

Aus dem Lehrstuhl  
für Innere Medizin II  
Prof. Dr. Lars Maier  
der Fakultät für Medizin  
der Universität Regensburg

Einfluss von chirurgischem Mund-Nasen-Schutz, FFP2-Maske und  
FFP3- Maske mit Ausatemventil auf Belastbarkeit und Blutgasparameter

Inaugural – Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin

der  
Fakultät für Medizin  
der Universität Regensburg

vorgelegt von  
Stefanie Zahn

2024



Aus dem Lehrstuhl  
für Innere Medizin II  
Prof. Dr. Lars Maier  
der Fakultät für Medizin  
der Universität Regensburg

Einfluss von chirurgischem Mund-Nasen-Schutz, FFP2-Maske und  
FFP3- Maske mit Ausatemventil auf Belastbarkeit und Blutgasparameter

Inaugural – Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin

der  
Fakultät für Medizin  
der Universität Regensburg

vorgelegt von  
Stefanie Zahn

2024

Dekan:

Prof. Dr. Dirk Hellwig

1. Berichterstatter:

Prof. Dr. Michael Pfeifer

2. Berichterstatter:

Prof. Dr. Hans-Stefan Hofmann

Tag der mündlichen Prüfung: 14.11.2024

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	4
1.1	Gesundheitspolitische Maßnahmen im Rahmen der Coronapandemie .....	4
1.2	Anwendung unterschiedlicher Atemmasken .....	5
1.2.1	Alltagsmasken .....	6
1.2.2	Medizinischer Mund-Nasen-Schutz .....	6
1.2.3	FFP-Masken .....	7
1.2.3.1	FFP2-Masken .....	7
1.2.3.2	FFP3-Masken .....	8
1.3	Gesellschaftlicher Diskurs .....	8
1.4	Zielsetzung der Studie .....	9
2	Methoden und Material .....	10
2.1	Studiendesign .....	10
2.2	Studienpopulation .....	10
2.3	Ablauf .....	10
2.3.1	6-Minuten Gehstest .....	11
2.3.2	Blutgasanalyse .....	12
2.3.3	CO-Messung .....	12
2.3.4	Modifizierte Borg-Skala .....	13
2.3.5	Fragebogen .....	13
2.4	Materialien .....	14
2.4.1	Masken .....	14
2.4.2	Geräte .....	14
2.4.3	Verbrauchsmaterialien .....	14
2.4.4	Software .....	15
2.5	Statistik .....	15
3	Ergebnisse .....	16
3.1	Baseline-Charakteristika .....	16
3.2	Einfluss unterschiedlicher Maskentypen auf pCO <sub>2</sub> .....	17

3.3	Einfluss unterschiedlicher Maskentypen auf $pO_2$ .....	18
3.4	Einfluss unterschiedlicher Maskentypen auf die Atemfrequenz .....	19
3.5	Einfluss unterschiedlicher Maskentypen auf die Gehstrecke .....	20
3.6	Einfluss unterschiedlicher Maskentypen auf Dyspnoe .....	21
3.7	Einfluss unterschiedlicher Maskentypen auf CO-Abatmung .....	22
3.8	Einfluss unterschiedlicher Maskentypen auf weitere Vitalparameter .....	23
3.9	Fragebogen .....	23
4	Diskussion .....	26
5	Zusammenfassung .....	30
6	Literaturverzeichnis .....	31
7	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis .....	33
8	Anhang .....	34
8.1	Fragebogen .....	34
8.2	Deskriptive Statistik .....	37
8.2.1	Patientengruppe 1 (Gesunde Probanden).....	37
8.2.2	Patientengruppe 2 (Aktive Raucher) .....	42
8.2.3	Patientengruppe 3 (Patienten mit stabiler interstitieller Lungenerkrankung) .....	47
9	Danksagung .....	53

## Abkürzungsverzeichnis

6MGT	6-Minuten Gehstest
ATS	American Thoracic Society
CO	Kohlenstoffmonoxid
FFP	filtering face piece
MNS	Mund-Nasen-Schutz
pCO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxidpartialdruck
pO <sub>2</sub>	Sauerstoffpartialdruck
SARS-CoV-2	severe acute respiratory syndrome coronavirus type 2
WHO	World Health Organisation

# 1 Einleitung

## 1.1 Gesundheitspolitische Maßnahmen im Rahmen der Coronapandemie

Die Coronapandemie führte ab Anfang 2020 zu einer deutlich zunehmenden Anwendung unterschiedlicher Atemmasken zum Schutz der Bevölkerung vor einer Ansteckung mit SARS-CoV-2 sowie zur Verhinderung einer ungebremsten Ausbreitung des Virus. Der protektive Nutzen der Maskenverwendung konnte neben Abstandsregelungen und Händehygiene nachgewiesen werden.<sup>1,2</sup>

Im Rahmen der weltweiten Ausbreitung von SARS-CoV-2 und dem vermehrten Auftreten schwerer SARS-CoV-2-assoziiierter Pneumonien kam es international zu einer beispiellosen Reihe von gesundheitspolitischen Maßnahmen mit massiven Einschnitten in das gesellschaftliche Leben.

Am 11. März 2020 definierte die Weltgesundheitsorganisation (WHO) die Ausbreitung von SARS-CoV-2 als Pandemie. Aufgrund deren rasanter Dynamik und fehlender etablierter und wirkungsvoller Therapiemaßnahmen, war frühzeitig eine Verhinderung der ungebremsten Ausbreitung des Virus im Fokus der gesundheitspolitischen Maßnahmen. Ab Februar 2020 kam es zunächst im asiatischen Raum und dann im Verlauf weltweit zu Einreisebeschränkungen bzw. Einreiseverboten.

Als erstes europäisches Land veranlasste Österreich am 10. März 2020 ein Einreiseverbot für Personen mit Voraufenthalt in Italien. Mitte März kam es in vielen europäischen Mitgliedsstaaten zu Grenzschließungen, in Deutschland am 16. März 2020.

Am 22. März 2020 trat dann der erste sogenannte „Lock-down“ in Deutschland in Kraft mit Kontaktbeschränkungen, Schließung öffentlicher Einrichtungen und Einschränkungen der Mobilität.

Neben diesen allgemeinen Regelungen wurden auf fachlicher Grundlage des nationalen Pandemieplans und in Anlehnung an die Vorgaben der WHO individuelle Infektionsschutzmaßnahmen propagiert.

Hierzu zählten neben Händehygiene und Abstandsregelung auch das Tragen einer Alltagsmaske.<sup>3,4,5</sup>

## 1.2 Anwendung unterschiedlicher Atemmasken

Im April 2020 wurde in Deutschland in allen Bundesländern eine initial ausgesprochene dringliche Empfehlung zum Tragen eines Mundschutzes zur „Maskenpflicht“. Auch im Bereich des Gesundheitswesens war in Deutschland für Patienten und Mitarbeiter bis März 2023 das Tragen von Atemmasken Teil des Alltags.

Hierbei kamen verschiedene Masken zum Einsatz, deren Anwendungshäufigkeit sich im Laufe der Zeit und auch nach den entsprechend zur jeweiligen Situation geltenden Empfehlung änderte. Zum Einsatz kamen Stoffmasken, einfacher chirurgischer/medizinischer Mund-Nasen-Schutz (MNS) sowie filtering face piece-(FFP-) Masken mit und ohne Ausatemventil. Die verschiedenen Maskentypen unterscheiden sich sowohl in der Schutzwirkung als auch in Tragekomfort und Atemwiderstand und der damit verbundenen Auswirkungen auf die Atmung. Bei insgesamt hoher Akzeptanz der Schutzmaßnahmen berichteten viele Menschen über vermehrte Atemanstrengung oder Luftnot. Insbesondere Patienten mit vorbestehender schwerer Lungenerkrankung konnten das Tragen einer Atemschutzmaske teilweise nicht oder nur über einen kurzen Zeitraum tolerieren.

Hierbei muss insbesondere für diese Gruppe von einem großen Nutzen der Schutzwirkung ausgegangen werden mit der möglichen Verhinderung eines schweren COVID-19-Verlaufs bei vorbestehender Lungenerkrankung.

Entgegen der in einigen asiatischen Ländern verbreiteten Maßnahme Atemmasken im öffentlichen Raum zu tragen, auch um der Belastung durch Umweltabgase zu entgehen, gehörte dies in Deutschland bis zum Beginn der Pandemie nicht zum gewohnten Alltagsbild. Atemmasken waren bis dato überwiegend für Mitarbeitende im Gesundheitswesen, zum Beispiel im Operationssaal oder im Kontakt mit infektiösen Patienten oder auch bei zahnärztlichen Prozeduren, obligat. Aber auch in anderen Berufsfeldern, in welchen mit atemwegsbelastenden Materialien gearbeitet wird, werden Atemmasken zur Verhinderung von Lungenschäden eingesetzt.

### **1.2.1 Alltagsmasken**

Textilmasken unterliegen keinem genormten Standard. Es handelt sich hierbei um teilweise selbstgemachte und teilweise kommerziell gefertigte Gesichtsmasken, Schlauchschals, Tücher etc., welche insbesondere zu Beginn der Pandemie auch auf Grund von Ressourcenknappheit in der breiten Bevölkerung angewandt wurden. Als sogenannte Alltagsmasken waren sie zudem Bestandteil der frühen individuellen Infektionsschutzmaßnahmen. Matuschek et al. konnten in einer Literaturrecherche nur schwache Belege dafür finden, dass das Tragen einer Gesichtsmaske insgesamt ein wirksames Hygienemittel zur Verhinderung der Ausbreitung einer Virusinfektion ist. Allerdings scheint die Verwendung eines Mundschutzes bei engem Kontakt einen relevanten Schutz zu bieten, indem die Verbreitung von erregerhaltigen Aerosolen und Flüssigkeitströpfchen eingeschränkt wird.<sup>6</sup>

### **1.2.2 Medizinischer Mund-Nasen-Schutz**

Ein MNS ist laut Definition auch eine Halbgesichtsmaske und dient im Rahmen der persönlichen Schutzausrüstung der Reduktion von Tröpfchen-Übertragungen des Trägers auf die Umgebung. Die Wirkung des MNS muss im Sinne der Pandemiemaßnahmen somit höher eingeschätzt werden als die der Alltagsmaske. Es handelt sich um ein genormtes Medizinprodukt und unterliegt der EN 14683:2019-6. Der MNS wird abhängig von der Filtrationsleistung in drei Typen (I, II, IIR) eingeteilt. Der Eigenschutz des Trägers ist nicht garantiert, da formbedingt kein dichter Abschluss des filternden Materials mit dem Gesicht gegeben ist.

### 1.2.3 FFP-Masken

FFP-Masken werden als Halbmasken eingestuft. Sie haben die Aufgabe sowohl den Träger als auch die umstehenden Personen zu schützen. Hierdurch unterscheiden sie sich von den oben genannten medizinischen Halbmasken (MNS) und den Alltagsmasken. FFP-Masken gibt es ohne oder mit Ventil. FFP-Masken mit Ventil ermöglichen einen Luftstrom von der Innenseite der Maske nach außen.

FFP1-Masken sind Staubmasken und werden hauptsächlich für diesen Zweck verwendet. FFP1-Masken sind für Arbeitsumgebungen geeignet, in denen ungiftige Stäube vorkommen. Im Rahmen der SARS-CoV-2-Pandemie spielten sie keine Rolle.

#### 1.2.3.1 FFP2-Masken

FFP2-Masken sind für Arbeitsumgebungen geeignet, in denen Krankheitserreger und Mutagene in der Luftzusammensetzung vorhanden sind. Sie schützen die Person, die sie trägt, da > 95 % der Partikel und Tröpfchen beim Einatmen zurückgehalten werden. FFP2-Masken schützen auch die Umwelt wirksam, solange kein Ausatemventil vorhanden ist. Im Gegensatz dazu lassen Masken mit Ausatemventil die ausgeatmete Luft ungefiltert entweichen, wodurch die unmittelbare Umgebung kontaminiert werden kann.

### 1.2.3.2 FFP3-Masken

FFP3-Masken schützen den Anwender noch effektiver als FFP2, da > 99 % der Tröpfchen und Partikel beim Einatmen gefiltert werden. Die Anwendung von FFP3-Masken führte weiterhin zu nachweisbar weniger Infektionen von Mitarbeitenden im Gesundheitswesen im direkten Kontakt zu SARS-CoV-2 infizierten Patienten im Vergleich zum MNS.<sup>7</sup>

FFP3-Masken schützen auch die Umwelt, wenn kein Ausatemventil vorhanden ist. Eine Empfehlung zum Tragen einer FFP3-Maske außerhalb der Hochrisikobereiche zum Schutz des medizinischen Personals bestand zu keiner Zeit.

## 1.3 Gesellschaftlicher Diskurs

In Deutschland zeigte sich eine große Akzeptanz gegenüber den auferlegten Hygienemaßnahmen in der Bevölkerung. Bezüglich der Maskenpflicht hielten laut einer repräsentativen Umfrage des Bundesinstitutes für Risikobewertung zwischen April 2020 und April 2023 73-94% der Befragten die Maßnahme für angemessen. Hier ergab sich zudem in der Gruppe der Älteren ( $\geq 60$  Jahre), und somit statistisch wahrscheinlicher vorerkrankt, eine stärkere Befürwortung der Maßnahme.<sup>8</sup>

Vereinzelt kam es zu Maskenverweigerungen und an die Ärzteschaft wurden vermehrt Anfragen zum Ausstellen sogenannter „Maskenbefreiungen“ herangetragen. Die wissenschaftliche Grundlage, die solche Atteste rechtfertigen würde ist bis dato nicht vorhanden.

Ob durch das Tragen einer Atemschutzmaske eine Schädigung der Gesundheit zu erwarten ist, welche Personengruppen hiervon betroffen sein könnten und in welchem Verhältnis eine mögliche Schädigung zur nachgewiesenen Schutzwirkung steht, ist zum jetzigen Zeitpunkt nicht nachgewiesen und Gegenstand aktueller Forschung. Neben unmittelbar und offensichtlich auftretenden Komplikationen, wie zum Beispiel Hautdermatosen oder Druckstellen unter der Maske bei langanhaltender Anwendung, konnten insbesondere langfristige gesundheitliche Schädigungen bisher nicht nachgewiesen werden.<sup>9-11</sup>

## 1.4 Zielsetzung der Studie

Das Ziel dieser Pilotstudie war die Untersuchung, ob das Tragen verschiedener Atemschutzmasken unter Belastung mittels 6-Minuten Gehstest (6MGT) einen Effekt auf subjektive Atemanstrengung, Blutgase, insbesondere Sauerstoffpartialdruck ( $pO_2$ ) und Kohlenstoffdioxidpartialdruck ( $pCO_2$ ), Atemfrequenz, Blutdruck, Herzfrequenz und Leistungsfähigkeit bei Gesunden, Rauchern und Patienten mit interstitieller Lungenerkrankung hat.

## **2 Methoden und Material**

### **2.1 Studiendesign**

Es handelt sich um eine prospektive Studie, welche im Klinikum Donaustauf, einem Lungenfachzentrum in Ostbayern, Deutschland durchgeführt wurde.

Eingeschlossen wurden Mitarbeiter der Klinik sowie Probanden, welche sich zwischen Januar 2021 und April 2022 als Patienten in der Klinik vorstellten. Die Studie wurde durch die Ethikkommission der Universität Regensburg genehmigt (No. 20-2105-101).

### **2.2 Studienpopulation**

Einschlusskriterien waren: Absolvierung eines 6MGT ohne Maske und ohne Abbruch des Tests und passende Charakteristika zu einer der folgenden drei Gruppen:

1. Gesunde Probanden (FEV1 / FVC, TLC und TLCO normal, Nicht-Raucher)
2. Aktive Raucher (FEV1 / FVC, TLC und TLCO normal, > 5 pack-years, Zigarettenkonsum von mehr als 5 Zigaretten/Tag, keine bekannte Lungenerkrankung)
3. Patienten mit stabiler interstitieller Lungenerkrankung (FEV1 / FVC normal, TLC reduziert, FVC < 60 % und oder TLCO < 80 %, Nichtraucher, pO<sub>2</sub> kapillär > 54 mmHg, pCO<sub>2</sub> kapillär < 46 mmHg).

Ausschlusskriterien waren ein Alter unter 18 Jahren, eine etablierte Langzeitsauerstofftherapie, eine akute kardiale Dekompensation, Pneumonie oder Exazerbation einer vorbestehenden Lungenerkrankung, Lungenarterienembolie, akuter Myokardinfarkt, COVID-19 und eine Anämie.

### **2.3 Ablauf**

Die Teilnehmer absolvierten den 6MGT zunächst ohne Maske und dann in zufälliger Reihenfolge mit MNS, FFP2-Maske und FFP3-Maske mit Ausatemventil.

Die Reihenfolge der Gehtests mit den jeweiligen Masken wurde vor Beginn der Testung mittels der Randomizer App, Version 3.10.1, Google commerce Ltd. festgelegt.

Zwischen den jeweiligen Gehtests bestand mindestens eine halbe Stunde Pause.

In der Gruppe der aktiven Raucher rauchten die Patienten jeweils unmittelbar vor der Testung eine Zigarette.

Vor und nach jeder Testung erfolgte die Messung der Herzfrequenz, des Blutdrucks, der Atemfrequenz und eine Abfrage der subjektiven Atemanstrengung mittels modifizierter Borg-Skala (Abbildung 1).

Es erfolgte zudem initial vor Beginn der Testung einmalig die kapilläre Blutgasanalyse am Ohrläppchen als Ausgangswert in Ruhe sowie dann nach jedem Gehtest. Insgesamt wurden fünf kapilläre Blutgasanalysen bei jedem Probanden erhoben.

In der Gruppe der aktiven Raucher erfolgte zudem vor und nach dem Gehtest die Messung der Kohlenstoffmonoxid-Abatmung mittels CO-Messgerät.



4x Wiederholung der Messreihe mit mind. 30-minütiger Pause zwischen den 6MGTs

**Abbildung 1:** Ablaufprotokoll

### 2.3.1 6-Minuten Gehtest

Die Durchführung des 6MGT erfolgte nach Vorgabe der American Thoracic Society (ATS) aus dem Jahr 2002.<sup>12</sup>

Die Testungen erfolgten jeweils nachmittags/abends im Krankenhaus Donaustauf auf einer hierfür vorgesehenen ebenen Gehstrecke mit glattem Bodenbelag.

Hierbei geht der Proband jeweils 6 Minuten so schnell er kann um zwei im Abstand von 30 m aufgestellte Hütchen. Als Ergebnis wird die geschaffte Laufstrecke pro 6 Minuten in Metern dokumentiert.

In dem vorgesehenen Studienprotokoll sollte der Gehtest ohne Maske nicht innerhalb der vorgesehenen Zeit abgebrochen werden. Die Gehtests mit den verschiedenen Masken konnten bei zu starker Anstrengung oder Luftnot durch den Probanden pausiert, bzw. abgebrochen werden.

Während der Testung erfolgte die akustische Angabe der Zeit nach jeder Minute durch standardisierte Ansprache nach ATS-Protokoll. Es wurde dann die erreichte Laufstrecke als Ergebnis dokumentiert.

### **2.3.2 Blutgasanalyse**

Die Blutgasanalysen erfolgten aus kapillärem Blut. Hierfür wurden die Ohrläppchen der Probanden durch vorherige Einreibung mit Cayennepfeffer-Dickextrakt (Finalgon® CPD Wärmecreme) hyperämisiert und mittels scharfer Lanzette (Safety-Lanzette) oberflächlich punktiert. Mittels spezieller Blutgaskapillare wurde dann die entsprechende Menge Blut aufgefangen und unmittelbar der Analyse (Siemens RapidPoint 500 Automatic) zugeführt.

### **2.3.3 CO-Messung**

In der Gruppe der aktiven Raucher erfolgte jeweils vor und nach dem 6MGT die Messung der CO-Abatmung in der Ausatemluft. Die Probanden rauchten hierzu jeweils eine Zigarette vor der jeweiligen Testung und unmittelbar danach wurde mittels CO-Check Pro die CO-Konzentration [ppb] in der Ausatemluft gemessen. Auch nach dem 6MGT wurde die Messung unmittelbar durchgeführt, um eine Differenz der Abatmung nach einer festgelegten Zeit und standardisierten Anstrengung im Vergleich mit und ohne Maske zu bestimmen. Die Messung erfolgt mittels gleichmäßiger Expiration über einen definierten Zeitraum von 10 Sekunden mit um das Mundstück des Messgerätes vollständig geschlossenen Lippen.

### **2.3.4 Modifizierte Borg-Skala**

Bei der modifizierten Borg-Skala handelt es sich um eine Kategorial-Skala und sie ist ein häufig verwendetes quantitatives Maß für die wahrgenommene Anstrengung bei körperlicher Betätigung. Die ursprünglich von Gunnar Borg eingeführte Skala bewertete die Anstrengung auf einer Skala von 6-20. Borg entwickelte dann eine neuere Kategorie (C)-Verhältnis (R)-Skala, die Borg CR10-Skala, die auf einer Skala von 1-10 bewertet wird.<sup>13</sup>

Diese Skala wird vor allem bei der klinischen Diagnostik und der Bewertung des Schweregrads von Atemnot und Dyspnoe, Brustschmerzen, Angina pectoris und Muskel-Skelett-Schmerzen verwendet. In der Pneumologie wird diese Skala verwendet, um die subjektive Atemanstrengung des Patienten während eines Tests zu dokumentieren und zu bewerten.

### **2.3.5 Fragebogen**

Alle Teilnehmer erhielten einen Fragebogen mit 11 Fragen zum Thema Maskengebrauch im Alltag und subjektive Auswirkungen. Die meisten Teilnehmer füllten den Fragebogen während der Zeit der bestehenden FFP2-Maskenpflicht in Bayern ab Januar 2021 aus.

## **2.4 Materialien**

### **2.4.1 Masken**

Chirurgischer Mund-Nasen-Schutz	Voit ® Face Mask Medizinische Gesichtsmasken Typ II R Ohrenschlaufen
FFP2 Maske	SAFE ® FFP2 NR D Atemschutzmaske Komfort
FFP3 Maske	SAFE ® FFP3 NR D Respirator classic

### **2.4.2 Geräte**

#### Blutgasanalysegerät

Siemens RapidPoint 500 Automatic QC Seriennummer 45421, München

#### Lungenfunktionsgeräte

Jaeger MasterScreen Body S/N 694185 Vyair Medical GmbH, Höchberg

Jaeger MasterScreen-PFT S/N 671082 Vyair Medical GmbH, Höchberg

#### CO-Messgerät

CO-Check Pro MD Diagnostics LTD. Chatham, UK

### **2.4.3 Verbrauchsmaterialien**

Blutgaskapillare

Safety- Lanzette

Safebreath mouthpieces

Finalgon® CPD Wärmecreme

#### **2.4.4 Software**

Microsoft Excel version 2016, Redmond, USA

IBM SPSS version 28.0, IBM, Armonk, USA

Randomizer APP version 3.10.1, Google commerce Ltd., Dublin, Irland

#### **2.5 Statistik**

Die Statistik erfolgte mittels Varianzanalyse (ANOVA model). Die einzelnen Messungen (ohne Maske, MNS, FFP2-Maske und FFP3-Maske mit Ausatemventil) wurden als wiederholte Messungen durchgeführt. Unterschiede zwischen den Subgruppen wurden mittels Post-hoc Analyse untersucht.

P-Werte von 0,05 oder weniger wurden als signifikant betrachtet. Die Statistik für kontinuierliche Variablen wurden als Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung dargestellt.

Die Daten wurden mit Microsoft Excel gesammelt und mit IBM SPSS ausgewertet.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Baseline-Charakteristika

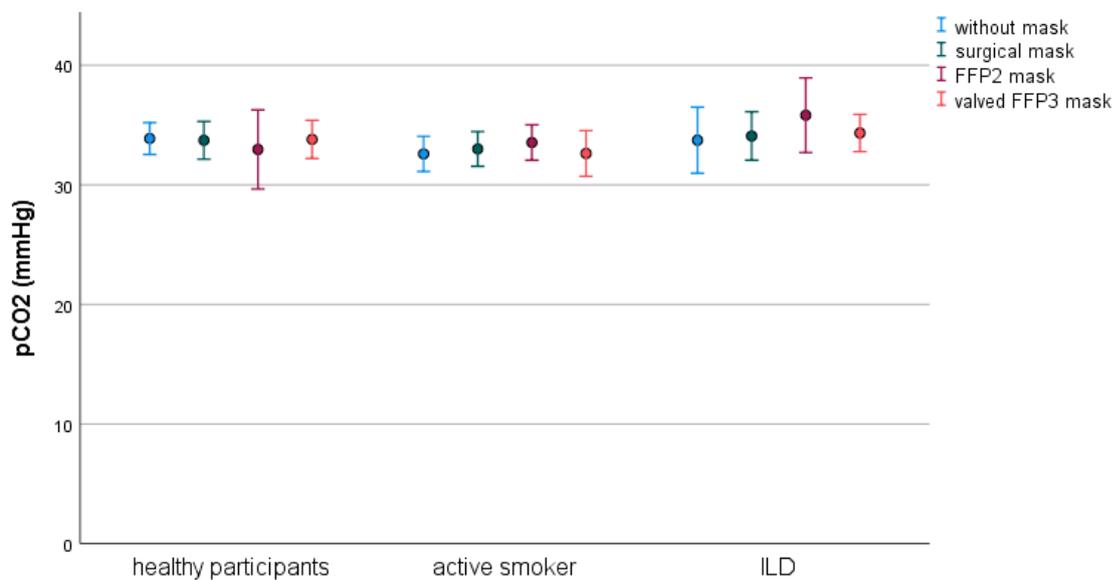
21 gesunde Probanden (mittleres Alter:  $39,9 \pm 12,6$ ; body mass index  $25,9 \pm 4,4$  kg/m<sup>2</sup>; 67 % weiblich; fünf Probanden waren Ex-Raucher), 17 aktive Raucher (mittleres Alter:  $38,4 \pm 12,2$ ; body mass index  $27,7 \pm 5,8$  kg/m<sup>2</sup>; 41 % weiblich; durchschnittlich gerauchte Zigaretten / Tag:  $13,0 \pm 6,1$ ) und 15 Patienten mit interstitieller Lungenerkrankung (mittleres Alter:  $64,0 \pm 11,0$ ; body mass index  $29,6 \pm 5,8$  kg/m<sup>2</sup>; 29 % weiblich; zehn Probanden waren Ex-Raucher; FVC  $63,7 \% \pm 11,2$  %; TLCO  $43,9 \% \pm 6,6$  %) nahmen teil (Tabelle 1). Bei den 15 Probanden mit interstitieller Lungenerkrankung hatten jeweils fünf Patienten eine nicht-klassifizierte interstitielle Lungenerkrankung, drei Patienten eine idiopathische pulmonale Fibrose, fünf Patienten eine exogen-allergische Alveolitis, jeweils ein Patient eine Sarkoidose und eine interstitielle Lungenerkrankung bei Systemischer Sklerose.

	<b>Gesunde Probanden</b>	<b>Aktive Raucher</b>	<b>Probanden mit interstitieller Lungenerkrankung</b>
<b>n</b>	21	17	15
<b>Alter [Jahre]</b>	$39,9 \pm 12,6$	$38,4 \pm 12,2$	$64,0 \pm 11,0$
<b>weiblich [%]</b>	67	41	29
<b>body mass index [kg / m<sup>2</sup>]</b>	$25,9 \pm 4,4$	$27,7 \pm 5,8$	$29,6 \pm 5,8$
<b>ehemalige Raucher</b>	5	0	10
<b>Zigaretten / Tag</b>	0	$13,0 \pm 6,1$	0
<b>Z-Score TLC</b>	$0,4 \pm 1,2$	$0,6 \pm 0,8$	$-3,0 \pm 0,8$
<b>FVC [%]</b>	$103,6 \pm 11,1$	$104,6 \pm 9,8$	$63,7 \pm 11,2$
<b>Z-Score FEV1/FVC</b>	$0,1 \pm 0,8$	$-0,3 \pm 0,7$	$0,8 \pm 0,9$
<b>FEV1 [%]</b>	$103,3 \pm 9,0$	$102,5 \pm 10,1$	$71,7 \pm 13,4$
<b>TLCO [%]</b>	$90,9 \pm 8,0$	$90,3 \pm 7,7$	$43,9 \pm 6,6$

Tabelle 1: Baseline-Charakteristika

### 3.2 Einfluss unterschiedlicher Maskentypen auf pCO<sub>2</sub>

In keiner der drei Gruppen ergab sich eine relevante Änderung der gemessenen pCO<sub>2</sub> nach erfolgtem 6MGT in der kapillären Blutgasanalyse in Abhängigkeit von der getragenen Maske und im jeweiligen Vergleich zur Messung nach Belastung ohne Maske (Abbildung 2).



**Abbildung 2:** Einfluss unterschiedlicher Maskentypen auf pCO<sub>2</sub>

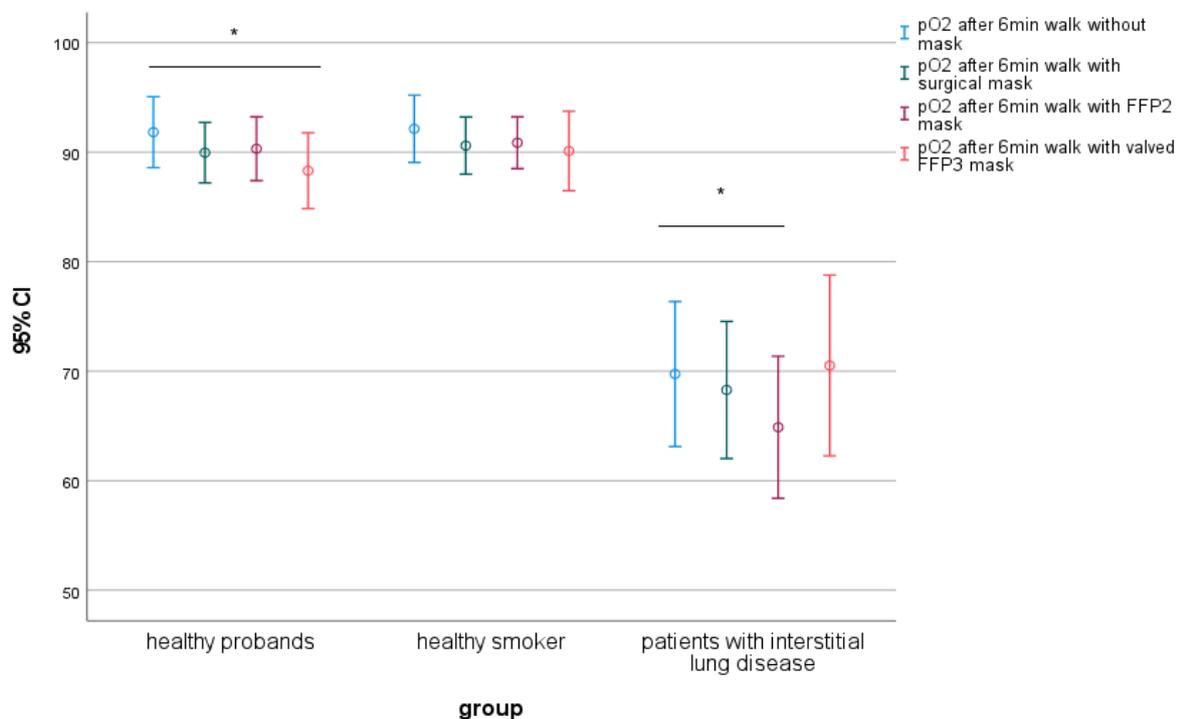
Dargestellt sind pCO<sub>2</sub> (mmHg) - Werte während des 6min-Gehtests in unterschiedlichen Gruppen (lungengesund vs. aktive Raucher vs. Patienten mit interstitieller Lungenerkrankung (ILD)), jeweils ohne Anwendung eines Atemschutzes, eines chirurgischen Mund-Nasen-Schutzes, einer FFP2-Maske und einer FFP3-Maske mit Ausatemventil.

### 3.3 Einfluss unterschiedlicher Maskentypen auf pO<sub>2</sub>

Teilnehmer mit interstitieller Lungenerkrankung hatten unter der Testung mit FFP2-Maske nach der Belastung einen signifikant niedrigeren pO<sub>2</sub> ( $p = 0,013$ ) im Vergleich zur Testung ohne Maske.

Gesunde Teilnehmer hatten unter der Testung mit FFP3-Maske einen signifikant niedrigeren pO<sub>2</sub> ( $p=0,019$ ).

Bei den anderen Gruppen zeigte sich keine signifikante Änderung des pO<sub>2</sub> unter Anwendung der verschiedenen Maskentypen (Abbildung 3).

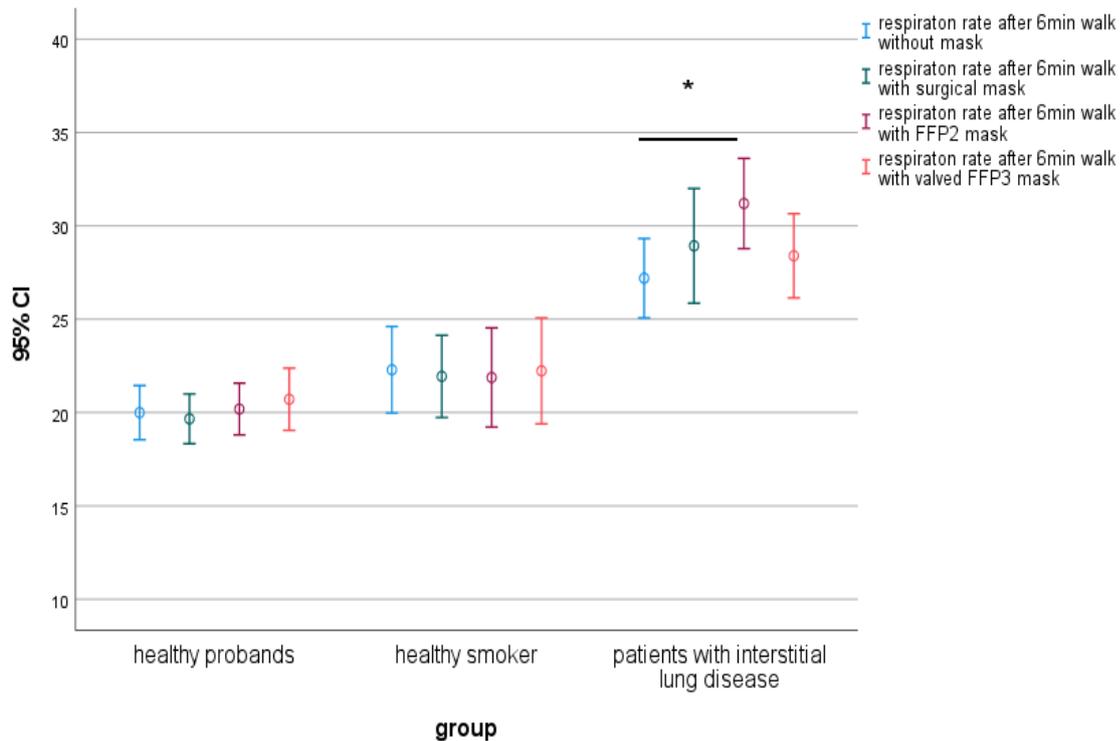


**Abbildung 3:** Einfluss unterschiedlicher Maskentypen auf pO<sub>2</sub>

Dargestellt sind pO<sub>2</sub> (mmHg) - Werte während des 6min-Gehtests in unterschiedlichen Gruppen (lungengesund vs. aktive Raucher vs. Patienten mit interstitieller Lungenerkrankung (ILD)), jeweils ohne Anwendung eines Atemschutzes, eines chirurgischen Mund-Nasen-Schutzes, einer FFP2-Maske und einer FFP3-Maske mit Ausatemventil. Signifikante Unterschiede innerhalb der Gruppen wurden markiert ( $p \leq 0,05$ ).

### 3.4 Einfluss unterschiedlicher Maskentypen auf die Atemfrequenz

Teilnehmer mit interstitieller Lungenerkrankung hatten unter der Testung mit FFP2-Maske eine signifikant höhere Atemfrequenz ( $p < 0,001$ ) im Vergleich zur Testung ohne Maske. Bei den anderen Gruppen zeigte sich keine signifikante Änderung der Atemfrequenz unter Anwendung der verschiedenen Maskentypen (Abbildung 4).

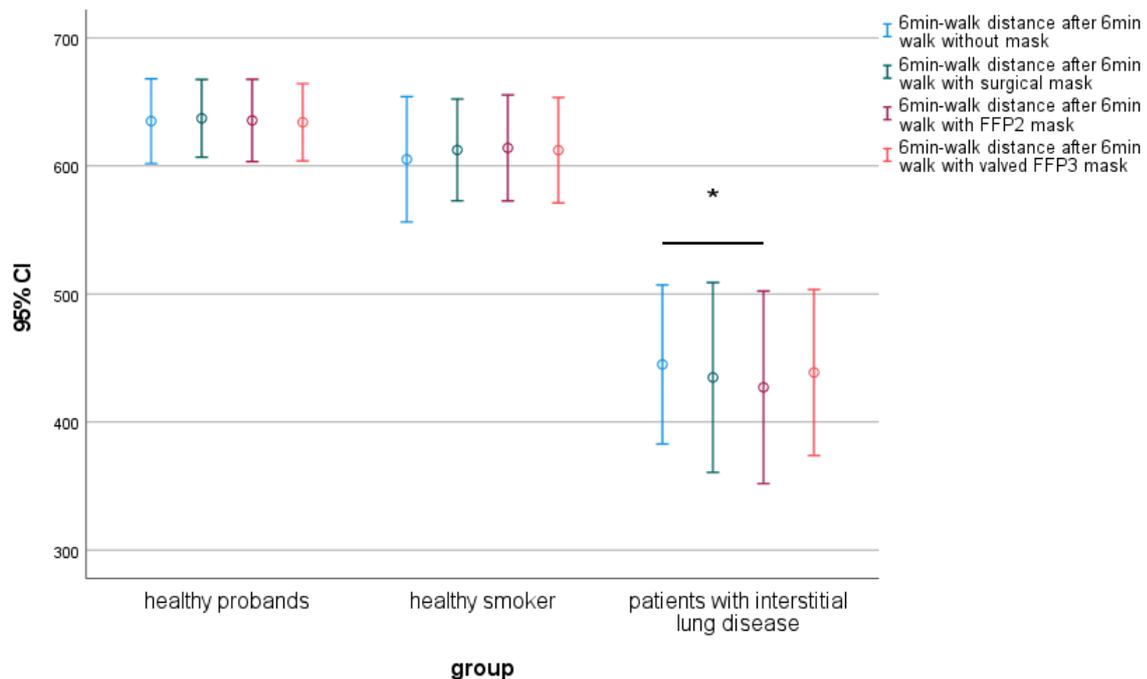


**Abbildung 4:** Einfluss unterschiedlicher Maskentypen auf Atemfrequenz

Dargestellt ist die Atemfrequenz (Atemfrequenz / min) während des 6min-Gehtests in unterschiedlichen Gruppen (lungengesund vs. aktive Raucher vs. Patienten mit interstitieller Lungenerkrankung (ILD)), jeweils ohne Anwendung eines Atemschutzes, eines chirurgischen Mund-Nasen-Schutzes, einer FFP2-Maske und einer FFP3-Maske mit Ausatemventil. Signifikante Unterschiede innerhalb der Gruppen wurden markiert ( $p \leq 0,05$ ).

### 3.5 Einfluss unterschiedlicher Maskentypen auf die Gehstrecke

Teilnehmer mit interstitieller Lungenerkrankung hatten unter der Testung mit FFP2-Maske eine signifikant kürzere Gehstrecke im 6MGT ( $p = 0,039$ ) im Vergleich zur Testung ohne Maske. Bei den anderen Gruppen zeigte sich keine signifikante Änderung der Gehstrecke unter Anwendung der verschiedenen Maskentypen (Abbildung 5).



**Abbildung 5:** Einfluss unterschiedlicher Maskentypen auf Gehstrecke

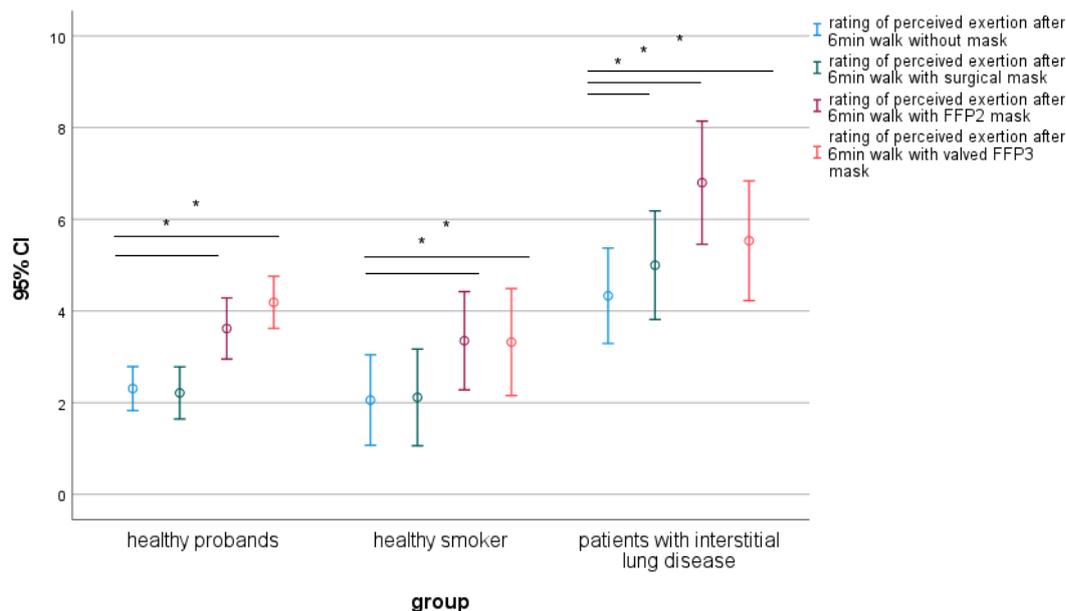
Dargestellt ist die Gehstrecke (Meter) während des 6min-Gehtests in unterschiedlichen Gruppen (lungengesund vs. aktive Raucher vs. Patienten mit interstitieller Lungenerkrankung (ILD)), jeweils ohne Anwendung eines Atemschutzes, eines chirurgischen Mund-Nasen-Schutzes, einer FFP2-Maske und einer FFP3-Maske mit Ausatemventil. Signifikante Unterschiede innerhalb der Gruppen wurden markiert ( $p \leq 0,05$ ).

### 3.6 Einfluss unterschiedlicher Maskentypen auf Dyspnoe

Gesunde Teilnehmer beklagten signifikant mehr Dyspnoe bei Anwendung einer FFP2- ( $p < 0,001$ ) und FFP3-Maske mit Ausatemventil ( $p < 0,001$ ) im Vergleich zur Durchführung des 6MGT ohne Maske.

In der Gruppe der aktiven Raucher wurde ebenfalls signifikant mehr Dyspnoe (Borg-Skala) nach absolviertem 6MGT mit FFP2- und FFP3-Maske mit Ausatemventil (jeweils  $p < 0,001$ ) im Vergleich zum 6MGT ohne Maske angegeben.

Alle Maskentypen führten in der Gruppe der Patienten mit interstitieller Lungenerkrankung zu mehr Dyspnoe ( $p < 0,001$ ) im Vergleich zur Testung ohne Maske (Abbildung 6).

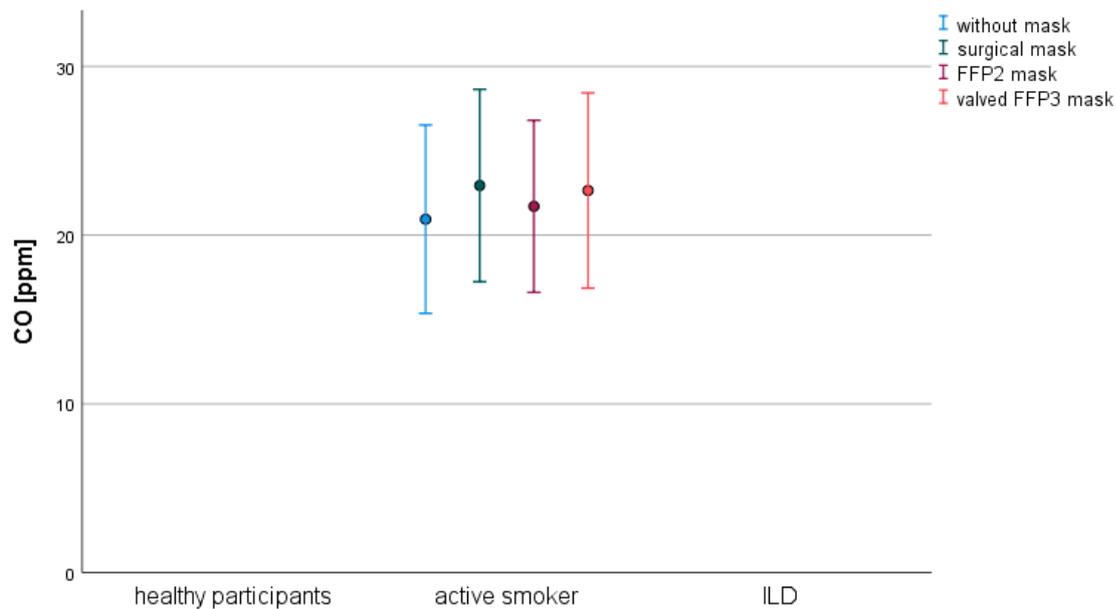


**Abbildung 6:** Einfluss unterschiedlicher Maskentypen auf die modifizierte Borg-Skala

Dargestellt ist die Dyspnoe anhand der modifizierten Borg-Skala während des 6min-Gehtests in unterschiedlichen Gruppen (lungengesund vs. aktive Raucher vs. Patienten mit interstitieller Lungenerkrankung (ILD)), jeweils ohne Anwendung eines Atemschutzes, eines chirurgischen Mund-Nasen-Schutzes, einer FFP2-Maske und einer FFP3-Maske mit Ausatemventil. Signifikante Unterschiede innerhalb der Gruppen wurden markiert ( $p \leq 0,05$ ).

### 3.7 Einfluss unterschiedlicher Maskentypen auf CO-Abatmung

In der Gruppe der aktiven Raucher wurde ergänzend die CO-Abatmung nach der Belastung mit Maske geprüft. Es ergaben sich keine relevanten Änderungen der CO-Partikel in der Ausatemluft in Abhängigkeit der verschiedenen Masken. Die Abatmung wurde durch keine der Masken abgeschwächt (Abbildung 7).



**Abbildung 7:** Einfluss unterschiedlicher Maskentypen auf CO

Dargestellt sind CO-Werte (ppm) während des 6min-Gehtests in der Gruppe aktive Raucher ohne Anwendung eines Atemschutzes, eines chirurgischen Mund-Nasen-Schutzes, einer FFP2-Maske und einer FFP3-Maske mit Ausatemventil.

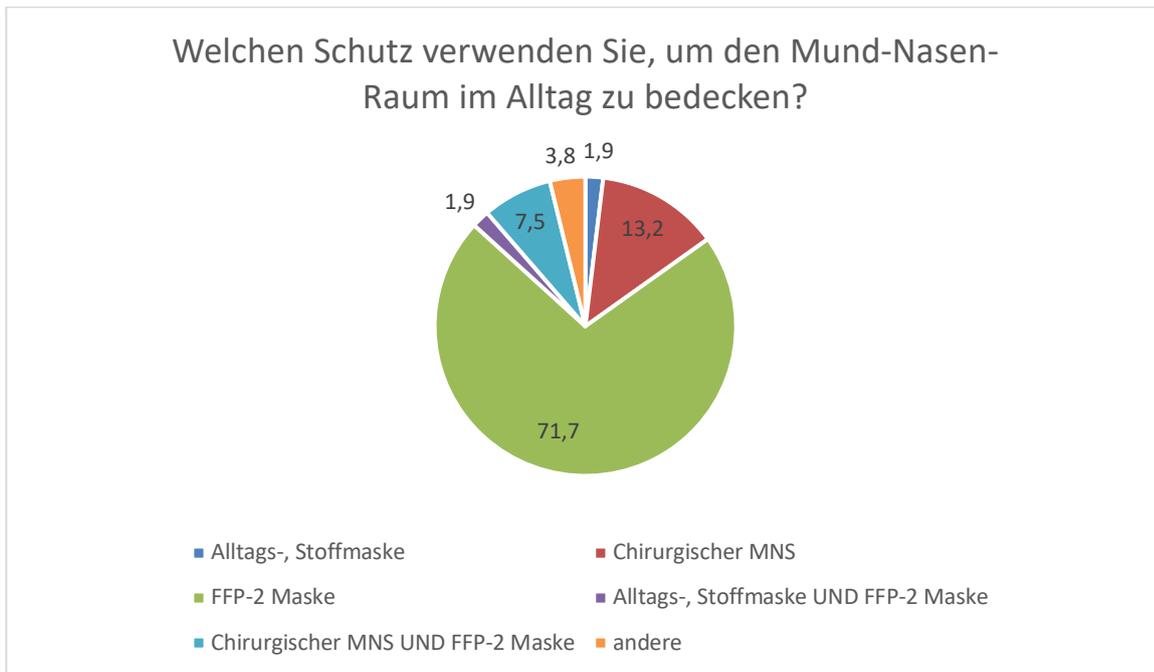
### **3.8 Einfluss unterschiedlicher Maskentypen auf weitere Vitalparameter**

In keiner der drei Gruppen konnte ein signifikanter Effekt der jeweiligen Maskentypen auf diastolischen und systolischen Blutdruck oder die Herzfrequenz gezeigt werden (siehe Anhang).

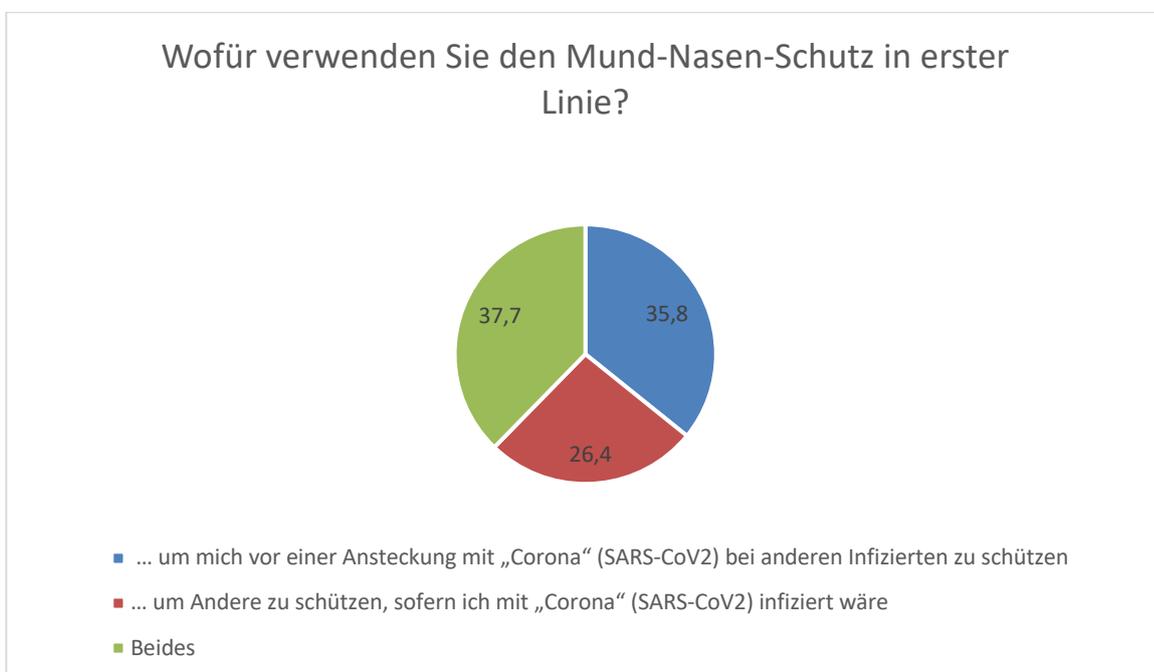
### **3.9 Fragebogen**

72 % aller Teilnehmer gaben an, eine FFP2-Maske im Alltag zu nutzen (Abbildung 8), 36 % gaben an, dies vor allem zum Eigenschutz und nicht zur zum Schutze anderer zu tun (Abbildung 9).

Das Tragen einer Maske führe bei einem Teil der Befragten zu erhöhter Anstrengung (38 %), Dyspnoe (32 %) und Angst (4 %, Abbildung 10). 57 % der Befragten bejahten, ihre Mitmenschen mit Maske schlechter einschätzen zu können. 76 % aller Teilnehmer gaben an, an die Schutzwirkung der Masken gegenüber einer Infektion mit SARS-CoV-2 zu glauben, jedoch waren 15 % der Probanden auch überzeugt, dass das Maskentragen über einen längeren Zeitraum gesundheitliche Probleme verursachen könnte (Abbildung 11).



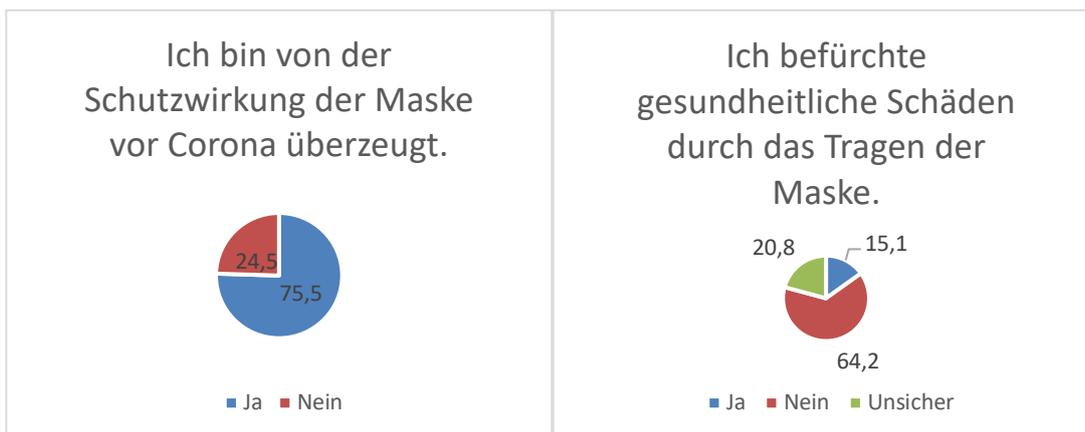
**Abbildung 8:** Prozentuale Verteilung der Antworten auf die Frage: „Welchen Schutz verwenden Sie, um den Mund-Nasen-Raum im Alltag zu bedecken?“



**Abbildung 9:** Prozentuale Verteilung der Antworten auf die Frage: „Wofür verwenden Sie den Mund-Nasen-Schutz in erster Linie?“



**Abbildung 10:** Prozentuale Verteilung der Antworten auf die Fragen: „Erschöpft Sie das Tragen einer Maske im Alltag?“ und „Führt das Tragen einer Maske im Alltag zu Luftnot?“



**Abbildung 11:** Prozentuale Verteilung der Antworten auf die Fragen: „Sind sie von der Schutzwirkung einer Maske vor Corona überzeugt?“ und „Befürchten Sie gesundheitliche Schäden durch das Tragen einer Maske?“

## 4 Diskussion

In dieser Pilotstudie konnte gezeigt werden, dass das Tragen von FFP2-Masken in der Gruppe der Patienten mit interstitieller Lungenerkrankung einen signifikanten Einfluss auf Sauerstoffpartialdruck ( $pO_2$ ) in der kapillären Blutgasmessung, Gehstrecke, Atemfrequenz und Atemnot hat.

Dieser Effekt konnte im Rahmen dieser Arbeit erstmalig für diese Patientengruppe gezeigt werden.

Inwieweit der Abfall des  $pO_2$ -Wertes und die erhöhte Atemfrequenz zu einer relevanten gesundheitlichen Gefährdung der Patienten führen ist hiermit jedoch nicht geklärt. Unter Anwendung der FFP3-Maske mit Ausatemventil konnte die Veränderung nicht gezeigt werden. Dieser Maskentyp könnte im Sinne des Eigenschutzes vor respiratorischen Erregern für diese Patientengruppe empfehlenswerter sein. In der Auswertung des Fragebogens gab keiner der Teilnehmer an, eine FFP3-Maske in Eigeninitiative bis zum Zeitpunkt der Umfrage getragen zu haben. Dieser Maskentyp ist zum einen deutlich teurer und zum anderen nicht außerhalb des Fachhandels zu erwerben. Auch wurde nie eine öffentliche Empfehlung zum Tragen einer FFP3-Maske mit Ausatemventil ausgesprochen, da hierunter nicht der Schutz der Umgebung vor dem Träger gewährleistet wäre.

Studien mit FFP3-Masken erfolgten im Rahmen der Pandemie an Mitarbeitenden im Gesundheitssystem.

Der Großteil der Teilnehmer aller Studiengruppen gab in der Dyspnoe-Skala unter den verschiedenen Masken eine erhöhte Atemanstrengung an. Jedoch konnte weder in der Gruppe der Gesunden noch der gesunden Raucher ein Effekt auf  $pO_2$ ,  $pCO_2$ , Atemfrequenz oder Gehstrecke gezeigt werden. Einzig in der Gruppe der Gesunden zeigte sich ein signifikanter Abfall der  $pO_2$  unter Anwendung der FFP3-Maske mit Ausatemventil im Vergleich zum Test ohne Maske. Dieses Ergebnis tritt nicht in den beiden anderen Gruppen auf. Eine Interpretation dieses Ergebnisses bleibt offen.

Ähnliche Effekte für gesunde Probanden konnten in früheren Studien gezeigt werden: Kampert et al. untersuchten 20 gesunde Teilnehmer mittels Fahrradergometertests unter Anwendung von verschiedenen Atemmasken in zufälliger Reihenfolge. Unter der Anwendung einer Alltagsmaske aus Stoff und FFP2-Maske zeigten sich ein niedrigerer peak  $VO_2$  und niedrigere Herzfrequenz im Vergleich zu Probanden ohne Maske. Das

Tragen einer Maske führte jedoch nicht zu einem früheren Abbruch der Belastung. Auch gaben die Teilnehmer während der Anstrengung mit Maske eine signifikant erhöhte Belastung im Sinne von Atemwiderstand, Foetor ex ore und Müdigkeit an.<sup>14</sup>

In einer kleinen, randomisierten Studie untersuchten Shaw et al die Auswirkungen des Tragens einer chirurgischen Maske, einer Stoffmaske oder keiner Maske bei 14 gesunden Teilnehmern (7 Männer und 7 Frauen; 28,2 +/- 8,7 Jahre) während eines Fahrradergometertests bis zur Erschöpfung. Bezogen auf die Spitzenleistung zeigten sich während der Belastungstests keine signifikanten Unterschiede zwischen dem Tragen oder Nichttragen einer Maske in Bezug auf die arterielle Sauerstoffsättigung, den Gewebeoxygenierungsindex, die Bewertung der wahrgenommenen Anstrengung oder der Herzfrequenz. Das Tragen einer Gesichtsmaske während intensiver sportlicher Betätigung hatte keine erkennbaren nachteiligen Auswirkungen auf die Sauerstoffversorgung des Blutes oder der Muskeln und die sportliche Leistung bei jungen, gesunden Teilnehmern.<sup>15</sup>

In einer weiteren Studie von Grimm et al. trugen die Teilnehmer (n=23, 23,5 ± 2,1 Jahre) in zufälliger Reihenfolge entweder eine chirurgische Gesichtsmaske, eine FFP2-Maske oder keine Maske. Der Studienablauf umfasste eine 20-minütige Sitzperiode und 20 Minuten Steady-State-Radfahren auf einem Ergometer bei 77 % der maximalen Herzfrequenz. Untersucht wurden hämodynamische Daten (Herzfrequenz, Blutdruck), metabolische Ergebnisse (Sauerstoffsättigung, kapillares pCO<sub>2</sub> und pO<sub>2</sub>, Laktat, pH-Wert, Basenüberschuss) und subjektive Reaktionen (Konzentrationsfähigkeit, Erregung, wahrgenommene Anstrengung) und kognitive Leistungen. Es zeigte sich unter beiden Masken am Ende der Belastung ein signifikanter, jedoch klinisch nicht relevanter Anstieg des pCO<sub>2</sub>. Die Autoren schlussfolgerten hieraus, dass bei Gesunden durch das Tragen der jeweiligen Masken keine Gefährdung der Gesundheit unter moderater Belastung über einen definierten Zeitraum zu erwarten sei.<sup>16</sup>

Shein und Kollegen untersuchten bei 50 gesunden Probanden transkutanes CO<sub>2</sub> und die periphere Sauerstoffsättigung in Ruhe und während einer 10-minütigen körperlichen Aktivität je einmal ohne Maske, mit Alltagsmaske aus Stoff und mit chirurgischem Mund-Nasen-Schutz. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied in den Messungen mit und ohne den jeweiligen Masken, jedoch wurden in der Studie keine FFP2- oder FFP3-Masken untersucht und auch die jeweiligen Aktivitäten variierten.<sup>17</sup>

Amput et al. konnten an 40 geriatrischen Probanden zeigen, dass Stoffmasken und chirurgische Masken keinen Einfluss auf kardiorespiratorische Parameter (Atemfrequenz, Herzfrequenz, Blutdruck, periphere Sauerstoffsättigung) in Ruhe oder nach der Durchführung eines 6MWT hatten, während es zu einer signifikant erhöhten wahrgenommenen Anstrengung kam.<sup>18</sup>

In einer weiteren Untersuchung von Fikenzler et al. wurde bei 12 gesunden Probanden eine Spiroergometrie mit FFP2-Maske, MNS und ohne Maske verglichen. Die Probanden gaben signifikant mehr Dyspnoe unter den jeweiligen Masken an, auch das forcierte expiratorische Volumen (FEV1), der maximale expiratorische Fluss und die maximale Blood Lactat response zeigten sich signifikant erniedrigt. Unter Testung mit FFP2-Maske waren diese Effekte deutlicher im Vergleich zum chirurgischen MNS. Das Herzzeitvolumen veränderte sich nicht.<sup>19</sup>

Kyung et al. untersuchten 97 Patienten mit schwerer COPD unter Belastung mittels 6MGT und FFP2-Maske. Hier konnten eine signifikant höhere Atemfrequenz, Herzfrequenz und höhere Abbruchraten der Testung gezeigt werden. Das  $pO_2$  hingegen war bei Patienten mit schwerer COPD unter FFP2-Maske signifikant erniedrigt.<sup>20</sup> Eine weitere Studie mit COPD-Patienten zeigte diesen Effekt unter chirurgischem MNS und auch 6MGT jedoch nicht.<sup>21</sup>

Zusammenfassend fokussierten sich die zitierten Studien zumeist auf gesunde Probanden bzw. Patienten mit COPD. Ein Großteil der oben genannten und verfügbaren Studien bildet die Auswirkung des Tragens einer Maske unter einem definierten Zeitraum ab, weiterhin erfolgten viele Messungen nach maximaler Belastung, in der Regel mittels Ergometrie, in einem trainingsorientierten Setting.

Der Einfluss von FFP3-Masken auf kardiorespiratorische Parameter wurde bislang kaum untersucht. Der 6MGT stellt aus unserer Sicht eine alltagsnahe Belastung dar und kann möglicherweise den Effekt der Maskenpflicht in der Öffentlichkeit, z.B. beim Arztbesuch oder im Bereich des öffentlichen Nahverkehrs gut abbilden. Eine Testung mit dem Ziel der maximalen Ausbelastung entspricht nicht der Fragestellung.

Die durchgeführte Studie hat einige Limitationen. Es handelt sich um eine single-center Studie mit einer geringen Anzahl von Teilnehmern. Die Ergebnisse der Gruppe von Patienten mit interstitieller Lungenerkrankung kann nicht auf andere Patienten mit Lungenerkrankungen anderer Ursachen übertragen werden. Auch waren Patienten mit

unterschiedlichen Krankheiten innerhalb des Spektrums der interstitiellen Lungenerkrankungen eingeschlossen. Patienten mit einer restriktiven Lungenerkrankung im Rahmen einer muskuloskelettalen Ursache wurden nicht untersucht. Patienten mit einer obstruktiven Lungenerkrankung bzw. Patienten mit einer dynamischen Überblähung unter Belastung sind in der Studie nicht abgebildet und ein hypothetisch erhöhtes Risiko der Hyperkapnie bei dieser Patientengruppe kann nicht ausgeschlossen werden. Die Testung war weiterhin auf eine Zeitspanne von sechs Minuten begrenzt und über die Auswirkung einer längeren Tragedauer der Masken, welche der Nutzung im Alltag entspräche, kann unsere Studie keine Aussage treffen. Auch Patienten mit einer bereits bestehenden chronisch hypoxämischen respiratorischen Insuffizienz sind in der aktuellen Studie nicht untersucht.

## 5 Zusammenfassung

Bis zur Verfügbarkeit von Impfungen und einer guten medikamentösen Therapie waren Abstandsregeln, Händehygiene und auch das Tragen von Masken von großer Bedeutung um die Ausbreitung von SARS-CoV-2 zu verlangsamen bzw. zu verhindern. Patienten mit Lungenerkrankungen sind bei einer Erkrankung mit SARS-CoV-2 besonders gefährdet, allerdings berichteten einige der Patienten über vermehrte Dyspnoe und verminderte Belastbarkeit bei Anwendung von Atemmasken als Schutzmaßnahme.

Das Ziel der prospektiven single-center Pilotstudie war es zu untersuchen, ob das Tragen der verschiedenen Atemschutzmasken unter Belastung mittels 6MGT einen Effekt auf die subjektive Atemanstrengung, Blutgase, Atemfrequenz, Blutdruck, Herzfrequenz und Leistungsfähigkeit bei Gesunden, Rauchern und Patienten mit interstitieller Lungenerkrankung hat.

Die Anwendung der FFP2-Maske führt in der Gruppe der Patienten mit interstitieller Lungenerkrankung zu einer verminderten Gehstrecke, einem niedrigeren  $pO_2$  nach Belastung und zu einer höheren Atemfrequenz im Vergleich zum Gehtest ohne Maske. Für chirurgischen MNS und eine FFP3-Maske mit Ventil kann gleiches nicht gezeigt werden.

Sofern erneut eine breite Anwendung von Masken im öffentlichen Raum notwendig werden sollte, so sollte diesem Ergebnis Rechnung getragen werden; möglicherweise erhöht für diese Patientengruppe das Tragen von FFP3-Masken mit Ventil die Sicherheit; zum Preis einer höheren Gefährdung der Umgebung.

## 6 Literaturverzeichnis

1. Prather KA, Marr LC, Schooley RT, McDiarmid MA, Wilson ME, Milton DK. Airborne transmission of SARS-CoV-2. *Science* 2020;370:303–4.
2. Cheng Y, Ma N, Witt C, et al. Face masks effectively limit the probability of SARS-CoV-2 transmission. *Science* 2021;372:1439–43.
3. Jefferson T, Dooley L, Ferroni E, et al. Physical interventions to interrupt or reduce the spread of respiratory viruses. *Cochrane Database Syst Rev* 2023;1:CD006207.
4. Cheng VC-C, Wong S-C, Chuang VW-M, et al. The role of community-wide wearing of face mask for control of coronavirus disease 2019 (COVID-19) epidemic due to SARS-CoV-2. *J Infect* 2020;81:107–14.
5. MacIntyre CR, Wang Q. Physical distancing, face masks, and eye protection for prevention of COVID-19. *Lancet* 2020;395:1950–1.
6. Matuschek C, Moll F, Fangerau H, et al. Face masks: benefits and risks during the COVID-19 crisis. *Eur J Med Res* 2020;25:32.
7. Ferris M, Ferris R, Workman C, et al. Efficacy of FFP3 respirators for prevention of SARS-CoV-2 infection in healthcare workers. *eLife* 2021;10.
8. BfR. (2023). Zustimmung zur Abstandsregelung und zur Maskenpflicht als Maßnahmen zur Eindämmung des Coronavirus im Zeitverlauf (April 2020 bis April 2023). Statista. Statista GmbH. Zugriff: 13. November 2023.  
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1240653/umfrage/umfrage-zur-pandemiebedingten-abstandsregelung-und-maskenpflicht-in-deutschland/>.
9. Yildiz MB, Balci S, Özçelik Köse A, Yenerel NM, Yildiz HE. Retinal and choroidal vascularity changes in healthcare professionals wearing FFP3 respirators. *Cutan Ocul Toxicol* 2021;40:70–7.
10. Yalciner G, Babademez MA, Gul F, Serifler S, Bulut KS, Ozturk L. Consequences of FFP3 mask usage on venous blood gases. *Ir J Med Sci* 2021;190:1565–9.
11. Kwasnicki RM, Super JT, Ramaraj P, Savine L, Hettiaratchy SP. FFP3 Feelings and Clinical Experience (FaCE). Facial pressure injuries in healthcare workers from FFP3 masks during the COVID-19 pandemic. *J Plast Reconstr Aesthet Surg* 2022;75:3622–7.
12. ATS statement: guidelines for the six-minute walk test. *Am J Respir Crit Care Med* 2002;166:111–7.
13. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 1982;14:377–81.

- 14.** Kampert M, Singh T, Sahoo D, Han X, van Iterson EH. Effects of Wearing an N95 Respirator or Cloth Mask Among Adults at Peak Exercise: A Randomized Crossover Trial. *JAMA Netw Open* 2021;4:e2115219.
- 15.** Shaw K, Butcher S, Ko J, Zello GA, Chilibeck PD. Wearing of Cloth or Disposable Surgical Face Masks has no Effect on Vigorous Exercise Performance in Healthy Individuals. *Int J Environ Res Public Health* 2020;17.
- 16.** Grimm K, Niederer D, Nienhaus A, Groneberg DA, Engeroff T. Blood gas levels, cardiovascular strain and cognitive performance during surgical mask and filtering face piece application. *Sci Rep* 2022;12:9708.
- 17.** Shein SL, Whitticar S, Mascho KK, Pace E, Speicher R, Deakins K. The effects of wearing facemasks on oxygenation and ventilation at rest and during physical activity. *PLoS One* 2021;16:e0247414.
- 18.** Amput P, Wongphon S. Effects of Wearing Face Masks on Cardiorespiratory Parameters at Rest and after Performing the Six-Minute Walk Test in Older Adults. *Geriatrics (Basel)* 2022;7.
- 19.** Fikenzer S, Uhe T, Lavall D, et al. Effects of surgical and FFP2/N95 face masks on cardiopulmonary exercise capacity. *Clin Res Cardiol* 2020;109:1522–30.
- 20.** Kyung SY, Kim Y, Hwang H, Park J-W, Jeong SH. Risks of N95 Face Mask Use in Subjects With COPD. *Respir Care* 2020;65:658–64.
- 21.** Samannan R, Holt G, Calderon-Candelario R, Mirsaeidi M, Campos M. Effect of Face Masks on Gas Exchange in Healthy Persons and Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Ann Am Thorac Soc* 2021;18:541–4.

## 7 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b> Ablaufprotokoll .....	11
<b>Abbildung 2:</b> Einfluss unterschiedlicher Maskentypen auf $p\text{CO}_2$ .....	17
<b>Abbildung 3:</b> Einfluss unterschiedlicher Maskentypen auf $p\text{O}_2$ .....	18
<b>Abbildung 4:</b> Einfluss unterschiedlicher Maskentypen auf Atemfrequenz .....	19
<b>Abbildung 5:</b> Einfluss unterschiedlicher Maskentypen auf Gehstrecke .....	20
<b>Abbildung 6:</b> Einfluss unterschiedlicher Maskentypen auf die modifizierte Borg-Skala	21
<b>Abbildung 7:</b> Einfluss unterschiedlicher Maskentypen auf CO .....	22
<b>Abbildung 8:</b> Prozentuale Verteilung der Antworten auf die Frage: „Welchen Schutz verwenden Sie, um den Mund-Nasen-Raum im Alltag zu bedecken?“ .....	24
<b>Abbildung 9:</b> Prozentuale Verteilung der Antworten auf die Frage: „Wofür verwenden Sie den Mund-Nasen-Schutz in erster Linie?“ .....	24
<b>Abbildung 10:</b> Prozentuale Verteilung der Antworten auf die Fragen: „Erschöpft Sie das Tragen einer Maske im Alltag?“ und „Führt das Tragen einer Maske im Alltag zu Luftnot?“ .....	25
<b>Abbildung 11:</b> Prozentuale Verteilung der Antworten auf die Fragen: „Sind sie von der Schutzwirkung einer Maske vor Corona überzeugt?“ und „Befürchten Sie gesundheitliche Schäden durch das Tragen einer Maske?“ .....	25
---	
<b>Tabelle 1:</b> Baseline-Charakteristika .....	16

## 8 Anhang

### 8.1 Fragebogen



**Klinische Studie:**

**Einfluss von chirurgischem Mund-Nasen-Schutz, FFP2-Maske, FFP3-Maske mit Ausatemventil auf Blutgasparameter.**

### **Fragebogen**

**Bitte kreuzen Sie die für Sie zutreffende Antwort an!**

**Alter: \_\_\_\_\_**

**weiblich  / männlich**

**Raucher  / Nichtraucher**

**Vorerkrankung der Lunge: ja  / nein**

1. Aktuell ist die Anwendung einer „Maske“ z. B. beim Einkaufen / Fahren mit öffentlichen Verkehrsmitteln etc. vorgeschrieben. Welchen Schutz verwenden Sie, um den Mund-Nasen-Raum im Alltag zu bedecken? Mehrfachantworten sind möglich.

- Schal / Tuch o.Ä.
- Plastikvisier / Faceshield
- Alltags-, Stoffmaske
- chirurgischer Mund-Nasenschutz
- FFP2 - Maske
- FFP3 - Maske mit Ausatemventil

2. Wofür verwenden Sie den Mund-Nasen-Schutz in erster Linie?

- um mich vor einer Ansteckung mit „Corona“ (SARS-CoV-2) bei anderen Infizierten zu schützen
- um Andere zu schützen, sofern ich mit „Corona“ (SARS-CoV-2) infiziert wäre

3. Die Anwendung der „Maske“ im Alltag erschöpft Sie.

- Ja
- Nein

4. Die Anwendung der „Maske“ führt zu Luftnot.

- Ja
- Nein

5. Die Anwendung der Maske führt zu Angstgefühlen.

- Ja
- Nein

6. Bedingt durch die Maske können Sie andere Menschen weniger gut einschätzen.

- Ja
- Nein

7. Sind Sie von der Schutzwirkung einer Mund-Nasen-Bedeckung bezüglich einer „Corona-Infektion“ überzeugt?

- Ja
- Nein
- Unsicher

8. Vermeiden Sie bewusst Orte, an denen eine Maskenpflicht besteht?

- Ja
- Nein

9. Tragen Sie auch eine „Maske“ an Orten, an denen keine ausdrückliche Maskenpflicht besteht?

- Ja
- Nein

10. Was hindert Sie an der regelmäßigen Anwendung einer „Maske“?

- Körperliche Symptome, z.B. Luftnot/Erschöpfung
- Psychische Symptome, z.B. Beklommenheit/Angst/ Panik
- Einschränkung meiner Rechte
- Schlechtes Tragekomfort der bisherigen „Maskentypen“
- Sichteinschränkungen, z.B. trockene Augen, beschlagene Brillengläser
- Nichts

11. Befürchten Sie, dass das Tragen einer „Maske“ zu gesundheitlichen Schäden führen kann?

- Ja
- Nein
- Unsicher

*Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!*

## 8.2 Deskriptive Statistik

### 8.2.1 Patientengruppe 1 (Gesunde Probanden)

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Std.-Abweichung
pH (vor 6MGT)	21	7,300	7,472	7,42	0,03
pH (nach 6MGT ohne Maske)	21	7,358	7,456	7,42	0,02
pH (nach 6MGT mit MNS)	21	7,389	7,449	7,43	0,02
pH (nach 6MGT mit FFP2)	21	7,381	7,450	7,42	0,02
pH (nach 6MGT mit FFP3 mit Ventil)	21	7,374	7,474	7,43	0,02
pO <sub>2</sub> (vor 6MGT)	21	64,3	94,2	82,22	5,85
pO <sub>2</sub> (nach 6MGT ohne Maske)	21	71,2	101,6	91,83	7,12
pO <sub>2</sub> (nach 6MGT mit MNS)	21	76,5	104,4	89,96	6,05
pO <sub>2</sub> (nach 6MGT mit FFP2)	21	76,5	99,7	90,32	6,41
pO <sub>2</sub> (nach 6MGT mit FFP3 mit Ventil)	21	72,8	100,4	88,31	7,59
pCO <sub>2</sub> (vor 6MGT)	21	26,5	43,4	34,25	3,51
pCO <sub>2</sub> (nach 6MGT ohne Maske)	21	28,5	39,3	33,87	2,93
pCO <sub>2</sub> (nach 6MGT mit MNS)	21	28,7	40,6	33,72	3,46
pCO <sub>2</sub> (nach 6MGT mit FFP2)	21	32	39,7	32,96	7,27

pCO <sub>2</sub> (nach 6MGT mit FFP3 mit Ventil)	21	29,1	42,2	33,80	3,52
COHb (%) vor 6MGT	21	0	1,4	0,34	0,29
COHb (%) nach 6MGT ohne Maske	21	0	1,0	0,36	0,25
COHb (%) nach 6MGT mit MNS	21	0	1,0	0,31	0,22
COHb (%) nach 6MGT mit FFP2	21	0	0,8	0,28	0,19
COHb (%) nach 6MGT mit FFP3	21	0	0,8	0,29	0,19
Sättigung (%) vor 6MGT	21	93,1	97,6	96,39	0,91
Sättigung (%) nach 6MGT ohne Maske	21	95,0	98,0	97,22	0,64
Sättigung (%) nach 6MGT mit MNS	21	95,0	98,3	96,98	0,65
Sättigung (%) nach 6MGT mit FFP2	21	95,0	97,9	96,99	0,67
Sättigung (%) nach 6MGT mit FFP3	21	94,9	97,8	96,87	0,73
Hb (g/dl) vor 6MGT	21	13,3	17,2	15,36	1,06
Hb (g/dl) nach 6MGT ohne Maske	21	14,1	17,0	15,73	0,94
Hb (g/dl) nach 6MGT mit MNS	21	13,4	16,9	15,25	0,93
Hb (g/dl) nach 6MGT mit FFP2	21	13,2	16,9	15,28	0,96
Hb (g/dl) nach 6MGT mit FFP3	21	13,5	16,8	15,36	0,97

RR sys. (mmHg) vor 6MGT ohne Maske	21	103	168	125,10	17,88
RR sys. (mmHg) vor 6MGT mit MNS	21	94	151	120,57	16,76
RR sys. (mmHg) vor 6MGT mit FFP2	21	103	164	122,90	15,90
RR sys. (mmHg) vor 6MGT mit FFP3	21	11	169	118,52	30,08
RR sys. (mmHg) nach 6MGT ohne Maske	21	122	185	147,81	20,26
RR sys. (mmHg) nach 6MGT mit MNS	21	108	176	137,19	18,82
RR sys. (mmHg) nach 6MGT mit FFP2	21	100	157	133,67	16,97
RR sys. (mmHg) nach 6MGT mit FFP3	21	113	163	136,81	14,19
RR dia. (mmHg) vor 6MGT ohne Maske	21	67	102	85,95	10,34
RR dia. (mmHg) vor 6MGT mit MNS	21	69	104	84,43	10,65
RR dia. (mmHg) vor 6MGT mit FFP2	21	71	153	89,57	16,98
RR dia. (mmHg) vor 6MGT mit FFP3	21	71	107	85,62	10,14
RR dia. (mmHg) nach 6MGT ohne Maske	21	79	107	91,90	8,53
RR dia. (mmHg) nach 6MGT mit MNS	21	75	106	88,10	8,55

RR dia. (mmHg) nach 6MGT mit FFP2	21	76	105	90,05	8,18
RR dia. (mmHg) nach 6MGT mit FFP3	21	78	103	88,29	6,41
AF vor 6MGT mit MNS	21	9	18	13,57	2,25
AF vor 6MGT mit FFP2	21	12	18	14,05	2,01
AF vor 6MGT mit FFP3	21	12	18	14,71	2,30
AF vor 6MGT ohne Maske	21	9	18	14,29	2,49
AF nach 6MGT ohne Maske	21	15	24	20,00	3,19
AF nach 6MGT mit MNS	21	15	27	19,67	2,92
AF nach 6MGT mit FFP2	21	15	27	20,19	3,04
AF nach 6MGT mit FFP3	21	15	27	20,71	3,66
HF vor 6MGT ohne Maske	21	50	91	71,67	11,75
HF vor 6MGT mit MNS	21	55	99	76,81	13,61
HF vor 6MGT mit FFP2	21	57	110	78,48	15,14
HF vor 6MGT mit FFP3	21	12	109	76,81	19,67
HF nach 6MGT ohne Maske	21	63	136	97,38	20,30

HF nach 6MGT mit MNS	21	70	130	96,14	19,51
HF nach 6MGT mit FFP2	21	0	150	93,29	31,50
HF nach 6MGT mit FFP3	21	15	135	94,43	25,53
Borg Skala vor 6MGT mit MNS	21	0	2	0,14	0,48
Borg Skala vor 6MGT mit FFP2	21	0	5,0	1,33	1,56
Borg Skala vor 6MGT mit FFP3	21	0	5,0	1,93	1,42
Borg Skala vor 6MGT ohne Maske	21	0	0	0	0
Borg Skala nach 6MGT ohne Maske	21	0	4,0	2,31	1,05
Borg Skala nach 6MGT mit MNS	21	0	5,0	2,21	1,25
Borg Skala nach 6MGT mit FFP2	21	1,0	8,0	3,62	1,46
Borg Skala nach 6MGT mit FFP3	21	2,0	7,0	4,19	1,25
Gehstrecke (m) im 6MGT ohne Maske	21	490	750	635,00	72,75
Gehstrecke (m) im 6MGT mit MNS	21	486	755	637,19	66,7
Gehstrecke (m) im 6MGT mit FFP2	21	492	755	635,57	70,49
Gehstrecke (m) im 6MGT mit FFP3	21	500	756	634,14	66,27

## 8.2.2 Patientengruppe 2 (Aktive Raucher)

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Std.- Abweichung
pH (vor 6MGT)	17	7,402	7,464	7,43	0,02
pH (nach 6MGT ohne Maske)	17	7,309	7,442	7,39	0,04
pH (nach 6MGT mit MNS)	17	7,337	7,453	7,41	0,03
pH (nach 6MGT mit FFP2)	17	7,350	7,457	7,40	0,03
pH (nach 6MGT mit FFP3 mit Ventil)	17	7,332	7,454	7,40	0,03
pO <sub>2</sub> (vor 6MGT)	17	61,8	111,5	78,60	12,35
pO <sub>2</sub> (nach 6MGT ohne Maske)	17	79,2	105,9	92,14	5,98
pO <sub>2</sub> (nach 6MGT mit MNS)	17	83,3	100,9	90,60	5,07
pO <sub>2</sub> (nach 6MGT mit FFP2)	17	82,6	97,6	90,87	4,59
pO <sub>2</sub> (nach 6MGT mit FFP3 mit Ventil)	17	76,3	100,2	90,12	7,05
pCO <sub>2</sub> (vor 6MGT)	17	27,5	39,8	34,12	3,12
pCO <sub>2</sub> (nach 6MGT ohne Maske)	17	27,9	38,3	32,59	2,86
pCO <sub>2</sub> (nach 6MGT mit MNS)	17	27,3	37,4	33,00	2,82
pCO <sub>2</sub> (nach 6MGT mit FFP2)	17	26,2	37,5	33,54	2,88
pCO <sub>2</sub> (nach 6MGT mit FFP3 mit Ventil)	17	21,0	39,2	32,62	3,71

COHb (%) vor 6MGT	17	0,3	7,8	3,31	2,07
COHb (%) nach 6MGT ohne Maske	17	0,6	7,2	3,04	1,84
COHb (%) nach 6MGT mit MNS	17	0,6	6,8	3,41	1,85
COHb (%) nach 6MGT mit FFP2	17	0,7	6,9	3,35	1,63
COHb (%) nach 6MGT mit FFP3	17	0,6	7,0	3,39	1,79
Sättigung (%) vor 6MGT	17	94,0	98,0	96,03	1,08
Sättigung (%) nach 6MGT ohne Maske	17	96,3	97,8	97,12	0,45
Sättigung (%) nach 6MGT mit MNS	17	96,1	97,8	97,08	0,47
Sättigung (%) nach 6MGT mit FFP2	17	95,9	97,7	96,92	0,52
Sättigung (%) nach 6MGT mit FFP3	17	95,1	97,5	96,91	0,60
Hb (g/dl) vor 6MGT	17	14,5	19,6	16,49	1,39
Hb (g/dl) nach 6MGT ohne Maske	17	14,6	18,0	16,37	1,08
Hb (g/dl) nach 6MGT mit MNS	17	14,3	17,9	16,27	1,15
Hb (g/dl) nach 6MGT mit FFP2	17	14,3	18,1	16,28	1,14
Hb (g/dl) nach 6MGT mit FFP3	17	14,4	18,4	16,16	1,18
COppm vor 6MGT ohne Maske	17	4	40	20,94	10,85
COppm vor 6MGT mit MNS	17	5	40	22,94	11,09

COppm vor 6MGT mit FFP2	17	3	38	21,71	9,92
COppm vor 6MGT mit FFP3	17	2	39	22,65	11,25
COppm nach 6MGT ohne Maske	17	3	39	18,24	9,81
COppm nach 6MGT mit MNS	17	3	35	19,76	9,47
COppm nach 6MGT mit FFP2	17	3	36	19,59	8,43
COppm nach 6MGT mit FFP3	17	2	37	20,59	9,84
RR sys. (mmHg) vor 6MGT ohne Maske	17	112	160	134,2 4	11,49
RR sys. (mmHg) vor 6MGT mit MNS	17	106	149	129,2 4	13,52
RR sys. (mmHg) vor 6MGT mit FFP2	17	109	160	130,5 9	15,37
RR sys. (mmHg) vor 6MGT mit FFP3	17	110	148	128,1 2	11,67
RR sys. (mmHg) nach 6MGT ohne Maske	17	129	199	152,4 7	19,93
RR sys. (mmHg) nach 6MGT mit MNS	17	116	179	144,5 3	17,33
RR sys. (mmHg) nach 6MGT mit FFP2	17	122	168	145,0 0	13,61
RR sys. (mmHg) nach 6MGT mit FFP3	17	110	170	141,0 0	15,10

RR dia. (mmHg) vor 6MGT ohne Maske	17	72	102	86,82	7,83
RR dia. (mmHg) vor 6MGT mit MNS	17	75	109	89,12	8,69
RR dia. (mmHg) vor 6MGT mit FFP2	17	74	113	90,47	7,97
RR dia. (mmHg) vor 6MGT mit FFP3	17	71	110	86,88	8,69
RR dia. (mmHg) nach 6MGT ohne Maske	17	74	121	96,53	10,96
RR dia. (mmHg) nach 6MGT mit MNS	17	73	115	91,53	10,81
RR dia. (mmHg) nach 6MGT mit FFP2	17	76	110	92,59	8,87
RR dia. (mmHg) nach 6MGT mit FFP3	17	77	118	92,41	10,63
AF vor 6MGT mit MNS	17	12	24	16,82	3,69
AF vor 6MGT mit FFP2	17	12	24	16,76	4,12
AF vor 6MGT mit FFP3	17	9	27	17,06	5,0
AF vor 6MGT ohne Maske	17	12	24	17,35	3,97
AF nach 6MGT ohne Maske	17	15	30	22,29	4,51
AF nach 6MGT mit MNS	17	15	33	21,94	4,28

AF nach 6MGT mit FFP2	17	15	33	21,88	5,17
AF nach 6MGT mit FFP3	17	12	30	22,24	5,51
HF vor 6MGT ohne Maske	17	44	101	77,18	12,91
HF vor 6MGT mit MNS	17	63	111	86,65	12,14
HF vor 6MGT mit FFP2	17	53	112	86,59	14,00
HF vor 6MGT mit FFP3	17	56	117	87,88	13,61
HF nach 6MGT ohne Maske	17	55	127	101,1 2	17,09
HF nach 6MGT mit MNS	17	61	135	105,4 7	18,93
HF nach 6MGT mit FFP2	17	56	131	106,2 4	18,322
HF nach 6MGT mit FFP3	17	64	138	105,1 2	17,702
Borg Skala vor 6MGT mit MNS	17	0	2	0,35	0,60
Borg Skala vor 6MGT mit FFP2	17	0	2	1,00	0,75
Borg Skala vor 6MGT mit FFP3	17	0	4	1,06	1,17
Borg Skala vor 6MGT ohne Maske	17	0	2	0,35	0,60
Borg Skala nach 6MGT ohne Maske	17	0	7	2,06	1,92
Borg Skala nach 6MGT mit MNS	17	0	7,0	2,1	2,05

Borg Skala nach 6MGT mit FFP2	17	5	8,0	3,35	2,08
Borg Skala nach 6MGT mit FFP3	17	0	9,0	3,3	2,27
Gehstrecke (m) im 6MGT ohne Maske	17	358	722	605,18	95,23
Gehstrecke (m) im 6MGT mit MNS	17	435	710	612,53	77,30
Gehstrecke (m) im 6MGT mit FFP2	17	456	726	614,12	80,51
Gehstrecke (m) im 6MGT mit FFP3	17	444	729	612,35	79,97

### 8.2.3 Patientengruppe 3 (Patienten mit stabiler interstitieller Lungenerkrankung)

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Std.-Abweichung
pH (vor 6MGT)	15	7,401	7,490	7,43	0,02
pH (nach 6MGT ohne Maske)	15	7,314	7,505	7,42	0,05
pH (nach 6MGT mit MNS)	15	7,309	7,488	7,41	0,04
pH (nach 6MGT mit FFP2)	14	7,270	7,452	7,39	0,05
pH (nach 6MGT mit FFP3 mit Ventil)	14	7,352	7,455	7,42	0,03
pO <sub>2</sub> (vor 6MGT)	15	57,5	85,9	72,23	10,17

pO <sub>2</sub> (nach 6MGT ohne Maske)	15	58,3	97,7	69,48	11,10
pO <sub>2</sub> (nach 6MGT mit MNS)	15	50,2	95,5	68,59	10,50
pO <sub>2</sub> (nach 6MGT mit FFP2)	15	46,2	88,8	64,60	10,88
pO <sub>2</sub> (nach 6MGT mit FFP3 mit Ventil)	14	52,7	96,7	70,53	14,29
pCO <sub>2</sub> (vor 6MGT)	15	29,8	42,0	34,80	3,35
pCO <sub>2</sub> (nach 6MGT ohne Maske)	15	24,3	42,7	33,56	4,66
pCO <sub>2</sub> (nach 6MGT mit MNS)	15	18,7	42,2	33,06	5,22
pCO <sub>2</sub> (nach 6MGT mit FFP2)	15	30,0	51,5	35,57	5,29
pCO <sub>2</sub> (nach 6MGT mit FFP3 mit Ventil)	14	29,1	38,1	34,33	2,70
COHb (%) vor 6MGT	15	0,1	1,2	0,61	0,32
COHb (%) nach 6MGT ohne Maske	15	0	1,2	0,58	0,35
COHb (%) nach 6MGT mit MNS	15	0,1	1,1	0,55	0,26
COHb (%) nach 6MGT mit FFP2	15	0	1,0	0,57	0,31
COHb (%) nach 6MGT mit FFP3	14	0,2	1,1	0,55	0,29
Sättigung (%) vor 6MGT	15	90,1	97,1	94,66	2,30
Sättigung (%) nach 6MGT ohne Maske	15	89,1	98,0	93,52	2,40
Sättigung (%) nach 6MGT mit MNS	15	82,7	97,7	92,94	3,58

Sättigung (%) nach 6MGT mit FFP2	15	82,0	97,2	91,54	3,97
Sättigung (%) nach 6MGT mit FFP3	14	88,3	97,4	93,12	2,81
Hb (g/dl) vor 6MGT	15	13,2	18,7	15,74	1,33
Hb (g/dl) nach 6MGT ohne Maske	15	14,0	19,9	16,13	1,62
Hb (g/dl) nach 6MGT mit MNS	15	13,3	19,1	15,60	1,38
Hb (g/dl) nach 6MGT mit FFP2	15	13,9	19,0	15,74	1,21
Hb (g/dl) nach 6MGT mit FFP3	14	13,6	19,3	15,90	1,56
RR sys. (mmHg) vor 6MGT ohne Maske	15	92	144	122,5 3	16,38
RR sys. (mmHg) vor 6MGT mit MNS	15	96	154	127,7 3	18,14
RR sys. (mmHg) vor 6MGT mit FFP2	15	105	142	125,1 3	12,24
RR sys. (mmHg) vor 6MGT mit FFP3	15	99	144	124,8 0	14,02
RR sys. (mmHg) nach 6MGT ohne Maske	15	113	192	138,8 0	19,95
RR sys. (mmHg) nach 6MGT mit MNS	15	106	172	134,0 0	20,87
RR sys. (mmHg) nach 6MGT mit FFP2	15	114	172	140,4 0	19,29
RR sys. (mmHg) nach 6MGT mit FFP3	15	108	168	136,6 0	16,88

RR dia. (mmHg) vor 6MGT ohne Maske	15	62	97	80,20	10,39
RR dia. (mmHg) vor 6MGT mit MNS	15	72	98	84,20	8,09
RR dia. (mmHg) vor 6MGT mit FFP2	15	73	99	84,00	7,57
RR dia. (mmHg) vor 6MGT mit FFP3	15	66	99	81,80	9,77
RR dia. (mmHg) nach 6MGT ohne Maske	15	55	102	81,80	10,66
RR dia. (mmHg) nach 6MGT mit MNS	15	67	101	83,73	10,05
RR dia. (mmHg) nach 6MGT mit FFP2	15	71	107	85,87	9,80
RR dia. (mmHg) nach 6MGT mit FFP3	15	73	101	85,20	7,67
AF vor 6MGT mit MNS	15	15	27	20,20	3,30
AF vor 6MGT mit FFP2	15	15	27	20,93	3,01
AF vor 6MGT mit FFP3	15	12	27	20,60	4,37
AF vor 6MGT ohne Maske	15	12	30	19,80	4,06
AF nach 6MGT ohne Maske	15	21	36	27,20	3,84
AF nach 6MGT mit MNS	15	17	39	28,93	5,55
AF nach 6MGT mit FFP2	15	24	42	31,20	4,36

AF nach 6MGT mit FFP3	15	21	36	28,40	4,07
HF vor 6MGT ohne Maske	15	62	93	76,87	9,85
HF vor 6MGT mit MNS	15	61	103	84,73	12,67
HF vor 6MGT mit FFP2	15	24	105	80,20	19,94
HF vor 6MGT mit FFP3	15	59	100	80,53	12,36
HF nach 6MGT ohne Maske	15	72	110	94,87	13,71
HF nach 6MGT mit MNS	15	71	136	99,07	19,92
HF nach 6MGT mit FFP2	15	27	135	98,53	27,73
HF nach 6MGT mit FFP3	15	70	124	95,20	14,22
Borg Skala vor 6MGT mit MNS	15	0	4	1,60	1,72
Borg Skala vor 6MGT mit FFP2	15	0	5,0	2,80	1,47
Borg Skala vor 6MGT mit FFP3	15	0	4,0	2,67	1,34
Borg Skala vor 6MGT ohne Maske	15	0	4	1,13	1,50
Borg Skala nach 6MGT ohne Maske	15	2,0	8,0	4,33	1,88
Borg Skala nach 6MGT mit MNS	15	2,0	10,0	5,00	2,14
Borg Skala nach 6MGT mit FFP2	15	4,0	10,0	6,80	2,43

Borg Skala nach 6MGT mit FFP3	15	1,0	8,0	5,53	2,36
Gehstrecke (m) im 6MGT ohne Maske	15	282	613	445,00	112,11
Gehstrecke (m) im 6MGT mit MNS	15	198	642	434,87	133,95
Gehstrecke (m) im 6MGT mit FFP2	15	180	630	427,13	135,78
Gehstrecke (m) im 6MGT mit FFP3	15	267	610	438,73	117,10

## 9 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich ganz herzlich bei all denen bedanken, die zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Michael Pfeifer, ärztlicher Direktor des Krankenhauses Barmherzige Brüder Regensburg, der mir freundlicherweise dieses sehr interessante Thema überließ, mich hervorragend betreute und für auftauchende Probleme immer eine gute Lösung parat hatte.

Ebenfalls ganz herzlich möchte ich mich bei Herrn PD Dr. med. Arno Mohr bedanken, der mir durch seine freundliche, geduldige Art, seine intensive und unermüdliche Unterstützung bei der Planung der Untersuchungen sowie bei der Auswertung kompetent zur Seite stand.

Zu guter Letzt möchte ich mich bei meinem Mann Stephan, meiner Tochter Josephine, meinen Eltern, Geschwistern und Freunden bedanken, die mich während dieser Arbeit in jeglicher Art unterstützt haben.

