

Atemwiderstände von Masken

Vergleich von verschiedenen Masken zum Schutz vor SARS-CoV-2 in Hinblick auf die entsprechenden Prüfverfahren und die ermittelten Atemwiderstände



! In der IPA-Maskenstudie wurde der Einfluss verschiedener Maskentypen auf die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit und das subjektive Befinden der Studienteilnehmenden untersucht. Zunächst wurden im IFA verschiedene Masken auf die Einhaltung der Norm und die Höhe des Atemwiderstandes überprüft, um die Repräsentativität für die einzelnen Maskentypen zu verifizieren. Getestet wurden medizinische Gesichtsmasken (OP-Maske, Mund-Nase-Schutz, (MNS)), Community-Masken (Mund-Nase-Bedeckung, (MNB)) und Atemschutzmasken (FFP2). Erläutert wird der Zusammenhang unterschiedlich hoch gemessener Atemwiderstände bei verschiedenen Maskentypen in Abhängigkeit vom jeweils verwendeten Prüfverfahren.

SARS-CoV-2 wird hauptsächlich durch Inhalation virushaltiger Partikel übertragen (Scheuch et al. 2020). In Abhängigkeit von ihrer Filterleistung kann eine Maske die Anzahl inhaliertes und exhalierter Partikel reduzieren. Die Filterleistung einer Maske ist charakterisiert durch den Anteil im Filtermaterial zurückgehaltener Partikel und dem Ausmaß der Leckage (siehe Info-Kasten).

Allgemein erhöht sich aufgrund der Materialeigenschaften der spezifischen Maske mit zunehmender Filterleistung bzw. niedriger Leckage der Atemwiderstand. Dies ist in Abbildung 1 für verschiedene Mund-Nase-Bedeckungen (MNB) dargestellt, gilt aber auch für andere Maskentypen wie MNS oder FFP2-Masken. Zusätzlich steigt der Atemwi-

Info-Kasten

Material-abhängige Filterleistung: Anteil der im Filtermaterial zurückgehaltenen Partikel eines Prüfaerosols (in Masse %) zur Ermittlung des Wirkungsgrades. Bei der Bestimmung dieser Filterleistung für Viren gibt es bislang kein einheitlich genormtes Verfahren.

Leckage: Summe aus dem gesamten Luft-/ Gasvolumen, das nicht von der Filterleistung einer Maske erfasst wird und der sog. „Verpassungsleckage“. Letztere beschreibt das Luftvolumen, das beim Ein- und Ausatmen durch die Undichtigkeiten an den Maskenrändern hervorgerufen wird

Atemwiderstand: Summe der Kräfte, die bei der Atmung durch die Atemarbeit überwunden werden müssen. Diese Kräfte werden durch Elastizität und Viskosität von Bronchien, Lunge und Brustkorb bestimmt. Beim Tragen einer Maske erhöht sich der Atemwiderstand in Abhängigkeit der Materialeigenschaften der Maske.

Atemarbeit: Physikalische Arbeit, die für einen gesamten Atemzyklus erforderlich ist.

Atemminutenvolumen: Das pro Minute ein- und ausgeatmete Luftvolumen entspricht dem Produkt aus dem Volumen des einzelnen Atemzuges (Atemzugvolumen) und der Anzahl von Atemzügen pro Minute (Atemfrequenz).

derstand bei einer Erhöhung des Atemminutenvolumens an (siehe Info-Kasten). Aufgrund der unterschiedlichen Prüfverfahren sind Daten in Bezug auf die Atemwiderstände zwischen verschiedenen Maskentypen nur schwer vergleichbar.

Verschiedene Maskentypen und die entsprechenden Prüfverfahren

Als zum Zeitpunkt der Einführung der Maskenpflicht zum Schutz vor SARS-CoV-2 im April 2020 kommerzielle Masken nicht in ausreichenden Mengen verfügbar waren, nutzte die Mehrzahl der Personen außerhalb

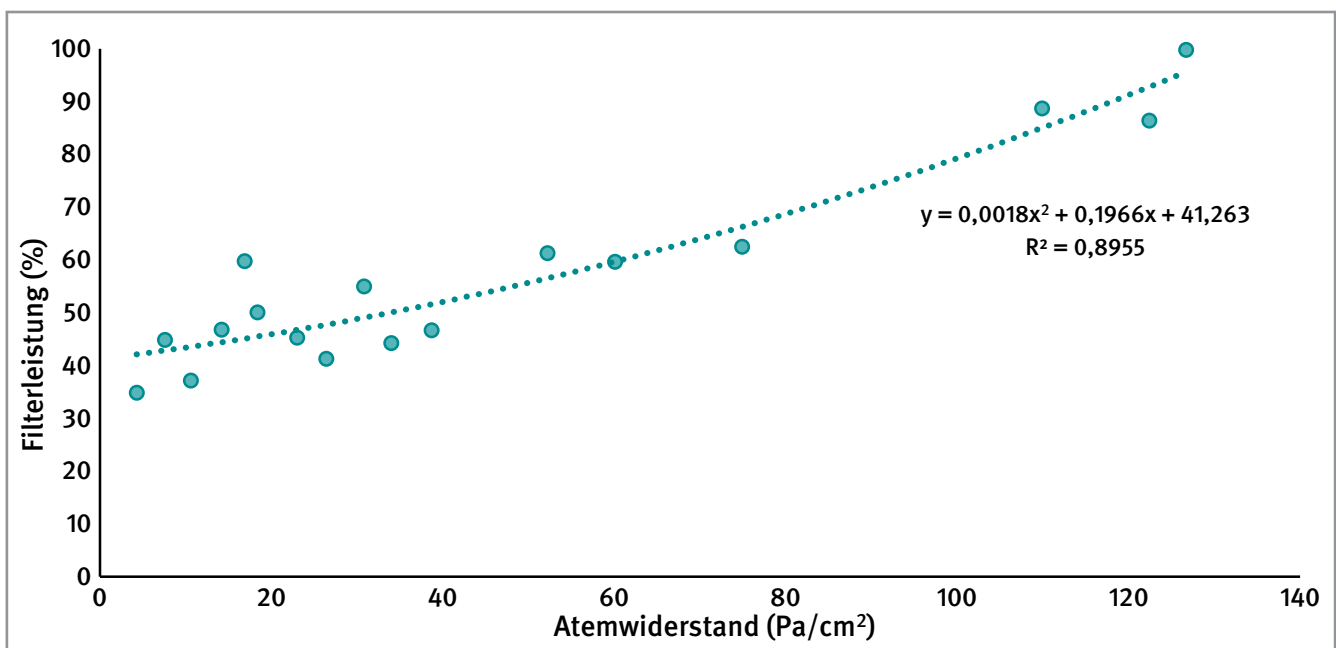


Abb.1: Verhältnis von Atemwiderstand und Filterleistung bei 17 verschiedenen Modellen von Mund-Nase-Bedeckungen (MNB) (modifiziert nach Maurer et al. 2020). Die Messung des Atemwiderstandes erfolgte in Anlehnung an die DIN EN 14683, die der Filterleistung unter Verwendung von 0,9%iger Kochsalzlösung als Prüfaerosol.

des Gesundheitswesens selbstgenähte Stoffmasken, sog. Mund-Nase-Bedeckungen (MNB, auch Alltags- oder Community-Masken). Obwohl diese inzwischen auch – in Passform, Material und Durchlässigkeit optimiert – kommerziell erhältlich sind und mittlerweile die Empfehlung einer europäischen Arbeitsgruppe für Gestaltung, Eigenschaften, Testmethoden, Verpackung, Kennzeichnung und Informationen zur Verwendung von MNB existiert (CWA 17553), spielen diese Masken derzeit nur eine untergeordnete Rolle. Bisher variierten die Filterleistungen verschiedener MNB - vor allem in Abhängigkeit vom verwendeten Material - erheblich (Dellweg et al. 2020), weshalb nach den aktuellen Verordnungen sowohl am Arbeitsplatz als auch bei Maskenpflicht im öffentlichen Raum zum Beispiel in Geschäften oder im öffentlichen Nah- und Fernverkehr nur Atemschutzmasken wie FFP2- oder N95-Masken bzw. medizinische Gesichtsmasken (Mund-Nase-Schutz (MNS), OP-Maske) verwendet werden dürfen. Da es sich bei der CWA 17553 nicht um eine Prüfnorm, sondern lediglich um einen „europäischen Leitfaden für Alltagsmasken“ handelt, streben verschiedene Hersteller derzeit eine Zertifizierung ihrer MNB nach der Norm für MNS an (s.u.). Im Gegensatz zu den MNB unterliegen FFP2 und MNS maskenspezifischen Prüfnormen (FFP2-Masken nach DIN EN 149:2009, MNS-Masken nach DIN EN 14683), die nur eine geringe Varianz in Bezug auf Aufbau, Gestaltung und Leistungsanforderungen zulassen.

Für die IPA-Maskenstudie wurden im Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) verschiedene Masken auf die Einhaltung der Norm DIN EN 149:2009 und die Höhe des Atemwiderstandes untersucht, um die Repräsentativität der in der IPA-Maskenstudie untersuchten Masken zu verifizieren.

Medizinische Gesichtsmasken (MNS) nach DIN EN 14683

MNS bestehen in der Regel aus mehrlagigen Kunststoffgeweben mit einem speziellen Filtervlies („Meltblown Vlies“) und weisen klar normierte Filtereigenschaften auf. Ähnlich wie MNB schließen sie nicht dicht auf der Haut der tragenden Person ab. Daher strömt ein Teil der Luft am Maskenrand vorbei und kann ungefiltert ein- und ausgeatmet werden. MNS dienen vor allem dem Fremdschutz.

Die Anforderungen der Norm DIN EN 14683 zielen vor allem auf die Prüfung des Materialwiderstandes. Die auf dieser Grundlage vergebenen Zertifikate enthalten die Normbezeichnung und das Ausgabejahr der Norm, aktuelle Version: DIN EN 14683:2019-10. Entsprechend dieser Prüfnorm wird das fest eingespannte Material des MNS (Testfläche: 4,9 cm²) zum einen hinsichtlich

Kurz gefasst

Bei medizinischen Gesichtsmasken (MNS) handelt es sich um Medizinprodukte nach DIN EN 14683, während FFP2-Masken als partikelfiltrierende Halbmasken nach EN 149 geprüft werden und als persönliche Schutzausrüstung (PSA) gelten. Mund-Nasen-Bedeckungen (MNB) werden bisher nicht nach entsprechenden gesetzlichen Normen geprüft.

Nach DIN EN 14683 wird an einer fest eingespannten Materialprobe der Druck gemessen, der notwendig ist, um Luft durch die Maske zu transportieren (Druckdifferenz). Die Testung nach DIN EN 149:2009 hingegen erfolgt mit der vollständigen Maske am Sheffield-Prüfkopf und kommt dem alltäglichen Maskentragen näher.

Alle zur Verfügung stehenden Daten und die Ergebnisse der parallelen Testung der drei in der IPA-Maskenstudie eingesetzten Masken (MNS, MNB, FFP2) nach EN 149 lassen den Schluss zu, dass es sich bei den jeweiligen Maskentypen um repräsentative Modelle handelt, die im Vergleich zu den marktüblichen Masken einen mittleren bis leicht höheren Atemwiderstand aufweisen.

der bakteriellen aber nicht der viralen Filterleistung überprüft, zum anderen wird eine Druckdifferenz-Prüfung in Pascal (Pa) pro cm² vorgenommen. MNS nach DIN EN 14683 werden in zwei Kategorien unterteilt, Typ I und Typ II, wobei Typ I-Masken eine geringere Filterleistung als Masken vom Typ II haben. Bei beiden Typen darf eine Druckdifferenz von 40 Pa/cm² nicht überschritten werden. Zusätzlich gibt es noch MNS nach EN 14683 Typ IIR. Das zusätzliche R steht für den Spritzwiderstand; MNS mit der Kennzeichnung IIR sind demzufolge flüssigkeitsresistent und dürfen eine maximale Druckdifferenz von 60 Pa/cm² nicht überschreiten.

Partikelfiltrierende Halbmasken nach DIN EN 149:2009

Partikelfiltrierende Halbmasken sog. „FFP-Masken“, aus dem Englischen: „Filtering Face Piece“, werden dagegen bereits in der Produktion der Anatomie des Mund-Nasen-Bereichs angepasst und weisen entsprechend eine geringere Gesamtleckage bei herabgesetzter Verpasungsleckage auf. Partikelfiltrierende Halbmasken sind Gegenstände der persönlichen Schutzausrüstung im



Abb.2: Sheffield-Prüfkopf

Rahmen des Arbeitsschutzes und gelten nach Infektionsschutzgesetz als Atemschutzmasken. Korrekt sitzende FFP-Masken liegen dicht an und bieten Fremd- und Eigenschutz. Sie beinhalten im Regelfall ein „Meltblown Vlies“ ergänzt um weitere Filterschichten, eingebettet zwischen weiteren Materialschichten zur Formgebung. FFP-Masken werden nach ihrer Schutzleistung (Leckage) und ihrer Filterleistung klassifiziert. Bezogen auf das verwendete Prüfaerosol dürfen Masken vom Typ FFP1 maximal 25% Leckage bei mindestens 80% Rückhalte-

vermögen des Filters aufweisen, FFP2 maximal 11% Leckage bei mindestens 94% Rückhaltevermögen und FFP3 maximal 5% Leckage bei mindestens 99% Rückhaltevermögen bezogen auf das verwendete Prüfaerosol. Die Leckage und die Filterleistung werden genauso wie der Atemwiderstand und weitere Parameter nach der europäischen Norm DIN EN 149:2009 (identisch mit EN 149:2001+A1: 2009) geprüft. Die Messung des Atemwiderstandes erfolgt dabei mithilfe eines Sheffield-Prüfkopfs, auf den die zu prüfende Maske dicht, jedoch ohne Deformation angebracht wird. Anschließend wird der Ein- bzw. Ausatemwiderstand bei drei verschiedenen Volumenströmen (30, 95 und 160 L/min) gemessen. Bei dieser Art der Prüfung kann die gesamte Maskenfläche (ca. 120-150 cm²) als Testfläche betrachtet werden.

Eine Übersicht über die Prüfverfahren für MNS Typ IIR, MNB und FFP2-Masken und die entsprechenden Grenzwerte zeigt Tabelle 1.

Testung und Einordnung der in der IPA-Maskenstudie eingesetzten Masken

Um den Einfluss verschiedener Maskentypen zum Schutz vor SARS-CoV-2 auf die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit und die subjektive Beeinträchtigung bei der Arbeit zu ermitteln, wurde am IPA eine Studie durchgeführt, bei der insgesamt 40 Studienteilnehmende verschiedene Untersuchungsblöcke sowohl ohne Maske als auch mit MNB, MNS und FFP2-Maske durchliefen. Aufgrund des Umfangs der Untersuchungen wurde von jedem Maskentyp nur jeweils ein Modell in der Studie verwendet, welches in enger Abstimmung mit dem IFA ausgewählt wurde. Um sicher zu stellen, dass es sich dabei jeweils

Tabelle 1: Übersicht über die Prüfverfahren für Mund-Nase-Schutz (MNS) Typ IIR, Mund-Nase-Bedeckung (MNB) und FFP2-Masken und die entsprechenden Grenzwerte

Maskentyp	Anforderung	Parameter	Luftfluss	Grenzwert	Prüfmethode
MNS, Typ IIR	DIN EN 14683	Druckdifferenz	8 L/min	<60 Pa/cm ²	-
MNB	CWA 17553	Druckdifferenz	8 L/min	≤70 Pa/cm ²	Nach DIN EN 14683
		Einatemwiderstand	95 L/min	≤240 Pa	Nach DIN EN 13274
		Ausatemwiderstand	95 L/min	≤300 Pa	
		Luftdurchlässigkeit	-	≥96 L/s/m ²	Nach EN ISO 9237
FFP2	DIN EN 149:2009	Einatemwiderstand	30 L/min	≤70 Pa	-
		Einatemwiderstand	95 L/min	≤240 Pa	-
		Ausatemwiderstand	160 L/min	≤300 Pa	-

Anmerkung: 1 Pa = 0,01 mbar

um ein repräsentatives und gut charakterisiertes Modell handelt, wurden verschiedene Recherchen und Testungen durchgeführt, die im Folgenden aufgezeigt werden.

Bei dem verwendeten MNS handelt es sich um eine medizinische Gesichtsmaske Typ IIR nach DIN EN 14683 (exakt: ISO EN 14683-2014 – Typ II), mit einer Druckdifferenz laut Produktdatenblatt von 29 Pa/cm². Dieser Messwert ist halb so groß, wie der maximal zulässige Wert von 60 Pa/cm².

Bei der in der IPA-Maskenstudie eingesetzten MNB handelt es sich um ein kommerzielles Modell, welches von Herstellerseite nach DIN EN 14683 (exakt: DIN EN 14683:2019-10, Anhang C) getestet wurde. Hierzu wurden fünf unterschiedliche Messpunkte jeweils an fünf Masken untersucht und die Druckdifferenz betrug im Median 58 Pa/cm² (Range: 51-75 Pa/cm²). Vergleicht man diese Druckdifferenz mit denen von 17 verschiedenen MNB-Modellen, die von Maurer et al. 2020 in einem der DIN EN 14683 vergleichbaren Versuchsaufbau ermittelt wurden (Median = 30 Pa/cm² (Range: 4-127 Pa/cm²), siehe Abb. 1), lässt sich eine leicht höhere, aber repräsentative Druckdifferenz für die in der IPA-Maskenstudie eingesetzte MNB festhalten.

Bei der in der IPA-Maskenstudie verwendeten FFP2-Maske handelt es sich um eine partikelfiltrierende Halbmaske nach DIN EN 149:2009 (exakt: EN 149:2001+A1: 2009), deren Atemwiderstände vom Hersteller mit 25 Pa (30 L/min), 95 Pa (95 L/min) bzw. 144 (160 L/min) angegeben werden. Dieses Maskenmodell wurde zusätzlich im Rahmen der Maskenstudie durch das IFA nach EN 149:2001+A1: 2009 getestet und es zeigten sich vergleichbare Atemwiderstände (Tabelle 2). Vergleicht man diese Ergebnisse mit denen weiterer FFP2-Modelle (n=8, Datenquelle IFA: Median: 32 Pa (Range: 16-46 Pa) bei

30 L/min, 108 Pa (71-157 Pa) bei 95 L/min bzw. 137 Pa (69-250 Pa) bei 160 L/min), wird deutlich, dass der Atemwiderstand der in der IPA-Maskenstudie verwendeten FFP2-Maske bei geringem Durchfluss (30 L/min) im mittleren und mit zunehmendem Fluss im leicht höheren Bereich liegt und somit als repräsentativ bezeichnet werden kann.

Wie zuvor dargestellt, werden die drei Maskentypen mit unterschiedlichen Prüfverfahren getestet, wodurch ein direkter Vergleich anhand der ermittelten Messwerte nur bedingt möglich ist. Neben den unterschiedlichen Volumenströmen unterscheiden sich maßgeblich die zu testenden Materialflächen. Dem alltäglichen Maskentragen kommt die Testung nach DIN EN 149:2009 am nächsten, da hierbei die zu testende Maske an einem Sheffield-Prüfkopf befestigt wird und nicht, wie sonst üblich, nur eine Materialfläche von 4,9 cm² getestet wird. In der Regel werden nach DIN EN 149:2009 nur partikelfiltrierende Halbmasken getestet, um aber einen vergleichenden Eindruck der Atemwiderstände der drei Maskentypen unter identischen und alltagsnahen Versuchsbedingungen zu erhalten, wurden im Vorfeld der IPA-Maskenstudie zusätzlich die verwendeten MNS- und MNB-Modelle (jeweils n=10) nach dieser Norm durch das IFA am Sheffield-Kopf getestet (Tabelle 2).

Anhand der in Tabelle 2 gezeigten Daten wird erkennbar, dass bei einer Prüfung nach DIN EN 149:2009 vergleichbare Atemwiderstände für den MNS und die MNB gemessen werden. Für die FFP2-Maske finden sich aufgrund ihrer erhöhten Filterleistung höhere Atemwiderstände. Generell unterscheiden sich diese Atemwiderstände von den Druckdifferenzen, die sich bei der Prüfung nach DIN EN 14683 ergeben. Hier zeigte sich für die MNB eine doppelt so hohe Druckdifferenz wie

Tabelle 2: Ergebnisse der durch das IFA nach DIN EN 149:2009 gemessenen Atemwiderstände der in der IPA-Maskenstudie verwendeten Maskentypen. Gemessen wurden jeweils 10 identische Modelle

Maskentyp	Gemessener Atemwiderstand nach DIN EN 149:2009 [Pa] Median (Range)		
	bei 30 L/min (E)	bei 95 L/min (E)	bei 160 L/min (A)
MNS Typ IIR	17 (12 - 18)	93 (87 - 148)	71 (56 - 77)
MNB	16 (14 - 19)	101 (88 - 116)	70 (58 - 80)
FFP2	33 (30 - 35)	143 (133 - 159)	154 (146 - 166)

Mund-Nase-Schutz (MNS) Typ IIR, Mund-Nase-Bedeckung (MNB), Einatemwiderstand (E), Ausatemwiderstand (A), Anmerkung: 1 Pa = 0,01 mbar

für den MNS (58 Pa/cm² vs. 29 Pa/cm²). Dies kann darin begründet sein, dass sich der zu testende Luftstrom (vgl. Tab. 1) durch das Maskenmaterial und die Größe der zu testenden Oberfläche unterscheidet und insbesondere bei hohen Flüssen bei der Testung nach DIN EN 149:2009 die Leckage bei MNB und MNS zum Tragen kommt. Insgesamt ermöglichte die parallele Testung der in der IPA-Maskenstudie verwendeten Maskentypen nach einer identischen, zudem noch dem alltäglichen Maskentragen nahe kommenden, Prüfnorm (EN 149: 2001+A1: 2009) erstmals eine vergleichende Betrachtung der Atemwiderstände der verschiedenen Masken.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass durch den Vergleich der so gewonnenen experimentellen Daten mit bereits publizierten Daten bestätigt wird, dass es sich bei allen drei in der IPA-Maskenstudie eingesetzten Maskentypen (MNS, MNB, FFP2) um repräsentative Modelle mit einem mittleren bis leicht höheren Atemwiderstand für den jeweiligen Maskentyp handelt.

Die Autoren

Eike Marek
 Dr. Vera van Kampen
 Dr. Birger Jettkant
 Prof. Dr. Thomas Brüning
 Prof. Dr. Jürgen Bünger
IPA
 Christoph Thelen
 Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA)

Dieser Beitrag erscheint in ähnlicher Form im IPA-Journal 01/2022.

Zum Weiterlesen empfohlen

Dellweg D, Lepper PM, Nowak D, Köhnlein T, Olgemöller U, Pfeifer M. Stellungnahme der DGP zur Auswirkung von Mund-Nasenmasken auf den Eigen- und Fremdschutz bei aerogen übertragbaren Infektionen in der Bevölkerung. *Pneumologie* 2020; 74: 331-336.

Maurer L, Peris D, Kerl J, Guenther F, Koehler D, Dellweg D. Community masks during the SARS-CoV-2 pandemic: filtration efficacy and air resistance. *J Aerosol Med Pulm Drug Deliv* 2021; 34: 11-19.

Scheuch G. Breathing is enough: for the spread of influenza virus and SARS-CoV-2 by breathing only. *J Aerosol Med Pulm Drug Deliv* 2020; 33: 230-234.

Impressum

Herausgegeben von:
Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V.
(DGUV),
Glinkastr. 40,
10117 Berlin

Redaktion: Institut für Prävention und
Arbeitsmedizin der DGUV (IPA)
Institutsdirektor: Univ.-Prof. Dr. Thomas Brüning

Bürkle-de-la-Camp-Platz 1
44789 Bochum
Tel.: 030 13001-4000
E-Mail: ipa@dguv.de
www.dguv.de/ipa