

Untersuchungen zur Wirkung des Mund- und Nasenschutzes (MNS)

Prof. Dr.-Ing. U. Franzke; Dipl.-Ing.(FH) Ch. Friebe; M. Sc. R. Grüttner; Dipl.-Ing. R. Heidenreich; Dr.-Ing. L. Kotte; Dipl.-Ing. R. Seidel, Dipl.-Ing. Florian Kreß

Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH, Bertolt-Brecht-Alle 20, 01309 Dresden, Germany

1 Zusammenfassung

In der hier dargelegten Untersuchung werden der Druckverlust und der CO₂-Gehalt der eingeatmeten Luft unter Einfluss eines typischen Mund-Nasen-Schutzes (MNS) untersucht. Die Messungen wurden an Probanden unter realistischen Bedingungen durchgeführt. Es zeigt sich, dass die Verwendung eines MNS nur einen geringen Einfluss auf die beiden Parameter aufweist. Aus physikalischer Sicht bestehen daher keine Bedenken gegen das Tragen eines MNS als Fremdschutz bei Infektionskrankheiten.

2 Einleitung

Anfang des Jahres 2020 hat sich das COVID-19-Virus von einem lokalen Auftreten in China zu einer globalen Pandemie entwickelt. Standen anfangs noch die Übertragung durch Hände und Oberfläche im Fokus, trat in den darauffolgenden Monaten verstärkt die Übertragung durch Tröpfchen (ca. 5 µm) in den Vordergrund. Genügt für die Unterbrechung der Übertragungswege bei Oberflächen Desinfizieren, sind zur Vermeidung von Ansteckungen durch Tröpfchen Mindestabstände von ca. 1,5 m notwendig. Im weiteren Verlauf zeigte sich dann, dass auch länger in der Luft schwebende Aerosole (ca. 0,5 µm) eine Gefahr darstellen. Für diesen Übertragungsmechanismus wurde dann das Tragen eines Mund- und Nasenschutzes (MNS) vorgeschrieben¹ und die Schutzwirkung in verschiedenen Studien nachgewiesen. Dabei zeigte sich, dass die Schutzwirkung im Wesentlichen als Fremdschutz funktioniert, d.h. der Schutz hält die pathogenen Erreger des Trägers zurück, um die umstehenden Personen zu schützen. Der Eigenschutz ist nur eingeschränkt wirksam².

Das Tragen des MNS stellt für viele Beteiligte eine Einschränkung dar, die zu unterschiedlicher Akzeptanz dieser Maßnahme führt. Es gibt verschiedene Faktoren, die dieses Empfinden beeinflussen können. In dieser Untersuchung werden die physikalischen Parameter Druckverlust und CO₂-Gehalt der eingeatmeten Luft untersucht.


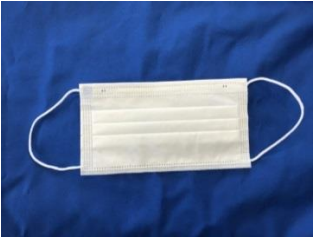

3 Wirksamkeit und Unterscheidungsmerkmale

Es wird zwischen drei technisch unterschiedlichen Ausführungsformen von Masken unterschieden, die sich hinsichtlich Aufgabe, Schutzwirkung und Reglementierung für das Inverkehrbringen stark unterscheiden (Tabelle 1).

¹ z.B. <https://www.revosax.sachsen.de/vorschrift/18917-Saechsische-Corona-Schutz-Verordnung#p1>

² Ueki, H. et al.: „Effectiveness of Face Masks in Preventing Airborne Transmission of SARS-CoV-2“, mSphere, American Society for Microbiology Journals, 2020, 5

Tabelle 1: Unterscheidung von Mund-Nasenbedeckungen³

Bezeichnung	Aufgabe	Schutzwirkung für den Träger	Reglementierungen für Inverkehrbringen
DIY-Maske; Behelfs-Mund-Nasen-Maske; Community-Maske, Mund-Nasenbedeckung (MNB) 	<ul style="list-style-type: none"> • Verminderung der Gefährdung durch ausgeatmete erregerehaltige Tröpfchen in Luft 	<ul style="list-style-type: none"> • Können die Mund- und Nasenpartie des Trägers vor einem direkten Auftreffen von Tröpfchen des Gegenüber schützen • Schutzwirkung hängt von verwendeten Materialien ab 	<ul style="list-style-type: none"> • Keine • privater Gebrauch ohne zugrundeliegende Norm
Medizinische Gesichtsmasken (MNS; Operations-(OP-)Masken) 	<ul style="list-style-type: none"> • Fremdschutz 	<ul style="list-style-type: none"> • Kaum Schutz gegenüber erregerehaltigen Aerosolen • Können die Mund- und Nasenpartie des Trägers vor einem direkten Auftreffen von Tröpfchen des Gegenüber schützen 	<ul style="list-style-type: none"> • Medizinprodukte-richtlinie (93/42/EWG, MDD) • Müssen der Norm DIN EN 14683:2019-10 genügen • CE- Kennzeichnung nach Konformitätsbewertungsverfahren
Partikelfiltrierende Halbmasken (FFP-Masken) 	<ul style="list-style-type: none"> • Gegenstände der persönlichen Schutzausrüstung (PSA) im Rahmen des Arbeitsschutzes • Masken ohne Ausatemventil filtern sowohl die eingeatmete Luft als auch die Ausatemluft und bieten daher sowohl einen Eigenschutz als auch einen Fremdschutz 	<ul style="list-style-type: none"> • Schützen den Träger der Maske vor Partikeln, Tröpfchen und Aerosolen • FFP2-Masken müssen mindestens 94 % und FFP3-Masken mindestens 99 % der Testaerosole filtern und bieten demnach einen wirksamen Schutz auch gegen Aerosole 	<ul style="list-style-type: none"> • Prüfung der Filterleistung gemäß DIN EN 149:2009-08 • CE- Kennzeichnung nach Konformitätsbewertungsverfahren einschließlich einer Baumusterprüfung gemäß PSA-Verordnung (EU) 2016/425

Die Filterleistung einer Maske, unabhängig von MNB, MNS oder FFP, ist in sehr starkem Maß von den eingesetzten Filtermaterialien abhängig. Hochleistungsmasken werden aus feinen Fasern aus Polypropylen und Polyester in einem sogenannten Melt-Blown- Prozess hergestellt; die Oberfläche

³ nach

<https://www.bfarm.de/SharedDocs/Risikoinformationen/Medizinprodukte/DE/schutzmasken.html>

des Materials wird zur Verbesserung der Filterleistung meist noch speziell ausgerüstet (z.B. elektrostatische Aufladung).

Im ILK Dresden wurde eine ganze Reihe von Untersuchungen zur Wirksamkeit verschiedener Maskentypen durchgeführt, um die Schutzwirkung zu quantifizieren. Die Abbildung 1 zeigt den Prüfaufbau und beispielhaft eine verwendete Maske. Die Prüfung der Filterleistung nach der Norm DIN EN 149 erfolgte mit einem Prüfvolumenstrom von 95 l/min und zwei unterschiedlichen Prüf-Aerosolen (Paraffinöl und NaCl), um eine umfassende Charakterisierung des Materials zu gewährleisten und Produkte mit zu geringer Filterleistung zu selektieren. Die Prüfaerosole sind sehr fein und weisen einen mittleren Tropfen-/ Partikeldurchmesser von rund 0,1 µm (Virengröße) auf.



Abbildung 1: Bestimmung der Abscheideleistung von Masken, links: Prüfaufbau, rechts: medizinische Gesichtsmaske(MNS)

Für diese medizinische Gesichtsmaske(MNS) wurde z.B. ein Durchlassgrad der oben genannten Prüfaerosole von rund 42 % festgestellt. Aufgabe solcher Gesichtsmasken ist – wie in Tabelle 1 dargestellt – vor allem die Rückhaltung der abgeatmeten Tropfen, welche mit ca. 1 µm um den Faktor 10 größer sind⁴, als das verwendete Prüfaerosol, das insbesondere für die Prüfung von FFP-Masken gedacht ist. Der durchschnittliche Durchmesser der abgeatmeten Tropfen beim Husten⁵ beträgt etwa 6 µm und beim Reden⁶ etwa 4 µm. Gemäß der Norm EN 14683 müssen medizinische Gesichtsmasken eine Filterleistung über 95 % im relevanten Tropfengrößen-Bereich aufweisen. Für die nachfolgenden Betrachtungen wird daher ein Wert von 5 % Durchlassgrad angenommen.

4 Ausbreitung von Aerosolen und Einfluss der Maske

Das Tragen einer Maske vom Typ MNS dient in erster Linie dem Fremd- und nicht dem Eigenschutz. Wie unterschiedliche Untersuchungen belegen, kann bei korrekter Anwendung die Virenlast deutlich gesenkt werden. Die Abbildung 2 zeigt die qualitative Ausbreitung der ausgeatmeten Luft eines sprechenden Menschen ohne allgemeinen Mund- und Nasenschutz. Deutlich sichtbar ist der starke

⁴ Johnson, G. & Morawska, L.: „The Mechanism of Breath Aerosol Formation”, Journal of Aerosol Medicine and Pulmonary Drug Delivery 22(3):229-37, 2009

⁵ Yang et al.: „The Size and Concentration of Droplets Generated by Coughing in Human Subjects”, Journal of Aerosol Medicine 20(4):484-94d, 2007

⁶ Galton et al.: „The role of particle size in aerosolised pathogen transmission: A review”, Journal of Infection, vol. 62, pp 1-13, 2011

Impuls, der beim Sprechen entsteht. In diesem Fall gelangen 100 % der abgegebenen Partikel in die unmittelbare Umgebung der sprechenden Person.

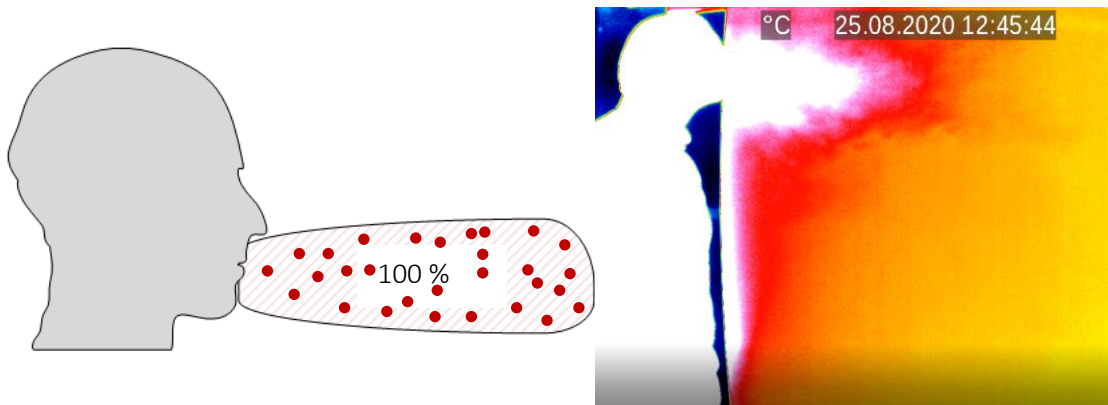


Abbildung 2: Verteilung der ausgeatmeten Luft beim Sprechen ohne Mund- und Nasenschutz (links: stilisiert, rechts: anhand einer thermografischen Aufnahme)

Bei dem typischen Atmen durch die Nase ergibt sich ein vergleichbarer Sachverhalt, wie in der Abbildung 3 dargestellt.

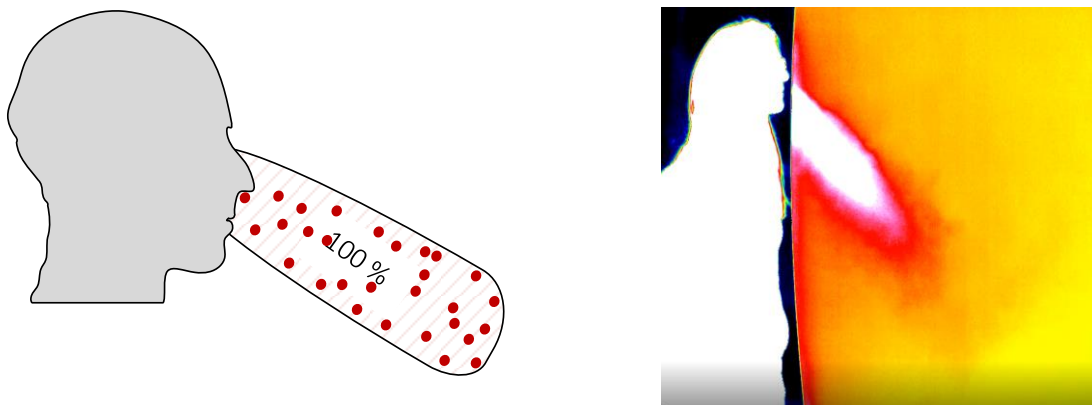


Abbildung 3: Verteilung der ausgeatmeten Luft beim Atmen durch die Nase ohne Mund- und Nasenschutz (links: stilisiert, rechts: anhand einer thermografischen Aufnahme)

Das Tragen einer ideal dicht sitzenden Maske hingegen führt zu einer Reduktion der an die Umgebung abgegebenen Aerosole auf 5 %, siehe Abbildung 4. Unter praktischen Gesichtspunkten und Berücksichtigung von Leckagen kann von einem Restanteil von 50 % bis 70 % ausgegangen werden⁷. Wird die Maske nur unterhalb der Nase getragen, so ist aufgrund des großen Anteils der Nasenatmung davon auszugehen, dass ca. 90 % der abgeatmeten Partikel in den Raum gelangen. Der ursprünglich mit der Maske verbundene Schutz der anderen Personen ist damit nicht mehr gegeben.

⁷ Schumann et al.: „Experimentelle Untersuchung der Leckage und Abscheideleistung von typischen Mund-Nasen-Schutz und Mund-Nasen-Bedeckungen zum Schutz vor luftgetragenen Krankheitserregern“, HRI, technical report, doi: 0.14279/depositonce-10857, 2020

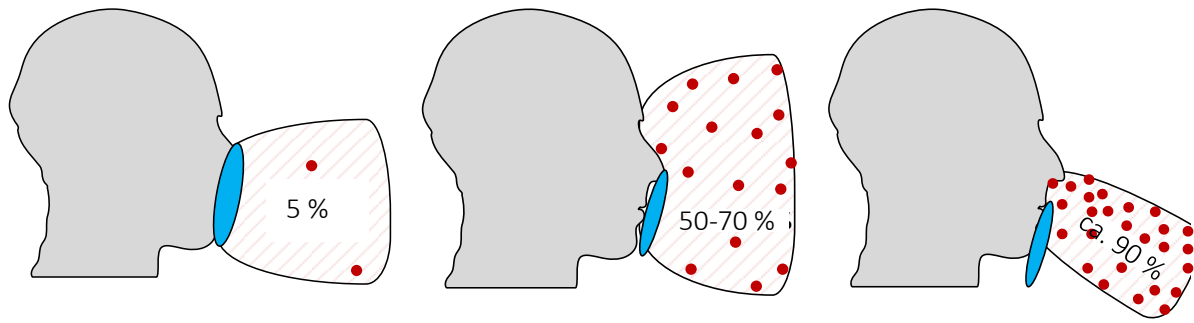


Abbildung 4: Anteil der verbleibenden Aerosole beim Tragen eines MNS
 (links: ideal dicht sitzend, mittig: real sitzender Umsetzung, rechts: MNS unterhalb der Nase)

Die Beobachtung des Strömungsverhaltens zeigt, dass die abgeatmeten Partikel spätestens nach 10 s eine Entfernung von einem Meter überwunden haben. Damit besteht die Gefahr, dass die Aerosole und Tröpfchen von einer gegenüberstehenden Person nahezu unverdünnt in kürzester Zeit eingeatmet werden.

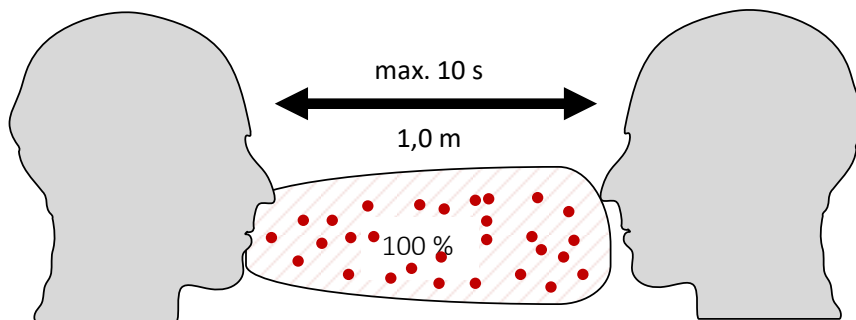


Abbildung 5: Reden ohne Mund- und Nasenschutz ermöglicht eine vollständige Übertragung von Aerosolen

Anders sieht es mit der Verwendung des Mund- und Nasenschutzes aus. Zum einen wird die Anzahl der freigesetzten Partikel durch den MNS reduziert. Zum anderen sind die Eindringtiefe und der Impuls deutlich geringer, so dass mehr als 15 s vergehen, bis erste Partikel die gegenüberstehende Person erreichen. Durch die ohnehin geringere Konzentration und den geringeren Impuls in Richtung der anderen Person sowie durch die allgegenwärtigen Raumluftbewegungen sind gute Chancen gegeben, dass die Einatemluft der gegenüberstehenden Person einen deutlich verdünnten Partikelanteil aufweist. Das Risiko für eine Infektion sinkt.

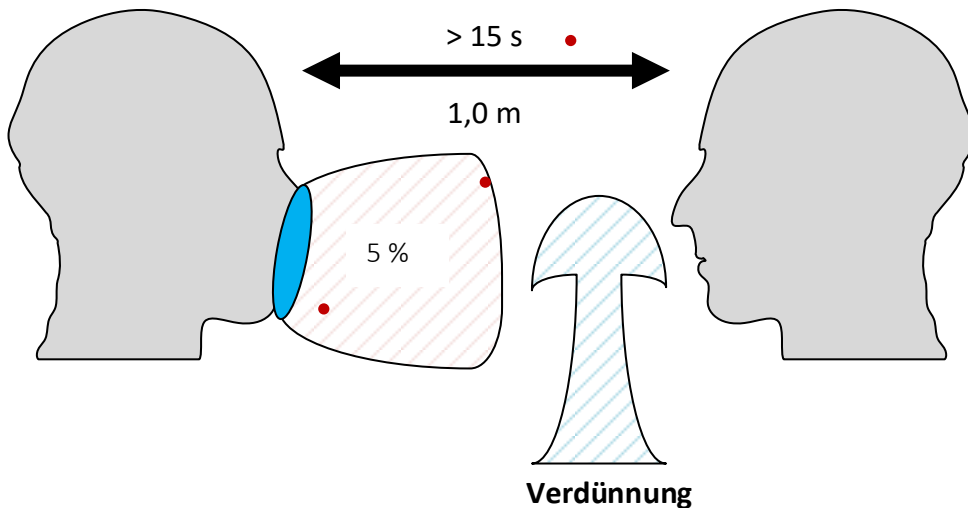


Abbildung 6: Bei ideal dicht sitzender Maske und guter Lüftung kann die Übertragung durch Aerosole fast vollständig unterbunden werden.

5 Beeinflussung der freien Atmung eines Menschen durch das Tragen einer Alltagsmaske

5.1 Druckverlust

Für den Einfluss des MNS auf die Atmung wurde eine vergleichende Messung durchgeführt. Den prinzipiellen Aufbau zeigt die Abbildung 7. In einem ersten Versuch wurde der Druckverlust über die Nase bestimmt. Dazu wurde im Mundraum der Druck in Abhängigkeit der Zeit mit einer Frequenz von 20 Hz gemessen. Die Verläufe wurden für folgende Varianten untersucht:

- normale Atmung
- bewusstes, tiefes Atmen
- leichtes Joggen

Die gleichen Versuche wurden anschließend mit MNS durchgeführt. Bei den Versuchen wurde nur durch die Nase geatmet und darauf geachtet, dass keine Leckageströme über den Rachenraum auftreten.

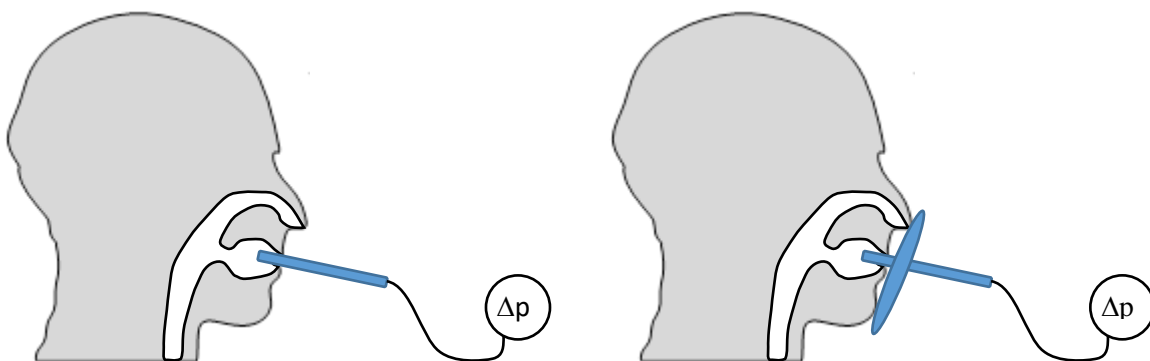


Abbildung 7: Versuchsaufbau für die Bestimmung des Druckverlustes über Nase mit (links) und ohne MNS (rechts)

Der Druckverlust des MNS ergibt sich aus den Druckdifferenzen für die Messungen mit und ohne MNS nach der folgenden Gleichung:

$$\Delta p_{MNS} = \Delta p_{Rachen+MNS} - \Delta p_{Rachen} \quad (1)$$

Die Ergebnisse der Messungen (Abbildung 8) zeigen, dass die Druckverläufe mit MNS höher als ohne MNS sind. Negative Werte zeigen den Einatmen-Vorgang, positive das Ausatmen.

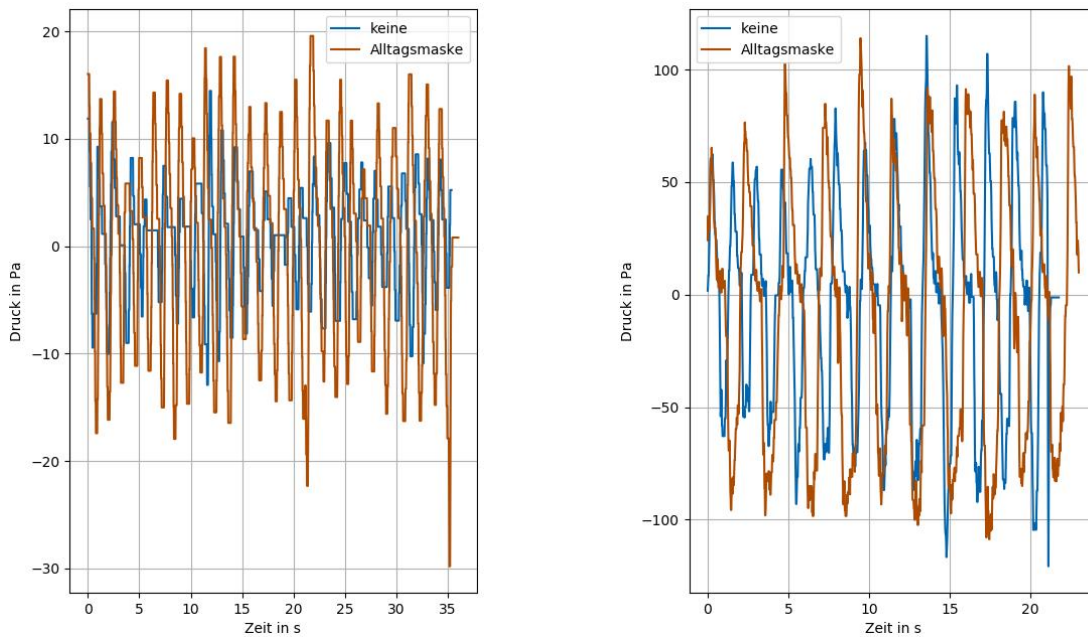


Abbildung 8: Beispielhafter Druckverlauf ohne und mit MNS für Nasenatmung bei normaler Tätigkeit (links) und leichtem Joggen (rechts), beim Einatmen sinkt der Druck unter Null, beim Ausatmen steigt er darüber an.

Für eine Versuchsreihe von fünf Personen wurden die gleichen Messungen durchgeführt. Die Abbildung 9 zeigt die sich ergebenden mittleren Drücke beim Ein- und Ausatmen. Dabei ist ersichtlich, dass die Druckverluste für das Einatmen tendenziell größer als beim Ausatmen sind. Den Grund dafür zeigt die Abbildung 10. Beim normalen und unbewussten Atmen nimmt der Einatem-Vorgang eine geringere Zeit in Anspruch als der Ausatem-Vorgang. D.h. da in kürzerer Zeit das gleiche Volumen eingeatmet wird, ist die Geschwindigkeit und damit der Druckverlust höher.

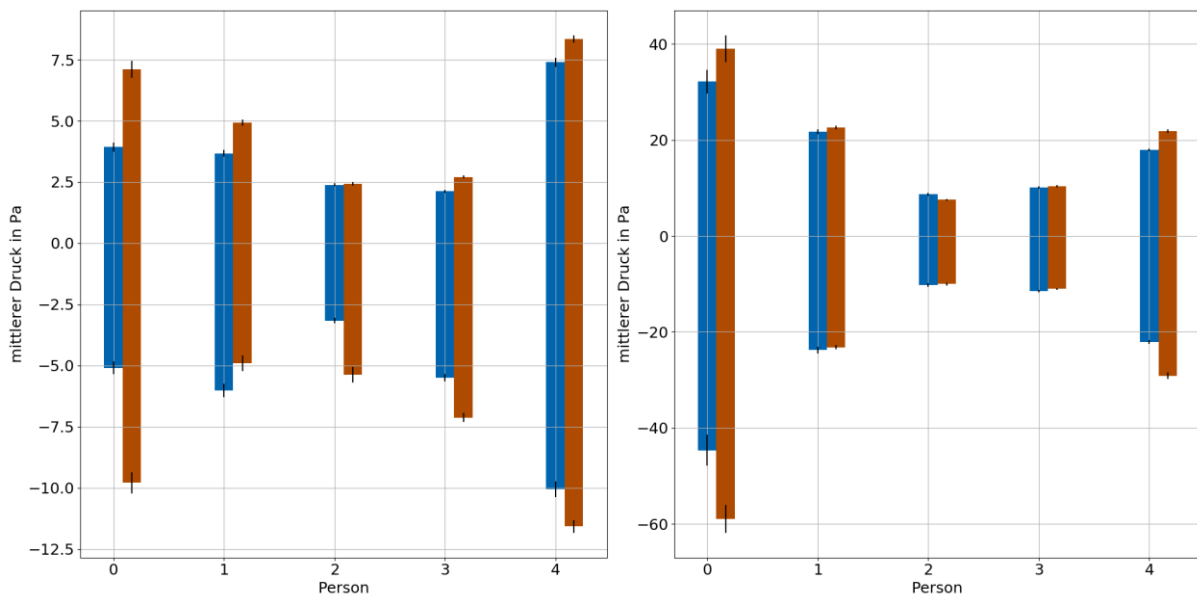


Abbildung 9: Mittlere Druckdifferenz zwischen Rachenraum und Umgebung bei normaler Tätigkeit (links) und leichtem Joggen (rechts), blau: ohne MNS (Δp_{Rachen}), rot: mit MNS ($\Delta p_{\text{Rachen}+MNS}$), Werte kleiner Null stellen das Einatmen dar, Werte größer Null das Ausatmen

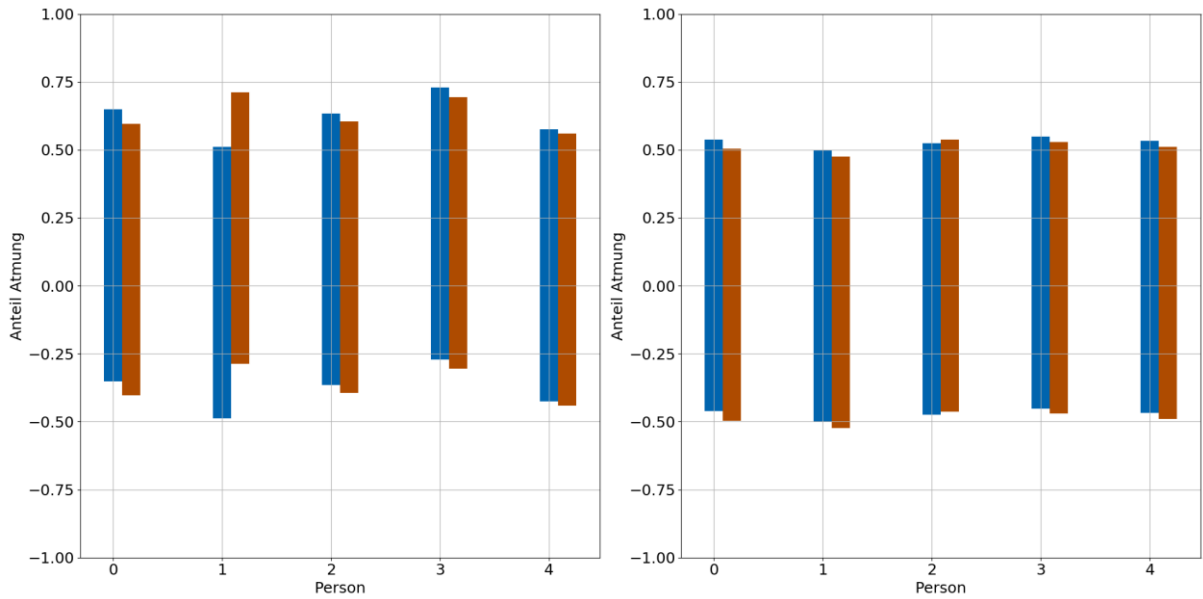


Abbildung 10: Anteil für das Ein- und Ausatmen bei normaler Tätigkeit (links) und leichtem Joggen (rechts), blau: ohne MNS, rot: mit MNS, Werte kleiner Null stellen das Einatmen dar, Werte größer Null das Ausatmen. Der Anteil für einen Vorgang ergibt sich aus der Zeit eines Vorganges bezogen auf die Gesamtzeit eines Atem-Zyklus von Ein- und Ausatmen.

Die Abbildung 11 zeigt den direkten Druckverlust des MNS. Wie ersichtlich, ist der Druckverlust von sehr vielen individuellen Faktoren abhängig. Z.B. wird der Druckverlust über das Filtermaterial durch die Geschwindigkeit bestimmt, mit der das Material durchströmt wird. Diese Geschwindigkeit ist lokal sehr unterschiedlich und von der Position des MNS im Verhältnis zu der Nase und dem Mund abhängig. Neben der lokalen Geschwindigkeit erscheint es plausibel, dass die Leckage eine individuelle Größe darstellt. Die Leckage ergibt sich aus der Passform eines MNS an die individuelle Kopfform und des Druckes, den die Befestigung des MNS am Kopf auf die Dichtfläche zwischen MNS und Kopf ausübt.

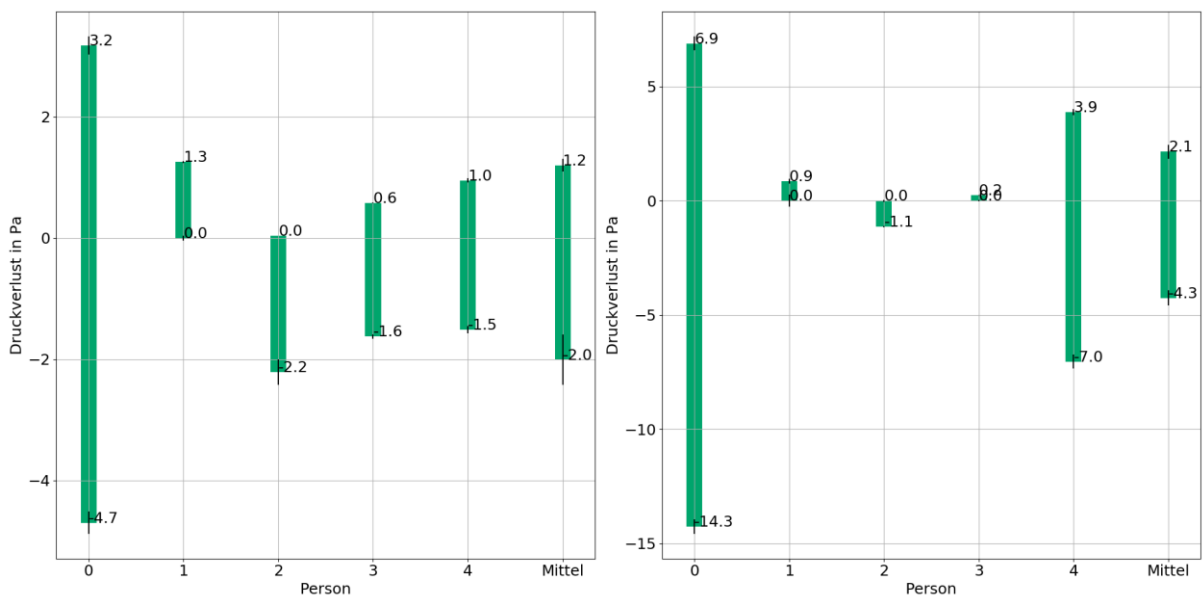


Abbildung 11: Druckverlust über der Maske Δp_{MNS} für das Ein- und Ausatmen bei normaler Tätigkeit (links) und leichtem Joggen (rechts), Werte kleiner Null stellen das Einatmen dar, Werte größer Null das Ausatmen

5.2 CO₂-Gehalt der Einatemluft

Neben dem höheren Aufwand für die Atmung (Überwindung des Druckverlustes des MNS) steht die gefühlte höhere CO₂-Konzentration in der Kritik.

Dazu wurde in einem weiteren Versuch der Verlauf der CO₂-Konzentration in der Atemluft bestimmt. Die Messungen wurden mit dem Gerät Ecotec E3000 von Inficon durchgeführt. Dieses Gerät saugt die zu untersuchende Luft an und führt sie einem Analysator zu. Die Abbildung 12 zeigt den Verlauf der CO₂-Konzentration beim Ein- und Ausatmen bei normaler Tätigkeit ohne MNS.

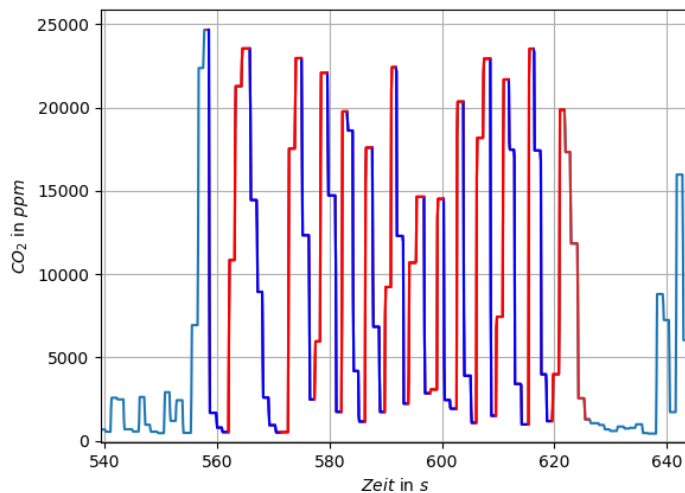


Abbildung 12: Beispielhafter Verlauf der CO₂-Konzentration am Messgerät über der Zeit. Die Umgebungskonzentration lag bei ca. 420 ppm, Einatmen(blau) und Ausatmen (rot)

Für die Bewertung des MNS ist die CO₂-Konzentration der Atemluft nur für das Einatmen von Interesse. Daher werden die Bereiche in Einatmen und Ausatmen unterschieden. Die Bestimmung erfolgt über die Suche nach einem lokalen Maximum und Minimum. Die zusammenhängenden Bereiche zwischen diesen Messungen werden je nach Gradient des CO₂-Gehaltes in Einatmen und Ausatmen unterschieden. Während des Einatmens sinkt der CO₂-Gehalt, beim Ausatmen steigt dieser an. Diese Abschnitte „Einatmen“ und „Ausatmen“ sind in der Abbildung blau und rot markiert.

Beim Einatmen ohne MNS wird bei einer Umgebungskonzentration von ca. 420 ppm CO₂ eine typische minimale Konzentration von 507 ppm CO₂ gemessen. Das heißt, die zuvor ausgeatmete Luft mit hoher CO₂-Konzentration hat sich bei den gegebenen Testbedingungen zum Zeitpunkt des Starts des Einatmens noch nicht vollständig mit der Umgebungsluft ausgetauscht, sodass ein kleiner Teil des zuvor ausgeatmeten CO₂ wieder eingeatmet wird. Bei der Verwendung des MNS beträgt die CO₂-typische minimale Konzentration der eingeatmeten Luft 680 ppm. Die typische maximale Konzentration beträgt 30.000 ppm bzw. 24.000 ppm für die Atmung mit und ohne MNS.

Um die Werte des Einatmens zu untersetzen wurden während des Einatem-Vorganges zu Beginn, in der Mitte und am Ende Konzentrationsproben genommen. Dazu wurde eine Probe von 200 ml entnommen und analysiert. Die Abbildung 13 zeigt die Mittelwerte der Messungen.

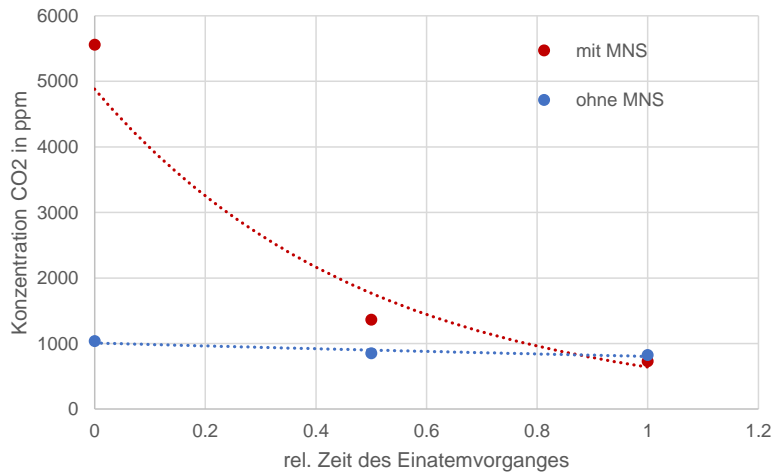


Abbildung 13: Verlauf der CO₂-Konzentration während eines Einatemvorganges, ohne MNS (blau) und mit MNS (rot)

Die Messungen zeigen zu Beginn des Einatemvorganges bei der Verwendung der Maske eine höhere Konzentration als ohne. Diese Konzentration nimmt über den Einatem-Vorgang ab und erreicht zum Ende den gleichen Wert wie ohne Maske. Der Vertrauensbereich der gezeigten Werte liegt bei ca. 15 %. Die Umgebungskonzentration an CO₂ lag bei diesen Messungen bei ca. 500 ppm.

Die Verwendung einer Maske zeigt einen Einfluss auf die eingeatmete Konzentration an CO₂. Das in der Maske enthaltene Luftvolumen nimmt die Ausatem-Luft auf und gibt sie beim Einatmen zuerst wieder ab, bevor die Umgebungsluft mit geringer CO₂-Konzentration eingeatmet wird.

Die CO₂-Konzentrationen liegen weit unterhalb bedenklicher Werte. Dies kann anhand eines Beatmungsvorganges bei der Wiederbelebung verdeutlicht werden. Die typische CO₂-Konzentration der ausgeatmeten Luft beträgt 40.000 ppm und doch kann trotz dieser hohen Konzentration die Atemspende dem Bewusstlosen helfen zu überleben.

5.3 MNS auf Adapter

Zur vergleichenden Bewertung der beschriebenen Ergebnisse wurde ein Adapter entwickelt, dessen Aufgabe es ist

- dicht am Gesicht anzuliegen und die Leckage zu minimieren
- einen Abstand zwischen Gesicht und Filtermaterial zu erreichen, damit sich ein gleichmäßiges Geschwindigkeitsfeld für die Durchströmung des Filtermaterials ausbilden kann.

Dieser Adapter dient ausschließlich der Untersuchung und Bewertung der vorgenannten physikalischen Parameter.

Die Druckverlust-Messungen mit MNS auf dem Adapter wurden mit der Person 0 (Person mit dem höchsten Druckverlust) wiederholt. Die Abbildung 14 zeigt den zeitlichen Verlauf der Druckdifferenz zwischen Umgebung und innerhalb des MNS (blau, $p_{Adapter}$) sowie zwischen der Umgebung und dem Rachenraum (orange, p_{Rachen}).

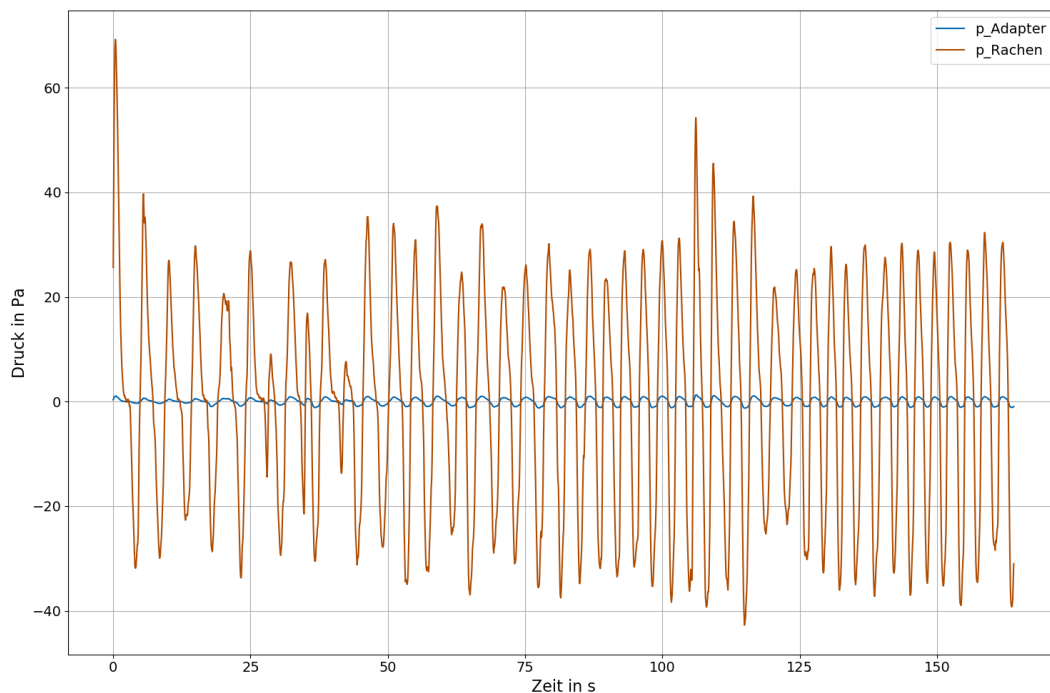


Abbildung 14: Druckdifferenz zwischen Rachen und Umgebung (rot) und über MNS auf dem Adapter (blau)

Der Druckverlust über den MNS betrug im Mittel bei der Anwendung des Adapters $-0,65 \text{ Pa} / 0,51 \text{ Pa}$ und liegt damit niedriger als der Druckverlust über den MNS ohne Adapter ($-4,7 / 3,2 \text{ Pa}$); gegenüber einem Druck von $-20,4 \text{ Pa} / 19,5 \text{ Pa}$ im Mundraum.

Die Messungen des CO_2 -Gehaltes der eingeatmeten Luft bei Verwendung des Adapters mit MNS betrug 2.475 ppm CO_2 . Die Konzentration liegt damit ca. 1.970 ppm über dem Referenzwert. Der lüftungstechnisch empfohlene Schwellwert von 1.000 ppm wird deutlich überschritten.

Die Ursache dafür ist das Volumen, welches von der Maske und dem Adapter gebildet wird. Dieses beträgt ca. $0,7 \text{ l}$. Das entspricht in etwa dem typischen Volumen eines Atemzuges ($0,5 \text{ l}$). Der Adapter mit MNS ermöglicht einerseits einen Abbau von Geschwindigkeitsspitzen und damit eine Reduktion des Druckverlustes, andererseits wird der Austausch mit der Umgebungsluft unterdrückt und der CO_2 -Gehalt steigt in diesem Volumen an. Die Wahl eines MNS mit möglichst geringem Totvolumen begünstigt nach dieser Messung eine geringe CO_2 -Konzentration der eingeatmeten Luft.

6 Zusammenfassung und Bewertung

Aus physikalischer Sicht sprechen keine Gründe gegen das Tragen des MNS. Die Untersuchungen bzgl. des Druckverlustes zeigen einen geringen, praktisch aber nicht relevanten Anstieg im Bereich von ca. $+1/-2 \text{ Pa}$ für das unbewusste Ein-/Aus-Atmen und $+2/-4 \text{ Pa}$ für Tätigkeiten und leichter Belastung. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Ausprägung sehr individuell und die Anzahl und Auswahl der Probanden nicht repräsentativ ist. Der MNS hat auf den CO_2 -Gehalt der eingeatmeten Luft ebenfalls nur einen geringen Einfluss. Die Messungen an einem Probanden zeigen bei einem eng anliegenden MNS einen Anstieg von ca. 170 ppm CO_2 gegenüber der freien Atmung. Der lüftungstechnisch empfohlene absolute Schwellwert von 1.000 ppm wird dabei nicht erreicht. Bei größeren Volumina zwischen Kopf und MNS können allerdings deutlich größere Werte auftreten. Für weitere und exaktere Messungen sind Messungen mit einer höheren Zeitauflösung notwendig.

Die Verwendung des Mund-Nasenschutzes kann einen wirksamen Beitrag zur Infektionsvermeidung liefern. Jedoch ist zu beachten, dass es keinen vollständigen Schutz bietet, sondern lediglich hilft, das Risiko zu mindern. In Verbindung mit der persönlichen Schutzausrüstung sind stets weitere

Maßnahmen zu ergreifen. Diese sind in erster Linie in der Vermeidung von Lasten (in diesem Fall Viren) zu suchen (z.B. Quarantäne von infizierten Personen), gefolgt von technischen Maßnahmen (z.B. Lüftung) und organisatorischen Maßnahmen (z.B. Abstand).