

Ist eine Mund-Nase bedeckende Maske in der Alltagsanwendung frei von unerwünschten Nebenwirkungen und möglichen Gefahren?

Kai Kisielinski, Paul Giboni, Andreas Prescher, Bernd Klosterhalfen, David Graessel, Stefan Funken, Oliver Kempinski und Oliver Hirsch

Int. J. Environ. Res. Public Health 2021, 18(8), 4344; <https://doi.org/10.3390/ijerph18084344>

Übersetzung anhand des Originalartikels im IJERPH durch: Sara Alexandra Jonas, Bonita Blankart, Kai Kisielinski

Zusammenfassung

Die in vielen Staaten eingeführten Verpflichtungen zum Tragen eines Mund-Nasen-Schutzes im öffentlichen Raum zwecks Eindämmung von SARS-CoV-2 wurden 2020 zum Alltag. Bislang wurde nicht umfassend untersucht, inwiefern Masken individuelle gesundheitsschädliche Effekte haben können. Ziel unserer Arbeit war Auffindung, Prüfung, Auswertung und Zusammenstellung wissenschaftlich belegter ungünstiger Begleiteffekte der Anwendung von Mund-Nase bedeckenden Masken. Für eine quantitative Auswertung fanden sich 44, größtenteils experimentelle Studien, für eine inhaltliche, 65 Publikationen. Die Literatur offenbarte relevante, ungünstige Phänomene von Masken in zahlreichen Fachgebieten. Die in Kombination beschriebenen, psychischen und körperlichen Beeinträchtigungen und Symptome bezeichnen wir wegen übereinstimmender und wiederkehrender Darstellung in Arbeiten aus unterschiedlichen Fachgebieten als **Masken Induziertes Erschöpfungs- Syndrom (MIES)**. Wir objektivierten bei der Studienauswertung evidente Veränderungen der Atemphysiologie bei Maskenträgern mit signifikanter Korrelation von O₂-Abfall & Erschöpfung (p<0.05), zudem ein gehäuftes, gemeinsames Auftreten, von Atembeeinträchtigung & O₂-Abfall (67%), N95-Maske & CO₂-Anstieg (82%), N95-Maske & O₂-Abfall (72%), N95-Maske & Kopfschmerzen (60%), Atembeeinträchtigung & Temperaturanstieg (88%), aber auch von Temperaturanstieg & Feuchte (100%) unter den Masken. Ausgedehntes Masken-Tragen durch die Allgemeinbevölkerung könnte in vielen medizinischen Bereichen zu relevanten Auswirkungen und Konsequenzen führen.

Suchbegriffe

personal protective equipment; masks; N95 face mask; surgical mask; risk, adverse effects; long term adverse effects; contraindications; health risk assessment; hypercapnia; hypoxia; headache; dyspnea; physical exertion; MIES-Syndrom.

1. Einleitung

Zu Beginn der Ausbreitung **des neuartigen Erregers SARS-CoV-2** war es erforderlich, weitreichende Entscheidungen, auch ohne explizite, zur Verfügung stehende, wissenschaftliche Daten, zu treffen. Ohnehin ging man zunächst von zeitlich begrenzten Pandemie-Sofortmaßnahmen aus, um die akut drohende Überforderung des öffentlichen Gesundheitswesens effektiv und zügig zu verhindern.

In diesem Zusammenhang riet die Weltgesundheitsorganisation (WHO) im April 2020 ausschließlich zu **Mundschutz** für symptomatische, erkrankte Personen und Mitarbeiter des Gesundheitswesens, und empfahl nicht dessen massenhaften Gebrauch.

Im Juni 2020 änderte die WHO diese Empfehlung, als sie sich zur generellen Nutzung von Gesichtsmasken in beispielsweise überfüllten öffentlichen Einrichtungen aussprach [1,2], auch wenn in einer eigens von der WHO in Auftrag gegebenen Metaanalysen-Studie (Evidenzlevel Ia) kein eindeutiger wissenschaftlich fassbarer Vorteil von mittlerer oder starker Evidenz für Masken aller Typen (Stoff-, chirurgische und N95-Masken) abgeleitet werden konnte [3]. Während die Abstandswahrung von mindestens einem Meter im Hinblick auf die Verbreitung des SARS-CoV-2 eine mäßige Evidenz zeigte, konnte für Masken allein allenfalls eine nur schwache Evidenz in der Alltagsanwendung (nicht medizinisches Setting) gefunden werden [3]. Eine weitere im gleichen Jahr durchgeführte Metaanalyse bestätigte die nur schwache wissenschaftliche Evidenz für alle Typen von Masken [4].

Dementsprechend empfahl die WHO keine allgemeine oder unkritische Anwendung von Masken in der breiten Bevölkerung, und erweiterte ihre Risiko- und Gefahren-Liste innerhalb von nur zwei Monaten. Während in der Richtlinie vom April 2020 auf die Gefahren der Selbst-Kontamination, möglicher Atembeschwerden und des falschen Sicherheitsgefühls hingewiesen wurde, fanden sich in der Richtlinie vom Juni 2020 zusätzlich potenzielle negative Wirkungen wie beispielsweise Kopfschmerz, Entwicklung von Hautläsionen im Gesicht, irritative Dermatitis, Akne, oder ein erhöhtes Kontaminationsrisiko im öffentlichen Raum durch unsachgemäße Maskenentsorgung [1,2].

Unter dem Druck der steigenden absoluten Zahlen positiver SARS-CoV-2-Tests dehnten zahlreiche Verordnungsgeber Masken-Tragezeiten und -Situationen aber weiter aus, stets begründet mit dem Wunsch, die Virusausbreitung einzuschränken [5].

Diese Vorgehensweise wurde von den Populärmedien, zahlreichen Institutionen und dem Großteil der Bevölkerung unterstützt.

Bei der Ärzteschaft und unter Wissenschaftlern, die als Anwender und Beobachter medizinischer Hilfsmittel unabdingbare Kontrollinstanzen sind, gab es gleichzeitig Aufrufe zu einer differenzierteren Betrachtung [6–8]. Während weltweit eine kontroverse wissenschaftliche Diskussion über Nutzen und Risiken von Mund-Nasen-Bedeckungen im öffentlichen Raum stattfand, wurden diese gleichzeitig in vielen Ländern zum neuen gesellschaftlichen Erscheinungsbild im Alltag.

Auch wenn unter den Entscheidungsträgern, die eine **Maskenpflicht** eingeführt haben, wohl eine Einigkeit darüber besteht, dass medizinische Ausnahmeregelungen geboten sind, liegt es letztendlich in der Verantwortung der einzelnen klinisch tätigen Ärzte

abzuwägen, wann eine Empfehlung zur Befreiung von der Maskenpflicht auszusprechen ist. Ärzte befinden sich diesbezüglich in einem Interessenkonflikt. Auf der einen Seite kommt Ärzten eine tragende Rolle in der Unterstützung von Behörden im Kampf gegen eine Pandemie zu. Auf der anderen Seite müssen Ärzte gemäß dem ärztlichen Ethos mit der notwendigen Sorgfalt und unter Beachtung des anerkannten Standes medizinischer Erkenntnisse, die Interessen, das Wohlergehen sowie die Rechte ihrer Patienten gegenüber Dritten schützen [9–11].

Eine sorgfältige **Nutzen-Risiko-Analyse** wird für die Patienten und ihre Behandler immer relevanter, auch in Hinblick auf potenzielle **Langzeit-Wirkungen von Masken**. Fehlendes Wissen über rechtliche Legitimation einerseits, und über medizinisch wissenschaftliche Fakten andererseits, ist ein Grund für Unsicherheit bei klinisch tätigen Kollegen.

Vorliegende Arbeit verfolgt das Ziel einer ersten, raschen wissenschaftlichen Darstellung der Risiken einer allgemeinen Maskenpflicht-, indem sie den Fokus auf mögliche ungünstige medizinische Konsequenzen der Masken, insbesondere bei bestimmten Diagnose-, Patienten- und Anwendergruppen richtet.

2. Materialien und Methoden

Zielsetzung war die Suche nach dokumentierten **unerwünschten Effekten und Risiken von Mund-Nase bedeckenden Masken** verschiedener Typen. Berücksichtigung fanden hierbei neben Stoffmasken (Community-masks), Masken des Typs chirurgische Maske, und FFP2-Masken des Typs N95 bzw. KN95 (Filtering Face Piece 2).

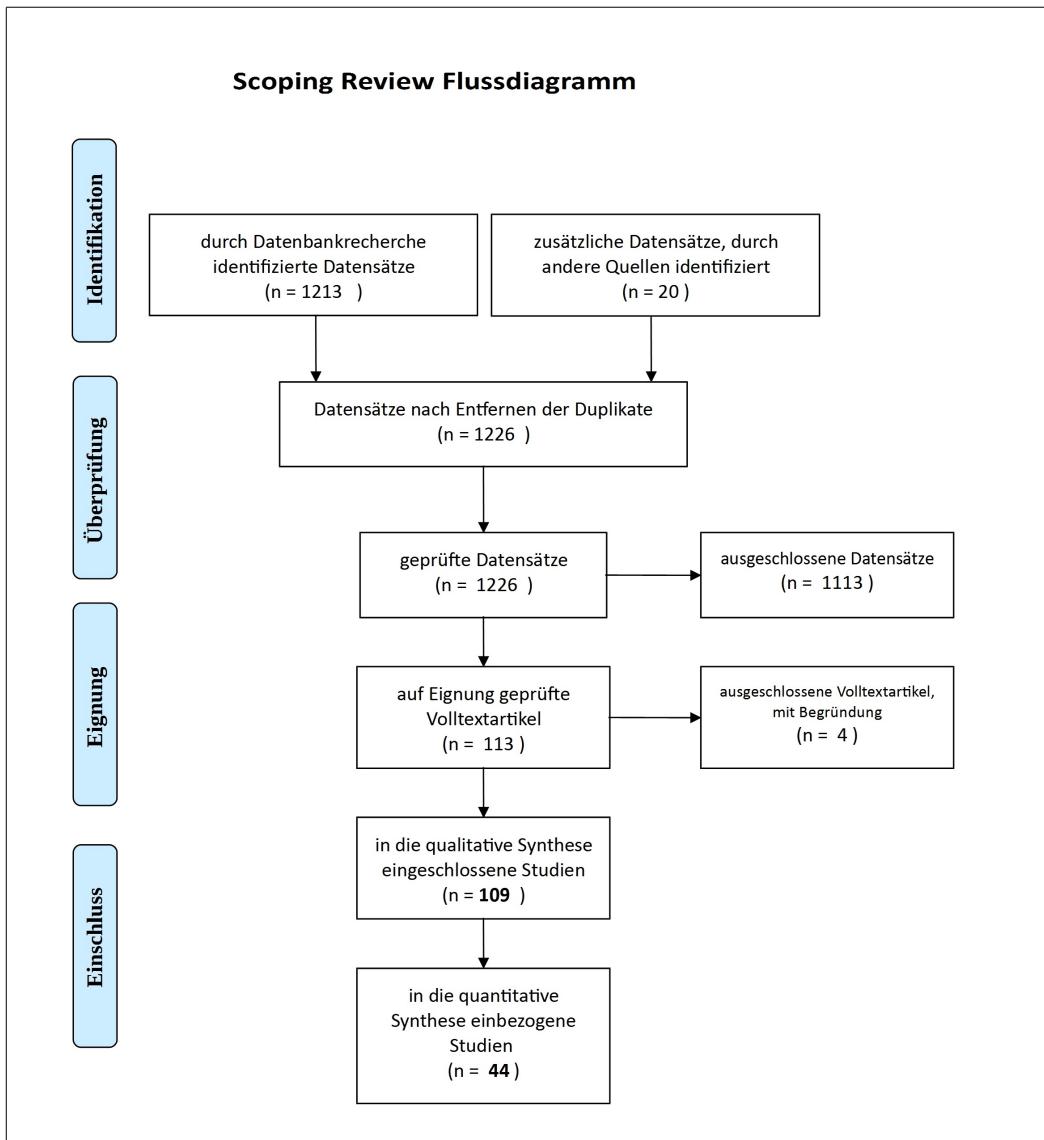
Unser Ansatz, den Fokus auf negative Effekte zu beschränken, erscheint auf den ersten Blick überraschend. Hierdurch versprechen wir uns aber einen Zugewinn an Informationen. Unsere Methodik entspricht der Strategie von Villalonga-Olives und Kawachi, welche ebenfalls einen Review ausschließlich zu negativen Effekten realisierten [12].

Für die Auswertung der Literatur haben wir als **Risiko des Mund-Nase-Schutzes** die Beschreibung von Symptomen oder negativen Auswirkungen von Masken definiert. Auch Reviews und Expertendarstellungen, aus denen keine messbaren Werte extrahierbar waren, welche aber die Forschungslage übersichtlich darstellen, erfüllen dieses Kriterium.

Zusätzlich definierten wir einen quantifizierbaren, **negativen Effekt von Masken** als die Beschreibung einer gemessenen, statistisch signifikanten Veränderung eines physiologischen Parameters in pathologische Richtung ($p<0.05$), oder eine statistisch signifikante Symptomerfassung ($p<0.05$), beziehungsweise das Auftreten von Symptomen bei mindestens 50 % der Untersuchten einer Stichprobe ($n\geq 50$ %).

Bis einschließlich 31.10.2020 führten wir eine **Datenbankrecherche in PubMed / MEDLINE** zu wissenschaftlichen Studien und Veröffentlichungen über unerwünschte Effekte und Risiken von Mund-Nase bedeckenden Masken verschiedener Typen nach oben genannten Kriterien durch (siehe Abbildung 1: Review-Flussdiagramm).

Abbildung 1: Methodik unserer Review



Suchbegriffe waren „face masks“ (Gesichtsmasken), „surgical mask“ (chirurgische Masken) und „N95“ in Kombination mit den Begriffen „risk“ (Risiko) und „adverse effects“ (schädliche Effekte) sowie „side effects“ (Nebenwirkungen). Die Auswahlkriterien der Arbeiten richteten sich nach unserer oben genannten Definition des Risikos und des negativen Effektes von Masken.

Berücksichtigt wurden vorwiegend englisch- und deutschsprachige Veröffentlichungen der Evidenzlevel I bis III nach den Empfehlungen des AHQR (Agency for Healthcare Research and Quality), die zum Review-Zeitpunkt nicht älter als 20 Jahre waren. Ausgeschlossen wurden für die Auswertung auch Arbeiten des Evidenzlevel der Stufe IV, wie Einzelfallberichte (Case-Reports) und irrelevante Leserbriefe, die ausschließlich Meinungen ohne wissenschaftliche Belege wiedergeben. Es fanden sich nach Ausschluss von 1113 Arbeiten, die für die Fragestellung unbedeutend waren, **insgesamt 109**

relevante Publikationen für die Auswertung im Rahmen unserer Scoping Review (Abbildung 1: Flussdiagramm).

Im Rahmen der inhaltlichen Auswertung bezüglich potenzieller Risiken und Gefahren bei Verwendung von Masken wurden insgesamt 65 relevante Publikationen zum Thema Masken berücksichtigt. Hierzu gehörten auch 14 Reviews und 2 Metaanalysen aus der Primärrecherche.

Für die quantitative Auswertung berücksichtigungsfähig waren 44 Darstellungen negativer Effekte aus den Jahren 2004 bis 2020. Hiervon waren 31 Studien experimentell (70 %) und 13 Arbeiten Datenerhebungen im Sinne einfacher Beobachtungsstudien, insbesondere im dermatologischen Bereich (30 %). Die beobachteten Studienparameter und signifikanten Ergebnisse aus diesen 44 Publikationen ($p<0.05$ bzw. $n\geq50$ %) wurden in eine Gesamttabelle zusammengetragen (Abbildung 2).

Basierend auf diesen Daten erfolgte eine Zusammenhangsanalyse der beobachteten Maskeneffekte, einschließlich einer Korrelationsrechnung der erfassten Symptome und physiologischen Veränderungen (bei nominal skalierten, dichotomen Variablen gemäß Fisher mittels R, R Foundation for Statistical Computing, Wien, Österreich, Version 4.0.2). Außerdem wurden weitere 64 Publikationen mit benachbartem Themenspektrum in Zusammenhang mit den von uns gefundenen Maskeneffekten herangezogen. Hierunter waren auch Deklarationen, Leitlinien und handlungsrechtliche Grundlagen. Um die Datenmenge für die Diskussion zu erweitern wurde hierbei nach dem "Schneeball-Prinzip" vorgegangen, indem Zitate ausgewählter Arbeiten in den Literaturverzeichnissen ausfindig gemacht, und bei Eignung zusätzlich mit einbezogen worden sind.

Da sich die Erkenntnisse aus den zur Diskussion gestellten Inhalten in einem unerwarteten Maß fachbezogen darstellten, haben wir uns entschieden, die Ergebnisse entsprechend nach Fachbereichen der Medizin zu gliedern. Natürlich gibt es Überschneidungen der jeweiligen Bereiche untereinander, auf welche wir im Einzelnen hinweisen.

Abbildung 2: Übersicht aller 44 berücksichtigten Studien mit quantifizierten, signifikanten unerwünschten Auswirkungen von Masken (schwarze Punkte und Rechtecke).

Nicht alle Studien haben sämtliche Parameter beleuchtet, da oft fokussierte bzw. fachbezogene Fragestellungen im Vordergrund standen. Graue Felder entsprechen fehlender Erfassung in den Primärstudien, weiße Felder stehen für gemessene Effekte. Wir fanden in Kombination auftretende chemische, physikalische, physiologische Parameter und Beschwerden. Das Symptom Benommenheit steht in der Tabelle zusammenfassend für jegliche, in der untersuchten wissenschaftlichen Literatur untersuchten, qualitativen neurologischen Defizite.

signifikant gemessene maskeninduzierte Veränderungen in wissenschaftlichen Studien 2004-2020: • = p<0.05 ■ = n≥50 %	Stoff-Maske	Chirurgische Maske																												
		N95-Maske	O ₂ ↓	CO ₂ ↑	Feuchte↓	Temp↓	Atem-widerstand↑	Atemfrequenz↑	Blutdruck↓	Cerebrale Vasodilatation	Herzfrequenz↓	Atembeinträchtigung	Erschöpfung	Benommenheit	Schwindel	Kopfschmerz	psychovegetative Folgen	Empathie-Abnahme	Juckreiz	Hautirritation	Akne	Rhinitis	Stimm-Störung	falsches Sicherheitsgefühl	bakterielle Kontamination	fungale Kontamination	virale Kontamination			
Beder 2008	X	•																												
Bharatendu 2020		X	•																											
Butz 2005	X		•																											
Chugtai 2019	X																								•					
Epstein 2020	X	X	•																											
Fikenzer 2020	X	X	•		•	•	•					•	•						•											
Foo 2006		X																	■	■	■									
Georgi 2020	X	X	•	•				•			•	•																		
Goh 2019		X		■																										
Heider 2020	X	X																												
Hua 2020	X	X			•													■	•											
Jacobs 2009	X																													
Jagim 2018	X		•																											
Kao 2004		X	•																											
Klimek 2020																														
Kyung 2020	X	•	•					•			•	•																		
Lan 2020	X																		■	•										
Lee 2011	X					•																								
Li 2005	X	X		•	•	•		•			•	•	•							•										
Lim 2006		X																												
Liu 2020	X	X	•	•	•						•	•	•	•							•									
Luckman 2020	X	X	X																											
Luksamijarulkul 2014	X																													
Matusiak 2020	X	X	X			•	•													•	•	•								
Mo 2020	X			•																•	•	•								
Monalisa 2017	X																													
Ong 2020		X																	•											
Person 2018	X																		•											
Pifarre 2020	X	X	•	•																										
Porcari 2016	X		•																											
Prousa 2020	X	X	X																•											
Ramirez 2020	X	X																	•											
Rebmann 2013	X	X	•	•															•											
Roberge 2012	X		•	•	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•												
Roberge 2014	X		•	•	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•												
Rosner 2020	X	X																	■			■	■							
Scarano 2020	X	X		•	•													•			•									
Shenal 2012	X	X	X																•											
Smart 2020	X	X				•												•												
Szepietkowski 2020	X	X	X																	•										
Techasatian 2020	X	X	X																	■										
Tong 2015	X		•	•															•											
Wong 2013	X																													
Zhiqing 2018	X																													

3. Ergebnisse

Insgesamt 65 wissenschaftliche Arbeiten zu Masken erlaubten eine rein inhaltliche Auswertung. Hierzu gehörten 14 Reviews und 2 Metaanalysen.

Von den mathematisch auswertbaren, wegweisenden 44 Arbeiten mit signifikanten Darstellungen negativer Maskeneffekte ($p<0.05$ bzw. $n\geq50$ %) stammen 22 aus dem Jahr 2020 (50 %), und 22 wissenschaftliche Publikationen aus der Zeit vor der COVID-19-Pandemie. Von diesen 44 Veröffentlichungen mit quantifizierten, signifikant negativen Maskeneffekten waren 31 (70 %) mit experimentellem Design, die übrigen 13 Beobachtungsstudien (30 %). Die meisten besagter Veröffentlichungen waren englischsprachig (98 %). 30 Arbeiten betrafen chirurgische Masken (68 %), 30 Publikationen N95-Masken (68 %), und nur 10 Studien Stoffmasken (23 %).

Wir konnten im Rahmen der quantitativen Auswertung trotz der Unterschiedlichkeiten der Primärstudien eine statistisch signifikante Korrelation der beobachteten Nebenwirkungen Blut-Sauerstoff-Abfall und Erschöpfung bei Maskenträgern mit $p=0.0454$ nachweisen.

Zusätzlich fanden wir ein mathematisch gehäuftes, gemeinsames Auftreten der in den Primärstudien statistisch signifikant bestätigten Auswirkungen von Masken ($p<0.05$ und $n\geq50$ %), wie aus Abbildung 2 ersichtlich.

Wir stellten unter Maskenanwendung ein kombiniertes Auftreten von N95-Atemschutz und Kohlendioxid-Anstieg in 9 der 11 betreffenden wissenschaftlichen Arbeiten fest (82 %). Ein ähnliches Ergebnis fanden wir für den Abfall der Sauerstoffsättigung und Atembeeinträchtigung, mit einem synchronen Nachweis in 6 der 9 betreffenden Studien zu Masken (67 %). Masken des Typs N95 gingen in 6 der 10 betreffenden Studien, zu 60 % mit Kopfschmerzen einher. Für Sauerstoffabfall unter N95-Atemschutz fanden wir ein gemeinsames Auftreten in 8 von 11 Primärarbeiten (72 %).

Temperaturanstieg unter Masken ging zu 50 % mit Erschöpfung einher (3 von 6 Primärarbeiten mit gemeinsamen Auftreten der gemessenen Veränderungen).

Das gemeinsame Auftreten des physikalischen Parameters Temperaturanstieg unter der Maske mit dem Symptom Atembeeinträchtigung stellten wir in 7 der 8 betreffenden Studien (88 %) fest. Ein kombiniertes Auftreten der physikalischen Parameter Temperaturanstieg und Feuchte unter der Maske fand sich sogar zu 100 % innerhalb 6 von 6 Studien mit signifikanten Messungen dieser Parameter (Abbildung 2).

Die Literaturoauswertung belegt relevante, unerwünschte medizinische, Organe- und Organsysteme betreffende Phänomene, welche mit Masken einhergehen, auf den Gebieten der Inneren Medizin (mindestens 11 Publikationen, Abschnitt 3.2). Die Liste umfasst die Neurologie (7 Publikationen, Abschnitt 3.3), die Psychologie (mehr als 10 Publikationen, Abschnitt 3.4), die Psychiatrie (3 Publikationen, Abschnitt 3.5), Gynäkologie (3 Publikationen, Abschnitt 3.6), Dermatologie (mind. 10 Publikationen, Abschnitt 3.7), HNO-Heilkunde (4 Publikationen, Abschnitt 3.8), Zahnmedizin (1 Publikation, Abschnitt 3.8), Sportmedizin (4 Publikationen, Abschnitt 3.9), Soziologie (mehr als 5 Publikationen, Abschnitt 3.10), Arbeitsmedizin (mehr als 14 Publikationen, Abschnitt 3.11), Mikrobiologie (mindestens 4 Publikationen, Abschnitt 3.12), Epidemiologie (mehr als 16 Publikationen, Abschnitt 3.13) und Pädiatrie (4 Publikationen,

Abschnitt 3.14) sowie Umweltmedizin (4 Publikationen, Abschnitt 3.15).

Zunächst stellen wir die generellen physiologischen Auswirkungen als Grundlage für alle Fachbereiche dar. Es folgt die Beschreibung der Ergebnisse aus den verschiedenen medizinischen Fachgebieten mit der Pädiatrie im letzten Abschnitt.

3.1. Allgemeine physiologische und pathophysiologische Auswirkungen für den Träger

Schon im Jahre 2005 konnte in einer experimentellen Dissertation (randomisierte Crossover-Studie) nachgewiesen werden, dass das Tragen von chirurgischen Masken beim gesunden medizinischen Personal (15 Probanden, 18-40 Jahre alt) nach 30 Minuten zu messbaren körperlichen Auswirkungen mit transkutan erhöhten P_{tcCO_2} -Werten führt [13]. Hier wurde für die, noch innerhalb der Grenzwerte liegende, signifikante Veränderung ($p<0.05$) der Blut-Gase in Richtung einer Hyperkapnie die Rolle des Totraumvolumens und eine CO_2 -Rückhaltung als Ursache diskutiert. Masken erweitern den natürlichen Totraum (Nase, Rachen, Luftröhre, Bronchien) nach außerhalb, über Mund und Nase hinaus.

Eine experimentelle **Vergrößerung des Totraumvolumens** beim Atmen steigert in Ruhe und unter Belastung die **Kohlendioxid(CO_2)-Rückhaltung** und entsprechend den Kohlendioxid-Partialdruck pCO_2 im Blut ($p<0.05$) [14].

Neben der Totraum-bedingten **gesteigerten Rückatmung von Kohlendioxid (CO_2)** erörtern Wissenschaftler in ihren Arbeiten aber auch den Einfluss des erhöhten **Atemwiderstands bei Maskenanwendung** [15-17].

Den wissenschaftlichen Daten zufolge zeigen Maskenträger insgesamt auffallend häufig typische, messbare, physiologische, mit Masken zusammenhängende Veränderungen.

Bei einer neueren Bestimmung des Gasgehaltes für Sauerstoff (gemessen in O_2 %), und Kohlendioxid (gemessen in CO_2 ppm) in der Luft unter Mund-Nase-Schutz bei 8 Probanden zeigte sich im Rahmen einer Interventionsstudie schon in Ruhe unter den Masken eine geringere Sauerstoffverfügbarkeit als ohne Masken. Bei den Messungen wurde ein Multi-Rae-Gas Analyzer verwendet (RaeSystems®) (Sunnyvale, Kalifornien CA, Vereinigte Staaten). Das Gerät war zum Zeitpunkt der Untersuchung das fortschrittlichste portable multivariate Echtzeit-Gasanalyse-Gerät, welches auch in Rettungsmedizin und in betrieblichen Notfällen Anwendung findet. Die absolute Konzentration von Sauerstoff (O_2 -Vol%) in der Luft unter den Masken war mit durchgehend 18,3 % gegenüber 20,9 % Raumluftkonzentration deutlich herabgesetzt (absolut um -12,4 Vol% O_2 , statistisch signifikant mit $p<0.001$). Gleichzeitig war unter den Masken, – ein gesundheitskritischer Wert – eine um den Faktor 30 vergrößerte Kohlendioxidkonzentration (CO_2 -Vol%) gegenüber normaler Raumluft messbar (14162 ppm mit Maske gegenüber 464 ppm ohne Maske, statistisch signifikant mit $p<0.001$) [18]. Diese Phänomene sind verantwortlich für einen statistisch **signifikant erhöhten Kohlendioxid(CO_2)-Blutgehalt bei Maskenträgern** [19,20], zum Einen transkutan messbar über einen erhöhten P_{tcCO_2} -Wert [15,17,19,21,22], zum Anderen über einen erhöhten endexspiratorischen Kohlendioxid-Partialdruck (P_{ETCO_2}) [23,24], beziehungsweise über den arteriellen Kohlendioxid-Partialdruck ($PaCO_2$) [25].

Neben dem **Anstieg der Kohlendioxid (CO_2)-Blut-Werte beim Träger** ($p<0.05$) [13,15,17,19,21–28] ist eine weitere, experimentell oft belegte Folge von Masken ein statistisch signifikanter **Abfall der Blut-Sauerstoffsättigung (SpO_2)** ($p<0.05$) [18,19,21,23,29–33]. Eine Abnahme des Blut-Sauerstoffpartialdrucks (PaO_2), mit dem Effekt einer begleitenden **Steigerung der Herzfrequenz** ($p<0.05$) [15,23,29,30,34] sowie **Zunahme der Atemfrequenz** ($p<0.05$) [15,21,23,35,36] ist ebenfalls dokumentiert.

Über eine statistisch signifikant messbare Steigerung der Pulsfrequenz ($p<0.05$) und einen Abfall der Sauerstoffsättigung SpO_2 nach der ersten ($p<0.01$) und zweiten Stunde ($p<0.0001$) unter einer Einwegmaske (chirurgische) berichteten die Forscher in einer von ihnen an 53 berufstätigen Neurochirurgen durchgeführten Masken-Interventions-Studie [30].

Im Rahmen einer anderen experimentellen Untersuchung (Vergleichsstudie) verursachten chirurgische- und N95-Masken bereits nach 90 Minuten Tragezeit unter körperlicher Betätigung bei 10 gesunden Probanden beider Geschlechter eine **signifikante Steigerung von Herzfrequenz** ($p<0.01$) und zusätzlich ein entsprechendes **Erschöpfungsgefühl** ($p<0.05$), begleitet von Hitzeempfinden ($p<0.0001$) und Juckreiz ($p<0.01$) mit Durchfeuchtung des Mund-Nase-Schutzes ($p<0.0001$) [35]. Die Durchfeuchtung wurde über Sensoren mittels Auswertung von Loggen (SCXI-1461, National Instruments, USA) ermittelt.

Diese Phänomene konnten in einem weiteren Experiment mit chirurgischen Masken an 20 gesunden Probanden reproduziert werden. Die maskierten Versuchspersonen wiesen statistisch signifikant gesteigerte Herz- ($p<0.001$) und Atemfrequenzen ($p<0.02$), begleitet von einem ebenfalls transkutan statistisch signifikant messbar erhöhten PtcCO_2 -Wert auf ($p<0.0006$), und beklagten Atemschwierigkeiten im Rahmen körperlicher Betätigung [15]. Die vermehrte Rückatmung des Kohlendioxids (CO_2) aus dem vergrößerten Totraumvolumen bei Maskenträgern kann reflektorisch eine gesteigerte Atmungsaktivität mit verstärkter muskulärer Arbeit sowie dadurch bedingten **Sauerstoff-Mehrbedarf und -Verbrauch** auslösen [17]. Hier liegt eine Reaktion auf pathologische Veränderungen vor, im Sinne eines Adaptationseffektes. Ein maskenbedingter Abfall des Blut-Sauerstoffsättigungswertes (SpO_2) [30] beziehungsweise des Blut-Sauerstoffpartialdrucks (PaO_2) [34] kann wiederum dabei auftretende subjektive Brustkorbeschwerden noch zusätzlich verstärken [25,34].

Die dokumentierten **maskenbedingten Änderungen der Blutgase** in Richtung einer **Hyperkapnie** (erhöhte Kohlendioxid/ CO_2 -Blutspiegel) und **Hypoxie** (verminderte Sauerstoff/ O_2 -Blutspiegel) können zusätzliche, nicht körperliche Auswirkungen wie Verwirrtheit, verminderte Denkfähigkeit und Desorientiertheit [23,36–39] mit auch insgesamt eingeschränkten kognitiven Fähigkeiten und Abnahme psychomotorischer Fähigkeiten zur Folge haben [19,32,38–41]. Hierdurch wird die Bedeutung der Veränderung der Blutgasparameter als Ursache für klinisch relevante psychische und neurologische Effekte deutlich. Die o.g. Parameter und Effekte (Sauerstoffsättigung, Kohlendioxidgehalt, kognitive Fähigkeiten) wurden bei einer Studie über Sättigungssensoren (Semi-Tec AG, Therwil, Schweiz) über eine Borg-Rating-Skala, Frank-Skala, Roberge-Respirator-Comfort-Scale und Roberge-Subjective-Symptoms-during-Work-Scale sowie mit einer Likert-Skala, objektiviert [19]. Bei der anderen Primärarbeit

mit Messung des Kohlendioxidgehalts, des Pulses und kognitiver Fähigkeiten kamen auch konventionelles EKG, Kapnographie und Symptomfragebögen zum Einsatz [23]. Weitere physiologische Datenerhebungen erfolgten mit Pulsoxymetern (Allegiance, MCGaw, USA). Die Erhebung subjektiver Beschwerden wurde mit einer 5-Punkte-Likert-Skala und die Erfassung der motorischen Geschwindigkeit mit linear-position Transducern (Tendo-Fitrodyne, Sport Machins, Trencin, Slowakia) objektiviert [32]. Einige Forscher nutzten standardisierte, anonymisierte Fragebögen zur Datenerhebung der mit Masken assoziierten subjektiven Beschwerden [37].

In einem experimentellen Setting mit verschiedenen Maskentypen (Community, chirurgisch, N95) wurden bei 12 gesunden, jungen Probanden (Studenten) eine signifikante Zunahme von Herzfrequenz ($p<0.04$), ein Abfall der Sauerstoffsättigung SpO_2 ($p<0.05$) mit Zunahme der Hauttemperatur und Atemschwierigkeiten ($p<0.002$) objektiviert. Darüber hinaus beobachteten die Untersucher Schwindel ($p<0.03$), Lustlosigkeit ($p<0.05$), Denkstörungen ($p<0.03$) und Konzentrationsprobleme ($p<0.02$), welche ebenfalls statistisch signifikant unter Maskentragen auftraten [29].

Gemäß anderen Forschern und ihren Publikationen stören Masken auch die Temperaturregulation, beeinträchtigen das Sehfeld und die nonverbale und verbale Kommunikation [15,17,19,36,37,42–45].

Die oben genannten messbaren, aber auch qualitativen physiologischen Auswirkungen von Masken können Konsequenzen auf verschiedenen Fachgebieten der Medizin nach sich ziehen.

Aus der Pathologie ist bekannt, dass nicht nur überschwellige Reize mit Überschreitung der Normalgrenzen krankheitsrelevante Folgen haben. Auch unterschwellige Reize sind imstande, bei entsprechend langer Einwirkzeit krankhafte Veränderungen zu bewirken.

Beispiele hierfür sind geringste Luftverschmutzung durch Schwefelwasserstoff mit Erzeugung von Atemwegsbeschwerden (Rachenreizungen, Husten, verminderte Aufnahme von Sauerstoff) und neurologischen Erkrankungen (Kopfschmerzen, Schwindel) [46]. Des Weiteren ist eine unterschwellige, aber längere Exposition gegenüber Stickoxiden und Feinstaub mit gesteigertem Risiko für Asthma, Krankenhausaufenthalte und einer höheren Gesamtsterblichkeit verbunden [47,48]. Auch niedrige Konzentrationen von Pestiziden sind für den Menschen bei Langzeitaufnahme mit krankheitsrelevanten Folgen, wie Mutationen, Krebsentstehung und neurologischen Erkrankungen, verknüpft [49]. Ebenso geht die chronische, unterschwellige Aufnahme von Arsen mit erhöhtem Krebsrisiko [50], die unterschwellige Aufnahme von Kadmium mit Förderung von Herzversagen [51], die unterschwellige Aufnahme von Blei mit Erzeugung von Bluthochdruck, Nierenstoffwechselstörungen und kognitiven Einbußen [52] oder die unterschwellige Aufnahme von Quecksilber mit Immunschwäche und neurologischen Störungen [53] einher. Unterschwellige UV-Strahlen-Einwirkungen über lange Zeiträume sind ebenfalls bekannt als Ursache für mutationsfördernde, kanzerogene Effekte (insbesondere weißen Hautkrebs) [54].

Langfristige krankheitsrelevante Folgen von maskenbedingten ungünstigen Veränderungen sind bei verhältnismäßig geringer Ausprägung, jedoch wiederholter Einwirkung über längere Zeiträume gemäß dem o. g. pathogenetischen Prinzip somit zu erwarten. Insofern sind die in den Studien gefundenen, statistisch signifikanten

Ergebnisse mit mathematisch fassbaren Unterschieden zwischen Maskenträgern und Menschen ohne Masken klinisch relevant. Denn sie geben einen Hinweis darauf, dass sich – bei entsprechend wiederholter und längerer Einwirkung der teils unterschweligen, jedoch signifikant in Richtung pathologischer Bereiche verschobenen physikalischen, chemischen, biologischen, physiologischen, körperlichen und psychischen Zustände – gesundheitsmindernde Veränderungen und Krankheitsbilder wie beispielsweise Bluthochdruck und Arteriosklerose, einschließlich einer koronaren Herzkrankung (metabolisches Syndrom) und auch neurologische Erkrankungen ausbilden können. Für **geringe Steigerungen von Kohlendioxid in der Einatemluft** ist dieser krankheitsfördernde Effekt erwiesen mit Erzeugung von Kopfschmerzen, Irritation der Atemwege bis hin zum Asthma sowie Blutdruck- und Herzfrequenzsteigerung mit gefäßschädigendem Ausmaß, und schließlich neuropathologischen und kardiovaskulären Folgen [38]. Aber auch für **leichtgradig, jedoch anhaltend gesteigerte Herzfrequenzen** ist eine Begünstigung von oxidativem Stress mit Endotheldysfunktion über gesteigerte Entzündungsbotenstoffe und schließlich die Förderung von Arteriosklerose der Blutgefäße nachgewiesen [55]. Ein ähnlicher Effekt mit Förderung von Bluthochdruck, Störung der Herzfunktion und Schädigung von hirnversorgenden Blutgefäßen ist für **leichtgradig und ebenfalls über lange Zeiträume gesteigerte Atemfrequenzen** naheliegend [56,57]. Masken sind für die genannten physiologischen Veränderungen mit Steigerung von Kohlendioxid in der Einatemluft [18-28], geringe anhaltende Steigerungen der Herzfrequenz [15,23,29,30,35] und leichtgradig, jedoch anhaltend erhöhte Atemfrequenzen [15,21,23,34,36] verantwortlich.

Zum besseren Verständnis der in vorliegender Literaturübersicht dargestellten Nebenwirkungen und Gefahren von Masken lässt sich auf **bekannte Prinzipien der Atemphysiologie** zurückgreifen (Abbildung 3).

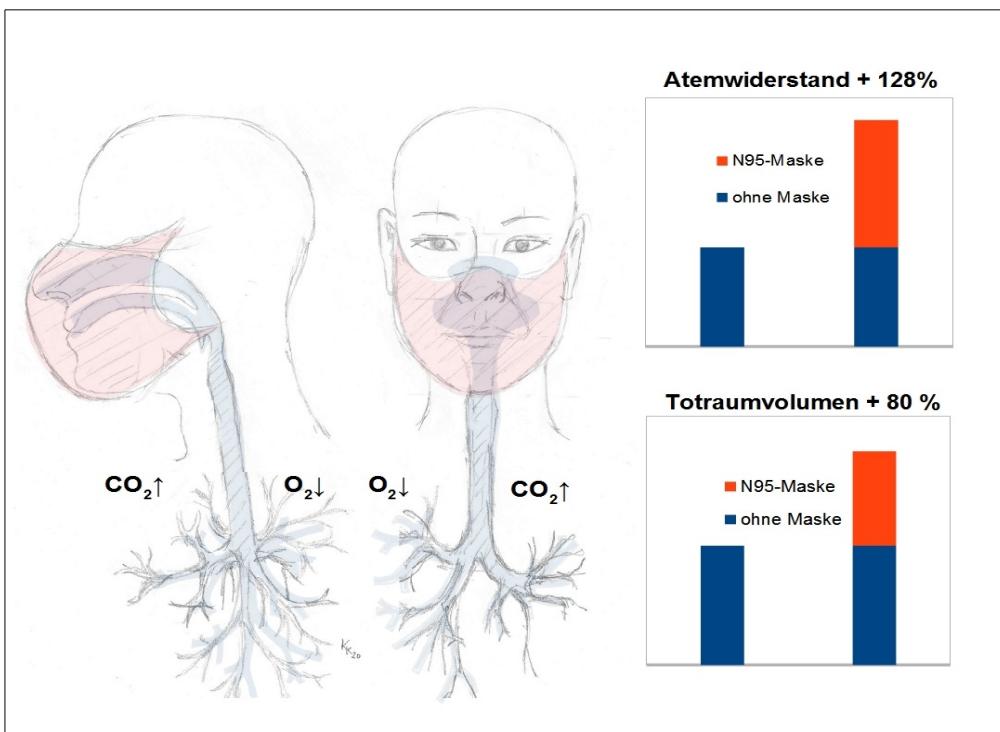
Das durchschnittliche Totraumvolumen bei der Atmung beträgt beim Erwachsenen ca. 150-180 ml und wird beim Tragen einer Mund und Nase bedeckenden Maske deutlich vergrößert [58]. Bei einer N95-Maske beispielsweise wurde in einer experimentellen Studie das Totraumvolumen von ca. 98-168 ml bestimmt [59]. Dies entspricht einer **maskenbedingten Totraumvergrößerung um ca. 65 % bis 112 % für Erwachsene**, und somit nahezu einer Verdopplung. Bei einer Atemfrequenz von 12 pro Minute würde die Pendelvolumen-Atmung bei einer solchen Maske somit mindestens 2,9-3,8 Liter je Minute betragen. Deswegen bewirkt der Totraum vergrößernde **Masken-Effekt** eine relative **Verkleinerung des für die Lunge pro Atemzug zur Verfügung stehenden Gasaustauschvolumens um 37 %** [60]. Das erklärt größtenteils die in unserer Arbeit wiedergegebenen Beeinträchtigungen der Atemphysiologie und der daraus folgenden ungünstigen Effekte aller Maskentypen in der Alltagsanwendung bei Gesunden und bei Kranken (Atemfrequenzsteigerung, Herzfrequenzsteigerung, Abfall der Sauerstoffsättigung, Anstieg des Kohlendioxid-Partialdrucks, Erschöpfung, Kopfschmerzen, Schwindel, Denkstörungen etc.) [36,58].

Neben dem Effekt der erhöhten Totraumvolumen-Atmung ist aber auch der **maskenbedingte Atemwiderstand** von herausragender Bedeutung (Abbildung 3) [23,36]. Versuche belegen eine **Zunahme des Atemwegswiderstands** durch eine N95-Maske um beachtliche **126 % beim Einatmen** und um **122 % beim Ausatmen** [60]. Experimentelle

Studien konnten zudem nachweisen, dass die **Durchfeuchtung der Maske (N95)** den Atemwiderstand um **weitere 3 %** steigert [61] und somit den Atemwegswiderstand bis zum 2,3-fachen des Normalwertes anzuheben vermag. Dies zeigt deutlich die Bedeutung auch des Atemwegswiderstandes einer Maske. Hier wirkt die Maske als Störfaktor bei der Atmung und macht die beobachteten kompensatorischen Reaktionen mit einer Erhöhung der Atemfrequenz und gleichzeitigem Gefühl der Atemnot plausibel (erhöhte Arbeit der Atemmuskulatur). Diese zusätzliche Belastung durch die verstärkte Atemarbeit gegen den größeren Widerstand durch die Masken führt auch zu verstärkter Erschöpfung mit Anstieg der Herzfrequenz und erhöhter CO₂-Produktion. Passenderweise fanden wir bei unserer Auswertung der Studien zu negativen Maskeneffekten (Abbildung 2) auch ein prozentual gehäuftes, kombiniertes Auftreten von signifikanter Atembeeinträchtigung und signifikantem Abfall der Sauerstoffsättigung (in etwa 67% aller Studienergebnisse).

Wir bestimmten bei der Auswertung der Primärarbeiten zudem eine statisch signifikante Korrelation des Abfalls der Sauerstoffsättigung (SpO₂) und Erschöpfung mit gemeinsamen Auftreten in 58 % der Studien zur Maskenanwendung mit signifikanten Resultaten (Abbildung 2, p<0.05).

Abbildung 3: Pathophysiologie der Maske (wichtigste physikalische und chemische Auswirkungen). Veranschaulichung des Atemwiderstandes* und des Totraumvolumens** einer N95-Maske beim Erwachsenen. Beim Atmen herrscht maskenbedingt ein insgesamt deutlich verkleinertes mögliches Gasaustauschvolumen der Lungen von -37% (Lee 2011)[60] bedingt durch Abnahmen von Atemtiefe und Atemvolumen aufgrund des größeren **Atem-Widerstandes von plus 128 %** * (Anstrengung beim Einatmen größer als beim Ausatmen) und durch das gesteigerte, am Gasaustausch nicht direkt teilnehmende, sich nur teilweise mit der Umgebung durchmischende **Totraum-Volumen von plus 80 %** ** (* =gemittelte In- und Expiration gemäß Lee 2011 [60], inklusive Durchfeuchtung nach Roberge 2010 [61], ** =gemittelte Werte gemäß Xu 2015 [59]).



3.2. Internistische Nebenwirkungen und Gefahren

Schon 2012 zeigten sich in einem Experiment beim Gehen **signifikant gesteigerte Herz**- (durchschnittlich +9,4 Schläge mehr pro Minute, $p<0.001$) **und Atemfrequenzen** ($p<0.02$) bei den 20 maskierten Probanden im Vergleich zur identischen Aktivität ohne Masken. Diese physiologischen Veränderungen wurden begleitet von ebenfalls transkutan signifikant messbar erhöhten PtcCO_2 -Werten ($p<0.0006$) sowie Atemschwierigkeiten der Maskenträger gegenüber der Kontrollgruppe [15].

In einer neueren experimentellen Vergleichsstudie von 2020 kam es bei 12 gesunden Probanden unter chirurgischen Masken als auch unter N95-Masken bei mittelschwerer bis schwerer körperlicher Belastung zu **messbaren Beeinträchtigungen** der gemessenen **Lungenfunktionsparameter** sowie der **kardiopulmonalen Kapazität** (niedrigere maximale Blutlactatreaktion) im Vergleich zur Anstrengung ohne Masken ($p<0.001$) [31]. **Der gestiegene Atemwegswiderstand** führte zu einer **vermehrten Atemarbeit mit vermehrtem Sauerstoffverbrauch und -bedarf**, sowohl der Atemmuskulatur als auch des **Herzens**. Die Atmung war hierbei signifikant messbar behindert ($p<0.001$), und die Teilnehmer berichteten von leichten Schmerzen. Die Wissenschaftler schlussfolgerten aus ihren Ergebnissen, dass die kardiale Kompensation der pulmonalen, maskenbedingten Einschränkungen, welche bei Gesunden noch funktionierte, bei **Patienten mit herabgesetzter Herzleistung** voraussichtlich nicht mehr möglich sei [31].

In einer weiteren aktuellen Arbeit untersuchten Forscher Stoffmasken (Community-masks), chirurgische Masken und FFP2/N95-Masken bei 26 Gesunden unter Belastung am Fahrradergometer. Hierbei stellten sich für alle Masken auch eine messbare Kohlendioxid (CO_2)-Retention (PtcCO_2) (statistisch signifikant mit $p<0.001$), und für N95-Masken ein Abfall des Sauerstoffsättigungswertes SpO_2 (statistisch signifikant bei 75 und 100 W mit $p<0.02$ bzw. $p<0.005$) ein. Die klinische Relevanz dieser Veränderungen zeigte sich in einer Atemfrequenzzunahme bei Stoffmasken ($p<0.04$) sowie im Auftreten der vorbeschriebenen, maskenspezifischen Beschwerden wie **Hitzegefühl, Luftnot und Kopfschmerzen**. Das Belastungsempfinden wurde mittels Borgskala von 1 bis 20 erfasst. Bei der körperlichen Anstrengung unter einer N95-Maske zeigte sich bei der Maskengruppe eine signifikante Erhöhung des **Erschöpfungsempfindens** gegenüber der unbehindert atmenden Gruppe, mit 14,6 versus 11,9 auf der Skala bis 20. Während der Belastung beklagten zudem 14 von 24 Probanden unter Masken **Luftnot** (58 %), 4 Kopfschmerzen und 2 Hitzegefühl. Die meisten Beschwerdeangaben betrafen hierbei FFP2-Masken (72 %) [21].

Die genannten physiologischen und subjektiven körperlichen Auswirkungen von Masken auf Gesunde in Ruhe und unter Belastung [21,31] geben einen Hinweis auf die Wirkung von Masken auf Kranke und ältere Menschen selbst ohne Belastung.

In einer Beobachtungsstudie von zehn 20- bis 50-jährigen Krankenschwestern während deren Schichtdienst mit N95-Atemschutz gingen negative Maskeneffekte wie Atembeschwerden („i can't breathe“), **Erschöpfungsgefühle**, Kopfschmerzen ($p<0.001$), Benommenheit ($p<0.001$) und ein **Abfall der Sauerstoffsättigung SpO_2** ($p<0.05$) sowie ein **Anstieg der Herzfrequenz** ($p<0.001$) statistisch signifikant und mit steigendem **Übergewicht (BMI)** einher [19]. Das Auftreten von Symptomen unter Masken ging

ebenfalls mit **höherem Alter** einher (**statistisch signifikanter Zusammenhang**, Erschöpfung sowie Benommenheit mit jeweils $p<0.01$, Übelkeit mit $p<0.05$, Blutdrucksteigerung mit $p<0.01$, Kopfschmerzen mit $p<0.05$, Atemschwierigkeiten mit $p<0.001$) [19].

In einer Interventionsstudie mit 97 Patienten mit fortgeschrittener **chronisch obstruktiver Lungenerkrankung (COPD)** änderten sich in einer Interventionsstudie mit zunächst 10 minütiger Ruhe und anschließendem 6 minütigem Gehversuch, Atemfrequenz, Sauerstoffsättigung und ausgeatmete Kohlendioxidäquivalente (Kapnometrie) ungünstig signifikant nach Anwendung von N95-Masken (FFP2-äquivalent). 7 Patienten brachen wegen ernstzunehmender Beschwerden mit **Abnahme des Sauerstoffsättigungswertes SpO₂ und pathologischer CO₂-Retention** sowie erhöhtem endexspiratorischen Kohlendioxid-Partialdruck ($P_{ET}CO_2$) das Experiment ab [23]. Bei zwei Patienten überschritt der $P_{ET}CO_2$ die Normgrenzen und erreichte Werte von >50 mmHg. Eine $FEV_1<30\%$ und ein mMRC (modified Medical Research Council dyspnea scale) score von ≥ 3 , beide Indikatoren einer fortgeschrittenen COPD, korrelierten bei dieser Studie insgesamt mit einer Unverträglichkeit der Masken. Das häufigste Symptom unter Maske war **Luftnot** mit 86 %. Bei den Abbrechern der Studie wurden zusätzlich oft **Schwindel** (57 %) und **Kopfschmerzen** erfasst. Bei den Masken tolerierenden COPD-Kranken konnten auch bereits in Ruhe nach nur 10 Minuten Maskenträger sowohl signifikante **Steigerungen der Herzfrequenz und der Atemfrequenz** als auch des endexspiratorischen Kohlendioxid-Partialdrucks $P_{ET}CO_2$ objektiviert werden ($p<0.001$), einhergehend mit einem **Abfall der Sauerstoffsättigung SpO₂** ($p<0.001$) [23]. Die Ergebnisse dieser Studie mit einem Evidenzlevel IIa sind richtungsweisend für COPD-Kranke Maskenträger.

Untersucher konnten in einer weiteren, zu **COPD** und chirurgischen Masken durchgeführten retrospektiven Vergleichsstudie unter alltäglicher Maskenanwendung einen **Anstieg von arteriellem Kohlendioxid-Partialdruck (PaCO₂)** um ca. 8 mmHg ($p<0.005$) und einen begleitenden maskenbedingten **Anstieg des systolischen Blutdrucks** um 11 mmHg ($p<0.02$) statistisch belegen [25]. Dieser Anstieg ist bei Bluthochdruck-Kranken relevant, aber auch bei Gesunden mit grenzwertigen Blutdruckwerten, da pathologische Bereiche, ausgelöst durch Maskenträger, herbeigeführt werden können.

Bei 39 **Hämodialysepatienten mit terminaler Niereninsuffizienz** bewirkte eine Maske des Typs N95 (FFP2 äquivalent) innerhalb von nur 4 Stunden bei 70% der Patienten in Ruhe (unter Hämodialyse) einen signifikanten **Abfall des Sauerstoffpartialdrucks (PaO₂)** im Blut ($p=0.006$). Trotz kompensatorischer **Atemfrequenz-Zunahme** ($p<0.001$) traten Unwohlsein mit **Thoraxschmerzen** auf ($p<0.001$) und mündeten sogar bei 19% der Probanden in eine Hypoxämie (Abfall des Sauerstoffs unterhalb der Normgrenze) [34]. Die Forscher schlossen aus ihren Ergebnissen dass Ältere oder **Patienten mit verminderter kardiopulmonaler Funktion** ein erhöhtes Risiko für die Entwicklung einer gravierenden Atemstörung unter Maske haben [34].

In einer Review-Arbeit zu Risiken und Leistungen der Gesichtsmasken in der COVID-19 Krise geben andere Autoren eine ebenfalls kritische Einschätzung zur Maskenpflicht für **Patienten mit Lungenentzündung** ab, sowohl mit als auch ohne eine COVID-19-Pneumonie-Erkrankung [16].

3.3. Neurologische Nebenwirkungen und Gefahren

Bei einer wissenschaftlichen Auswertung von Synkopen im Operationssaal wurde bei 36 von 77 Medizinstudenten (47%) das Tragen einer Maske mit diesem Ereignis in Zusammenhang gebracht [62]. Allerdings sind hier andere Faktoren als Mitursache nicht sicher auszuschließen gewesen.

In ihrer Review-Arbeit des Evidenzlevels III stellen Neurologen aus Israel, Großbritannien und den USA fest dass eine Maske für **Epileptiker** ungeeignet sei da sie eine Hyperventilation auslösen könne [63]. Durch eine Maskenanwendung wird die Atemfrequenz um ca. 15-20 % signifikant gesteigert [15,21,23,34,64]. Eine Atemfrequenzsteigerung in Richtung einer **Hyperventilation** wird bekanntlich aber zur **Provokation** im Rahmen von Epilepsiediagnostik eingesetzt, und bewirkt anfallsäquivalente EEG-Veränderungen in 80% der Patienten mit generalisierter **Epilepsie**, und in bis zu 28% der fokalen Epileptiker [65].

Ärzte aus New York untersuchten die Auswirkungen des Tragens von Masken des Typs chirurgische Maske und N95 beim medizinischen Personal in einer Stichprobe von 343 Teilnehmern (Erhebung mittels standardisiertem, anonymisierten Fragebögen). Das Tragen der Masken verursachte nachweisbare körperliche unerwünschte Wirkungen, wie **eingeschränkte Wahrnehmung** (24 % der Träger) sowie **Kopfschmerzen** bei 71,4 % der Befragten. Davon persistierten 28 % und bedurften einer Medikation. Die Kopfschmerzen traten bei 15,2 % unter einer Stunde Tragezeit, bei 30,6 % nach einer Stunde Tragezeit und bei 29,7% nach 3 Stunden Tragezeit auf. Somit waren die Effekte mit ansteigender Tragedauer zunehmend [37].

Auch wurden **Verwirrtheit und Desorientiertheit** bis hin zu **Benommenheit** (Fragebogen mit Likert-Skalenerhebung) und **herabgesetzten motorischen Fähigkeiten** (gemessen mit einem linear-positions-Transducer) mit reduzierter Reaktionsfähigkeit und insgesamt eingeschränkter Leistungsfähigkeit (Erfassung mittels Roberge Subjective Symptoms During Work Scale) als Folge der Maskenanwendung in anderen Arbeiten belegt [19,23,29,32,36,37].

Die Wissenschaftler erklären diese neurologischen Beeinträchtigungen mit einem maskenbedingten latenten Abfall der Blutgas-Sauerstoffwerte O₂ (in Richtung einer Hypoxie) bzw. einem latenten Anstieg der Blutgas-Kohlendioxidwerte CO₂ (in Richtung einer Hyperkapnie) [36]. Dieser Zusammenhang erscheint angesichts der wissenschaftlichen Datenlage auch unbestreitbar [38–41].

Im Rahmen eines Masken-Experimentes aus 2020 wurden bereits nach 100 Minuten Tragezeit entsprechend auch bei 12 gesunden, lesenden Probanden **signifikante Denkstörungen** ($p<0.03$) und **Konzentrationsstörungen** ($p<0.02$) für alle verwendeten Masken-Typen (Stoffmasken, chirurgische-, und N95- Masken) gefunden [29]. Die Denkstörungen korrelierten hierbei signifikant mit einem Sauerstoffsättigungsabfall ($p<0.001$) unter Maskenanwendung.

Initial aufgetretene Kopfschmerzen ($p<0.05$) fielen im Rahmen einer weiteren Studie zu N95-Atemschutz bei bis zu 82 % der 158 untersuchten 21-35-jährigen Maskenträger auf,

bei einem Drittel (34%) bis zu 4 mal täglich. Die Befragten trugen die Maske für 18,3 Tage über einen Zeitraum von 30 Tagen mit einem Mittelwert von 5,9 Stunden pro Tag [66].

Signifikant vermehrte Kopfschmerzen ($p<0.05$) konnten nicht nur für N95-, sondern auch für chirurgische Masken bei Teilnehmern einer weiteren Beobachtungsstudie an Mitarbeitern des Gesundheitsdienstes nachgewiesen werden [67].

In einer anderen Untersuchung klassifizierten die Forscher bei 306 Anwendern mit einem Durchschnittsalter von 43 Jahren und unter verschiedenen Maskentypen insgesamt 51 % der initial aufgetretenen Kopfschmerzen als ein spezielles Symptom, welches ausschließlich mit der gesteigerten Maskenanwendung von chirurgischen und N95-Masken zusammenhängt (1 bis 4 h, $p=0.008$) [68].

Forscher aus Singapur konnten in einem Versuch bei 154 gesunden N95-Maskenträgern des Gesundheitsdienstes nachweisen, dass infolge einer maskenbedingten, signifikanten Steigerung des Blut-Kohlendioxidspiegels (gemessen über den endexspiratorischen Kohlendioxid-Partialdruck $P_{ET}CO_2$) eine messbar stärkere Gefäßerweiterung mit Flusszunahme der Hirnschlagader *Arteria cerebri media* resultierte und mit Kopfschmerzen der Versuchsteilnehmer einherging ($p<0.001$) [27].

Als Auslöser der Kopfschmerzen bei längerer Maskenanwendung tragen laut Wissenschaftlern neben den vorbeschriebenen Veränderungen in Richtung Hypoxie und Hyperkapnie insgesamt aber auch Stress und mechanische Faktoren bei, wie die Irritation von kopfwärts verlaufender Halsnerven in Nacken-Kopfbereich durch enge Maskenbändchen mit Druck auf die Nervenstränge [66].

Wir konnten bei der Auswertung der Primärstudien einen Zusammenhang von N95-Maske und Kopfschmerzen entdecken. In 6 von 10 Studien trat der signifikante Kopfschmerz gemeinsam mit der N95-Masken auf (60 % aller betreffenden Arbeiten, Abbildung 2).

3.4. Psychische Nebenwirkungen und Gefahren

Das Tragen von Masken der Typen chirurgische Maske und N95 kann laut einer experimentellen Studie wegen herabgesetzter Herz-Lungen-Belastbarkeit auch eine verminderte Lebensqualität bewirken [31]. Masken erzeugen zudem wegen der vorbeschriebenen physiologischen Veränderungen und Beschwerden mit zunehmender Tragedauer ein signifikant ansteigendes Unbehagen ($p<0.03$ bis $p<0.0001$) und ein Erschöpfungsgefühl ($p<0.05$ bis 0.0001) [69].

Die unter allgemeinen physiologischen Auswirkungen näher erläuterten Verschiebungen der Blut-Gase in Richtung einer Hyperkapnie (CO_2 -Anstieg) und Hypoxie (O_2 -Abfall) (Abschnitt 3.1) können neben den vorbeschriebenen direkten körperlichen Auswirkungen zusätzlich noch die kognitiven Fähigkeiten des Maskenträgers einschränken (gemessen über Fragebogen mit Likert-Skalenerhebung), mit einer gleichzeitigen Abnahme psychomotorischer Fähigkeiten, und so auch eine herabgesetzte Reaktionsfähigkeit (gemessen mit einem linear-positions-Transducer), sowie eine insgesamt eingeschränkte Leistungsfähigkeit (Erfassung mittels Roberge Subjective Symptoms During Work Scale) bewirken [29,32,38,39,41].

Die Maske verursacht außerdem ein **beeinträchtigtes Sichtfeld** (insbesondere den Boden und Hindernisse am Boden betreffend), und stellt auch eine **Hemmung für gewohnte Handlungen** wie Essen, Trinken sowie Berühren, Kratzen und Putzen des ansonsten nicht bedeckten Gesichtsteiles dar, was bewusst und unterbewusst als permanente Störung, Behinderung und Einschränkung empfunden wird [36]. Dadurch birgt das Maskentragen ein **Gefühl der Freiheitsberaubung** und Verlust der Autonomie und Selbstbestimmung, welches in unterdrückte Wut und unterbewusster ständiger Ablenkung münden kann, zumal das Tragen der Masken zumeist fremdbestimmt und angeordnet ist [70-71]. Diese **gefühlten Störungen der Integrität, Selbstbestimmung und Autonomie**, gepaart mit Missemmpfindungen, tragen oft zu einer erheblichen Ablenkung bei und können schließlich in Verbindung mit der physiologisch maskenbedingten Abnahme psychomotorischer Fähigkeiten, herabgesetzter Reaktionsfähigkeit und einer **insgesamt eingeschränkten kognitiven Leistungsfähigkeit** zum Verkennen von Situationen und unangemessenen sowie verlangsamten, fehlerhaften Reaktionen mit Abnahme der Handlungseffektivität beim Maskenträger führen [36,37,39–41].

Der mehrstündige Einsatz von Masken verursacht häufig weitere nachweisbare unerwünschte Wirkungen wie Kopfschmerzen, lokale Akne, maskenassoziierte Hautirritationen, Juckreiz, Hitze- und Feuchte-Empfinden, **Beeinträchtigungen und Missemmpfindungen, welche vorwiegend die Kopf- und Gesichtsregion** betreffen [19,29,35–37,71–73].

Für das Wohlbefinden sind Kopf und Gesicht aufgrund der großen Repräsentation in der sensiblen Großhirnrinde (Homunkulus) jedoch bedeutend [36].

Bei Kindern – wie auch bei Erwachsenen – werden laut einer Fragebogen-Erhebung zudem durch Masken auch häufig **Ängste und psychovegetative Stressreaktionen** erzeugt, mit Zunahme psychosomatischer und stressbedingter Krankheitsbilder und **depressivem Selbsterleben, reduzierter Teilhabe, sozialem Rückzug** sowie herabgesetzter gesundheitlicher Selbstfürsorge [74]. Über 50 % der untersuchten Maskenträger hatten zumindest mittelgradige depressive Empfindungen [74]. Durch zusätzliche angstzeugende, oft übertriebene Medienberichterstattung, kann es zu einer weiteren Verstärkung kommen. Eine aktuelle rückschauende Analyse der allgemeinen Medien im Rahmen der Ebola-Epidemie 2014 zeigte einen wissenschaftlichen Wahrheitsgehalt von lediglich 38 % aller öffentlich publizierten Informationen [75]. Forscher klassifizierten insgesamt 28 % der Informationen als provokant und polarisierend, zudem 42 % als Risiken übertreibend. Zusätzlich zielten 72 % der Medieninhalte darauf ab, gesundheitsbezogene negative Gefühle zu schüren.

Das Gefühl der Angst, kombiniert mit Verunsicherung und dem Urbedürfnis des Menschen, dazugehören zu wollen [76], bewirkt eine gesellschaftliche Dynamik, die aus medizinischer und wissenschaftlicher Sicht zum Teil unbegründet erscheint.

Die ursprünglich rein hygienischen Zwecken dienende **Maske** wurde in ein **Symbol der Angepasstheit und Pseudo-Solidarität** verwandelt. So zählt die WHO als Vorteile der Verwendung von Masken durch gesunde Menschen in der allgemeinen Öffentlichkeit auch eine potenziell verringerte Stigmatisierung von Maskenträgern, die Gefühlsvermittlung eines geleisteten Beitrages zur Verhinderung der Ausbreitung des Virus' sowie die Erinnerung, sich an andere Maßnahmen zu halten [2].

3.5. Psychiatrische Nebenwirkungen und Gefahren

Wie bereits erläutert, können Masken durch gesteigertes Totraumvolumen eine vermehrte Rückatmung mit Anreicherung von Kohlendioxid beim Träger bewirken [16-18,20], (Abbildung 3) mit oft statistisch signifikant messbar erhöhten Blut-Kohlendioxid-Werten (CO_2) der Betroffenen [13,15,17,19-28] (Abbildung 2). Veränderungen in Richtung einer Hyperkapnie sind jedoch bekannt für die Auslösung von Panikattacken [77,78]. Hierdurch wird der signifikant messbare CO_2 -Anstieg bedingt durch Maskentragen auch klinisch relevant.

Interessanterweise werden Atem-Provokationstests mit CO_2 -Inhalation eingesetzt, um **Angstzustände bei Panikstörungen** sowie **prämenstruelle Dysphorie** von anderen psychiatrischen Krankheitsbildern abzugrenzen. Hierbei reichen bereits absolute Konzentrationen von 5 % CO_2 aus, um durch das Einatmen innerhalb von 15-16 Minuten Panikreaktionen auszulösen [77]. Der normale Ausatemuft- CO_2 -Gehalt liegt bei ca. 4 %. Dass sich unter längerer Maskenanwendung mit Rückatmung Konzentrationsänderungen der Atemgase in die o.g. Richtung mit Werten über 4 % ergeben könnten, ist aufgrund experimenteller Studien an maskierten Probanden naheliegend [18,23].

Bei der Erzeugung von Panikreaktionen über Atemgase macht man sich die Aktivierung des *Locus coeruleus* durch CO_2 zunutze [78,79]. Denn der *Locus coeruleus* ist ein bedeutender Teil des Systems vegetativer noradrenerger Neuronen, einer Schaltzentrale im Hirnstamm, der, bei entsprechender Reizung und Änderungen der Gaskonzentrationen im Blut, mit Freisetzung des Stresshormons Noradrenalin reagiert [78].

Aus den dargestellten physiologischen, neurologischen sowie psychologischen Nebenwirkungen und Gefahren (Abschnitte 3.1, 3.3 und 3.4) lassen sich zusätzliche Probleme der Masken beim Einsatz im psychiatrischen Formenkreis ableiten. In Behandlung befindliche **Demenz**, paranoide Schizophrenie, **Persönlichkeitsstörungen mit Angst- sowie Panikattacken**, aber auch **Panikstörungen mit klaustrophoben Komponenten**, lassen sich nur schwer mit einer Maskenpflicht in Einklang bringen, denn schon geringe Steigerungen des CO_2 können Panikattacken bewirken und verstärken [44,77-79].

Patienten mit einer **mittelschweren bis schweren Demenz** haben laut einer psychiatrischen Studie kein Verständnis für COVID-19-Schutzmaßnahmen, und müssen ständig zum Maskentragen überredet werden [80].

Gemäß einer Vergleichsstudie haben an **Schizophrenie** erkrankte mit lediglich 54,9 % Zustimmung eine niedrigere Akzeptanz für das Maskentragen als gewöhnliche Praxispatienten (61,6 %) [81]. Inwieweit Maskentragen zu einer Verschlimmerung der Schizophreniesymptome führen kann, ist bislang nicht näher erforscht.

Unter Maskentragen werden Verwirrtheit, Denkstörungen, Desorientiertheit (standardisierte Erfassung über spezielle Rating- und Likert-Skalen, $p<0.05$), teilweise auch eine Verlangsamung der maximalen Geschwindigkeit und der Reaktionszeit beobachtet (gemessen mit dem linear-positions-Transducer, $p<0.05$) [19,32,36,38-41]. Die

psychomotorischen Funktionen sind bei psychiatrischen Patienten aufgrund von Psychopharmaka ohnehin häufig bereits gemindert. Das kann in Verbindung mit Masken klinische Relevanz erlangen, insbesondere im Hinblick auf durch Maskentragen noch weiter herabgesetzte Interaktions- und noch zusätzlich erhöhte Unfallanfälligkeit solcher Patienten.

Um eine ungewollte CO_2 -getriggerte Narkose zu vermeiden [39], sollten gemäß den Kriterien der CDC (Centers for Disease Control and Prevention, USA) **fixierte und medikamentös sedierte Patienten**, ohne die Möglichkeit eines ständigen Monitorings wegen der vorbeschriebenen möglichen CO_2 -Retentionen nicht maskiert werden, denn es besteht bei Eintritt von Bewusstlosigkeit Aspirations- und Erstickungsgefahr (Asphyxie) [16,17,20,38,82,83].

3.6. Gynäkologische Nebenwirkungen und Gefahren

Als kritische Größe wird ein niedriger Kohlendioxid-Blutgehalt bei Schwangeren über ein vermehrtes Atemminutenvolumen, u. a. stimuliert durch Progesteron, aufrechterhalten [22]. Für eine Schwangere und ihr ungeborenes Kind besteht die metabolische Notwendigkeit eines fetal-maternalen Kohlendioxid (CO_2)-Gradienten. Der Kohlendioxid-Blutgehalt der Mutter sollte dabei stets niedriger als derjenige des ungeborenen Kindes sein, um die Abdiffusion des CO_2 aus dem fetalen Blut in den mütterlichen Kreislauf über die Plazenta sicherzustellen. Daher sind die oben beschriebenen maskenbezogenen Phänomene (Abschnitte 3.1 und 3.2), mit messbaren Veränderungen der Atmungsphysiologie wie erhöhtem Atemwiderstand, erhöhtem Totraumvolumen (Abbildung 3) und der Rückhaltung von ausgeatmetem Kohlendioxid (CO_2) von Bedeutung. Die Gas-Verschiebungen in Richtung einer Hyperkapnie fördernden Masken könnten diesbezüglich – selbst bei unterschwelligem Kohlendioxid Anstiegen – mit zunehmender Wirkzeit als Störgröße für den fetal-maternalen CO_2 -Gradienten wirken und somit klinische Relevanz entwickeln, auch im Hinblick auf eine herabgesetzte Kompensationsreserve der werdenden Mütter [20,22,28].

In einer Vergleichsstudie zeigten 22 schwangere Frauen, die während einer 20-minütigen Belastung N95-Masken trugen, signifikant höhere perkutane CO_2 -Werte als maskenlose Schwangere mit durchschnittlichen PtcCO_2 -Werte von 33,3 mmHg gegenüber 31,3 mmHg ($p = 0.04$) [22]. Auch das Wärmeempfinden der werdenden Mütter war mit Masken signifikant erhöht mit $p < 0.001$ [22]. Dementsprechend zeigten die Forscher in einer anderen Interventionsstudie, dass das Atmen durch eine N95-Maske (FFP2-Äquivalent) den Gasaustausch bei 20 schwangeren Frauen in Ruhe und während der Belastung beeinträchtigte, was zu einer zusätzlichen Belastung ihres Stoffwechselsystems führte [28]. So zeigten sich unter einer N95-Maske für 20 Schwangere eine Abnahme der Sauerstoff-Aufnahmekapazität VO_2 um ca. 14 % (statistisch signifikant, $p=0.013$) und eine Abnahme der Kohlendioxid-Abgabekapazität VCO_2 um ca. 18 % (statistisch signifikant, $p=0.001$). Entsprechende signifikante Veränderungen der ausgeatmeten Sauerstoff- und Kohlendioxid-Äquivalente wurden ebenfalls dokumentiert mit Zunahme des ausgeatmeten Kohlendioxids (FeCO_2) ($p<0.001$) sowie Abnahme des ausgeatmeten

Sauerstoffs (FeO_2) ($p<0.001$), was durch veränderten Metabolismus aufgrund der Behinderung der Atmung durch Masken erklärt wurde [28].

Im Rahmen der Experimente mit vorwiegend kurzen Maskenanwendungszeiten konnten weder bei den Müttern noch bei den Föten statistisch signifikant erhöhte Herzfrequenzraten oder Änderungen der Atemfrequenzen und Sauerstoffsättigungswerte festgestellt werden. Doch die genauen Auswirkungen einer längeren Maskenanwendung bei **Schwangeren** bleiben insgesamt unklar. Daher wird eine ausgedehnte Anwendung chirurgischer-, und N95-Masken bei Schwangeren kritisch gesehen [20].

Zudem ist ungeklärt, ob die, in industriell gefertigten Masken enthaltenen und über längere Zeiträume inhalierbaren Substanzen (z.B. Formaldehyd als Inhaltsstoff des Textils und Thiram als Inhaltsstoff der Ohrbändchen) ein fruchtschädigendes Potenzial darstellen [20,84].

3.7. Dermatologische Nebenwirkungen und Gefahren

Anders als Kleidungsstücke über geschlossener Haut bedecken Masken Hautpartien nahe der Körperöffnungen Mund und Nase, d.h. Körperteile, die an der Atmung beteiligt sind. Unausweichlich kommt es dadurch nicht nur zu einer messbaren **Temperaturzunahme** [15,44,85], sondern durch Kondensation der Ausatemluft auch zu einer gravierenden **Feuchtigkeitszunahme** mit erheblicher **Änderung des natürlichen Haut-Milieus** perioraler und perinasaler Bereiche [36,61,82] und messbar vermehrter Rötung, Zunahme von pH-Wert, Flüssigkeitsverlusten über das Hautepithel, gesteigerter Hydratation sowie Talgproduktion [73]. Vorbestehende Hauterkrankungen werden durch diese Veränderungen nicht nur aufrechterhalten, sondern noch verstärkt. Insgesamt wird die Haut dadurch auch anfälliger für Infekte und Akne.

Die Autoren einer experimentellen Studie konnten entsprechend eine **gestörte Barrierefunktion der Haut** nach nur 4 Stunden Maskentragen bei 20 gesunden Probanden sowohl für chirurgische Masken als auch für N95-Masken belegen [73]. Begünstigt durch das feuchtwarme Milieu reichern sich obendrein Keime (Bakterien, Pilze und Viren) auf der Außen- und Innenseite der Masken an [86–89]. Von ihnen können klinisch relevante fungale, bakterielle oder virale Infekte ausgehen. Die ungewöhnliche Erhöhung der Detektion von Rhinoviren in den Sentineluntersuchungen des deutschen Robert Koch-Instituts (RKI) aus 2020 [90] könnte ein weiterer Hinweis auf dieses Phänomen sein.

Zusätzlich wird eine für solche Reize evolutionsbiologisch nicht angepasste Hautregion vermehrt mechanisch beansprucht. Alles in allem verursachen die oben genannten Tatsachen die ungünstigen dermatologischen Auswirkungen mit maskenbedingten unerwünschten Hautreaktionen wie Akne, Hautausschlägen im Gesicht und Juckreizsymptomen [91].

Eine Forschergruppe aus China berichtete bei der Anwendung von N95-Masken unter 542 Versuchsteilnehmern von Hautirritationen sowie Juckreiz und auch von einem Zusammenhang zwischen den aufgetretenen Hautschäden und der zeitlichen Exposition (68,9 % bei ≤ 6 Std/ Tag und 81,7 % bei > 6 Std/ Tag) [92].

In einer New Yorker Studie wurden die Auswirkungen des häufigen Tragens von Masken des Typs chirurgische Maske und N95 bei medizinischem Personal im Rahmen der COVID-19 Pandemie in einer Stichprobe von 343 Teilnehmern evaluiert. Das Tragen der Masken verursachte neben Kopfschmerzen bei 71,4% der Teilnehmer, zusätzlich Benommenheit bei 23,6 %, nachweisbare Hautschäden bei 51 % und Akne bei 53 % der Maskenanwender [37].

Einerseits entstehen direkte **mechanische Hautläsionen** an Nase und Wangenknochen durch Scherkräfte, insbesondere beim häufigen An- und Ablegen von Masken [37,92]. Andererseits wird durch Masken eine lokal unnatürlich feuchte und warme Umgebung der Haut erzeugt [29,36,82].

Tatsächlich konnten Wissenschaftler im Rahmen einer anderen Untersuchung, bei welcher die Probanden für eine Stunde Masken trugen, auch einen **signifikanten Feuchte- und Temperaturanstieg im bedeckten Gesichtsbereich** nachweisen [85]. Die relative Luftfeuchtigkeit unter den Masken wurde hierbei mit einem Sensor gemessen (Atmo-Tube, San Francisco, CA, US). Die Feuchte- und Temperaturempfindung im Gesichtsbereich ist für das Wohlbefinden entscheidender als andere Körperregionen [36,44]. Das kann Unwohlsein unter den Masken verstärken. Zudem wird durch die Temperaturerhöhung die bakterielle Besiedlung begünstigt.

Durch Druck der Masken wird zusätzlich eine Behinderung der Flussphysiologie von Lymph- und Blutgefäßen im Gesicht bewirkt, mit der Folge verstärkter **Störung der Hautfunktion** [73] und letztendlich auch Mit-Begünstigung von **Akne** in bis zu 53 % aller Träger und sonstigen **Hautirritationen** bei bis zu 51 % aller Träger [36,37,82].

Weitere Wissenschaftler untersuchten in einer Beobachtungsstudie 322 Teilnehmer mit N95-Masken und wiesen bei bis zu 59,6 % von ihnen **Akne**, bei 51,4 % Juckreiz und bei 35,8 % Rötungen als Nebenwirkungen nach [72].

Bei bis zu 19,6 % (273) der 1393 Träger verschiedener Masken (Communitymasken, chirurgische, N95-Masken) konnte in einer Studie ein **Juckreiz** objektiviert werden, in 9 % sogar schwer ausgeprägt. Eine atopische Veranlagung (Allergieneigung) korrelierte hierbei mit dem Juckreizrisiko. Die Länge der Anwendung (Erste Symptome bereits ab einer Tragezeit von einer Stunde) hing hierbei signifikant mit dem Juckreizrisiko zusammen ($p<0.0001$) [93].

In einer weiteren dermatologischen Studie aus dem Jahr 2020 bestätigten 96,9 % der 876 Anwender aller Maskentypen (Community-Masken, chirurgische Masken, N95-Masken) unerwünschte Probleme mit signifikanter Zunahme von Juckreiz (7,7%), begleitet von Brillenbeschlägen (21,3 %), Hitzegefühlen (21,3 %), undeutlicher Sprache (12,3 %) und Atemschwierigkeiten (35,9 %) ($p<0.01$) [71].

Außer vermehrtem Auftreten von Akne [37,72,91] unter Masken werden im Allgemeinen **Kontaktekzeme und Urtikaria/Nesseln** [94] in Zusammenhang mit Überempfindlichkeiten gegenüber Inhaltsstoffen der industriell gefertigten Masken (chirurgische Maske und N95) wie Formaldehyd (Inhaltsstoff des Textils) und Thiram (Inhaltsstoff der Ohrbändchen) beschrieben [73,84]. Der Gefahrstoff Thiram – ursprünglich ein Pflanzenschutz- und Beizmittel – wird in der Gummiindustrie als Vulkanisationsbeschleuniger eingesetzt. Während Formaldehyd ein biozider und

kanzerogener Wirkstoff ist, der zu Desinfektionszwecken in der Industrie Anwendung findet.

Sogar vereinzelt bleibende **Hyperpigmentierungen** als Resultat einer postentzündlichen oder pigmentierten **Kontaktdermatitis** werden nach längerer Maskenanwendung von Hautärzten beschrieben [72,91].

3.8. HNO- und Zahnärztliche Nebenwirkungen und Gefahren

Aus zahnärztlichen Kreisen liegen Berichte über negative Auswirkungen von Masken vor und werden entsprechend als „Mask Mouth“ betitelt [95]. Eine Provokation von **Gingivitis (Zahnfleischentzündung)**, **Halitosis (Mundgeruch)**, **Candidiasis (Pilzbefall der Schleimhäute mit Candida albicans)** und **Cheilitis (Lippenentzündung)**, insbesondere der Mundwinkel, bis hin zu **Plaque und Karies** wird dabei der übermäßigen und unsachgemäßen Anwendung von Masken zugeschrieben.

Als Haupttrigger der genannten Munderkrankungen wird hierbei eine vermehrte **Mundtrockenheit** aufgrund eines reduzierten Speichelflusses und auch wegen gesteigerter Atmung durch den offenen Mund unter der Maske genannt. Die Mundatmung führt zu einer Dehydrierung der Schleimhautoberfläche und einer verringerten Speicheldurchflussrate (SFR) [95]. Ein trockener Mund ist aufgrund von Maskenverwendung wissenschaftlich belegt [29]. Diese ungünstige Angewohnheit erscheint plausibel, da über eine Atmung durch den offenen Mund der besonders beim Einatmen durch die Masken vergrößerte Atemwiderstand kompensiert wird [60,61]. Als Erklärung für die Lippen- und Mundwinkelentzündungen (Cheilitis) wiederum wird die bereits unter dermatologischen Nebenwirkungen (Abschnitt 3.7) beschriebene äußere Hautfeuchte [71,73,85] mit veränderter Hautflora verantwortlich gemacht [95]. Hierdurch wird die krankheitsfördernde Umkehrung der natürlichen Zustände durch Masken deutlich. Die im Mundbereich physiologische innere Feuchte mit äußerer Trockenheit wird zur inneren Trockenheit mit äußerer Feuchte verkehrt.

HNO-Ärzte entdeckten bei 46 Patienten kürzlich eine neue Form der **Reizrhinitis** infolge von N95-Maskenanwendung. Sie führten bei Maskenträgern Endoskopien und Nasenspülungen durch, welche anschließend pathologisch begutachtet wurden. Die klinischen Probleme wurden mit standardisierten Fragebögen erfasst. Ihnen gelang ein statistisch signifikanter Nachweis von maskenduziertem Schnupfen und Juckreiz der Schleimhäute, mit Schwellung derselben, sowie vermehrtem Niesen ($p<0.01$). Endoskopisch zeigte sich neben gesteigerter Sekretion der Nachweis von eingeatmeten Masken-Polypropylen-Fasern als Auslöser der Schleimhautreizung [96].

In einer Studie an 221 Mitarbeitern des Gesundheitswesens wurde durch HNO-Ärzte bei 33 % der Maskenanwender eine **Stimmstörung** objektiviert. Der VHI-10-Score von 1 bis 10, welcher Stimmstörungen erfasst, war bei diesen Maskenträgern um durchschnittlich 5,72 höher (statistisch signifikant mit $p<0.001$). Die Maske fungierte dabei nicht nur als akustischer Filter mit Provokation einer übermäßig lauten Sprechweise. Vielmehr scheint sie auch eine gestörte Stimmbandkoordination auszulösen, da die für eine ungestörte Sprache erforderlichen Druckgradienten durch die Maske kompromittiert werden [43].

Die Wissenschaftler schlossen aus ihren Ergebnissen, dass von Masken ein potenzielles

Risiko für die Auslösung neuer sowie eine Verstärkung bestehender Stimmstörungen ausgehen könnte.

3.9. Sportmedizinische Nebenwirkungen und Gefahren

Leistungssteigernde Effekte von Masken hinsichtlich Herz-Kreislaufoptimierung und Verbesserung des Sauerstoffaufnahmevermögens sind laut Literatur nicht belegbar.

Die angeblich Höhentraining simulierende Trainingsmaske (ETM: Elevation Training Mask) beispielsweise hatte in einer experimentellen Vergleichsstudie (12 Probanden je Gruppe) nur Trainingseffekte der Atemmuskulatur zur Folge. Es zeigten sich bei Maskenträgern jedoch signifikant **niedrigere Sauerstoffsättigungswerte (SpO₂%)** unter Belastung (SpO₂ von 94% bei Maskenträgern versus 96 % bei Maskenlosen, p<0.05) [33], was sich durch ein vergrößertes Totraumvolumen und einen vergrößerten Widerstand bei der Atmung erklären lässt. Die gemessenen Sauerstoff-Sättigungs-Werte unterschritten in der Gruppe der Maskenträger signifikant die Normwerte, was auf eine klinische Relevanz hindeutet.

Der nachgewiesene Adaptationseffekt der Atemwegsmuskulatur bei gesunden Sportlern [33] spricht für eine eindeutig störende Beeinflussung der Atemphysiologie durch Masken.

In einer anderen Interventionsstudie zur Maskenanwendung bei Gewichthebern dokumentierten Wissenschaftler statistisch signifikante Effekte einer **verminderten Aufmerksamkeit** (Fragebogen-Erfassung, Likert-Scale) und einer mittels Sensoren nachweisbaren **verlangsamten maximalen Bewegungsgeschwindigkeit** (beides signifikant mit p<0.001), woraus die Forscher schlussfolgerten, dass eine Maskenanwendung beim Sport nicht ohne Risiken ist. Nebenbefindlich fanden sie auch eine im Vergleich zur maskenfreien Sportlergruppe signifikante Abnahme der Sauerstoffsättigung SpO₂ bei der Durchführung von besonderen Gewichthebeeinheiten ("Back Squats") in der Maskengruppe bereits nach einem 1-minütigen Training (p<0.001) [32]. Die belegte Tendenz der Masken, die chemische Größe Sauerstoffsättigung SpO₂ in eine pathologische Richtung zu verschieben (unterer Grenzwert 95 %), kann bei untrainierten oder Kranken durchaus klinische Relevanz entfalten.

Sportmedizinisch bestätigt ist zudem eine **vermehrte Kohlendioxid(CO₂)-Retention** mit Anstieg des CO₂-Partialdrucks im Blut bei vergrößerten Atem-Totraumvolumina [14].

Tatsächlich konnte eine totraumbedingte CO₂-Retention beim Maskenträgen während sportlicher Betätigung experimentell auch belegt werden. Bei 16 gesunden Probanden wurden die Auswirkungen einer kurzen aeroben Belastung unter N95-Masken getestet, und es fanden sich signifikant erhöhte endexspiratorische Kohlendioxid-Partialdruckwerte (P_{ET}CO₂) mit +8 mmHg (p<0.001) [24]. Die Zunahme des Blut-Kohlendioxidgehaltes (CO₂) bei den Maskenträgern betrug unter maximaler Belastung +14 % CO₂ für chirurgische Masken und +23 % CO₂ für N95-Masken, ein Effekt, der bei Vorerkrankten und älteren Menschen sowie Kindern durchaus klinische Relevanz haben könnte, da sich die Werte dem pathologischen Bereich stark näherten [24].

In einer interessanten Belastungsstudie mit 8 Probanden mittleren Alters (19-66) wurde der Gasgehalt für O₂ und CO₂ unter den Masken vor und nach Belastung bestimmt. Es

zeigte sich unter den Masken – schon in Ruhe im Vergleich zur Situation ohne Masken – eine um 13 % verringerte Sauerstoffverfügbarkeit und eine um den Faktor 30 vergrößerte Kohlendioxid (CO_2)-Konzentration. Unter Belastung (Ruffier-Test) fiel die Sauerstoffkonzentration (% O_2) unterhalb der Maske signifikant um weitere 3,7 % ab, die Kohlendioxidkonzentration (% CO_2) stieg signifikant weiter um 20% an (statistisch signifikant mit $p<0.001$). Dabei sank entsprechend auch die Sauerstoffsättigung des Blutes (SpO_2) der Probanden von 97,6 % auf 92,1 % signifikant ab ($p<0.02$) [18]. Der Abfall des Sauerstoffsättigungswertes (SpO_2) auf 92 %, eindeutig unter die Normgrenze von 95 %, ist als klinisch relevant und gesundheits-beinträchtigend einzustufen.

Dies ist ein Hinweis darauf, dass die Maskenwendung auch im Sportbereich vorbeschriebene **Effekte in Richtung einer Hypoxie und Hyperkapnie** auslöst. Entsprechend raten die WHO und CDC (Centers for Disease Control and Prevention, USA) von Sport unter Masken ab [82,97].

3.10. Soziale und soziologische Nebenwirkungen und Gefahren

Die Ergebnisse einer chilenischen Studie mit Mitarbeitern des Gesundheitswesens belegen, dass Masken wie ein akustischer Filter wirken und eine übermäßig laute Sprechweise provozieren. Hierdurch entsteht eine Stimmstörung [43]. Die erhöhte Lautstärke beim Sprechen leistet zudem einen Beitrag zu vermehrter Aerosol-Erzeugung durch den Maskenträger [98]. Diese experimentellen Daten, gemessen mit dem aerodynamic particle sizer (APS, TSI, model 332, TSI Incorporated, Minnesota, MI, USA), sind von großer Relevanz.

Auch werden die Träger einer Maske im Alltag durch die gestörte Verständlichkeit der Sprache [45] **an einer normalen Interaktion gehindert**, was dazu verleitet, einander näher zu kommen. Dadurch kommt es in der Allgemeinbevölkerung zu einer verzerrten Priorisierung mit Konterkarierung der empfohlenen Maßnahmen in Zusammenhang mit der COVID-19-Pandemie. Die WHO priorisiert die Abstandswahrung und die Händehygiene mit mittlerer Evidenz und empfiehlt das Tragen von Mund-Nase-Schutz mit einer schwachen Evidenz insbesondere in Situationen, in denen Einzelpersonen nicht in der Lage sind, eine physische Distanz von mindestens 1 Meter einzuhalten [3].

Die **Störung nonverbaler Kommunikation** durch den Wegfall der Wahrnehmung der Gesichtsmimik unter der Maske kann das Gefühl der Unsicherheit, Entmutigung und Gefühllosigkeit sowie **Isolation** verstärken, was für **geistig Behinderte** und **Hörgeschädigte** ausgesprochen belastend sein kann [16].

Autoren weisen in ihrer Arbeit darauf hin, dass Masken die Grundlagen menschlicher Kommunikation stören (verbal und nonverbal). Über die durch Masken eingeschränkte Gesichtserkennung entstehe eine Blockierung emotionaler Signale. Masken führen daher zu Störungen der sozialen Interaktion, mit Auslöschung des positiven Effektes des Lächelns und Lachens, aber gleichzeitig starker Zunahme der Möglichkeiten für Missverständnisse, denn auch negative Emotionen sind unter Masken weniger deutlich [42].

Eine **Abnahme von Empathie-Wahrnehmung** durch Maskenwendung mit **Störung des Arzt-Patient-Verhältnisses** ist bereits wissenschaftlich auf Grundlage einer

randomisierten Studie belegt (statistisch signifikant, mit $p=0,04$) [99]. Hierbei wurden bei den 1030 Patienten der Consultation Empathy Care Measury sowie der Patient-Enablement-Instrument (PEI)-Score und eine Satisfaction Rating Scale herangezogen. Die 516 Ärzte, welche durchgehend Masken trugen, vermittelten den Patienten eine verminderte Empathie und machten dadurch die positiven gesundheitsfördernden Effekte einer Beziehungsdynamik zunicht.

Diese Ergebnisse belegen eine durch Masken bedingte Störung der zwischenmenschlichen Interaktion und Beziehungsdynamik.

Die WHO weist in ihrer im August 2020 veröffentlichten Leitlinie zur Verwendung von Masken bei Kindern in der Gemeinschaft darauf hin, dass der Nutzen des Tragens von Masken bei Kindern gegen den potenziellen Schaden auch bezüglich sozialer und kommunikativer Bedenken abgewogen werden muss [100].

Befürchtungen, dass es durch weitreichende Pandemiemaßnahmen zu einem gestörten gesellschaftlichen Leben mit dysfunktionalen sozialen, kulturellen und psychischen Interaktionen kommt, wurden auch von anderen Experten geäußert [6–8,42].

3.11. Sozial- und Arbeitsmedizinische Nebenwirkungen und Gefahren

Neben maskenspezifischen Beschwerden wie Hitzegefühl, Feuchtigkeit, Luftnot und Kopfschmerz, wurden verschiedene physiologische Phänomene erfasst, wie der signifikante Anstieg der Herz- und Atemfrequenz, die Beeinträchtigung der Lungenfunktionsparameter, die Abnahme der kardiopulmonalen Kapazität (z. B. niedrigere maximale Blutlactatreaktion) [15,19,21,23,29–31] sowie die Veränderungen von Sauerstoff und Kohlendioxid sowohl in der Luft unter der Maske als auch endexspiratorisch und im Blut der Probanden [13,15,18,19,21–25,27–34]. Die signifikanten Veränderungen waren schon nach wenigen Minuten Masken-Tragedauer messbar und erreichten teilweise Größenordnungen von -13 % reduzierter O_2 -Konzentration und 30-fach erhöhter CO_2 -Konzentration der Einatemluft unter Masken ($p<0.001$) [18]. Die festgestellten Veränderungen waren nicht nur statistisch signifikant, sondern auch klinisch relevant, so zeigten die Probanden auch eine pathologische Sauerstoffsättigung nach Belastung mit Masken ($p<0.02$) [18].

Eine Atemnot bei leichter Belastung (6 min Gehen) unter chirurgischen Masken ist bei 44 Gesunden im Rahmen einer prospektiven experimentellen Interventionsstudie mit statistischer Signifikanz erfasst worden ($p<0.001$) [101]. Hier wurden die Beschwerden anhand einer subjektiven, visuellen Analogskala erhoben.

In einer anderen Arbeit aus 2011 bewirkten alle getesteten Masken mit zunehmender Tragedauer ein signifikant messbares, ansteigendes Unbehagen und ein Erschöpfungsgefühl bei den 27 Probanden ($p<0.0001$) [69].

Wenn solche Symptome auftreten, führt dies zu zusätzlichem **Stress** für die berufstätigen Maskenträger und trägt so, in Bezug auf das Erschöpfungsgefühl, über eine vegetative Sympathikusaktivierung, mit weiterer Steigerung von Atemfrequenz, Herzfrequenz, Blutdruck und vermehrtem Erschöpfungsempfinden, zu einem sich selbst verstärkenden Problem eines Circulus vitiosus bei [16,20,35,83].

Andere Studien zeigten, dass die psychischen und physischen Effekte der Masken über ein verstärktes Empfinden von Müdigkeit, Unzufriedenheit und Angst zu einer zusätzlichen Reduktion der Arbeitsleistung (u.a. gemessen mit der Roberge Subjective Symptoms During Work Scale, eine Likert-Scale von 1-5) führen können [58,102,103].

Das Tragen von Masken über einen längeren Zeitraum führte auch in anderen Untersuchungen zu physiologischen und psychologischen Beeinträchtigungen und **verminderte dadurch die Arbeitsleistung** [19,36,58,69]. Bei Experimenten zur Atemschutzausrüstung führt eine Zunahme des Totraumvolumens um 350 ml zu einer Verringerung der möglichen Leistungszeit um ca. -19 %, zudem zu einer Abnahme des Atemkomforts um -18 % (gemessen über eine subjektive Rating Scale) [58]. Zusätzlich wird der zeitliche Arbeitsumfang und -Fluss durch das An- und Ablegen der Masken, sowie deren Wechsel unterbrochen und herabgesetzt. Die verminderte Arbeitsleistung ist in der gefundenen Literatur wie oben beschrieben erfasst (insbesondere in Abschnitten 3.1 und 3.2), jedoch nicht weiter ausführlich quantifiziert worden [36,58].

Schutzausrüstungen des Typs chirurgische Maske und N95 zeigten bei medizinischem Personal häufig unerwünschte Auswirkungen wie Kopfschmerzen, erschwerete Atmung, Akne, Hautirritationen, Juckreiz, verminderte Aufmerksamkeit, herabgesetzte Denkfähigkeit sowie Feuchtigkeits- und Hitzegefühle [19,29,37,71,85]. Subjektive, mit speziellen Erhebungsscores und Likert-Skalen gemessene, arbeitsleistungsmindernde, maskenbedingte Beeinträchtigungen beim Anwender, wurden auch in anderen Studien beschrieben [15,21,27,32,35,43,66–68,72,96,99].

In Abschnitt 3.7 über Dermatologie haben wir schon eine wissenschaftliche Arbeit erwähnt, die einen signifikanten Temperaturanstieg um durchschnittlich 1,9 °C (auf über 34,5 °C) im Masken-bedeckten Gesichtsbereich objektiviert hat ($p<0.05$) [85].

Das Temperaturempfinden im Gesicht ist aufgrund der verhältnismäßig größeren Repräsentation in der sensiblen Großhirnrinde (Homunkulus) entscheidender für das Wohlbefinden als andere Körperregionen [36,44]. Die Wahrnehmung von Beschwerden unter Maskenträgern kann dadurch intensiviert werden. In unserer Auswertung fanden wir interessanterweise ein kombiniertes Auftreten der physikalischen Größe Temperaturanstieg unter der Maske und des Symptoms Atembeeinträchtigung in 7 von 8 betreffenden Studien mit gemeinsamen, signifikant gemessenen Auftreten in 88 %. Außerdem entdeckten wir ein kombiniertes Auftreten von signifikant erfasstem Temperaturanstieg unter der Maske und signifikant ermittelte Erschöpfung in 50 % der betreffenden Primärstudien (3 von 6 Arbeiten, Abbildung 2). Diese gehäuften Verknüpfungen des Temperaturanstiegs mit den Symptomen Atembeeinträchtigung und Erschöpfung deuten auf eine klinische Relevanz der nachgewiesenen Temperaturerhöhung unter Masken hin. Schlimmstenfalls können sich die genannten Effekte gegenseitig verstärken und zur Dekompensation führen, insbesondere bei vorbestehender COPD, Herzinsuffizienz und respiratorischer Insuffizienz.

Die Summe der Störungen und Missemmpfindungen, die von einer Maske ausgehen können, tragen auch zu einer Ablenkung bei (siehe psychische Beeinträchtigungen, Abschnitt 3.4.). Diese können in Verbindung mit der **Abnahme psychomotorischer Fähigkeiten, herabgesetzter Reaktionsfähigkeit und einer insgesamt eingeschränkten kognitiven Leistungsfähigkeit (allesamt pathophysiologische Auswirkungen des**

Maskentragens) [19,29,32,39–41] zum Verkennen von Gefahren und damit zu Unfällen oder vermeidbaren Fehlern bei der Arbeit führen [19,36,37]. Hervorzuheben sind hier über eine Likert-Scale (1-5) gemessene, durch Masken hervorgerufene Lustlosigkeit ($p<0.05$), Denkstörungen ($p<0.05$) und Konzentrationsprobleme ($p<0.02$) [29]. Entsprechend geht die arbeitsmedizinische Reglementierung gegen solche Szenarien vor. Die Deutsche Gewerbliche Unfall Versicherung (DGUV) hat genaue und ausgedehnte Regelungen für Atemschutzausrüstungen aufgestellt, in welchen Angaben zur Tragezeitbegrenzung, Berücksichtigung von Arbeitsschweregraden und definierte Unterweisungspflichten enthalten sind [104].

Arbeitsmedizinisch bedeutend sind die in vielen Ländern auch vorgegebenen Standards und Normen bezüglich unterschiedlicher Maskentypen zum Schutz ihrer Arbeitnehmer [105]. So gibt es beispielsweise in Deutschland auch für Masken aus dem Ausland sehr strikte Sicherheitsvorgaben, welche die Anforderungen zum Schutz des Trägers definieren [106]. All diese Normen und die einhergehenden Zertifizierungsverfahren wurden mit der eingeführten Maskenpflicht für die allgemeine Öffentlichkeit zunehmend aufgelockert, sodass im Rahmen der Pandemie-Maßnahmen nicht zertifizierte Masken wie beispielsweise Community-Masken im großen Umfang auch im Arbeits- und Schulbereich über längere Zeiträume angewendet wurden [107]. Zuletzt empfahl die Deutsche Gewerbliche Unfall Versicherung (DGUV) im Oktober 2020 daher auch für Community Masks dieselben Tragezeitbegrenzungen wie für filtrierende Halbmasken mit maximal 3 Schichten von 120 Minuten je Tag, mit dazwischenliegenden Erholungspausen von 30 Minuten. Für FFP2-(N95-)Masken gilt in Deutschland eine 75-minütige Tragezeit, gefolgt von 30 min Pause. In Deutschland wird für beruflich genutzte Atemschutzmasken auch eine zusätzliche Eignungsuntersuchung durch spezialisierte Ärzte vorgeschrieben und definiert [104].

3.12. Mikrobiologische Folgen für Träger und Umgebung: Fremd / Selbstkontamination

Masken bewirken eine Rückhaltung der Feuchtigkeit [61]. Schlechte Filtrationsleistung, und falsche Anwendung von chirurgischen Masken und Community-Masken, aber auch deren häufiges Wiederverwenden implizieren ein erhöhtes **Infektionsrisiko** [108–110].

Das von und in Masken erzeugte feucht-warme Milieu ohne Anwesenheit von protektiven Mechanismen wie Antikörpern, Komplementsystem, Abwehrzellen underregerhemmenden Faktoren, wie sie in und auf einer Schleimhaut vorhanden sind, bahnt ein unbehindertes Wachstum und somit einen idealen Nährboden für diverse Krankheitserreger wie Bakterien und Pilze [88], und ermöglicht ebenfalls eine Anreicherung von Viren [87]. Durch das feuchtwarme Masken-Mikroklima begünstigt, reichern sich somit verschiedene Keime auf und unterhalb der Masken an [86]; die Keimdichte ist dabei messbar proportional zur Tragedauer der Maske. Bereits nach 2 Stunden Tragezeit verzehnfacht sich die Erregerdichte bei experimentellen Beobachtungsstudien nahezu [87,89].

Aus mikrobiologischer und epidemiologischer Sicht bergen Masken in der Alltagsanwendung somit die Gefahr der Kontamination. Dies kann als Fremd- aber auch als Selbstkontamination stattfinden. Einerseits werden Keime eingesogen oder heften sich

durch Konvektionsströme an den Masken an. Andererseits lagern sich potenzielle Infektionserreger aus dem Nasen-Rachen-Raum beim Atmen sowohl auf der Außen- und Innenseite der Maske übermäßig an [5,88]. Hinzu kommen Berührungen durch kontaminierte Hände. Da Masken durch keimhaltige Atemluft ständig durchdrungen werden und die Erreger-Reproduktionsrate außerhalb von Schleimhäuten höher ist, reichern sich potenzielle Infektionserreger auf der Außen- und Innenseite von Masken übermäßig an. Auf und in den Masken sind dann durchaus ernstzunehmende, potenziell krankheitsauslösende Bakterien und Pilze wie **E.coli** (54 % aller nachgewiesenen Keime), **Staphylococcus aureus** (25 % aller nachgewiesenen Keime), **Candida** (6 %), **Klebsiella** (5 %), **Enterokokken** (4 %) **Pseudomonaden** (3 %), **Enterobacter** (2 %) und **Micrococcus** (1 %) auch in großen Mengen nachweisbar [88].

Auf 230 untersuchten benutzen chirurgischen Masken wurden in einer weiteren mikrobiologischen Studie als dominante Keime das Bakterium **Staphylococcus aureus** (57 % aller gefundenen Bakterien) und der Pilz **Aspergillus** (31 % aller gefundenen Pilze) nachgewiesen [86].

Nach einer mehr als sechsstündigen Einsatzdauer wurden auf 148 Masken von medizinischem Personal folgende Viren in absteigender Reihenfolge gefunden: **Adenovirus**, **Bocavirus**, **Respiratory Syncytial Virus** und **Influenzaviren** [87].

Problematisch ist in dieser Hinsicht auch, dass die Feuchtigkeit diese potenziellen Krankheitserreger in Form kleinstster Tröpfchen über die Kapillarwirkung auf und in der Maske verteilt, wobei dann bei jedem Atemzug eine weitere Verschleppung im Sinne einer Selbst- und Fremdkontamination durch die Aerosole nach innen und außen erfolgen kann [35]. Aus der Literatur ist diesbezüglich auch bekannt, dass Masken für eine anteilmäßig überproportionale Produktion feinster Partikel in der Umgebung verantwortlich sind, und zwar überraschenderweise signifikant ausgeprägter als bei Menschen ohne Masken [98].

So zeigte sich, dass alle Masken tragenden Probanden signifikant und prozentual mehr kleinere Partikel der Größe 0,3-0,5 μ m in die Luft freisetzen als maskenlose Menschen, und dies sowohl beim Atmen, Sprechen als auch Husten (Stoff-, chirurgische-, N95-Masken, gemessen mit dem aerodynamic particle sizer, APS, TS, model 3329) [98]. Die Erhöhung der Detektion von Rhinoviren in den Sentinel-Untersuchungen des deutschen RKI aus 2020 [90] könnte ein weiterer Hinweis auf dieses Phänomen sein, da im betreffenden Jahr Masken durch die Allgemeinbevölkerung im öffentlichen Raum durchgehend angewendet wurden.

3.13. Epidemiologische Folgen

Die in vorliegender Arbeit beschriebenen, möglichen Nebenwirkungen und Gefahren des Mund-Nase-Schutzes beruhen auf Studien zu unterschiedlichen Maskentypen. Dazu gehören die im Alltag gebräuchlichen professionellen Masken vom Typ chirurgische Maske und N95/KN95 (FFP2-äquivalent), aber auch die anfangs vermehrt genutzten Community-Stoffmasken. Bei N95 steht das N für NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health der Vereinigten Staaten), und 95 indiziert das 95-prozentige Filtervermögen für feine Partikel der Größe bis mindestens 0,3 μ m [82].

Ein bedeutendes Risiko der Maskenanwendung in der Allgemeinbevölkerung ist die **Erzeugung eines falschen Sicherheitsgefühls in Bezug auf den Schutz vor viralen Infekten**, insbesondere im Sinne eines fälschlicherweise angenommenen, starken Selbstschutzes. Durch Infektionsrisiken außer Acht lassendes Verhalten können nicht nur Aspekte des source-control vernachlässigt werden, sondern sich auch weitere Nachteile ergeben. Obwohl nicht wenige fachliche, positive Darstellungen zur breiten Verwendung von Masken in der Allgemeinbevölkerung auffindbar sind [111], kommen die meisten ernstzunehmenden und evidenten wissenschaftlichen Darstellungen zu dem Ergebnis, dass durch die allgemeine Maskenpflicht ein falsches Sicherheitsgefühl vermittelt wird [4,5]. Dadurch kommt es jedoch zu einer Vernachlässigung derjenigen Maßnahmen, welche laut WHO eine höhere Evidenz als das Maskentragen haben: Abstandthalten und Händehygiene [2,112]. Einen statistisch signifikanten Beleg des falschen Sicherheitsgefühls und eines **risikofreudigeren Verhaltens unter Maskentragen** konnten Forscher in einem experimentellen Setting erbringen [112].

Die Entscheidungsträger vieler Länder informierten ihre Bürger schon zu Beginn der Pandemie im März 2020, dass Personen ohne Symptome keine medizinische Maske verwenden sollten, da dies ein **falsches Gefühl der Sicherheit** schaffe [113]. Die Empfehlung wurde in vielen Ländern letztlich geändert. Immerhin wies Deutschland darauf hin, dass sich Träger bestimmter Maskentypen wie der gebräuchlichen Stoffmasken (Community-Masken) nicht darauf verlassen können, dass diese sie oder andere vor einer Übertragung von SARS-CoV-2 schützen [114].

Von wissenschaftlicher Seite werden jedoch nicht nur die fehlende Evidenz von Stoffmasken im Rahmen einer Pandemie beklagt [16,110], sondern auch die hohe Durchdringbarkeit der Stoffmasken mit Partikeln und eine damit von ihnen ausgehende, potenzielle Infektionsgefahr [108,109].

Den gewöhnlichen **Stoffmasken mit 97% Durchdringung für Partikeldimensionen von $\geq 0,3\mu\text{m}$** stehen die **medizinischen Masken von Typ chirurgische Maske mit 44% Durchdringung** gegenüber. Die **N95-Maske** weist im Labor-Experiment dagegen eine Durchdringungsrate von **weniger als 0,01 % für Partikel $\geq 0,3\mu\text{m}$** auf [108,115].

Für das klinische Setting in Krankenhäusern und Ambulanzen empfehlen die WHO-Leitlinien bei Influenzaviren lediglich chirurgische Masken für die gesamte Patientenbehandlung, mit Ausnahme der stark Aerosol-generierenden Maßnahmen, bei welchen dann entsprechend feiner filternde Masken vom Typ N95 nahegelegt werden. Die Befürwortung spezieller Maskentypen auch durch die WHO ist jedoch mangels hochqualitativer Studien im Gesundheitssektor nicht gänzlich evidenzbasiert [108,109,116,117].

In einem Laborexperiment (Studie des Evidenzlevels IIa) konnte anhand virenfreier Aerosole gezeigt werden, dass sowohl **chirurgische Masken als auch N95-Masken beim Schutz gegen SARS-CoV-2 und Influenza-Viren Defizite** aufweisen [118]. Bei dieser Studie schnitt die FFP2-äquivalente N95-Maske beim Schutz zwar deutlich besser ab (8-12-mal effektiver) als die chirurgische Maske, jedoch etablieren beide Maskentypen

keinen zuverlässigen, hypothesengenerierten Schutz gegen Corona- und Influenzaviren. Beide Maskentypen konnten ungehindert von Aerosolpartikeln mit einem Durchmesser von 0,08 bis 0,2 μ m penetriert werden. Sowohl die **SARS-CoV-2-Erreger mit einer Größe von 0,06 bis 0,14 μ m** [119] wie auch die Influenzaviren mit 0,08 bis 0,12 μ m liegen fatalerweise deutlich unterhalb der Masken-Porengrößen [118].

Das Filtervermögen der N95-Maske bis zu 0,3 μ m [82] wird in der Regel von chirurgischen Masken und Community-Masken nicht erreicht. Als Transportmedium für Viren sollen aber Aerosoltröpfchen dienen, die einen Durchmesser von 0,09 bis 3 μ m Größe haben. Diese penetrieren ebenfalls zu 40 % die medizinischen Masken. Oft liegt auch eine mangelnde Passung von Gesicht und Maske vor, was deren Funktion und Sicherheit zusätzlich beeinträchtigt [120]. Problematisch stellt sich die **Anreicherung von Aerosoltröpfchen auf der Maske** dar. Diese nehmen nicht nur Nanopartikel wie Viren auf [6], sie folgen der Luftströmung beim Ein- und Ausatmen und sorgen für eine weitere **Verschleppung** derselben. Außerdem ist für **Aerosoltröpfchen** ein physikalischer **Zerfallsprozess** bei steigenden Temperaturen, wie sie auch unter dem Mund-Nase-Schutz auftreten, beschrieben [15,44,85]. Dieser Prozess kann zu einer Größenabnahme der feinen Wassertröpfchen bis zum Durchmesser eines Virus führen [121,122].

Die **Masken filtern** zwar größere Aerosoltropfen, **können aber Viren selbst und** solch kleinere, **potenziell virenhaltige Aerosoltröpfchen kleiner als 0,2 μ m nicht zurückhalten** und somit die Virusausbreitung auch nicht unterbinden [123].

Entsprechend gab es bei in-vivo Vergleichsstudien von N95- und chirurgischen Masken auch keinerlei signifikante Unterschiede bezüglich Infektraten für Influenzaviren [124,125].

Zwar stehen dem ermutigende in vitro-Laborergebnisse mit virenlosen Aerosolen, unter nicht natürlichen Bedingungen, selbst mit Stoffmasken, gegenüber [126], jedoch ist zu beachten, dass unter natürlichen Bedingungen in vivo unter zunehmender Feuchtigkeit auch die vielversprechenden auf elektrostatischen Effekten beruhenden Filterfunktionen der Stoffmasken rasch abnehmen [127]. Eine Schweizer Textil-Labortestung verschiedener, für die Allgemeinheit auf dem Markt käuflicher Masken, bestätigte kürzlich, dass die meisten Maskentypen Aerosole ungenügend filtern. Für wiederverwendbare Stoffmasken betrug die Filtrationseffizienz nach EN 149 für Partikel von einer Größe von 1 μ m bis auf einen von acht getesteten Maskentypen stets weniger als 70 %. Bei den Einwegmasken waren nur die Hälfte aller acht getesteten Maskentypen so effizient beim Filtern, dass sie 70 % der Partikel mit einer Größe von 1 μ m zurückhielten [128].

Eine neuere experimentelle Untersuchung konnte sogar nachweisen, dass **alle Masken tragende Personen (chirurgische-, N95-, Stoffmaske) signifikant und prozentuell mehr kleinere Partikel von der Größe 0,3 μ m bis 0,5 μ m in die Luft freisetzen**, als maskenlose Menschen, und dies sowohl beim Atmen, Sprechen als auch Husten [98]. Die **Masken** wirken dem zufolge wie **Zerstäuber** und tragen zur Produktion sehr feiner Aerosole bei. Kleinere Partikel breiten sich aus physikalischen Gründen aber bekanntlich schneller und weiter aus als große. Besonders interessant war bei dieser experimentellen Vergleichsstudie auch die Erkenntnis, dass eine Versuchsperson mit einlagiger

Stoffmaske beim Atmen auch insgesamt 384 % mehr Partikel (verschiedener Größen) freizusetzen vermag, als ein Mensch ohne Maske [98].

Nicht nur die genannten funktionellen Schwächen der Masken selbst führen zu Problemen, sondern auch deren Anwendung. Das steigert das Risiko des falschen Sicherheitsgefühls.

So werden sowohl von Gesundheitspersonal als auch von Laien laut Literatur **bei der Anwendung von Masken Fehler begangen**, da die hygienisch korrekte Maskenverwendung keinesfalls intuitiv ist. Insgesamt wenden 65 % der professionellen Nutzer im Gesundheitswesen und sogar 78 % der Allgemeinbevölkerung die Masken fehlerhaft an [116]. Sowohl bei chirurgischen Masken als auch bei N95-Masken wird aufgrund von verminderten **Tragekomfort mit Hitzebelästigungen** sowie Hautirritationen die Einhaltung der Anwendungsregeln bei den Maskenträgern beeinträchtigt und nicht adäquat eingehalten [29,35,116,129]. Erschwerend kommt die totraumbedingte Kohlendioxid-Akkumulation (insbesondere unter den N95-Masken) mit den beschriebenen resultierenden Kopfschmerzen hinzu [19,27,37,66–68,83]. Auch führen erhöhte Herzfrequenzraten, Juckreiz und Feuchtegefühle [15,29,30,35,71] zu einer **herabgesetzten Sicherheit und Qualität bei der Anwendung** (siehe auch sozial- und arbeitsmedizinische Nebenwirkungen und Gefahren). Deswegen werden **(Alltags-)Masken in der Allgemeinbevölkerung**, welche die strengen Hygieneregeln der Krankenhäuser und Arztpraxen nicht annähernd nachzuahmen vermag, sogar als allgemeines Infektionsrisiko betrachtet: Die vermeintliche Sicherheit wird somit selbst zum **Sicherheitsrisiko** [5].

In einer eigens von der WHO in Auftrag gegebenen Metaanalyse des Evidenzlevels Ia konnte kein Effekt von Masken im Rahmen einer Influenza-Virus-Pandemie-Prävention nachgewiesen werden [130]. In 14 randomisiert kontrollierten Studien konnte keine Minderung der Übertragung von laborbestätigten Influenzainfektionen gezeigt werden. Aufgrund ähnlicher Größe und Verbreitungsweg der Virenarten (Influenza und Corona, s.o.) lassen sich die Daten auch auf SARS-CoV-2 transferieren [118]. Immerhin bewirkte eine Kombination von gelegentlichem Maskentragen mit adäquatem Händewaschen in einer Studie eine leichte Infektreduktion für Influenza [131]. Da in dieser Arbeit jedoch keine Trennung von Handhygiene und Masken realisiert wurde, ist der protektive Effekt angesichts der vorgenannten Daten eher auf die Handhygiene zurückzuführen [131].

Eine kürzlich publizierte, große prospektive dänische Vergleichsstudie, welche Maskenträger und Maskenlose hinsichtlich ihrer Infektraten mit SARS-CoV2 verglich, konnte zwischen den Gruppen keine statistisch signifikanten Unterschiede nachweisen [132].

3.14. Pädiatrische Nebenwirkungen und Gefahren

Kinder sind besonders vulnerabel und können mit größerer Wahrscheinlichkeit **unangemessen behandelt oder zusätzlich geschädigt werden**. Es ist davon auszugehen, dass die für Erwachsene beschriebenen potenziellen unerwünschten Maskeneffekte umso mehr für Kinder Gültigkeit haben (siehe Abschnitt 3.1. bis Abschnitt 3.13: physiologische, internistische, neurologische, psychologische, psychiatrische, dermatologische, HNO-,

zahnmedizinische, soziologische, arbeits- und sozialmedizinische, mikrobiologische und epidemiologische Beeinträchtigungen sowie auch Abbildungen 2 und 3).

Ein besonderes Augenmerk muss in diesem Zusammenhang auf die Atmung von Kindern gelegt werden, die eine kritische und anfällige physiologische Größe darstellt, aufgrund von höherem Sauerstoffbedarf, erhöhter Hypoxie-Anfälligkeit des ZNS, geringerer Atemreserve, kleineren Atemwegen mit stärkerem Widerstandsanstieg bei Lumenverengung und dem Tauchreflex durch Stimulation von Nase und Oberlippe mit der Gefahr von Atemstillstand bis Bradykardie bei Sauerstoffmangel.

Die Masken, welche bei Kindern aktuell Anwendung finden, sind ausschließlich in kleineren geometrischen Dimensionen hergestellte Erwachsenenmasken und weder hierfür speziell geprüft noch zugelassen [133].

In einer experimentellen britischen Forschungsarbeit führten die Masken bei 100 Schulkindern zwischen 8 und 11 Jahren insbesondere unter Belastung häufig zu **Hitzegefühlen** ($p<0.0001$) und **Atemproblemen** ($p<0.03$), weswegen die Schutzausrüstung von 24 % der Kinder unter körperlicher Belastung abgelegt wurde [133]. Die Ausschlusskriterien dieses Maskenexperimentes waren **Lungenerkrankungen, kardiovaskuläre Beeinträchtigungen und Klaustrophobie** [133].

Wissenschaftler aus Singapur konnten in einer experimentellen Studie des Levels Ib, publiziert in der renommierten Zeitschrift „nature“, bei 106 Kindern im Alter von sieben bis vierzehn Jahren unter nur 5-minütiger FFP2-Masken-Anwendung einen Anstieg des in- und exspiratorischen CO_2 -Wertes nachweisen, was auf eine gestörte Atemphysiologie hinweist [26]. Eine gestörte Atemphysiologie kann bei Kindern jedoch langfristig krankheitsrelevante Folgen haben. Leicht erhöhte CO_2 -Werte sind bekannt für erhöhte Herzfrequenz, Blutdruckanstieg, Kopfschmerzen, Müdigkeit und Konzentrationsstörungen [38].

Als Ausschlusskriterien für eine Maskenanwendung wurden folgende Erkrankungen aufgeführt [26]: jegliche **kardiopulmonale Erkrankungen**, einschließlich, jedoch nicht beschränkt auf: Asthma, Bronchitis, zystische Fibrose, angeborene Herzfehler, Emphysem; jegliche **Erkrankung, die durch körperliche Anstrengung verschlimmert** werden kann, einschließlich, jedoch nicht beschränkt auf: Belastungsasthma, Infektionen der unteren Atemwege (Lungenentzündung, Bronchitis innerhalb der letzten 2 Wochen), Angststörungen, Diabetes, Bluthochdruck oder Epilepsien/Anfallsleiden; jegliche **körperliche Behinderung aufgrund einer medizinischen, orthopädischen oder neuromuskulären Erkrankung**; jegliche akute **Erkrankung der oberen Atemwege** oder symptomatischer Schnupfen (Nasenatmungsbehinderungen, laufende Nase oder Niesen); jegliche **Erkrankung mit Missbildung**, die den Sitz der Maske beeinträchtigt (z.B. vermehrte Gesichtsbehaarung, Kraniofaziale Missbildungen usw.).

Zu betonen sind zudem die möglichen Auswirkungen von Masken bei neurologischen Erkrankungen, wie schon zuvor im betreffenden Abschnitt beschrieben wurde (Abschnitt 3.3).

Sowohl Masken als auch Gesichtsvisiere bewirkten bei einer wissenschaftlichen Untersuchung in 46 % der Kinder Angst (37 von 80). Gibt man Kindern die Wahl, ob der sie untersuchende Arzt eine Maske tragen soll, lehnen sie dies sogar zu 49 % ab und

bevorzugen gemeinsam mit ihren Eltern ein Gesichtsvisier beim Behandler (statistisch signifikant mit $p<0.0001$) [134].

Eine aktuelle Beobachtungsstudie an Zehntausenden maskentragenden Kindern in Deutschland half den Untersuchern, Beschwerden wie **Kopfschmerzen (53 %), Konzentrationsstörungen (50 %), Freudlosigkeit (49 %), Lernschwierigkeiten (38 %) und Erschöpfung in 37 % der 25.930 evaluierten Kinder** zu objektivieren. Von den beobachteten Kindern wiesen 25 % neu aufgetretene **Ängste und auch Albträume** auf [135]. Bei Kindern werden die durch das Umfeld erzeugten Bedrohungsszenarien über Masken weiter aufrechterhalten, in einigen Fällen sogar weiter verstärkt und auf diese Weise vorhandener Stress noch intensiviert (Präsenz der unterbewussten Ängste) [16,35,136,137].

Dies kann wiederum eine Zunahme psychosomatischer und stressbedingter **Krankheitsbilder** nach sich ziehen [74,75]. So zeigten gemäß einer Evaluation 60 % der Maskenträger Stresslevel des höchsten Grades 10 auf einer Skala von 1 bis maximal 10. Weniger als 10 % der Befragten Maskenträger hatten einen Stresslevel kleiner als 8 von möglichen 10 [74]. Da Kinder als besondere Gruppe anzusehen sind, hat die WHO im August 2020 auch eine gesonderte Richtlinie zur Verwendung von Masken bei Kindern in der Gemeinschaft herausgegeben, in der sie angesichts der begrenzten Erkenntnisse Politiker und nationale Behörden explizit darauf hinweist, dass der Nutzen des Tragens von Masken bei Kindern gegen den potenziellen Schaden abgewogen werden muss, welcher mit dem Tragen von Masken verbunden ist, einschließlich Machbarkeit und Unbehagen sowie sozialer und kommunikativer Bedenken [100]. Gemäß Experten blockieren Masken die Grundlagen menschlicher Kommunikation und den Austausch von Emotionen und wirken nicht nur lernerschwerend, sondern berauben Kinder der positiven Effekte des Lächelns, Lachens und des emotionalen Mimikry [42]. Die Wirksamkeit von Masken bei Kindern im Rahmen einer Virusprotektion ist umstritten, und es mangelt an Evidenz für deren breiten Einsatz bei Kindern, hierauf gehen auch die Wissenschaftler der deutschen Universität Bremen in Ihrem Thesenpapier 2.0 und 3.0 näher ein [138].

3.15. Auswirkungen für die Umwelt

Gemäß den WHO-Schätzungen eines Bedarfs von 89 Millionen Masken pro Monat wird unter der Corona-Pandemie entsprechend auch deren Weltproduktion weiter steigen [139]. Aufgrund der Zusammensetzung beispielsweise chirurgischer Einwegmasken mit Polymeren wie: Polypropylen, Polyurethan, Polyacrylnitril, Polystyrol, Polycarbonat, Polyethylen und Polyester [140] ist bei weitestgehend fehlenden Recycling- und Entsorgungsstrategien besonders außerhalb von Europa mit einer zunehmenden globalen Herausforderung auch aus umwelttechnischen Gesichtspunkten auszugehen [139].

Die genannten Einweg-Polymeren sind als bedeutende Quelle von Plastik und Plastikpartikeln für die Verschmutzung sämtlicher Wasserkreisläufe bis hin zur Meeressumwelt identifiziert worden [141]. Einen signifikanten Gefährdungsfaktor für die Gesundheit bringt der Maskenmüll in Form von Mikroplastik nach Zerfall in die Nahrungskette ein. Ebenso stellt kontaminiertes, makroskopischer Einwegmaskenmüll –

insbesondere vor dem mikroskopischen Zerfall – ein weitverbreitetes Medium für Mikroben (Einzeller, Bakterien, Viren, Pilze) im Sinne invasiver Pathogene dar [86–89,142].

Eine fachgerechte Entsorgung des biologisch kontaminierten Alltagsmasken-Materials ist auch in den westlichen Ländern unzureichend geregelt.

4. Diskussion

Die gefundenen, möglichen einschneidenden und unerwünschten Auswirkungen in fachübergreifenden Bereichen verdeutlichen die allgemeine Tragweite der globalen Entscheidungen zu Mund-Nase-Schutz in der breiten Öffentlichkeit im Rahmen der Pandemiebekämpfung. Gemäß der gefundenen Literatur liegen eindeutige, wissenschaftlich erfasste, unerwünschte Effekte des Mund-Nase-Schutzes für den Maskenträger, sowohl auf psychischer als auch auf sozialer und körperlicher Ebene vor.

Weder übergeordnete Institutionen wie die WHO oder das ECDC (European Centre for Disease Prevention and Control), noch nationale, wie das CDC (Centers for Disease Control and Prevention, USA) oder das deutsche RKI, belegen mit stichhaltigen wissenschaftlichen Daten eine positive Wirkung von Masken in der Öffentlichkeit (im Sinne einer reduzierten Ausbreitungsgeschwindigkeit von COVID-19 in der Bevölkerung) [2,4,5].

Entgegen des wissenschaftlich etablierten Standards der Evidence Based Medicine haben nationale und internationale Gesundheitsbehörden ihre theoretischen Einschätzungen zum Tragen von Masken im öffentlichen Raum abgegeben, auch wenn die Maskenpflicht ein **trügerisches Sicherheitsgefühl** vermittelt [5,112,143].

Aus infektionsepidemiologischer Sicht bieten Masken in der Alltagsanwendung die Gefahr der Selbst-Kontamination durch den Träger, sowohl von innen als auch von außen, auch über kontaminierte Hände [5,16,88]. Zudem werden Masken durch die Ausatemluft durchfeuchtet, was potenziell Infektionserreger aus dem Nasen-Rachen-Raum und auch aus der Umgebungsluft auf der Außen- und Innenseite der Maske anreichert. Hier sind insbesondere ernst zu nehmende, infektionsauslösende Bakterien und Pilze zu nennen [86,88,89], aber auch Viren [87]. Die ungewöhnliche Erhöhung der Detektion von Rhinoviren in den Sentinel-Untersuchungen des deutschen RKI aus 2020 [90] könnte ein Hinweis auf dieses Phänomen sein. Eine Klärung durch weitere Untersuchungen wäre daher wünschenswert.

Masken werden bei ihrer Anwendung durch die breite Öffentlichkeit von Wissenschaftlern als Infektionsrisiko angesehen, da die standardisierten Hygieneregeln der Krankenhäuser durch die breite Masse nicht eingehalten werden können [5]. Obendrein atmen Maskenträger (chirurgische, N95, Stoffmasken) verhältnismäßig mehr kleinere Partikel (Größe 0,3 bis 0,5 μ m) ab als maskenlose Menschen, und die lautere Sprechweise unter Masken verstärkt diese gesteigerte feine Aerosol-Erzeugung durch den Maskenträger noch zusätzlich (Zerstäubereffekt) [98].

Die Geschichte der Neuzeit zeigt, dass bereits bei den Grippe-Pandemien 1918-1919, 1957-58, 1968, 2002, bei SARS 2004-2005, sowie bei Influenza 2009, die Masken in der Alltagsanwendung den erhofften Erfolg im Kampf gegen virale Infekt-Szenarien nicht erzielen konnten [67,144]. Die Erfahrungen führten dazu, dass wissenschaftliche Studien schon 2009 beschrieben, dass Masken in Bezug auf Viren in einem Alltagsszenario keine signifikante Wirkung zeigen [129,145].

Auch später stuften Wissenschaftler und Institutionen die Masken als ungeeignet ein, den Anwender sicher vor viralen Atemwegsinfekten zu schützen [137,146,147]. Selbst in der Krankenhausanwendung fehlt für chirurgische Masken eine starke Evidenz als Schutz vor Viren [67].

Ursprünglich aus der sinnvollen Erkenntnis geboren, Wunden vor dem Atem der Chirurgen und vorwiegend bakterieller Tröpfchen-Kontamination zu schützen [144,148,149], wurde die Maske zusehends **zweckentfremdet**, mit größtenteils unsachgemäßer populärer Alltags-Verwendung, in den letzten Jahren besonders im asiatischen Raum [150].

Der Soziologe Beck hat die Maske bezeichnenderweise schon 1992 als **Kosmetik des Risikos** bezeichnet [151]. Der Maske wohne bedauerlicherweise ein Teufelskreis inne: Sie schützt streng genommen nur symbolisch und repräsentiert zugleich die Angst vor der Infektion. Verstärkt würde dieses Phänomen durch die - von den populären Medien stets genährte - kollektive Angst [137].

Heutzutage stellt die Maske für die breite Bevölkerung quasi eine **psychische Stütze** während der Viruspandemie dar, die ihnen zusätzliche angstgeminderte Bewegungsfreiheiten verspricht. Auch die Empfehlung, Masken im Sinne einer „Source control“ nicht aus Eigenschutz, sondern aus „Altruismus“ anzuwenden [152], findet bei den Verordnungsgebern und der Bevölkerung vieler Länder großen Anklang. Dass die Maske im Rahmen des aktuellen Pandemie-Geschehens nicht nur aus rein infektiologischen Gesichtspunkten empfohlen wird, geht auch deutlich aus den von der WHO genannten möglichen Vorteilen der Verwendung von Masken durch gesunde Menschen in der allgemeinen Öffentlichkeit hervor. Es werden insbesondere eine verringerte potenzielle Stigmatisierung von Maskenträgern, die Gefühlsvermittlung eines geleisteten Beitrages zur Verhinderung der Ausbreitung des Virus sowie die Erinnerung, sich an andere Maßnahmen zu halten, genannt [2]. Unerwähnt soll in diesem Zusammenhang nicht bleiben, dass ganz aktuelle Daten jedoch darauf hindeuten, dass der **Nachweis einer SARS-CoV-2 Infektion nicht in direkter Abhängigkeit zu einer populären Maskenanwendung** zu stehen scheint, denn die in einer retrospektiven Vergleichsstudie untersuchten Gruppen (Sars-CoV-2-Infizierte und Nichtinfizierte) unterschieden sich nicht in ihrer Gewohnheit, Masken zu verwenden: Die Probanden beider Gruppen trugen zu ca. 70 % immer Masken und weitere 14,4 % von ihnen häufig [143].

Im Rahmen einer an ca. 6000 Teilnehmern in Dänemark durchgeföhrten, 2020 publizierten, prospektiven Untersuchung zum Maskentragen, fanden Wissenschaftler entsprechend auch **keinen statistisch signifikanten Unterschied hinsichtlich der Infektraten mit SARS-CoV-2 beim Vergleich der Gruppe der 3030 Maskenträger mit den 2994 maskenlosen Teilnehmern** der Studie ($p=0,38$) [132].

Tatsächlich erscheinen Masken im Kontext mit viralen Infekten nicht nur weniger effektiv als gedacht, sondern auch nicht frei von unerwünschten biologischen, chemischen, physikalischen, körperlichen sowie psychischen Begleiteffekten zu sein [67].

Einige Experten reklamieren entsprechend, dass gut gemeinte Unprofessionalität durchaus gefährlich sein kann [6].

Die dermatologischen Kollegen waren mitunter die ersten, welche häufige unerwünschte Wirkungen des Maskentragens in größeren Kollektiven beschrieben. Einfache, direkte physikalische, chemische und biologische Effekte der Masken mit Zunahme von Temperatur, Feuchte und mechanischen Irritationen verursachten Akne in bis zu 60 % der Träger [37,71–73,85]. Weitere signifikant dokumentierte Folgen waren Ekzeme, Hautschäden und eine insgesamt gestörte Hautbarriere-Funktion [37,72,73].

Diese direkten Auswirkungen einer Masken-Anwendung sind ein wichtiger Hinweis auf weitere, schädliche Auswirkungen, auch andere Organsysteme betreffend.

Wir haben in unserer Arbeit wissenschaftlich validierte, auch zahlreiche statistisch signifikante unerwünschte Effekte von Masken in verschiedenen Fachgebieten der Medizin ausfindig gemacht, insbesondere im Hinblick auf einen störenden Einfluss auf den hochkomplexen Vorgang der Atmung mit negativen Auswirkungen auf die Atemphysiologie und den Gasstoffwechsel des Körpers (siehe Abbildungen 2 und 3).

Die Atemphysiologie und der Gasaustausch spielen aber eine Schlüsselrolle bei der Wahrung eines gesundheitserhaltenden Gleichgewichtes im menschlichen Körper [136,153].

Ein durch Maskentragen **nahezu verdoppeltes Totraumvolumen** und der **mehr als verdoppelte Atemwiderstand (Abbildung 3)** [59–61] führen laut den von uns gefundenen Studien zu einer Rückatmung von Kohlendioxid bei jedem Atemzyklus [16–18,39,83] mit – bei Gesunden meist – unterschwelligem, aber bei Kranken zum Teil auch pathologischem, **Anstieg des Kohlendioxid-Partialdrucks (PaCO₂) im Blut** [25,34,58]. Über physiologische Rückkopplungsmechanismen tragen diese Veränderungen – laut der gefundenen Primärstudien – reflektorisch zur Steigerung von **Atemfrequenz-** und **Atemtiefe** [21,23,34,36] mit entsprechender **Mehrarbeit der Atemmuskulatur** bei [31,36]. Somit liegt nicht, wie Anfangs angenommen, ein rein positives Training durch Maskenanwendung vor.

Dies verstärkt bei den Betroffenen oft den unterschwelligen **Abfall der Sauerstoffsättigung SpO₂** im Blut [23,28–30,32], welche bereits durch vermehrtes Totraumvolumen und gesteigerten Atemwiderstand schon herabgesetzt ist [18,31].

Der insgesamt mögliche, resultierende, messbare **Abfall der Sauerstoffsättigung O₂** des Blutes einerseits [18,23,28–30,32], und der **Anstieg des Kohlendioxids (CO₂)** andererseits [13,15,19,21–28], tragen zu einer verstärkten noradrenergen Stressreaktion bei, mit **Herzfrequenzsteigerung** [29,30,35] und **Atemfrequenzsteigerung** [15,21,23,34], in einigen Fällen auch zur signifikanten **Blutdrucksteigerung** [25,35].

Bei zu Panik neigenden Menschen kann die stressauslösende **noradrenerge Sympathikusaktivierung** zum Teil direkt über den Kohlendioxid(CO₂)-Mechanismus am *Locus coeruleus* im Hirnstamm gebahnt werden [39,78,79,153], aber auch auf üblichem Weg über chemosensitive Neuronen des Nucleus solitarius im Hirnstamm [136,154]. Der Nucleus solitarius [136], liegt im tiefsten Teil des Hirnstamms (Medulla oblongata), einem

Tor zur neuronalen Atem- und Kreislaufkontrolle [154]. Ein verminderter Sauerstoff (O_2)-Blutspiegel bewirkt dort vermittelt über Chemo-Rezeptoren in den Carotiden ebenfalls eine Aktivierung der Sympathikus-Achse [155,156].

Bereits unterschwellige Veränderungen der Blutgase, wie sie unter Maskentragen provoziert werden, bewirken Reaktionen dieser Regelinstanzen im zentralen Nervensystem. Masken lösen demnach über geringste Blutgasveränderungen des Sauerstoffs und Kohlendioxids im Blut der Träger, direkte Reaktionen in wichtigen Schaltzentralen der betroffenen Gehirne aus [136,154,155].

Eine Verbindung gestörter Atmung mit kardiorespiratorischen Erkrankungen wie Bluthochdruck, Schlafapnoe und metabolischem Syndrom ist wissenschaftlich erwiesen [56,57]. Hierbei gelten als Hauptauslöser für die sympathische Stress-Reaktion interessanterweise **verminderte Sauerstoff- / O_2 -Blutspiegel** und auch **erhöhte Kohlendioxid- / CO_2 -Blutspiegel** [38,136]. Als wesentliche verantwortliche Schaltzentralen werden die erwähnten chemosensiblen Neuronen des Nucleus solitarius im Hirnstamm angesehen [136,154,155]. Klinische Auswirkungen wären bei langem Maskentragen somit eine denkbare Verstärkung der chronischen Stressreaktionen und negative Einflüsse auf den Stoffwechsel in Richtung des metabolischen Syndroms. Die von uns gefundenen Maskenstudien zeigen, dass solch krankheitsrelevante Atemgas-Veränderungen (O_2 und CO_2) [38,136] bereits durch Tragen von Mund-Nase-Schutz erreicht werden [13,15,18,19,21-34].

Ein Zusammenhang von Hypoxie, sympathischen Reaktionen und Leptinfreisetzung ist wissenschaftlich bekannt [136].

Von Bedeutung ist auch ein Zusammenhang der **Atmung mit Einflussnahme auf andere Körperfunktionen** [56,57], einschließlich der **Psyche mit Erzeugung positiver Emotionen und Antrieb** [153]. Neueste Erkenntnisse aus der neuropsychobiologischen Forschung lassen erkennen, dass die Atmung nicht nur eine von physikalischen Größen regulierte Funktion zur Steuerung derselben darstellt (Rückkopplungsmechanismus), sondern vielmehr eigenständig auf übergeordnete Hirnzentren Einfluss nimmt und damit auch psychische und weitere körperliche Funktionen und Reaktionen mitgestaltet [153,157,158].

Da Masken die Atmung des Trägers behindern und sie beschleunigen, wirken sie völlig entgegengesetzt zu den Prinzipien der gesundheitsfördernden Atmung [56,57] aus ganzheitlicher Medizin und Yoga. Zufolge neuester Forschungsergebnisse ist eine ungestörte Atmung unabdingbar für Glücksgefühle und gesunden Antrieb [157,159], dem wirken die Masken aber entgegen.

Das Resultat signifikanter Veränderungen der Blutgase in Richtung Hypoxie (Abfall der Sauerstoffsättigung) und Hyperkapnie (Anstieg der Kohlendioxidkonzentration) durch Masken besitzt auch ohne Überschreitung von Normgrenzen damit das Potenzial zu klinisch relevanter Beeinflussung des menschlichen Organismus .

Blut-Gas-Verschiebungen in Richtung Hypoxie und Hyperkapnie haben neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen zufolge nicht nur Einfluss auf die beschriebenen unmittelbaren, psychischen und physiologischen Reaktionen auf makro- und mikroskopischer Ebene, sondern zusätzlich auch auf die Genexpression und den Stoffwechsel auf molekularer Zellebene in vielen verschiedenen Körperzellen. Hierdurch

wird der einschneidende, störende Eingriff der Masken in die Physiologie des Körpers auch bis auf die Zellebene deutlich, beispielsweise bei der Aktivierung von **HIF (Hypoxie Induzierter Faktor)** sowohl durch hyperkapnie- als auch durch hypoxieartige Effekte [160]. Der HIF ist ein Transkriptionsfaktor, der die Zellversorgung mit Sauerstoff reguliert und Signalwege aktiviert, die für Anpassungsreaktionen relevant sind. Beispielsweise hemmt der HIF Stammzellen, fördert Tumorzellwachstum und Entzündungsprozesse [160].

Demnach lassen sich aufgrund der erstmalig in vorliegender Arbeit umfassend dargestellten, **Hypoxie- und Hyperkapnie fördernden Effekte von Masken potenzielle Störeinflüsse bis auf die intrazelluläre Ebene (HIF-a)**, insbesondere durch eine langwierige und exzessive Anwendung von Masken vermuten. Damit dürfte neben der über Hirnzentren gebahnten vegetativen chronischen Stressreaktion bei Maskenträgern auch eine ungünstige Beeinflussung des Stoffwechsels auf Zellebene vorliegen. Mit der Aussicht auf anhaltende Maskenpflicht in der Alltagsanwendung erschließt sich auch hier ein interessantes Forschungsgebiet der Zukunft.

Dass eine überlange Exposition gegenüber latent erhöhten CO₂-Werten und ungünstigen Atemluft-Zusammensetzungen krankheitsbegünstigende Effekte hat, wurde bereits früh erkannt. Schon 1983 beschrieb die WHO das "Sick Building Syndrome" als einen Zustand, bei dem die Gebäudeinsassen akute krankheitsrelevante Effekte erlebten, die mit der Zeit des Aufenthaltes zunahmen, ohne dass spezifische Ursachen oder Erkrankungen vorlagen [161,162]. Das Syndrom betrifft Menschen, die sich vorwiegend in geschlossenen Räumen mit häufig unterschwellig erhöhten CO₂-Werten aufhalten und zu Symptomen wie erhöhte Herzfrequenz, Blutdruckanstieg, Kopfschmerzen, Müdigkeit und Konzentrationsstörungen neigen [38,162].

Einige, in den von uns gefundenen Masken-Studien beschriebenen Beschwerden (Tabelle 1) entsprechen verblüffenderweise denen des Sick-Building Syndrome [161]. Auch beim Sick Building Syndrome spielen Temperatur, Kohlendioxidgehalt der Luft, Kopfschmerzen, Schwindel, Benommenheit und Juckreiz eine Rolle. Einerseits könnten Masken bei längerer Anwendung selbst für solche Effekte, wie sie für das **Sick-Building Syndrome** beschrieben sind, verantwortlich sein. Andererseits könnten sie beim Träger in klimatisierten Gebäuden diese zusätzlich verstärken, insbesondere bei Maskenpflicht in Gebäuden.

Immerhin fanden sich tendenziell erhöhte systolische Blutdruckwerte bei Maskenträgern in einigen Studien [21,31,34], eine statistische Signifikanz konnte aber bei nur zwei Untersuchungen festgestellt werden [25,35].

Jedoch entdeckten wir in Zusammenhang mit Maskentragen deutlich mehr signifikante Nachweise von Herzfrequenzanstieg, Kopfschmerzen, Erschöpfung und Konzentrationsstörungen (Abbildung 2), was auf die klinische Relevanz des Maskentragens hinweist.

Nicht nur für Gesunde, sondern auch für Kranke ergeben sich laut der gefundenen wissenschaftlichen Ergebnisse und Erkenntnisse messbar ungünstige Effekte durch Masken, deren Relevanz mit der Anwendungsdauer zunehmen dürfte [69].

Hier besteht weiterer Forschungsbedarf, um die langfristigen Folgen einer weitreichenden Maskenanwendung mit unterschwelliger Hypoxie und Hyperkapnie in

der breiten Bevölkerung auch im Hinblick auf möglicherweise verstärkende Effekte auf kardiorespiratorische Zivilisationserkrankungen wie Bluthochdruck, Schlafapnoe und metabolisches Syndrom zu beleuchten.

Die ohnehin schon oft erhöhten Blut-Kohlendioxid(CO_2)-Werte bei Übergewichtigen, Schlafapnoepatienten und Patienten mit einer overlap-COPD, könnten gegebenenfalls durch Alltags-Masken noch weiter ansteigen. Denn nicht nur ein hoher BMI (Body-Mass-Index), auch eine Schlafapnoe sind bei diesen Patienten (schon ohne Masken) mit einer Hyperkapnie über Tag vergesellschaftet [19,163]. Eine Hyperkapnie bedeutet für solche Patienten eine Steigerung des Risikos für ernste Erkrankungen mit erhöhter Morbidität, was durch exzessive Maskenanwendung dann noch weiter zunehmen könnte [18,38].

Die Hyperkapnie-bedingten Effekte der Sympathikus-Stressaktivierung sind bei Frauen sogar zyklusphasenabhängig. Über einen Progesteron-Mechanismus gesteuert, fällt die sympathische Reaktion, gemessen über einen gesteigerten Blutdruck in der lutealen Phase, entsprechend signifikant stärker aus [164]. Möglicherweise ergeben sich hieraus auch unterschiedliche Empfindlichkeiten für gesunde und kranke Frauen gegenüber unerwünschten Maskeneffekten, welche mit einer Kohlendioxid(CO_2)-Erhöhung zusammenhängen.

In vorliegender Arbeit konnten maskenbedingte, ungünstige körperliche und psychische Veränderungen auch bei jüngeren und gesunden Individuen objektiviert werden. Die physikalischen und chemischen Parameter überschritten meist nicht die Normwerte, **tendierten jedoch überhäufig statistisch signifikant messbar ($p<0.05$) in Richtung pathologischer Bereiche**. Dabei gingen sie mit **körperlichen Beeinträchtigungen** einher (**Abbildung 2**). Unterschwellige Reize sind bekanntlich imstande, bei entsprechend langer Einwirkzeit auch krankhafte Veränderungen zu erzeugen: Nicht nur die einmalige hohe Dosierung einer Störgröße, aber auch eine chronisch anhaltende, unterschwellige Einwirkung derselben mündet häufig in Krankheit [38,46–48,50–54]. Die wissenschaftlich wiederholt messbaren physikalischen und chemischen Maskeneffekte gingen **häufig mit typischen subjektiven Beschwerden** und pathophysiologischen Phänomenen einher. Dass diese **überhäufig gleichzeitig und gemeinsam auftreten**, weist auf ein **Syndrom unter Masken** hin.

In Abbildung 2 sind die signifikant maskenabhängigen physiologischen, psychologischen, somatischen und allgemeinen pathologischen Veränderungen erfasst, es fällt deren gehäuftes gemeinsames Auftreten auf.

Wir konnten im Rahmen der quantitativen Auswertung der experimentellen Arbeiten auch tatsächlich eine **statistisch signifikante Korrelationen der beobachteten Nebenwirkungen Erschöpfung und Sauerstoffabfall unter Maskenanwendung** nachweisen **mit $p<0.05$** . Zusätzlich fanden wir ein gehäuftes, gleichzeitiges und gemeinsames Auftreten weiterer unerwünschter Effekte in den wissenschaftlichen Arbeiten (Abbildung 2). Statistisch signifikante Zusammenhänge solcher in Kombination auftretenden, ungünstigen Auswirkungen sind bereits in Primärstudien beschrieben worden [21,29].

Wir entdeckten ein kombiniertes Auftreten des physikalischen Parameters Temperaturanstieg unter der Maske mit dem Symptom Atembeeinträchtigung in 7 der 8 betreffenden Studien (88 %). Ein ähnliches Ergebnis fanden wir für den Abfall der

Sauerstoffsättigung unter Masken und das Symptom Atembeeinträchtigung, mit einem synchronen Nachweis in 6 der 9 betreffenden Studien (67 %).

Wir ermittelten unter Maskenanwendung ein kombiniertes Auftreten von Kohlendioxid-Anstieg und N95-Atemschutz in 9 der 11 wissenschaftlichen Arbeiten (82 %).

Ein ähnliches Ergebnis fanden wir für Sauerstoffabfall unter N95-Atemschutz-Verwendung mit gleichzeitigem, gemeinsamen Auftreten in 8 von 11 Primärarbeiten (72 %).

Die Benutzung der Masken des Typs N95 ging zudem in 6 der 10 betreffenden Primärstudien mit Kopfschmerzen einher (60 %).

Ein kombiniertes Auftreten der physikalischen Parameter Temperaturanstieg und Feuchte unter Masken fand sich sogar zu 100 % innerhalb 6 der 6 Studien mit signifikanten Messungen dieser Parameter (Abbildung 2).

Da die Symptome bei Maskenträgern in Kombination beschrieben und in der Mehrzahl der Fälle nicht isoliert beobachtet wurden, bezeichnen wir sie – wegen der einheitlichen Darstellung in zahlreichen Arbeiten unterschiedlicher Fachgebiete – als allgemeines,

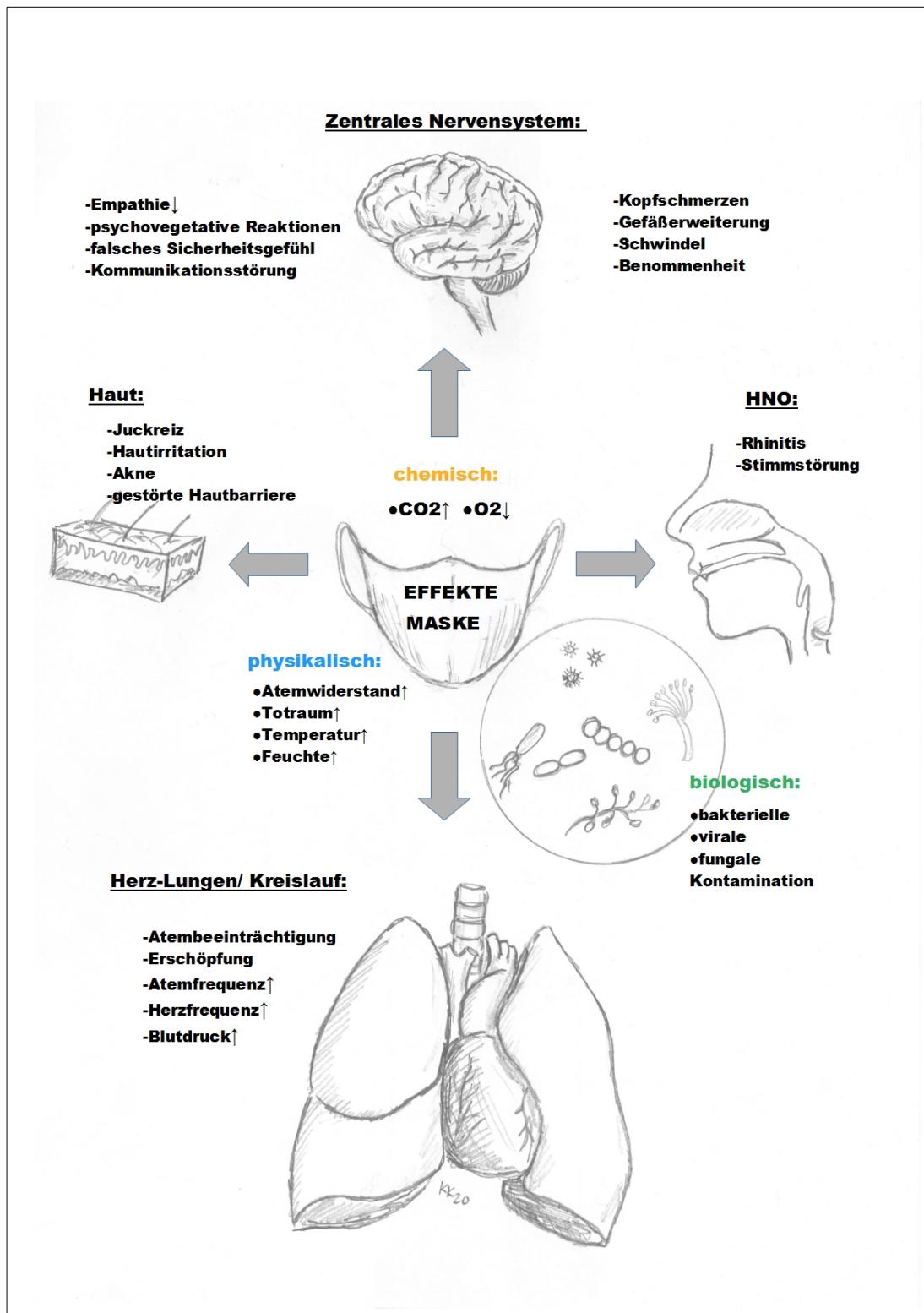
Masken Induziertes Erschöpfungs Syndrom (MIES).

Hierzu gehören die folgenden, häufig statistisch signifikant ($p<0,05$) nachgewiesenen pathophysiologischen Veränderungen und subjektiven Beschwerden, welche häufig wie oben beschrieben miteinander kombiniert auftreten (siehe Abschnitt 3.1 bis Abschnitt 3.11, Abbildungen 2-4):

- **Anstieg des Totraumvolumens** [22,24,58,59] (Abbildung 3, Abschnitte 3.1 und 3.2).
- **Anstieg des Atemwiderstandes** [31,35,61,118] (Abbildung 3, Abbildung 2: Spalte 8).
- **Anstieg des Kohlendioxids im Blut** [13,15,19,21-28] (Abbildung 2: Spalte 5).
- **Abfall der Sauerstoffsättigung im Blut** [18,19,21,23,28-34] (Abbildung 2: Spalte 4).
- **Anstieg der Herzfrequenz** [15,19,23,29,30,35] (Abbildung 2: Spalte 12).
- **Abnahme der kardiopulmonalen Kapazität** [31] (Abschnitt 3.2).
- **Erschöpfungsgefühl** [15,19,21,29,31,32-34,35,69] (Abbildung 2: Spalte 14).
- **Anstieg der Atemfrequenz** [15,21,23,34] (Abbildung 2: Spalte 9).
- **Atemschwierigkeiten und Luftnot** [15,19,21,23,25,29,31,34,35,71,85,101,133] (Abbildung 2: Spalte 13).
- **Kopfschmerzen** [19,27,37,66-68,83] (Abbildung 2: Spalte 17).
- **Schwindel** [23,29] (Abbildung 2: Spalte 16).
- **Feuchte- und Hitzegefühl** [15,16,22,29,31,35,85,133] (Abbildung 2: Spalte 7).
- **Benommenheit (qualitative neurologische Defizite)** [19,29,32,36,37] (Abbildung 2: Spalte 15).
- **Abnahme von Empathie-Wahrnehmung** [99] (Abbildung 2: Spalte 19).
- **gestörte Hautbarrierefunktion mit Akne, Juckreiz und Hautläsionen** [37,72,73] (Abbildung 2: Spalte 20-22).

Es ist aus den Ergebnissen abzuleiten, dass die bei Gesunden oft schon eindeutigen und beschriebenen Auswirkungen bei Kranken umso stärker ausfallen, da bei ihnen die Kompensationsmechanismen, je nach Krankheitsschwere geringer bis erschöpft sind.

Abbildung 4: Ungünstige Masken-Effekte als Bestandteile des MIES (Masken-Induziertes-Erschöpfungs-Syndrom). Die chemischen, physikalischen und biologischen Auswirkungen sind, wie auch die genannten Organsystem-Folgen, allesamt in der gefundenen wissenschaftlichen Literatur mit statistisch signifikanten Ergebnissen belegt (Abbildung 2). Der Begriff Benommenheit steht hier zusammenfassend für jegliche, in der untersuchten wissenschaftlichen Literatur beschriebenen, qualitativen neurologischen Defizite.



Einige existente Studien an und mit Kranken mit messbaren pathologischen Auswirkungen der Masken belegen diese Annahme [19,23,25,34].

Hinzu kommt, dass in den meisten wissenschaftlichen Arbeiten die Tragezeit der Masken im Rahmen der Messungen/Untersuchungen deutlich geringer war (bezogen auf die Gesamt-Trage- und -Anwendungsdauer), als es unter den aktuellen Pandemie-Regelungen und -Verordnungen von der Allgemeinbevölkerung erwartet wird. Die Tragezeitbegrenzungen werden heute in etlichen Bereichen wenig beachtet oder wissentlich außer Kraft gesetzt, wie bereits im Abschnitt 3.11 zur Arbeitsmedizin erwähnt.

Die genannten Fakten lassen die Folgerung zu, dass die beschriebenen negativen Effekte von Masken insbesondere bei einigen unserer Patienten und Hochbetagten bei langer Anwendung durchaus schwerer und ungünstiger ausfallen dürften, als in einigen Masken-Studien dargestellt.

Schwierig dürfte sich hier - aus ärztlicher Sicht – auch die Beratung von Kindern und Erwachsenen gestalten, die aufgrund des gesellschaftlichen Drucks (eine Maske zu tragen) und dem Wunsch des Zugehörigkeitsgefühls ihre eigenen Bedürfnisse und Belange solange unterdrücken, bis die Auswirkungen von Masken für sie spürbare gesundheitlich negative Ausmaße annehmen [76]. Immerhin sollte spätestens beim Auftreten von Luftnot, Benommenheit oder Schwindel die Maskenanwendung sofort beendet werden [23,25]. Unter diesem Gesichtspunkt erscheint es sinnvoll, dass Entscheidungsträger und Behörden für Arbeitgeber, Lehrer und andere Personen, denen eine Aufsichts- oder Fürsorgepflicht zukommt, Informationen zu Verfügung stellen, Unterweisungspflichten definieren und entsprechende Schulungen anbieten. Auch die Kenntnis über Erste-Hilfe-Maßnahmen könnte in diesem Zusammenhang aufgefrischt und entsprechend erweitert werden.

Älteren, Risikopatienten mit Lungenerkrankungen, Herzerkrankten, Schwangeren oder Schlaganfallpatienten wird empfohlen, einen Arzt zu konsultieren, um die Unbedenklichkeit einer N95-Maske zu besprechen, da ihr Lungenvolumen oder ihre kardiopulmonale Leistungsfähigkeit reduziert sein könnte [23]. Ein Zusammenhang von Alter und Auftreten der genannten Symptome unter Maskenanwendung ist statistisch belegt [19].

Patienten mit verminderter kardiopulmonaler Funktion haben gemäß der referenzierten Literatur ein erhöhtes Risiko für die Entwicklung einer ernst zu nehmenden Atemstörung unter Maskenanwendung [34]. Ohne die Möglichkeit einer durchgehenden medizinischen Überwachung ist daraus zu folgern, dass sie ohne engmaschiges Monitoring keine Masken tragen sollten. Bei mittelschwer und schwer Lungenerkrankten hat bereits die amerikanische Gesellschaft für Asthma und Allergie hinsichtlich Maskenanwendung im Rahmen der COVID-19-Pandemie zu Vorsicht geraten [165].

Da stark Übergewichtige, Schlafapnoepatienten und Overlap-COPD-Erkrankte bekanntlich zur Hyperkapnie neigen, stellen sie ebenfalls eine Risikogruppe für ernste gesundheitliche Beeinträchtigungen unter weitreichender Maskenanwendung dar [163]. Denn das **Potenzial von Masken, eine zusätzliche CO₂-Retention zu erzeugen**, kann nicht nur einen störenden Einfluss auf die Blutgase und die Atemphysiologie der Erkrankten haben, sondern auf lange Sicht auch zu weiteren schwerwiegenden gesundheitlichen Schäden führen. In einem Tierexperiment führt interesserweise ein CO₂-Anstieg mit Hyperkapnie zu einer **Kontraktion glatter Atemwegsmuskulatur mit Verengung von Bronchien** [166]. Dieser

Effekt könnte die beobachteten pulmonalen Dekompensationen von lungenekrankten Patienten unter Masken erklären (Abschnitt 3.2) [23,34].

Patienten mit terminaler dialysepflichtiger Niereninsuffizienz sind gemäß der gefundenen Literatur weitere Kandidaten einer entsprechenden Ausnahme von der Maskenpflicht [34].

Kranke und hilflose Menschen, die eine Maske selbstständig nicht abnehmen können, sollten gemäß den Kriterien der CDC (Centers for Disease Control and Prevention, USA) von der Maskenpflicht ohnehin ausgenommen werden [82].

Da davon auszugehen ist, dass Kinder auf Masken noch sensibler reagieren, ist gemäß der Literatur naheliegend, dass Masken für Kinder mit Epilepsien eine Kontraindikation darstellen (Hyperventilation als Trigger von Anfällen) [63]. Auch sollte im Bereich der Pädiatrie ein besonderes Augenmerk auf die unter psychischen, psychiatrischen und soziologischen Auswirkungen beschriebenen Masken-Phänomene gelegt werden, mit möglicher **Auslösung von Panikattacken durch CO₂-Rückatmung bei Prädisposition** und auch Verstärkung klaustrophobischer Ängste [77–79,167]. Die maskenbedingte Störung der verbalen [43,45,71] und non-verbalen Kommunikation und somit der sozialen Interaktion ist für Kinder besonders gravierend. Durch Masken wird die soziale Interaktion eingeschränkt und positive Wahrnehmungen (Lächeln und Lachen) und emotionales Mimikry (Mimik) geblockt [42].

Die belegten, maskeninduzierten, leicht- bis mittelgradigen **kognitiven Minderleistungen** mit Verlangsamung des Denkens, Aufmerksamkeitsabnahme und Schwindel [19,23,29,32,36,37,39–41,69] sowie die psychischen und neurologischen Auswirkungen [135], sind bei einer **Maskenpflicht in der Schule und in der Nähe sowohl öffentlicher als auch nicht-öffentlicher Verkehrsmittel, auch im Hinblick auf eine eventuell erhöhte Unfallgefahr, zusätzlich zu beachten** (siehe auch arbeitsmedizinische Nebenwirkungen und Gefahren) [19,29,32,36,37].

Die bei Kinderstudien zu Masken genannten Ausschlusskriterien (siehe pädiatrische Beeinträchtigungen) [26,133] sollten gemäß den wissenschaftlichen Erkenntnissen zum Schutz der betroffenen kranken Kinderauch für einen Ausschluss dieser von der allgemeinen Maskenpflicht gelten. Die langfristigen soziologischen, psychischen und pädagogischen Folgen einer umfangreichen, auf Schulen ausgeweiteten Maskenpflicht, sind auch im Hinblick auf die psychische und körperliche Entwicklung gesunder Kinder unvorhersehbar [42,135].

Interessanterweise werden laut dem Corona-Thesenpapier der Uni Bremen **„seltener infiziert, sie werden seltener krank, die Letalität liege nahe bei null, und sie geben die Infektion auch seltener weiter“**, so das Thesenpapier 2.0 der deutschen Universität Bremen auf Seite 6 [138]. Entsprechend sind Studien, die unter realen Bedingungen mit Outcome Endpunkten durchgeführt wurden und bei Kindern kaum Infektionen, kaum Morbidität, kaum Mortalität und nur geringe Infektiosität zeigen, deutlich in der Mehrzahl, so das Thesenpapier 3.0 der deutschen Universität Bremen [138]. **Auch im Rahmen einer aktuellen deutschen Beobachtungsstudie (5.600 berichtende Kinderärzte) zeigte sich eine überraschend niedrige Erkrankungshäufigkeit von Kindern** [168]. Die Ansteckung Erwachsener mit SARS-CoV-2 durch Kinder ist in nur einem einzigen mutmaßlichen Fall erwogen worden, jedoch nicht sicher belegbar gewesen, da die Eltern auch berufsbedingt zahlreiche Kontakte und Expositionsfaktoren für virale Infekte aufwiesen. Insofern sind die

kursierenden Schlagzeilen der öffentlichen Medien, dass Kinder mehr zum Infektionsgeschehen beitragen, als anekdotisch anzusehen.

Bei Schwangeren ist eine Anwendung von Masken bei Belastung oder in Ruhe über lange Zeiträume als kritisch anzusehen, da diese nur wenig erforscht ist [20]. Bei eindeutigen wissenschaftlichen Hinweisen auf vermehrte Totraumventilation mit möglicher Akkumulation von CO₂ im Blut der Mutter sollte, zum Schutz des Ungeborenen, von einem Maskeneinsatz der Schwangeren über 1h sowie auch unter körperlicher Belastung abgesehen werden [20,22]. Die Hyperkapnie-fördernden Masken könnten diesbezüglich als Störgröße für den fetal/maternalen CO₂-Gradienten wirken (siehe gynäkologische Effekte von Masken, Abschnitt 3.6) [20,22,28].

Die im Abschnitt 3.5 genannten Erkrankten (Persönlichkeitsstörungen mit Angst- und Panikattacken, Klaustrophobien, Demenz und Schizophrenie) sind gemäß der im betreffenden Abschnitt zitierten Literatur, wenn überhaupt, nur unter sorgfältiger Abwägung der Vor- und Nachteile zu maskieren. Zu beachten ist eine mögliche Provokation der Anzahl und Stärke von Panikattacken [77–79].

Bei Kopfschmerzpatienten ist mit einer Verschlimmerung der Beschwerden unter längerer Maskenanwendung zu rechnen (siehe auch Abschnitt 3.3., Neurologische Nebenwirkungen) [27,66-68].

Infolge des Blut-Kohlendioxid(CO₂)-Anstiegs unter Maskenanwendung treten Gefäßerweiterungen im Zentralnervensystem und eine Abnahme der Pulsation der Blutgefäße ein [27]. Interessant sind in diesem Zusammenhang auch radiologische Experimente, die eine Vermehrung des Hirnvolumens unter unterschwelligem, aber noch innerhalb der Normgrenzen liegenden CO₂-Anstieg im Blut mittels strukturellem MRT belegen. Der Blut-Kohlendioxidanstieg wurde bei 7 Probanden über eine Rückatmung erzeugt, mit resultierendem Median der Kohlendioxidkonzentration von 42 mmHg und einem Interquartilsabstand von 39,44 mmHg, was angesichts der Normwerte von 32-45 mmHg einer nur unterschwelligen Erhöhung entspricht. Bei dem Experiment war eine signifikante Zunahme des Hirnparenchymvolumens unter gesteigerten arteriellen CO₂-Werten messbar ($p<0.02$), bei gleichzeitiger Abnahme der Liquorräume ($p<0.04$), ganz gemäß der Monroe-Kelly-Doktrin, wonach das Gesamtvolumen innerhalb des Schädelns stets gleich bleibt. Die Autoren interpretierten die Hirnvolumenzunahme als Ausdruck einer Blutvolumenzunahme aufgrund einer **CO₂-anstiegsbedingten Erweiterung der Hirngefäße** [169].

Die Konsequenzen solch ebenfalls unterschwelliger Kohlendioxid- (CO₂) Anstiege auch unter Masken [13,15,18,19,22,23,25] sind für Menschen mit krankhaften Veränderungen im Schädelinneren (Aneurysmen, Tumore u. v. m.) mit entsprechenden Gefäßveränderungen [27] und Hirn-Volumenverschiebungen [169], insbesondere bei längeren Tragezeiten, unklar, könnten aber aufgrund der stattfindenden blutgasbedingten Volumenverschiebungen von großer Relevanz sein.

Ungeklärt ist angesichts des vergrößerten Totraumvolumens ebenfalls die längerfristige und vermehrte Anreicherung und Rückatmung weiterer Atemluftbestandteile, außer CO₂, sowohl bei Kindern als auch bei alten und kranken Menschen. Die Ausatemluft enthält über 250 Substanzen, hierunter reizende bzw. toxische Gase wie Stickoxide (NO), Schwefelwasserstoff (H₂S), Isopren und Aceton [170]. Für Stickoxide [47] und

Schwefelwasserstoff [46] sind in der Umweltmedizin auch bei niedriger, aber chronischer Exposition pathologische krankheitsrelevante Effekte beschrieben [46–48].

Unter den volatilen organischen Verbindungen in der Ausatemluft dominieren mengenmäßig Aceton und Isopren, zu nennen sind aber auch Allylmethylsulfid, Propionsäure und Ethanol (zum Teil bakteriellen Ursprungs) [171]. Ob solche Substanzen auch miteinander unterhalb von Masken und im von Masken erweiterten Totraumvolumen (Abbildung 3) und mit dem Maskengewebe selbst chemisch reagieren, und in welchen Mengen diese und mögliche Reaktionsprodukte rückgeatmet werden, ist bislang ungeklärt. Diese Effekte könnten neben den beschriebenen Blutgasänderungen (O_2 -Abfall und CO_2 -Anstieg) auch im Hinblick auf unerwünschte Maskeneffekte eine Rolle spielen. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf, und ist insbesondere bei längerer und allgegenwärtiger Anwendung von Masken von Interesse.

Als potenzielle soziale und wirtschaftliche Vorteile sieht die WHO die Integration von Einzelunternehmen und Gemeinden an, welche eigene Stoffmasken herstellen. Durch den weltweiten Mangel an chirurgischen Masken und persönlicher Schutzausrüstung sieht sie hier eine Einkommensquelle und weist darauf hin, dass die Wiederverwendung von Stoffmasken Kosten und Abfall reduzieren und zur Nachhaltigkeit beitragen können [2].

Neben der Frage nach Zertifizierungsverfahren für solche Stoffmasken ist in diesem Zusammenhang auch die Tatsache zu erwähnen, dass aufgrund der umfangreichen Maskenpflicht, zum Teil im Körper nicht degradierbare textile (Kunst)Stoffe in Form von Mikro- und Nanopartikeln als Bestandteile der Masken verschiedener Typen, chronisch und in ungewohntem Ausmaß, durch Inhalation in den Körper aufgenommen werden. Hier sind bei medizinischen Masken Einwegpolymere wie Polypropylen, Polyurethan, Polyacrylnitril, Polystyrol, Polycarbonat, Polyethylen und Polyester zu nennen [140]. HNO-Ärzte konnten bereits bei Maskenträgern diesbezügliche Partikel in der Nasenschleimhaut mit Schleimhautreaktionen im Sinne einer Fremdkörperreaktion mit Schnupfen nachweisen [96]. Bei Community-Masken dürften zu den oben genannten noch weitere Substanzen aus der Textilindustrie hinzukommen. Diese Stoffe wird der Körper u.a. im Rahmen einer Fremdkörperreaktion in den Atemwegen und Lungenbläschen durch Fresszellen/Makrophagen aufzunehmen versuchen, und es kann beim vergeblichen Versuch, diese abzubauen, auch zu Toxinfreisetzung und entsprechenden lokalen und auch generalisierten Reaktionen kommen [172]. Damit birgt ausgiebiger Atemschutz in der permanenten Langzeitanwendung (24/7), zumindest aus theoretischen Überlegungen heraus, potenziell auch das Risiko, zu einer maskenbedingten, pulmonalen [47] oder sogar generalisierten Störung zu führen, wie dies bereits bei Textilarbeitern, die organischen Stäuben chronisch ausgesetzt sind, aus der dritten Welt bekannt ist (Byssinose) [172].

Für die breite Öffentlichkeit ist aus wissenschaftlicher Perspektive ein Rückgreifen auf das langjährig erprobte Wissen aus dem Atemschutz der Arbeitsmedizin notwendig, um vor allem Kinder vor Schäden durch unzertifizierte Masken und unsachgemäße Anwendung zu schützen.

Die allgemeine, undefinierte und ausgedehnte Maskenpflicht – ohne Berücksichtigung von vielfältigen Veranlagungen und Anfälligkeit – widerspricht dem Anspruch einer immer bedeutender werdenden individualisierten Medizin mit Fokussierung auf die einmaligen Besonderheiten eines jeden Individuums [173].

Eine Systematic Review zum Thema Masken ist gemäß den Ergebnissen unserer Scoping Review notwendig. Die Primärstudien zeigten oft Schwächen in der Operationalisierung, insbesondere bei der Erhebung kognitiver und neuropsychologischer Parameter. Hier sind in Zukunft computerisierte Testverfahren sinnvoll. Maskenforschung sollte sich auch als zukünftiges Ziel setzen, Subgruppen zu untersuchen und zu definieren, bei denen die Atemschutzanwendung besonders riskant ist.

5. Limitierungen

Unser Vorgehen mit Fokussierung auf negative Effekte entspricht dem von Villalonga-Olives & Kawachi [12]. Mithilfe solch einer selektiven Fragestellung im Sinne der Dialektik lassen sich neue Erkenntnisse gewinnen, die sonst möglicherweise verborgen geblieben wären. Unsere Literaturrecherche konzentrierte sich auf unerwünschte negative Effekte von Masken, insbesondere um auf Risiken speziell für bestimmte Patientengruppen hinzuweisen. Deswegen fanden Veröffentlichungen nur mit Darstellung positiver Wirkungen von Masken in vorliegender Übersicht keine Beachtung.

Hinsichtlich einer Zusammenstellung von Studien mit unbedenklichen Ergebnissen bei Anwendung von Masken muss daher auf Übersichtsarbeiten mit anderer Fragestellung verwiesen werden, wobei dort auf etwaige Interessenkonflikte zu achten ist. Einige der von uns ausgeschlossenen Studien ohne negative Effekte haben methodische Schwächen gezeigt (kleine, uneinheitliche Versuchsgruppen, fehlende Kontrollgruppe auch ohne Masken wegen der Corona-Auflagen etc.) [174].

Wenn also keine negativen Begleiteffekte in Publikationen beschrieben wurden, bedeutet das nicht notwendigerweise, dass Masken ausschließlich positive Effekte haben. Es ist durchaus möglich, dass negative Effekte in der Literatur einfach keine Erwähnung fanden, und die Anzahl negativer Auswirkungen durchaus höher sein kann, als unsere Review vermuten lässt.

Wir suchten nur in einer Datenbank, deswegen könnte die Anzahl von Arbeiten über negative Maskeneffekte höher sein, als von uns berichtet.

Um für jeden Maskentyp charakteristische Effekte noch ausgedehnter beschreiben zu können, lagen uns nicht genügend wissenschaftliche Daten zu den jeweiligen speziellen Ausgestaltungen der Masken vor. Hier besteht aufgrund der aktuellen Pandemie-Lage mit umfangreicher Maskenpflicht weiterhin ein großer Forschungsbedarf.

Zudem haben die in vorliegender Arbeit ausgewerteten Experimente nicht immer einheitliche Messparameter und Untersuchungsgrößen, und berücksichtigen je nach Studie die Wirkung von Masken in Ruhe oder unter Belastung mit Anwendern unterschiedlicher Gesundheitszustände. Die Tabelle der Abbildung 2 stellt somit einen Kompromiss dar. Die Ergebnisse der Primärstudien zur Maskenanwendung zeigten oft keine natürliche Streuung der Parameter, aber häufig solch eindeutige Zusammenhänge der Symptome und der physiologischen Veränderungen, sodass eine statistische Korrelationsanalyse nicht immer notwendig war. Wir fanden zahlreiche aussagekräftige und fingerzeigende Zusammenhänge mit gemeinsam beobachteten unerwünschten Wirkungen und eine statistisch signifikante Korrelation von Sauerstoffabfall und Erschöpfung in 58 % der

betreffenden Studien ($p<0.05$). Ein statistisch signifikanter Korrelationsnachweis wurde für andere Beobachtungsgrößen bereits zuvor in zwei Primärstudien belegt [21,29].

Die am häufigsten eingesetzte persönliche Feinstaub-Schutzausrüstung im Rahmen der COVID-19-Pandemie ist die N95-Maske [23]. Aufgrund ihrer Eigenschaften (bessere Filterfunktion, jedoch größerer Atemwegswiderstand und mehr Totraumvolumen als andere Masken) vermag die N95-Maske negative Effekte einer solchen Schutzausrüstung deutlicher herauszustellen, als andere (**Abbildung 3**). Deswegen ist eine relativ häufige Betrachtung und Bewertung der N95-Masken innerhalb der gefundenen Studien (30 der 44 quantitativ ausgewerteten Studien, 68 %), im Rahmen unserer Fragestellung sogar von Vorteil.

Immerhin bleibt aber festzustellen, dass die auf dem Markt vertriebenen Community-Masken den in wissenschaftlichen Studien besser untersuchten Schutzausrüstungen, wie chirurgische Maske und N95-Maske, in zunehmendem Maße ähneln, da zahlreiche Hersteller und Anwender der Community-Masken eine Annäherung an den professionellen Standard (chirurgisch, N95/ FFP2) anstreben. Aktuelle Studienergebnisse zu Community-Masken weisen auf ähnliche Auswirkungen für die Atemphysiologie hin, wie sie für medizinische Masken beschrieben wurden. In einer aktuellen Veröffentlichung provozierten auch Stoffmasken (Community masks) einen messbaren Anstieg von Kohlendioxid $PtCO_2$ bei den Trägern unter Belastung, und kamen den chirurgischen Masken in diesem Effekt sehr nahe [21].

Die meisten in unserer Arbeit zitierten Studien beinhalteten nur kurze Beobachtungs- und Anwendungszeiträume (untersuchte Masken-Tragedauern von 5 Minuten [26] bis 12 Stunden [19]. In nur einer Studie wurde ein maximaler Beobachtungszeitraum von geschätzt 2 Monaten gewählt [37]. Deshalb könnten die tatsächlichen negativen Effekte von Masken über eine längere Anwendungszeit ausgeprägter sein, als in unserer Arbeit dargestellt.

6. Schlussfolgerung

Einerseits bleibt die Befürwortung einer ausgedehnten Maskenpflicht vorwiegend theoretisch begründet und lässt sich nur mit Einzelfallberichten, Plausibilitätsargumenten basierend auf Modellberechnungen und vielversprechenden in vitro-Labortestungen aufrechterhalten.

Zudem zeigen aktuelle Studien zu SARS-CoV-2 sowohl eine deutlich geringere Infektiosität [175] als auch eine deutlich niedrigere Fallsterblichkeit als bisher angenommen, denn es konnte berechnet werden, dass der mediane korrigierte IFR-Wert (infection fatality rate) an Orten mit einer unterdurchschnittlichen globalen COVID-19-Bevölkerungssterblichkeitsrate 0,10 % betrug [176]. Anfang Oktober 2020 hat auch die WHO öffentlich verkündet, dass laut Hochrechnungen COVID-19 für ca. 0,14 % der Erkrankten tödlich verläuft – im Vergleich zu 0,10 % bei der endemischen Grippe, wiederum eine Zahl, die weitaus niedriger ist, als erwartet [177].

Andererseits sind die von Masken ausgehenden Effekte durchaus klinisch relevant. Im Rahmen unserer Arbeit konzentrierten wir uns ausschließlich auf die unerwünschten und

negativen Effekte, die durch Mund-Nase bedeckende Masken erzeugt werden können. Valide signifikante Hinweise auf in Kombination auftretende, maskenbedingte Veränderungen der Atemphysiologie beim Träger wurden objektiviert ($p<0.05$, $n\geq50$ %), und wir fanden ein gehäuftes, gemeinsames Auftreten der verschiedenen unerwünschten Wirkungen innerhalb der betreffenden Studien mit signifikant gemessenen Effekten (**Abbildung 2**). Wir konnten im Rahmen der quantitativen Auswertung trotz der Unterschiedlichkeiten der Primärstudien beispielsweise eine statistisch signifikante Korrelation der beobachteten Nebenwirkung Blut-Sauerstoff-Abfall und dem Symptom Erschöpfung mit $p<0.05$ nachweisen.

Unsere Literatur-Analyse zeigt, dass sowohl bei Gesunden als auch bei Kranken ein „**Masken Induziertes Erschöpfungs Syndrom**“ (MIES) auftreten kann, mit typischen Veränderungen und Symptomen, die oft in Kombination beobachtet werden, wie beispielsweise **Zunahme des Atem-Totraumvolumens** [22,24,58,59], **Zunahme des Atemwiderstandes** [31,35,60,61], **Anstieg des Kohlendioxids im Blut** [13,15,17,19,21–29,30,35], **Abnahme der Sauerstoffsättigung im Blut** [18,19,21,23,28–34], **Zunahme der Herzfrequenz** [23,29,30,35], **Anstieg des Blutdrucks** [25,35], **Abnahme der kardiopulmonalen Kapazität** [31], **Anstieg der Atemfrequenz** [15,21,23,34,36], **Luftnot und Atemschwierigkeiten** [15,17,19,21,23,25,29,31,34,35,60,71,85,101,133], **Kopfschmerzen** [19,27,29,37,66–68,71,83], **Schwindel** [23,29], **Hitzegefühl und Durchfeuchtung** [17,22,29,31,35,44,71,85,133], **verminderte Konzentrationsfähigkeit** [29], **verminderte Denkfähigkeit** [36,37], **Benommenheit** [19,29,32,36,37], **Abnahme von Empathie-Wahrnehmung** [99], **gestörte Hautbarrierefunktion** [37,72,73] mit **Juckreiz** [31,35,67,71–73,91–93], **Akne, Hautläsionen und -Irritationen** [37,72,73], und **insgesamt wahrgenommener Erschöpfung** [15,19,21,29,31,32,34,35,69] (**Abbildung 2-4**).

Maskentragen bewirkt zwar nicht durchgehend klinische Normabweichungen physiologischer Parameter, jedoch ist über einen länger dauernden Effekt mit unterschwelliger Wirkung und signifikanter Verschiebung in pathologische Richtung auch gemäß der wissenschaftlichen Literatur eine langfristige pathologische Folge mit klinischer Relevanz zu erwarten. Für Normwerte nicht überschreitende, aber anhaltend wiederkehrende Veränderungen, wie **Blut-Kohlendioxid-Anstieg** [38,160], **Herzfrequenzsteigerung** [55] oder **Atemfrequenzsteigerung** [56,57], welche unter Maskentragen belegt sind [13,15,17,19,21–30,34,35] (**Abbildung 2**), ist eine langfristige Erzeugung von **Bluthochdruck** [25,35], **Arteriosklerose**, **koronarer Herzerkrankung** und von **neurologischen Erkrankungen** wissenschaftlich naheliegend [38,55–57,160].

Dieses pathogenetische Schädigungsprinzip mit einer chronisch unterschwellig wirkenden Noxe über lange Zeiträume (chronic low-dose exposure with long-term effect), welches zu Krankheit oder krankheitsrelevanten Zuständen führt, wurde bereits in vielen Bereichen der Umweltmedizin ausführlichst untersucht und beschrieben [38,46–54].

Ausgedehntes Maskentragen hätte zufolge der von uns gefundenen Fakten und Zusammenhänge das Potenzial, eine über Blutgasmodifikationen induzierte, durch Hirnzentren gesteuerte, chronische sympathische Stress-Reaktion zu bewirken. Dies wiederum induziert und triggert neben einer Immunsuppression das metabolische Syndrom mit **kardiovaskulären und neurologischen Erkrankungen**.

Wir fanden in der ausgewerteten Masken-Literatur nicht nur Hinweise auf solch mögliche Langzeitfolgen, sondern auch Belege einer Zunahme direkter kurzfristiger Auswirkungen mit ansteigender Maskentragedauer im Sinne kumulativer Effekte für: Kohlendioxid-Retention, Benommenheit, Kopfschmerzen, Erschöpfungsgefühl, Hautirritationen (Rötung, Juckreiz) und mikrobiologische Kontamination (bakterielle Keimbesiedlung) [19,22,37,66,68,69,89, 91,92].

Unklar bleibt insgesamt die genaue Häufigkeit der beschriebenen Symptomkonstellation MIES in der maskenanwendenden Allgemeinbevölkerung, die sich wegen der zu geringen Datenlage nicht abschätzen lässt.

Theoretisch reichen die maskeninduzierten Effekte des Blutgas-Sauerstoffabfalls und Kohlendioxid-Anstiegs bis auf die zelluläre Ebene mit Induktion des Transkriptionsfaktors HIF (Hypoxie-induzierten-Faktors) und gesteigerter Entzündungs- sowie krebsfördernder Wirkung [160] und können so auch auf vorbestehende Krankheitsbilder negativ Einfluss nehmen.

Das durch Masken potenziell auslösbare MIES (**Abbildungen 3 und 4**) steht auf jeden Fall im Kontrast zur **WHO-Definition der Gesundheit**, denn „Gesundheit ist ein Zustand des vollständigen körperlichen, geistigen und sozialen Wohlergehens und nicht nur das Fehlen von Krankheit oder Gebrechen.“ [178].

Sämtliche in unserer Arbeit gefundenen, wissenschaftlichen Fakten erweitern den Wissensstand für eine differenzierte Betrachtung der Masken-Debatte. Dieser Zugewinn kann sowohl für Entscheidungsträger relevant sein, welche sich während der Pandemie unter ständiger Überprüfung der Verhältnismäßigkeit mit dem Thema Maskentragepflicht auseinandersetzen müssen als auch für Ärzte, die auf dieser Grundlage ihre Patienten angemessener beraten können. Für bestimmte Erkrankungen ergibt sich unter Beachtung der in vorliegender Arbeit gefundenen Literatur im Hinblick auf eine Maskenpflicht für den behandelnden Arzt auch eine Abwägungsnotwendigkeit zwischen Nutzen und Risiko. Bei insgesamt streng wissenschaftlicher Betrachtung kann im Rahmen einer medizinischen Begutachtung eine Empfehlung für eine Maskenbefreiung vertretbar werden(**Abbildung 5**).

Abbildung 5: Krankheiten / Prädispositionen mit gemäß der gefundenen Literatur bedeutenden Risiken bei Masken-Anwendung als Abwägungsindikation für Atteste

<u>Erhöhtes Risiko unerwünschter Wirkungen bei Maskenanwendung:</u>		
<u>Internistische Erkrankungen</u>	<u>Psychiatrische Erkrankungen</u>	<u>Neurologische Erkrankungen</u>
COPD	Klaustrophobie	Migräne und Kopfschmerzpatienten
Schlafapnoesyndrom	Panikstörung	Pat. mit intrakraniellen Raumforderungen
fortgeschrittene Niereninsuffizienz	Persönlichkeitsstörungen	Epilepsien
Adipositas	Demenz	
Herz- Lungenfunktionsstörungen	Schizophrenie	
Asthmatiker	hilflose Patienten	
	fixierte und sedierte Patienten	
<u>Pädiatrische Erkrankungen</u>	<u>HNO Erkrankungen</u>	<u>Arbeitsmedizinische Einschränkungen</u>
Asthma	Stimmbanderkrankungen	mittelschwere/schwere körperliche Arbeit
Atemwegserkrankungen	Rhinitis und obstruktive Erkrankungen	
kardiopulmonale Erkrankungen		
neuromuskuläre Erkrankungen		
Epilepsien		
	<u>Dermatologische Erkrankungen</u>	<u>Gynäkologische Einschränkungen</u>
	Akne	Schwangere
	Atopiker	

Neben dem Schutz der Gesundheit seiner Patienten sollte der Arzt auch sein Handeln nach dem **Leitbild der Deklaration von Genf von 1948, in seiner 2017 überarbeiteten Fassung**, ausrichten. Demnach gelobt jeder Arzt, die Gesundheit und die Würde seines Patienten an die erste Stelle zu setzen und selbst unter Bedrohung sein medizinisches Wissen nicht zur Verletzung von Menschenrechten und bürgerlichen Freiheiten anzuwenden [9].

Im Rahmen dieser Erkenntnisse propagieren wir daher ein ausdrücklich ärztlich besonnenes, gesetzeskonformes Handeln unter Abwägung von wissenschaftlich faktischer Realität [2,4,5,16,130,132,143,175–177] gegen einen vorwiegend von Annahmen geleiteten Anspruch auf eine generelle Wirksamkeit von Masken. Jedoch stets unter der Beachtung möglicher unerwünschter individueller Effekte für den betroffenen Patienten und Maskenträger, ganz gemäß den Prinzipien der Evidence Based Medicine und den ethischen Leitlinien eines Arztes.

Die Ergebnisse vorliegender Literaturübersicht könnten dabei helfen, das Maskentragen in die differenzialdiagnostische pathophysiologische Ursachen-Abwägung eines jeden Arztes einzubeziehen, wenn eine entsprechende Symptomatik vorliegt (**MIES, Abbildung 4**). Auf diese Weise kann der Arzt auf einen ersten **Beschwerden-Katalog** zurückgreifen, welcher mit Maskentragen in Verbindung gebracht werden kann (**Abbildung 2**) und auch bestimmte Erkrankungen von der allgemeinen Maskenpflicht ausschließen (**Abbildung 5**). Für Wissenschaftler lassen sich bei Aussicht auf eine anhaltende Maskenpflicht in der Alltagsanwendung Bereiche für weitere Forschungsaktivitäten ableiten. Aus unserer Sicht sind weitere Untersuchungen insbesondere im gynäkologischen (Fetal- und Embryonalzeit) und pädiatrischen Bereich wünschenswert, da es sich bei Kindern um eine vulnerable Gruppe handelt, die mit den längsten und damit tiefgreifendsten Konsequenzen einer potenziell risikobehafteten Maskenanwendung konfrontiert sind. Auch eine Grundlagenforschung auf Zell-Ebene bezüglich maskeninduzierter Triggerung des Transkriptionsfaktors HIF mit potenzieller Förderung von Immunsuppression und Kanzerogenität erscheint in diesem Zusammenhang sinnvoll. Unsere Scoping Review zeigt aus wissenschaftlicher Sicht die Notwendigkeit einer Systematic Review.

Die beschriebenen, maskenbedingten Veränderungen der Atemphysiologie können die Blutgase des Trägers subklinisch, und zum Teil auch klinisch manifest, ungünstig beeinflussen und damit auf die Grundlage allen aeroben Lebens – die äußere und innere Atmung – negativ einwirken, mit Beeinflussung unterschiedlichster Organsysteme und Stoffwechselprozesse, mit körperlichen, psychischen und sozialen Folgen für das menschliche Individuum.

Autorenbeiträge: Konzeptualisierung, K.K. und O.H.; Methodik, K.K. und O.H.; Software, O.H.; formale Analyse, K.K., O.H., P.G., A.P., B.K., D.G., S.F. und O.K.; Untersuchung, K.K., O.H., P.G., A.P., B.K., D.G., S.F. und O.K.; Schreiben - Originalentwurfsvorbereitung, K.K., O.H., P.G., A.P., B.K., D.G., S.F. und O.K.; Schreiben - Überprüfung und Bearbeitung von K.K., O.H., P.G., A.P., B.K., D.G., S.F. und O.K.

Alle Autoren haben die veröffentlichte Version des Manuskripts gelesen und sind damit einverstanden.

Finanzierung: Diese Forschung erhielt keine externe Finanzierung.

Erklärung des Institutional Review Board: Nicht anwendbar.

Einverständniserklärung: Nicht anwendbar.

Datenverfügbarkeitserklärung: Nicht anwendbar.

Danksagung: Wir danken Bonita Blankart für die Übersetzung des Manuskripts. Für Unterstützung auf ihrem Spezialgebiet möchten wir uns bedanken bei: Tanja Boehnke (Psychologie), Nicola Fels (Pädiatrie), Michael Grönke (Anästhesiologie), Basile Marcos (Psychiatrie), Bartholomeus Maris (Gynäkologie) und Markus Veit (Apotheker).

Interessenkonflikte: Die Autoren erklären keinen Interessenkonflikt.

Literatur

1. Organization, W.H. WHO - Advice on the Use of Masks in the Context of COVID-19: Interim Guidance, 6 April 2020. 2020.
2. Organization, W.H. WHO - Advice on the Use of Masks in the Context of COVID-19: Interim Guidance, 5 June 2020. 2020.
3. Chu, D.K.; Akl, E.A.; Duda, S.; Solo, K.; Yaacoub, S.; Schünemann, H.J.; Chu, D.K.; Akl, E.A.; El-harakeh, A.; Bognanni, A. et al. Physical Distancing, Face Masks, and Eye Protection to Prevent Person-to-Person Transmission of SARS-CoV-2 and COVID-19: A Systematic Review and Meta-Analysis. *The Lancet* **2020**, *395*, 1973–1987, doi:10.1016/S0140-6736(20)31142-9.
4. Jefferson, T.; Jones, M.; Ansari, L.A.A.; Bawazeer, G.; Beller, E.; Clark, J.; Conly, J.; Mar, C.D.; Dooley, E.; Ferroni, E.; et al. Physical Interventions to Interrupt or Reduce the Spread of Respiratory Viruses. Part 1 - Face Masks, Eye Protection and Person Distancing: Systematic Review and Meta-Analysis. *medRxiv* **2020**, 2020.03.30.20047217, doi:10.1101/2020.03.30.20047217.
5. Kappstein, I. Mund-Nasen-Schutz in der Öffentlichkeit: Keine Hinweise für eine Wirksamkeit. *Krankenhaushygiene up2date* **2020**, *15*, 279–295, doi:10.1055/a-1174-6591.
6. De Brouwer, C. Wearing a Mask, a Universal Solution Against COVID-19 or an Additional Health Risk? **2020**, doi:10.13140/RG.2.2.32273.66403.
7. Ewig, S.; Gatermann, S.; Lemmen, S. Die Maskierte Gesellschaft. *Pneumologie* **2020**, *74*, 405–408, doi:10.1055/a-1199-4525.
8. Great Barrington Declaration Great Barrington Declaration and Petition Available online: <https://gbdeclaration.org/> (accessed on 9 November 2020).
9. WMA - The World Medical Association-WMA Declaration of Geneva.
10. WMA - The World Medical Association-WMA Declaration of Helsinki – Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects.
11. WMA - The World Medical Association-WMA Declaration of Lisbon on the Rights of the Patient.
12. Villalonga-Olives, E.; Kawachi, I. The Dark Side of Social Capital: A Systematic Review of the Negative Health Effects of Social Capital. *Soc Sci Med* **2017**, *194*, 105–127, doi:10.1016/j.socscimed.2017.10.020.
13. Butz, U. Rückatmung von Kohlendioxid bei Verwendung von Operationsmasken als hygienischer Mundschutz an medizinischem Fachpersonal, Universitätsbibliothek der Technischen Universität München, 2005.
14. Smolka, L.; Borkowski, J.; Zaton, M. The Effect of Additional Dead Space on Respiratory Exchange Ratio and Carbon Dioxide Production Due to Training. *J Sports Sci Med* **2014**, *13*, 36–43.
15. Roberge, R.J.; Kim, J.-H.; Benson, S.M. Absence of Consequential Changes in Physiological, Thermal and Subjective Responses from Wearing a Surgical Mask. *Respiratory Physiology & Neurobiology* **2012**, *181*, 29–35, doi:10.1016/j.resp.2012.01.010.
16. Matuschek, C.; Moll, F.; Fangerau, H.; Fischer, J.C.; Zänker, K.; van Griensven, M.; Schneider, M.; Kindgen-Milles, D.; Knoefel, W.T.; Lichtenberg, A.; et al. Face Masks: Benefits and Risks during the COVID-19 Crisis. *European Journal of Medical Research* **2020**, *25*, 32, doi:10.1186/s40001-020-00430-5.
17. Roberge, R.J.; Coca, A.; Williams, W.J.; Powell, J.B.; Palmiero, A.J. Physiological Impact of the N95 Filtering Facepiece Respirator on Healthcare Workers. *Respir Care* **2010**, *55*, 569–577.
18. Pifarré, F.; Zabala, D.D.; Grazioli, G.; de Yzaguirre i Maura, I. COVID 19 and Mask in Sports. *Apunts Sports Medicine* **2020**, doi:10.1016/j.apunsm.2020.06.002.
19. Rebmann, T.; Carrico, R.; Wang, J. Physiologic and Other Effects and Compliance with Long-Term Respirator Use among Medical Intensive Care Unit Nurses. *Am J Infect Control* **2013**, *41*, 1218–1223, doi:10.1016/j.ajic.2013.02.017.
20. Roeckner, J.T.; Krstić, N.; Sipe, B.H.; Običan, S.G. N95 Filtering Facepiece Respirator Use during Pregnancy: A Systematic Review. *Am J Perinatol* **2020**, *37*, 995–1001, doi:10.1055/s-0040-1712475.
21. Georgi C, Haase-Fielitz A, Meretz D, Gäsert L, Butter C Einfluss gängiger Gesichtsmasken auf physiologische Parameter und Belastungsempfinden unter arbeitstypischer körperlicher Anstrengung. *Deutsches Ärzteblatt* **2020**, *674–5*, doi:DOI: 10.3238/arztebl.2020.0674.

22. Roberge, R.J.; Kim, J.-H.; Powell, J.B. N95 Respirator Use during Advanced Pregnancy. *Am J Infect Control* **2014**, *42*, 1097–1100, doi:10.1016/j.ajic.2014.06.025.
23. Kyung, S.Y.; Kim, Y.; Hwang, H.; Park, J.-W.; Jeong, S.H. Risks of N95 Face Mask Use in Subjects With COPD. *Respir Care* **2020**, *65*, 658–664, doi:10.4187/respcare.06713.
24. Epstein, D.; Korytny, A.; Isenberg, Y.; Marcusohn, E.; Zukermann, R.; Bishop, B.; Minha, S.; Raz, A.; Miller, A. Return to Training in the COVID-19 Era: The Physiological Effects of Face Masks during Exercise. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* **2020**, *n/a*, doi:10.1111/sms.13832.
25. Mo, Y. Risk and Impact of Using Mask on COPD Patients with Acute Exacerbation during the COVID-19 Outbreak: A Retrospective Study. **2020**, doi:10.21203/rs.3.rs-39747/v1.
26. Goh, D.Y.T.; Mun, M.W.; Lee, W.L.J.; Teoh, O.H.; Rajgor, D.D. A Randomised Clinical Trial to Evaluate the Safety, Fit, Comfort of a Novel N95 Mask in Children. *Scientific Reports* **2019**, *9*, 18952, doi:10.1038/s41598-019-55451-w.
27. Bharatendu, C.; Ong, J.J.Y.; Goh, Y.; Tan, B.Y.Q.; Chan, A.C.Y.; Tang, J.Z.Y.; Leow, A.S.; Chin, A.; Sooi, K.W.X.; Tan, Y.L.; et al. Powered Air Purifying Respirator (PAPR) Restores the N95 Face Mask Induced Cerebral Hemodynamic Alterations among Healthcare Workers during COVID-19 Outbreak. *J Neurol Sci* **2020**, *417*, 117078, doi:10.1016/j.jns.2020.117078.
28. Tong, P.S.Y.; Kale, A.S.; Ng, K.; Loke, A.P.; Choolani, M.A.; Lim, C.L.; Chan, Y.H.; Chong, Y.S.; Tambyah, P.A.; Yong, E.-L. Respiratory Consequences of N95-Type Mask Usage in Pregnant Healthcare Workers—a Controlled Clinical Study. *Antimicrobial Resistance & Infection Control* **2015**, *4*, 48, doi:10.1186/s13756-015-0086-z.
29. Liu, C.; Li, G.; He, Y.; Zhang, Z.; Ding, Y. Effects of Wearing Masks on Human Health and Comfort during the COVID-19 Pandemic. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* **2020**, *531*, 012034, doi:10.1088/1755-1315/531/1/012034.
30. Beder, A.; Büyükköçak, U.; Sabuncuoğlu, H.; Keskil, Z.A.; Keskil, S. Preliminary Report on Surgical Mask Induced Deoxygenation during Major Surgery. *Neurocirugia (Astur)* **2008**, *19*, 121–126, doi:10.1016/s1130-1473(08)70235-5.
31. Fikenzer, S.; Uhe, T.; Lavall, D.; Rudolph, U.; Falz, R.; Busse, M.; Hepp, P.; Laufs, U. Effects of Surgical and FFP2/N95 Face Masks on Cardiopulmonary Exercise Capacity. *Clin Res Cardiol* **2020**, *1–9*, doi:10.1007/s00392-020-01704-y.
32. Jagim, A.R.; Dominy, T.A.; Camic, C.L.; Wright, G.; Doberstein, S.; Jones, M.T.; Oliver, J.M. Acute Effects of the Elevation Training Mask on Strength Performance in Recreational Weight Lifters. *J Strength Cond Res* **2018**, *32*, 482–489, doi:10.1519/JSC.0000000000002308.
33. Porcari, J.P.; Probst, L.; Forrester, K.; Doberstein, S.; Foster, C.; Cress, M.L.; Schmidt, K. Effect of Wearing the Elevation Training Mask on Aerobic Capacity, Lung Function, and Hematological Variables. *J Sports Sci Med* **2016**, *15*, 379–386.
34. Kao, T.-W.; Huang, K.-C.; Huang, Y.-L.; Tsai, T.-J.; Hsieh, B.-S.; Wu, M.-S. The Physiological Impact of Wearing an N95 Mask during Hemodialysis as a Precaution against SARS in Patients with End-Stage Renal Disease. *J Formos Med Assoc* **2004**, *103*, 624–628.
35. Li, Y.; Tokura, H.; Guo, Y.P.; Wong, A.S.W.; Wong, T.; Chung, J.; Newton, E. Effects of Wearing N95 and Surgical Facemasks on Heart Rate, Thermal Stress and Subjective Sensations. *Int Arch Occup Environ Health* **2005**, *78*, 501–509, doi:10.1007/s00420-004-0584-4.
36. Johnson, A.T. Respirator Masks Protect Health but Impact Performance: A Review. *Journal of Biological Engineering* **2016**, *10*, *4*, doi:10.1186/s13036-016-0025-4.
37. Rosner, E. Adverse Effects of Prolonged Mask Use among Healthcare Professionals during COVID-19. **2020**, doi:10.23937/2474-3658/1510130.
38. Azuma, K.; Kagi, N.; Yanagi, U.; Osawa, H. Effects of Low-Level Inhalation Exposure to Carbon Dioxide in Indoor Environments: A Short Review on Human Health and Psychomotor Performance. *Environment International* **2018**, *121*, 51–56, doi:10.1016/j.envint.2018.08.059.
39. Drechsler, M.; Morris, J. Carbon Dioxide Narcosis. In *StatPearls*; StatPearls Publishing: Treasure Island (FL), 2020.
40. Noble, J.; Jones, J.G.; Davis, E.J. Cognitive Function during Moderate Hypoxaemia. *Anaesth Intensive Care* **1993**, *21*, 180–184, doi:10.1177/0310057X9302100208.
41. Fothergill, D.M.; Hedges, D.; Morrison, J.B. Effects of CO₂ and N₂ Partial Pressures on Cognitive and Psychomotor Performance. *Undersea Biomed Res* **1991**, *18*, 1–19.

42. Spitzer, M. Masked Education? The Benefits and Burdens of Wearing Face Masks in Schools during the Current Corona Pandemic. *Trends Neurosci Educ* **2020**, *20*, 100138, doi:10.1016/j.tine.2020.100138.
43. Heider, C.A.; Álvarez, M.L.; Fuentes-López, E.; González, C.A.; León, N.I.; Verástegui, D.C.; Badía, P.I.; Napolitano, C.A. Prevalence of Voice Disorders in Healthcare Workers in the Universal Masking COVID-19 Era. *The Laryngoscope* **2020**, *n/a*, doi:10.1002/lary.29172.
44. Roberge, R.J.; Kim, J.-H.; Coca, A. Protective Facemask Impact on Human Thermoregulation: An Overview. *Ann Occup Hyg* **2012**, *56*, 102–112, doi:10.1093/annhyg/mer069.
45. Palmiero, A.J.; Symons, D.; Morgan, J.W.; Shaffer, R.E. SPEECH INTELLIGIBILITY ASSESSMENT OF PROTECTIVE FACEMASKS AND AIR-PURIFYING RESPIRATORS. *J Occup Environ Hyg* **2016**, *13*, 960–968, doi:10.1080/15459624.2016.1200723.
46. Simonton, D.; Spears, M. Human Health Effects from Exposure to Low-Level Concentrations of Hydrogen Sulfide. *Occupational health & safety (Waco, Tex.)* **2007**, *76*, 102, 104.
47. Salimi, F.; Morgan, G.; Rolfe, M.; Samoli, E.; Cowie, C.T.; Hanigan, I.; Knibbs, L.; Cope, M.; Johnston, F.H.; Guo, Y.; et al. Long-Term Exposure to Low Concentrations of Air Pollutants and Hospitalisation for Respiratory Diseases: A Prospective Cohort Study in Australia. *Environment International* **2018**, *121*, 415–420, doi:10.1016/j.envint.2018.08.050.
48. Dominici, F.; Schwartz, J.; Di, Q.; Braun, D.; Choirat, C.; Zanobetti, A. Assessing Adverse Health Effects of Long-Term Exposure to Low Levels of Ambient Air Pollution: Phase 1. *Res Rep Health Eff Inst* **2019**, 1–51.
49. Alleva, R.; Manzella, N.; Gaetani, S.; Bacchetti, T.; Bracci, M.; Ciarapica, V.; Monaco, F.; Borghi, B.; Amati, M.; Ferretti, G.; et al. Mechanism Underlying the Effect of Long-Term Exposure to Low Dose of Pesticides on DNA Integrity. *Environ Toxicol* **2018**, *33*, 476–487, doi:10.1002/tox.22534.
50. Roh, T.; Lynch, C.F.; Weyer, P.; Wang, K.; Kelly, K.M.; Ludewig, G. Low-Level Arsenic Exposure from Drinking Water Is Associated with Prostate Cancer in Iowa. *Environmental Research* **2017**, *159*, 338–343, doi:10.1016/j.envres.2017.08.026.
51. Deering, K.E.; Callan, A.C.; Prince, R.L.; Lim, W.H.; Thompson, P.L.; Lewis, J.R.; Hinwood, A.L.; Devine, A. Low-Level Cadmium Exposure and Cardiovascular Outcomes in Elderly Australian Women: A Cohort Study. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* **2018**, *221*, 347–354, doi:10.1016/j.ijheh.2017.12.007.
52. Kosnett, M. Health Effects of Low Dose Lead Exposure in Adults and Children, and Preventable Risk Posed by the Consumption of Game Meat Harvested with Lead Ammunition. **2009**, doi:10.4080/ilsa.2009.0103.
53. Crinnion, W.J. Environmental Medicine, Part Three: Long-Term Effects of Chronic Low-Dose Mercury Exposure. *Altern Med Rev* **2000**, *5*, 209–223.
54. Wu, S.; Han, J.; Vleugels, R.A.; Puett, R.; Laden, F.; Hunter, D.J.; Qureshi, A.A. Cumulative Ultraviolet Radiation Flux in Adulthood and Risk of Incident Skin Cancers in Women. *British Journal of Cancer* **2014**, *110*, 1855–1861, doi:10.1038/bjc.2014.43.
55. Custodis Florian; Schirmer Stephan H.; Baumhäkel Magnus; Heusch Gerd; Böhm Michael; Laufs Ulrich Vascular Pathophysiology in Response to Increased Heart Rate. *Journal of the American College of Cardiology* **2010**, *56*, 1973–1983, doi:10.1016/j.jacc.2010.09.014.
56. Russo, M.A.; Santarelli, D.M.; O'Rourke, D. The Physiological Effects of Slow Breathing in the Healthy Human. *Breathe (Sheff)* **2017**, *13*, 298–309, doi:10.1183/20734735.009817.
57. Nuckowska, M.K.; Gruszecki, M.; Kot, J.; Wolf, J.; Guminski, W.; Frydrychowski, A.F.; Wtorek, J.; Narkiewicz, K.; Winklewski, P.J. Impact of Slow Breathing on the Blood Pressure and Subarachnoid Space Width Oscillations in Humans. *Scientific Reports* **2019**, *9*, 6232, doi:10.1038/s41598-019-42552-9.
58. Johnson, A.T.; Scott, W.H.; Lausted, C.G.; Coyne, K.M.; Sahota, M.S.; Johnson, M.M. Effect of External Dead Volume on Performance While Wearing a Respirator. *AIHAJ - American Industrial Hygiene Association* **2000**, *61*, 678–684, doi:10.1080/15298660008984577.
59. Xu, M.; Lei, Z.; Yang, J. Estimating the Dead Space Volume Between a Headform and N95 Filtering Facepiece Respirator Using Microsoft Kinect. *Journal of occupational and environmental hygiene* **2015**, *12*, doi:10.1080/15459624.2015.1019078.
60. Lee, H.P.; Wang, D.Y. Objective Assessment of Increase in Breathing Resistance of N95 Respirators on Human Subjects. *Ann Occup Hyg* **2011**, *55*, 917–921, doi:10.1093/annhyg/mer065.

61. Roberge, R.; Bayer, E.; Powell, J.; Coca, A.; Roberge, M.; Benson, S. Effect of Exhaled Moisture on Breathing Resistance of N95 Filtering Facepiece Respirators. *The Annals of occupational hygiene* **2010**, *54*, 671–7, doi:10.1093/annhyg/meq042.
62. Jamjoom, A.; Nikkar-Esfahani, A.; Fitzgerald, J. Operating Theatre Related Syncope in Medical Students: A Cross Sectional Study. *BMC Medical Education* **2009**, *9*, 14, doi:10.1186/1472-6920-9-14.
63. Asadi-Pooya, A.A.; Cross, J.H. Is Wearing a Face Mask Safe for People with Epilepsy? *Acta Neurologica Scandinavica* **2020**, *142*, 314–316, doi:10.1111/ane.13316.
64. Lazzarino, A.I.; Steptoe, A.; Hamer, M.; Michie, S. Covid-19: Important Potential Side Effects of Wearing Face Masks That We Should Bear in Mind. *BMJ* **2020**, *369*, doi:10.1136/bmj.m2003.
65. Guarinha, M.S.B.; Garzon, E.; Buchpigel, C.A.; Tazima, S.; Yacubian, E.M.T.; Sakamoto, A.C. Hyperventilation Revisited: Physiological Effects and Efficacy on Focal Seizure Activation in the Era of Video-EEG Monitoring. *Epilepsia* **2005**, *46*, 69–75, doi:https://doi.org/10.1111/j.0013-9580.2005.11104.x.
66. Ong, J.J.Y.; Bharatendu, C.; Goh, Y.; Tang, J.Z.Y.; Sooi, K.W.X.; Tan, Y.L.; Tan, B.Y.Q.; Teoh, H.-L.; Ong, S.T.; Allen, D.M.; et al. Headaches Associated With Personal Protective Equipment - A Cross-Sectional Study Among Frontline Healthcare Workers During COVID-19. *Headache* **2020**, *60*, 864–877, doi:10.1111/head.13811.
67. Jacobs, J.L.; Ohde, S.; Takahashi, O.; Tokuda, Y.; Omata, F.; Fukui, T. Use of Surgical Face Masks to Reduce the Incidence of the Common Cold among Health Care Workers in Japan: A Randomized Controlled Trial. *Am J Infect Control* **2009**, *37*, 417–419, doi:10.1016/j.ajic.2008.11.002.
68. Ramirez-Moreno, J.M. Mask-Associated de Novo Headache in Healthcare Workers during the Covid-19 Pandemic. | MedRxiv. **2020**, doi:https://doi.org/10.1101/2020.08.07.20167957.
69. Shenal, B.V.; Radonovich, L.J.; Cheng, J.; Hodgson, M.; Bender, B.S. Discomfort and Exertion Associated with Prolonged Wear of Respiratory Protection in a Health Care Setting. *J Occup Environ Hyg* **2011**, *9*, 59–64, doi:10.1080/15459624.2012.635133.
70. Rains, S.A. The Nature of Psychological Reactance Revisited: A Meta-Analytic Review. *Human Communication Research* **2013**, *39*, 47–73, doi:https://doi.org/10.1111/j.1468-2958.2012.01443.x.
71. Matusiak, Ł.; Szepietowska, M.; Krajewski, P.; Bialynicki-Birula, R.; Szepietowski, J.C. Inconveniences Due to the Use of Face Masks during the COVID-19 Pandemic: A Survey Study of 876 Young People. *Dermatologic Therapy* **2020**, *33*, e13567, doi:10.1111/dth.13567.
72. Foo, C.C.I.; Goon, A.T.J.; Leow, Y.; Goh, C. Adverse Skin Reactions to Personal Protective Equipment against Severe Acute Respiratory Syndrome – a Descriptive Study in Singapore. *Contact Dermatitis* **2006**, *55*, 291–294, doi:10.1111/j.1600-0536.2006.00953.x.
73. Hua, W.; Zuo, Y.; Wan, R.; Xiong, L.; Tang, J.; Zou, L.; Shu, X.; Li, L. Short-Term Skin Reactions Following Use of N95 Respirators and Medical Masks. *Contact Dermatitis* **2020**, *83*, 115–121, doi:10.1111/cod.13601.
74. Prousa, D. Studie zu psychischen und psychovegetativen Beschwerden mit den aktuellen Mund-Nasenschutz-Verordnungen. **2020**, doi:10.23668/psycharchives.3135.
75. Sell, T.K.; Hosangadi, D.; Trotchaud, M. Misinformation and the US Ebola Communication Crisis: Analyzing the Veracity and Content of Social Media Messages Related to a Fear-Inducing Infectious Disease Outbreak. *BMC Public Health* **2020**, *20*, 550, doi:10.1186/s12889-020-08697-3.
76. Ryan, R.M.; Deci, E.L. Self-determination theory and the role of basic psychological needs in personality and the organization of behavior. In *Handbook of personality: Theory and research*, 3rd ed; The Guilford Press: New York, NY, US, 2008; pp. 654–678 ISBN 978-1-59385-836-0.
77. Kent, J.M.; Papp, L.A.; Martinez, J.M.; Browne, S.T.; Coplan, J.D.; Klein, D.F.; Gorman, J.M. Specificity of Panic Response to CO(2) Inhalation in Panic Disorder: A Comparison with Major Depression and Premenstrual Dysphoric Disorder. *Am J Psychiatry* **2001**, *158*, 58–67, doi:10.1176/appi.ajp.158.1.58.
78. Morris, L.S.; McCall, J.G.; Charney, D.S.; Murrough, J.W. The Role of the Locus Coeruleus in the Generation of Pathological Anxiety. *Brain Neurosci Adv* **2020**, *4*, doi:10.1177/2398212820930321.
79. Gorman, J.M.; Askanazi, J.; Liebowitz, M.R.; Fyer, A.J.; Stein, J.; Kinney, J.M.; Klein, D.F. Response to Hyperventilation in a Group of Patients with Panic Disorder. *Am J Psychiatry* **1984**, *141*, 857–861, doi:10.1176/ajp.141.7.857.

80. Tsugawa, A.; Sakurai, S.; Inagawa, Y.; Hirose, D.; Kaneko, Y.; Ogawa, Y.; Serisawa, S.; Takenoshita, N.; Sakurai, H.; Kanetaka, H.; et al. Awareness of the COVID-19 Outbreak and Resultant Depressive Tendencies in Patients with Severe Alzheimer's Disease. *JAD* **2020**, *77*, 539–541, doi:10.3233/JAD-200832.
81. Maguire, P.A.; Reay, R.E.; Looi, J.C. Nothing to Sneeze at - Uptake of Protective Measures against an Influenza Pandemic by People with Schizophrenia: Willingness and Perceived Barriers. *Australas Psychiatry* **2019**, *27*, 171–178, doi:10.1177/1039856218815748.
82. COVID-19: Considerations for Wearing Masks | CDC Available online: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/prevent-getting-sick/cloth-face-cover-guidance.html> (accessed on 12 November 2020).
83. Lim, E.C.H.; Seet, R.C.S.; Lee, K.-H.; Wilder-Smith, E.P.V.; Chuah, B.Y.S.; Ong, B.K.C. Headaches and the N95 Face-mask amongst Healthcare Providers. *Acta Neurol Scand* **2006**, *113*, 199–202, doi:10.1111/j.1600-0404.2005.00560.x.
84. Badri, F.M.A. Surgical Mask Contact Dermatitis and Epidemiology of Contact Dermatitis in Healthcare Workers. *Current Allergy and Clinical Immunology* **2017**, *30*, 183–188.
85. Scarano, A.; Inchingolo, F.; Lorusso, F. Facial Skin Temperature and Discomfort When Wearing Protective Face Masks: Thermal Infrared Imaging Evaluation and Hands Moving the Mask. *Int J Environ Res Public Health* **2020**, *17*, doi:10.3390/ijerph17134624.
86. Luksamijarulkul, P.; Aiempradit, N.; Vatanasomboon, P. Microbial Contamination on Used Surgical Masks among Hospital Personnel and Microbial Air Quality in Their Working Wards: A Hospital in Bangkok. *Oman Med J* **2014**, *29*, 346–350, doi:10.5001/omj.2014.92.
87. Chughtai, A.A.; Stelzer-Braid, S.; Rawlinson, W.; Pontivivo, G.; Wang, Q.; Pan, Y.; Zhang, D.; Zhang, Y.; Li, L.; MacIntyre, C.R. Contamination by Respiratory Viruses on Outer Surface of Medical Masks Used by Hospital Healthcare Workers. *BMC Infect Dis* **2019**, *19*, 491, doi:10.1186/s12879-019-4109-x.
88. Monalisa, D. Microbial Contamination of the Mouth Masks Used By Post- Graduate Students in a Private Dental Institution: An In-Vitro Study. **2017**, *7*.
89. Zhiqing, L.; Yongyun, C.; Wenxiang, C.; Mengning, Y.; Yuanqing, M.; Zhenan, Z.; Haishan, W.; Jie, Z.; Kerong, D.; Huiwu, L.; et al. Surgical Masks as Source of Bacterial Contamination during Operative Procedures. *J Orthop Translat* **2018**, *14*, 57–62, doi:10.1016/j.jot.2018.06.002.
90. Koch-Institut, R. *Influenza-Monatsbericht*; Robert Koch-Institut, 2020;
91. Techasatian, L.; Lebsing, S.; Uppala, R.; Thaowandee, W.; Chaiyarat, J.; Supakunpinyo, C.; Panombualert, S.; Mairiang, D.; Saengnipanthkul, S.; Wichajarn, K.; et al. The Effects of the Face Mask on the Skin Underneath: A Prospective Survey During the COVID-19 Pandemic. *J Prim Care Community Health* **2020**, *11*, 2150132720966167, doi:10.1177/2150132720966167.
92. Lan, J.; Song, Z.; Miao, X.; Li, H.; Li, Y.; Dong, L.; Yang, J.; An, X.; Zhang, Y.; Yang, L.; et al. Skin Damage among Health Care Workers Managing Coronavirus Disease-2019. *J Am Acad Dermatol* **2020**, *82*, 1215–1216, doi:10.1016/j.jaad.2020.03.014.
93. Szepietowski, J.C.; Matusiak, Ł.; Szepietowska, M.; Krajewski, P.K.; Bialynicki-Birula, R. Face Mask-Induced Itch: A Self-Questionnaire Study of 2,315 Responders During the COVID-19 Pandemic. *Acta Derm Venereol* **2020**, *100*, adv00152, doi:10.2340/00015555-3536.
94. Darlenski, R.; Tsankov, N. COVID-19 Pandemic and the Skin: What Should Dermatologists Know? *Clin Dermatol* **2020**, doi:10.1016/j.cldermatol.2020.03.012.
95. Muley, P. 'Mask Mouth'- a Novel Threat to Oral Health in the COVID Era – Dr Pooja Muley. *Dental Tribune South Asia* **2020**.
96. Klimek, L.; Huppertz, T.; Alali, A.; Spielhaupter, M.; Hörmann, K.; Matthias, C.; Hagemann, J. A New Form of Irritant Rhinitis to Filtering Facepiece Particle (FFP) Masks (FFP2/N95/KN95 Respirators) during COVID-19 Pandemic. *World Allergy Organ J* **2020**, *13*, 100474, doi:10.1016/j.waojou.2020.100474.
97. COVID-19 Mythbusters – World Health Organization Available online: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/myth-busters> (accessed on 28 January 2021).
98. Asadi, S.; Cappa, C.D.; Barreda, S.; Wexler, A.S.; Bouvier, N.M.; Ristenpart, W.D. Efficacy of Masks and Face Coverings in Controlling Outward Aerosol Particle Emission from Exspiratory Activities. *Scientific Reports* **2020**, *10*, 15665, doi:10.1038/s41598-020-72798-7.

99. Wong, C.K.M.; Yip, B.H.K.; Mercer, S.; Griffiths, S.; Kung, K.; Wong, M.C.; Chor, J.; Wong, S.Y. Effect of Facemasks on Empathy and Relational Continuity: A Randomised Controlled Trial in Primary Care. *BMC Family Practice* **2013**, *14*, 200, doi:10.1186/1471-2296-14-200.
100. Organization, W.H.; Fund (UNICEF), U.N.C. WHO - Advice on the Use of Masks for Children in the Community in the Context of COVID-19: Annex to the Advice on the Use of Masks in the Context of COVID-19, 21 August 2020. **2020**.
101. Person, E.; Lemercier, C.; Royer, A.; Reyhler, G. Effet du port d'un masque de soins lors d'un test de marche de six minutes chez des sujets sains. *Revue des Maladies Respiratoires* **2018**, *35*, 264–268, doi:10.1016/j.rmr.2017.01.010.
102. Johnson, A.T.; Scott, W.H.; Phelps, S.J.; Caretti, D.M.; Koh, F.C. How Is Respirator Comfort Affected by Respiratory Resistance? *JOURNAL-INTERNATIONAL SOCIETY FOR RESPIRATORY PROTECTION* **2005**, *22*, 38.
103. Koh, F.C.; Johnson, A.T.; Scott, W.H.; Phelps, S.J.; Francis, E.B.; Cattungal, S. The Correlation Between Personality Type and Performance Time While Wearing a Respirator. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* **2006**, *3*, 317–322, doi:10.1080/15459620600691264.
104. DGUV Grundsätze Für Arbeitsmedizinische... | ISBN 978-3-87247-733-0 | Fachbuch Online Kaufen - Lehmanns.De; Gentner, A W, 2010; ISBN 978-3-87247-733-0.
105. Browse by Country - NATLEX Available online: https://www.ilo.org/dyn/natlex/natlex4/byCountry?p_lang=en (accessed on 28 January 2021).
106. BAuA - SARS-CoV-2 FAQ Und Weitere Informationen - Kennzeichnung von Masken Aus USA, Kanada, Australien/Neuseeland, Japan, China Und Korea - Bundesanstalt Für Arbeitsschutz Und Arbeitsmedizin Available online: <https://www.baua.de/DE/Themen/Arbeitsgestaltung-im-Betrieb/Coronavirus/pdf/Kennzeichnung-Masken.html> (accessed on 28 January 2021).
107. Veit, M. Hauptsache Maske! *DAZ.online* **2020**, ,S. 26..
108. MacIntyre, C.R.; Seale, H.; Dung, T.C.; Hien, N.T.; Nga, P.T.; Chughtai, A.A.; Rahman, B.; Dwyer, D.E.; Wang, Q. A Cluster Randomised Trial of Cloth Masks Compared with Medical Masks in Healthcare Workers. *BMJ Open* **2015**, *5*, doi:10.1136/bmjopen-2014-006577.
109. MacIntyre, C.R.; Chughtai, A.A. Facemasks for the Prevention of Infection in Healthcare and Community Settings. *BMJ* **2015**, *350*, h694, doi:10.1136/bmj.h694.
110. MacIntyre, C.R.; Wang, Q.; Seale, H.; Yang, P.; Shi, W.; Gao, Z.; Rahman, B.; Zhang, Y.; Wang, X.; Newall, A.T.; et al. A Randomized Clinical Trial of Three Options for N95 Respirators and Medical Masks in Health Workers. *Am J Respir Crit Care Med* **2013**, *187*, 960–966, doi:10.1164/rccm.201207-1164OC.
111. Dellweg, D.; Lepper, P.M.; Nowak, D.; Köhrlein, T.; Olgemöller, U.; Pfeifer, M. [Position Paper of the German Respiratory Society (DGP) on the Impact of Community Masks on Self-Protection and Protection of Others in Regard to Aerogen Transmitted Diseases]. *Pneumologie* **2020**, *74*, 331–336, doi:10.1055/a-1175-8578.
112. Luckman, A.; Zeitoun, H.; Isoni, A.; Loomes, G.; Vlaev, I.; Powdthavee, N.; Read, D. *Risk Compensation during COVID-19: The Impact of Face Mask Usage on Social Distancing.*; OSF Preprints, 2020;
113. Sharma, I.; Vashnav, M.; Sharma, R. COVID-19 Pandemic Hype: Losers and Gainers. *Indian Journal of Psychiatry* **2020**, *62*, 420, doi:10.4103/psychiatry.IndianJPsychiatry_1060_20.
114. BfArM - Empfehlungen Des BfArM - Hinweise Des BfArM Zur Verwendung von Mund–Nasen-Bedeckungen (z.B. Selbst Hergestellten Masken, „Community- Oder DIY-Masken“), Medizinischen Gesichtsmasken Sowie Partikelfiltrierenden Halbmasken (FFP1, FFP2 Und FFP3) Im Zusammenhang Mit Dem Coronavirus (SARS-CoV-2 / Covid-19) Available online: <https://www.bfarm.de/SharedDocs/Risikoinformationen/Medizinprodukte/DE/schutzmasken.html> (accessed on 12 November 2020).
115. MacIntyre, C.R.; Wang, Q.; Cauchemez, S.; Seale, H.; Dwyer, D.E.; Yang, P.; Shi, W.; Gao, Z.; Pang, X.; Zhang, Y.; et al. A Cluster Randomized Clinical Trial Comparing Fit-Tested and Non-Fit-Tested N95 Respirators to Medical Masks to Prevent Respiratory Virus Infection in Health Care Workers. *Influenza Other Respir Viruses* **2011**, *5*, 170–179, doi:10.1111/j.1750-2659.2011.00198.x.
116. Gralton, J.; McLaws, M.-L. Protecting Healthcare Workers from Pandemic Influenza: N95 or Surgical Masks? *Crit Care Med* **2010**, *38*, 657–667, doi:10.1097/CCM.0b013e3181b9e8b3.

117. Smith, J.D.; MacDougall, C.C.; Johnstone, J.; Copes, R.A.; Schwartz, B.; Garber, G.E. Effectiveness of N95 Respirators versus Surgical Masks in Protecting Health Care Workers from Acute Respiratory Infection: A Systematic Review and Meta-Analysis. *CMAJ* **2016**, *188*, 567–574, doi:10.1503/cmaj.150835.
118. Lee, S.-A.; Grinshpun, S.A.; Reponen, T. Respiratory Performance Offered by N95 Respirators and Surgical Masks: Human Subject Evaluation with NaCl Aerosol Representing Bacterial and Viral Particle Size Range. *Ann Occup Hyg* **2008**, *52*, 177–185, doi:10.1093/annhyg/men005.
119. Zhu, N.; Zhang, D.; Wang, W.; Li, X.; Yang, B.; Song, J.; Zhao, X.; Huang, B.; Shi, W.; Lu, R.; et al. A Novel Coronavirus from Patients with Pneumonia in China, 2019. *New England Journal of Medicine* **2020**, doi:10.1056/NEJMoa2001017.
120. Oberg, T.; Brosseau, L.M. Surgical Mask Filter and Fit Performance. *Am J Infect Control* **2008**, *36*, 276–282, doi:10.1016/j.ajic.2007.07.008.
121. Eninger, R.M.; Honda, T.; Adhikari, A.; Heinonen-Tanski, H.; Reponen, T.; Grinshpun, S.A. Filter Performance of N99 and N95 Facepiece Respirators Against Viruses and Ultrafine Particles. *Ann Occup Hyg* **2008**, *52*, 385–396, doi:10.1093/annhyg/men019.
122. Morawska, L. Droplet Fate in Indoor Environments, or Can We Prevent the Spread of Infection? *Indoor Air* **2006**, *16*, 335–347, doi:10.1111/j.1600-0668.2006.00432.x.
123. Ueki, H.; Furusawa, Y.; Iwatsuki-Horimoto, K.; Imai, M.; Kabata, H.; Nishimura, H.; Kawaoka, Y. Effectiveness of Face Masks in Preventing Airborne Transmission of SARS-CoV-2. *mSphere* **2020**, *5*, doi:10.1128/mSphere.00637-20.
124. Radonovich, L.J.; Simberkoff, M.S.; Bessesen, M.T.; Brown, A.C.; Cummings, D.A.T.; Gaydos, C.A.; Los, J.G.; Krosche, A.E.; Gibert, C.L.; Gorse, G.J.; et al. N95 Respirators vs Medical Masks for Preventing Influenza Among Health Care Personnel: A Randomized Clinical Trial. *JAMA* **2019**, *322*, 824, doi:10.1001/jama.2019.11645.
125. Loeb, M.; Dafoe, N.; Mahony, J.; John, M.; Sarabia, A.; Glavin, V.; Webby, R.; Smieja, M.; Earn, D.J.D.; Chong, S.; et al. Surgical Mask vs N95 Respirator for Preventing Influenza Among Health Care Workers: A Randomized Trial. *JAMA* **2009**, *302*, 1865, doi:10.1001/jama.2009.1466.
126. Konda, A.; Prakash, A.; Moss, G.A.; Schmoldt, M.; Grant, G.D.; Guha, S. Aerosol Filtration Efficiency of Common Fabrics Used in Respiratory Cloth Masks. *ACS Nano* **2020**, *14*, 6339–6347, doi:10.1021/acsnano.0c03252.
127. Chughtai, A. Use of Cloth Masks in the Practice of Infection Control – Evidence and Policy Gaps | International Journal of Infection Control. **2013**, doi:https://doi.org/10.3396/ijic.v9i3.11366.
128. Labortest - Schutzmasken im Härtetest: Die meisten filtern ungenügend Available online: <https://www.srf.ch/news/panorama/labortest-schutzmasken-im-haertetest-die-meisten-filtern-ungenuegend> (accessed on 12 November 2020).
129. MacIntyre, C.R.; Cauchemez, S.; Dwyer, D.E.; Seale, H.; Cheung, P.; Browne, G.; Fasher, M.; Wood, J.; Gao, Z.; Booy, R.; et al. Face Mask Use and Control of Respiratory Virus Transmission in Households. *Emerg Infect Dis* **2009**, *15*, 233–241, doi:10.3201/eid1502.081167.
130. Xiao, J.; Shiu, E.Y.C.; Gao, H.; Wong, J.Y.; Fong, M.W.; Ryu, S.; Cowling, B.J. Nonpharmaceutical Measures for Pandemic Influenza in Nonhealthcare Settings—Personal Protective and Environmental Measures - Volume 26, Number 5—May 2020 - Emerging Infectious Diseases Journal - CDC., doi:10.3201/eid2605.190994.
131. Aiello, A.E.; Murray, G.F.; Perez, V.; Coulborn, R.M.; Davis, B.M.; Uddin, M.; Shay, D.K.; Waterman, S.H.; Monto, A.S. Mask Use, Hand Hygiene, and Seasonal Influenza-like Illness among Young Adults: A Randomized Intervention Trial. *J Infect Dis* **2010**, *201*, 491–498, doi:10.1086/650396.
132. Bundgaard, H.; Bundgaard, J.S.; Raaschou-Pedersen, D.E.T.; von Buchwald, C.; Tødsen, T.; Norsk, J.B.; Pries-Heje, M.M.; Vissing, C.R.; Nielsen, P.B.; Winsløw, U.C.; et al. Effectiveness of Adding a Mask Recommendation to Other Public Health Measures to Prevent SARS-CoV-2 Infection in Danish Mask Wearers. *Ann Intern Med* **2020**, doi:10.7326/M20-6817.
133. Smart, N.R.; Horwell, C.J.; Smart, T.S.; Galea, K.S. Assessment of the Wearability of Facemasks against Air Pollution in Primary School-Aged Children in London. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **2020**, *17*, 3935, doi:10.3390/ijerph17113935.
134. Forgie, S.E.; Reitsma, J.; Spady, D.; Wright, B.; Stobart, K. The “Fear Factor” for Surgical Masks and Face Shields, as Perceived by Children and Their Parents. *Pediatrics* **2009**, *124*, e777-781, doi:10.1542/peds.2008-3709.

135. Schwarz, S.; Jenetzky, E.; Krafft, H.; Maurer, T.; Martin, D. *Corona Children Studies "Co-Ki": First Results of a Germany-Wide Registry on Mouth and Nose Covering (Mask) in Children*; 2020;
136. Zoccal, D.B.; Furuya, W.I.; Bassi, M.; Colombari, D.S.A.; Colombari, E. The Nucleus of the Solitary Tract and the Coordination of Respiratory and Sympathetic Activities. *Front Physiol* **2014**, *5*, 238, doi:10.3389/fphys.2014.00238.
137. Neilson, S. The Surgical Mask Is a Bad Fit for Risk Reduction. *CMAJ* **2016**, *188*, 606–607, doi:10.1503/cmaj.151236.
138. SOCIUM Research Center on Inequality and Social Policy, Universität Bremen Available online: <https://www.socium.uni-bremen.de/ueber-das-socium/aktuelles/archiv/> (accessed on 28 January 2021).
139. Fadare, O.O.; Okoffo, E.D. Covid-19 Face Masks: A Potential Source of Microplastic Fibers in the Environment. *Sci Total Environ* **2020**, *737*, 140279, doi:10.1016/j.scitotenv.2020.140279.
140. Potluri, P.; Needham, P. *Technical Textiles for Protection (Manchester EScholar - The University of Manchester)*; Woodhead Publishing, 2005;
141. Schnurr, R.E.J.; Alboiu, V.; Chaudhary, M.; Corbett, R.A.; Quanz, M.E.; Sankar, K.; Strain, H.S.; Thavarajah, V.; Xanthos, D.; Walker, T.R. Reducing Marine Pollution from Single-Use Plastics (SUPs): A Review. *Mar Pollut Bull* **2018**, *137*, 157–171, doi:10.1016/j.marpolbul.2018.10.001.
142. Reid, A.J.; Carlson, A.K.; Creed, I.F.; Eliason, E.J.; Gell, P.A.; Johnson, P.T.J.; Kidd, K.A.; MacCormack, T.J.; Olden, J.D.; Ormerod, S.J.; et al. Emerging Threats and Persistent Conservation Challenges for Freshwater Biodiversity. *Biol Rev Camb Philos Soc* **2019**, *94*, 849–873, doi:10.1111/brv.12480.
143. Fisher, K.A.; Tenforde, M.W.; Feldstein, L.R.; Lindsell, C.J.; Shapiro, N.I.; Files, D.C.; Gibbs, K.W.; Erickson, H.L.; Prekken, M.E.; Steingrub, J.S.; et al. Community and Close Contact Exposures Associated with COVID-19 among Symptomatic Adults ≥ 18 Years in 11 Outpatient Health Care Facilities - United States, July 2020. *MMWR. Morbidity and mortality weekly report* **2020**, *69*, 1258–1264, doi:10.15585/mmwr.mm6936a5.
144. Belkin, N. The Evolution of the Surgical Mask: Filtering Efficiency versus Effectiveness. *Infect Control Hosp Epidemiol* **1997**, *18*, 49–57, doi:10.2307/30141964.
145. Cowling, B.J.; Chan, K.-H.; Fang, V.J.; Cheng, C.K.Y.; Fung, R.O.P.; Wai, W.; Sin, J.; Seto, W.H.; Yung, R.; Chu, D.W.S.; et al. Facemasks and Hand Hygiene to Prevent Influenza Transmission in Households: A Cluster Randomized Trial. *Ann Intern Med* **2009**, *151*, 437–446, doi:10.7326/0003-4819-151-7-200910060-00142.
146. Cowling, B.J.; Zhou, Y.; Ip, D.K.M.; Leung, G.M.; Aiello, A.E. Face Masks to Prevent Transmission of Influenza Virus: A Systematic Review. *Epidemiology & Infection* **2010**, *138*, 449–456, doi:10.1017/S0950268809991658.
147. Institute of Medicine (US) Committee on Personal Protective Equipment for Healthcare Personnel to Prevent Transmission of Pandemic Influenza and Other Viral Respiratory Infections: Current Research Issues *Preventing Transmission of Pandemic Influenza and Other Viral Respiratory Diseases: Personal Protective Equipment for Healthcare Personnel: Update 2010*; Larson, E.L., Liverman, C.T., Eds.; National Academies Press (US): Washington (DC), 2011; ISBN 978-0-309-16254-8.
148. Matuschek, C.; Moll, F.; Fangerau, H.; Fischer, J.C.; Zänker, K.; van Griensven, M.; Schneider, M.; Kindgen-Milles, D.; Knoefel, W.T.; Lichtenberg, A.; et al. The History and Value of Face Masks. *European Journal of Medical Research* **2020**, *25*, 23, doi:10.1186/s40001-020-00423-4.
149. Spooner, J.L. History of Surgical Face Masks. *AORN Journal* **1967**, *5*, 76–80, doi:10.1016/S0001-2092(08)71359-0.
150. Burgess, A.; Horii, M. Risk, Ritual and Health Responsibilisation: Japan's "safety Blanket" of Surgical Face Mask-Wearing. *Sociol Health Illn* **2012**, *34*, 1184–1198, doi:10.1111/j.1467-9566.2012.01466.x.
151. Beck, U. *Risk Society, Towards a New Modernity*; SAGE Publications Ltd; 1992;
152. Cheng, K.K.; Lam, T.H.; Leung, C.C. Wearing Face Masks in the Community during the COVID-19 Pandemic: Altruism and Solidarity. *Lancet* **2020**, doi:10.1016/S0140-6736(20)30918-1.
153. Melnychuk, M.C.; Dockree, P.M.; O'Connell, R.G.; Murphy, P.R.; Balsters, J.H.; Robertson, I.H. Coupling of Respiration and Attention via the Locus Coeruleus: Effects of Meditation and Pranayama. *Psychophysiology* **2018**, *55*, e13091, doi:<https://doi.org/10.1111/psyp.13091>.
154. Andresen, M.C.; Kunze, D.L. Nucleus Tractus Solitarius--Gateway to Neural Circulatory Control. *Annu Rev Physiol* **1994**, *56*, 93–116, doi:10.1146/annurev.ph.56.030194.000521.

155. Kline, D.D.; Ramirez-Navarro, A.; Kunze, D.L. Adaptive Depression in Synaptic Transmission in the Nucleus of the Solitary Tract after In Vivo Chronic Intermittent Hypoxia: Evidence for Homeostatic Plasticity. *J. Neurosci.* **2007**, *27*, 4663–4673, doi:10.1523/JNEUROSCI.4946-06.2007.
156. King, T.L.; Heesch, C.M.; Clark, C.G.; Kline, D.D.; Hasser, E.M. Hypoxia Activates Nucleus Tractus Solitarii Neurons Projecting to the Paraventricular Nucleus of the Hypothalamus. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* **2012**, *302*, R1219–1232, doi:10.1152/ajpregu.00028.2012.
157. Yackle, K.; Schwarz, L.A.; Kam, K.; Sorokin, J.M.; Huguenard, J.R.; Feldman, J.L.; Luo, L.; Krasnow, M.A. Breathing Control Center Neurons That Promote Arousal in Mice. *Science* **2017**, *355*, 1411–1415, doi:10.1126/science.aai7984.
158. Menuet, C.; Connelly, A.A.; Bassi, J.K.; Melo, M.R.; Le, S.; Kamar, J.; Kumar, N.N.; McDougall, S.J.; McMullan, S.; Allen, A.M. PreBötzinger Complex Neurons Drive Respiratory Modulation of Blood Pressure and Heart Rate. *Elife* **2020**, *9*, doi:10.7554/elife.57288.
159. Zope, S.A.; Zope, R.A. Sudarshan Kriya Yoga: Breathing for Health. *Int J Yoga* **2013**, *6*, 4–10, doi:10.4103/0973-6131.105935.
160. Cummins, E.P.; Strowitzki, M.J.; Taylor, C.T. Mechanisms and Consequences of Oxygen and Carbon Dioxide Sensing in Mammals. *Physiol Rev* **2020**, *100*, 463–488, doi:10.1152/physrev.00003.2019.
161. Jafari, M.J.; Khajevandi, A.A.; Mousavi Najarkola, S.A.; Yekaninejad, M.S.; Pourhoseingholi, M.A.; Omidi, L.; Kalantary, S. Association of Sick Building Syndrome with Indoor Air Parameters. *Tanaffos* **2015**, *14*, 55–62.
162. Redlich, C.A.; Sparer, J.; Cullen, M.R. Sick-Building Syndrome. *Lancet* **1997**, *349*, 1013–1016, doi:10.1016/S0140-6736(96)07220-0.
163. Kaw, R.; Hernandez, A.V.; Walker, E.; Aboussouan, L.; Mokhlesi, B. Determinants of Hypercapnia in Obese Patients with Obstructive Sleep Apnea: A Systematic Review and Metaanalysis of Cohort Studies. *Chest* **2009**, *136*, 787–796, doi:10.1378/chest.09-0615.
164. Edwards, N.; Wilcox, I.; Polo, O.J.; Sullivan, C.E. Hypercapnic Blood Pressure Response Is Greater during the Luteal Phase of the Menstrual Cycle. *Journal of Applied Physiology* **1996**, *81*, 2142–2146, doi:10.1152/jappl.1996.81.5.2142.
165. Services, A.C. What People With Asthma Need to Know About Face Masks and Coverings During the COVID-19 Pandemic Available online: <https://community.aafa.org/blog/what-people-with-asthma-need-to-know-about-face-masks-and-coverings-during-the-covid-19-pandemic> (accessed on 29 January 2021).
166. Shigemura, M.; Lecuona, E.; Angulo, M.; Homma, T.; Rodríguez, D.A.; Gonzalez-Gonzalez, F.J.; Welch, L.C.; Amarelle, L.; Kim, S.-J.; Kaminski, N.; et al. Hypercapnia Increases Airway Smooth Muscle Contractility via Caspase-7-Mediated MiR-133a-RhoA Signaling. *Sci Transl Med* **2018**, *10*, doi:10.1126/scitranslmed.aat1662.
167. Roberge, R. Facemask Use by Children during Infectious Disease Outbreaks. *Biosecur Bioterror* **2011**, *9*, 225–231, doi:10.1089/bsp.2011.0009.
168. Schwarz, S.; Jenetzky, E.; Krafft, H.; Maurer, T.; Steuber, C.; Reckert, T.; Fischbach, T.; Martin, D. Corona bei Kindern: Die Co-Ki Studie. *Monatsschr Kinderheilkd* **2020**, doi:10.1007/s00112-020-01050-3.
169. van der Kleij, L.A.; De Vis, J.B.; de Bresser, J.; Hendrikse, J.; Siero, J.C.W. Arterial CO₂ Pressure Changes during Hypercapnia Are Associated with Changes in Brain Parenchymal Volume. *Eur Radiol Exp* **2020**, *4*, doi:10.1186/s41747-020-0144-z.
170. Geer Wallace, M.A.; Pleil, J.D. Evolution of Clinical and Environmental Health Applications of Exhaled Breath Research: Review of Methods: Instrumentation for Gas-Phase, Condensate, and Aerosols. *Anal Chim Acta* **2018**, *1024*, 18–38, doi:10.1016/j.aca.2018.01.069.
171. Sukul, P.; Schubert, J.K.; Zanaty, K.; Trefz, P.; Sinha, A.; Kamysek, S.; Miekisch, W. Exhaled Breath Compositions under Varying Respiratory Rhythms Reflects Ventilatory Variations: Translating Breathomics towards Respiratory Medicine. *Scientific Reports* **2020**, *10*, 14109, doi:10.1038/s41598-020-70993-0.
172. Lai, P.S.; Christiani, D.C. Long-Term Respiratory Health Effects in Textile Workers. *Curr Opin Pulm Med* **2013**, *19*, 152–157, doi:10.1097/MCP.0b013e32835cee9a.
173. Goetz, L.H.; Schork, N.J. Personalized Medicine: Motivation, Challenges and Progress. *Fertil Steril* **2018**, *109*, 952–963, doi:10.1016/j.fertnstert.2018.05.006.

174. Samannan, R.; Holt, G.; Calderon-Candelario, R.; Mirsaeidi, M.; Campos, M. Effect of Face Masks on Gas Exchange in Healthy Persons and Patients with COPD. *Annals ATS* **2020**, doi:10.1513/AnnalsATS.202007-812RL.
175. Streeck, H.; Schulte, B.; Kuemmerer, B.; Richter, E.; Hoeller, T.; Fuhrmann, C.; Bartok, E.; Dolscheid, R.; Berger, M.; Wessendorf, L.; et al. Infection Fatality Rate of SARS-CoV-2 Infection in a German Community with a Super-Spreading Event. *medRxiv* **2020**, 2020.05.04.20090076, doi:10.1101/2020.05.04.20090076.
176. Ioannidis, J. The Infection Fatality Rate of COVID-19 Inferred from Seroprevalence Data. *medRxiv* **2020**, 2020.05.13.20101253, doi:10.1101/2020.05.13.20101253.
177. Executive Board: Special Session on the COVID-19 Response Available online: <https://www.who.int/news-room/events/detail/2020/10/05/default-calendar/executive-board-special-session-on-the-covid19-response> (accessed on 13 November 2020).
178. Conference, I.H. WHO - Constitution of the World Health Organization. 1946. *Bulletin of the World Health Organization* **2002**, *80*, 983–984.