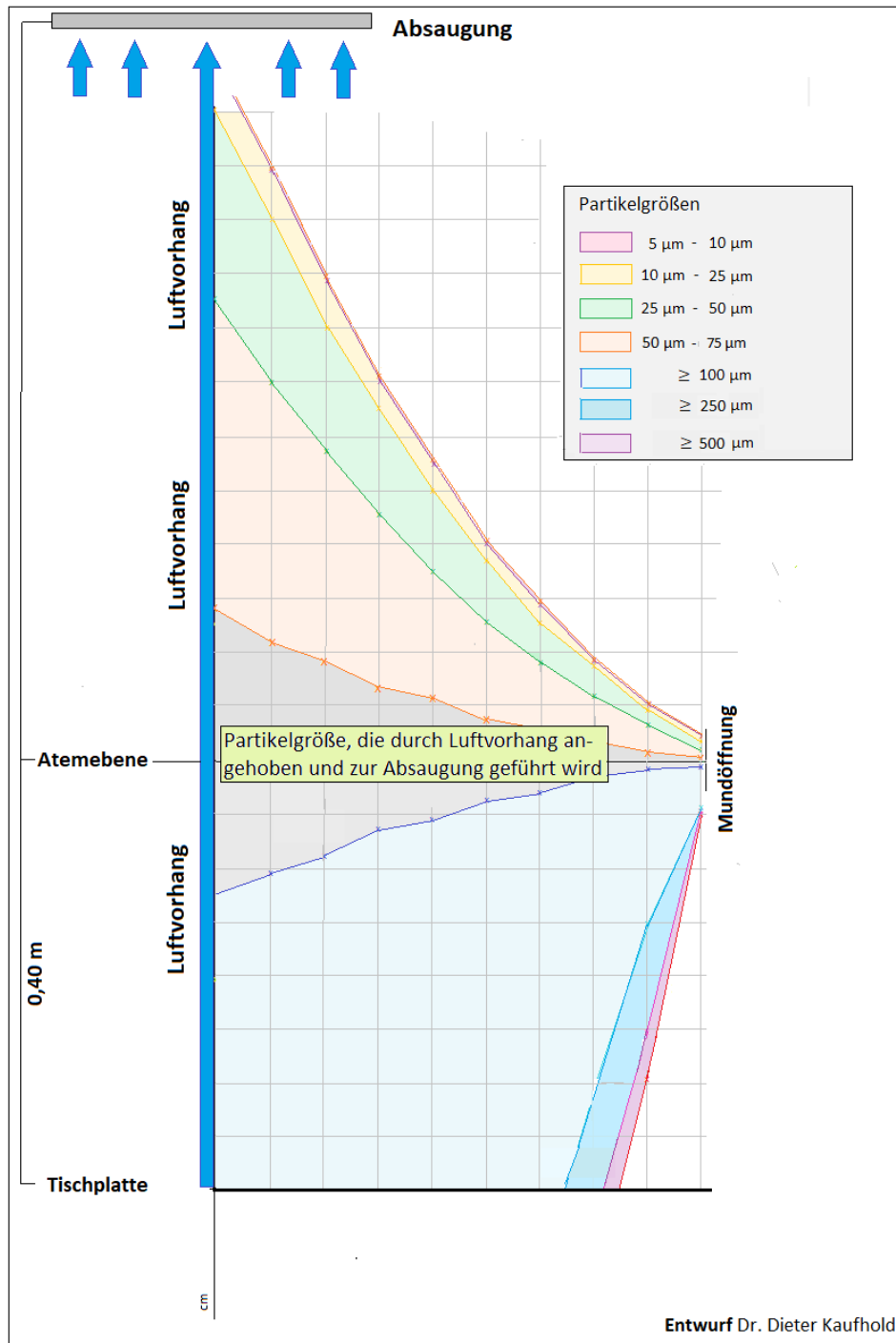


Abb. 2: Ausbreitungsrichtung unterschiedlicher Partikelgrößen bei Mund-/Nasatmung mit Absaugung

Neben der lufttechnischen Ausstattung und Konditionierung des Verfahrens können eine Reihe ergänzender Maßnahmen den Wirkungsgrad des Schutzkonzeptes deutlich erhöhen. Dazu gehören selbstverständlich die Schutzmaßnahmen, die in den *SARS-COV-2-Schutzstandards* der Bundesländer, Berufsgenossenschaften und der gesetzlichen Unfallversicherer für verschiedene Wirtschafts- und Lebensbereiche veröffentlicht sind. Ebenso von Bedeutung, wenn es um innovative Lüftungstechnische Konzepte und Produkte geht, die ihre Wirkung in geschlossenen Räumen entfalten und die Reinhaltung der Atemluft betreffen, sind neben den einschlägigen Regelwerken die Handlungsempfehlungen der *Kommission Innenraumlufthygiene* am Umweltbundesamt.

Folgende Maßnahmen gewährleisten den hohen Schutzstandard des lufttechnischen SARS-COV-2-Schutzsystems:

- Abreicherung von bis zu 99 % der Aerosolpartikel in der Raumluft durch *indirekte Absaugung*
- Unmittelbare Abscheidung von 99,995 % der Viruspartikel auf der Atemebene
durch *gezielte Absaugung*
- Das Tragen von Masken in Innenräumen nicht mehr erforderlich ‘
- Eingeschränkte Mobilität von luftgetragenen Partikeln durch *lufttechnische Trennung*
- 15- bis 20-facher *Luftwechsel* pro Stunde
- Abscheidung von 99,995 % der Viruspartikel durch *HEPA-Filter Klasse H 14*
- Autarkes System durch *Reinluftrückführung*
- CO₂-Alarm zur Überwachung der *Luftqualität*
- *Natürliche Lüftung* zur Erhöhung der Luftqualität
- Niedrige Investitionskosten
- Automatisierte Hygienemaßnahmen