

Zur Frage des geeigneten Atemschutzes vor luftübertragenen Infektionserregern

S. Dreller, L. Jatzwauk, A. Nassauer, P. Paszkiewicz, H.-U. Tobys, H. Rüden

Zusammenfassung Neue Infektionskrankheiten wie SARS (Severe Acute Respiratory Syndrome) oder die hochpathogene Form der Vogelgrippe HPAI (Highly Pathogenic Avian Influenza) werfen erneut die Frage nach geeignetem Atemschutz als Expositionsprophylaxe vor luftübertragenen Infektionen auf. Dieser Beitrag versucht, diese Frage aus drei Sichtweisen zu beantworten. Zunächst ergab eine Datenbankrecherche nur zwei aussagekräftige epidemiologische Studien, die für medizinischen Mund-Nasen-Schutz (MNS) bzw. Partikel filternde Halbmasken (NIOSH-klassifiziert) eine signifikante Schutzwirkung nachweisen. Zweitens wird eine Labormethode zur Bestimmung der Konzentration verschiedener Bioaerosole an einem Kunstkopf vorgestellt. Untersuchungen mit dieser Methode zeigen deutlich, dass Papiermasken zum Schutz vor Bioaerosolen ungeeignet, mehrlagige Filter in MNS und FFP-Masken gegenüber Bakterienaerosolen jedoch wirksam sind. Schließlich werden Ergebnisse einer Untersuchungsreihe in Anlehnung an die europäische Atemschutzgerätenorm DIN EN 149 vorgestellt. Von 16 zufällig ausgewählten MNS zeigte erwartungsgemäß ein als „Tbc-Maske“ klassifizierter MNS (NIOSH N95) ein sehr gutes Rückhaltevermögen. Nur drei der übrigen MNS erfüllten die Mindestanforderungen an ein Atemschutzgerät der Geräteklasse FFP1 für die Gesamtleckage. Aufgrund dieser Daten kommen die Autoren zu der Auffassung, dass eine Empfehlung zum geeigneten Atemschutz vor luftübertragenen Infektionen durch eine Konvention festgelegt werden sollte.

1 Einleitung

Vor allem seit dem Auftreten neuer, bisher bei Menschen nicht bekannten schweren Infektionen wie das Schwere Akute Respiratorische Syndrom (SARS) oder die aviäre Influenza befassen sich Wissenschaft, Behörden und internationale Organisationen wie die Weltgesundheitsorganisation (WHO) mit der Aufstellung geeigneter Präventionskonzepte und -maßnahmen. Nach der Identifizierung und Beschreibung der Erreger und Klärung der Übertragungswege werden klassische Präventionsmaßnahmen ins Auge gefasst, wie räumliche und Kontaktisolierung, hygienische Maßnahmen wie Händedesinfektion oder soweit vorhanden die An-

Dr. rer. nat. Stefan Dreller,

Berufsgenossenschaftliche Zentrale für Sicherheit und Gesundheit (BGZ), Sankt Augustin.

Dr. rer. nat. Lutz Jatzwauk,

Universitätsklinikum Carl Gustav Carus, Dresden.

Dr. med. Alfred Nassauer,

Direktor und Professor am Robert Koch-Institut, Berlin.

Dr. rer. nat. Peter Paszkiewicz,

Dipl.-Ing. Hans-Ulrich Tobys,

Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA, Sankt Augustin.

Prof. Dr. med. Henning Rüden,

Charité – Universitätsmedizin Berlin, Institut für Hygiene und Umweltmedizin.

Investigations on suitable respiratory protection against airborne pathogens

Abstract New infectious diseases, such as SARS (severe acute respiratory syndrome) or the highly pathogenic form of the bird flu HPAI (highly pathogenic avian influenza), have brought renewed attention to the question of suitable respiratory protection as a prophylactic measure against airborne infection. This article attempts to address the problem from three different perspectives. At first, a database search retrieves only two valid epidemiological studies showing a significant protective effect for mouth-nose protectors (MNP) or particle filtering half-masks (NIOSH classified). Second, a laboratory method is introduced for determining the concentration of different bio-aerosols using an artificial head. Studies with this method clearly indicate that paper masks are not suited for protection against bio-aerosols, but that multi-layered filters in MNPs and FFP masks are effective against bacterial aerosols. Finally, the results of one series of studies is introduced that was performed on the basis of the European respiratory standard DIN EN 149. Of 16 randomly selected MNPs, one MNP classified as a "Tbc mask" (NIOSH N95) indicated a very good capacity for holding out the particles as expected. Only three of the remaining MNPs met the minimum standards for overall leakage in a respiratory protection device of the FFP1 class. Based on these data, the authors conclude that a recommendation on suitable respiratory protection against airborne infection should be established by regulatory convention.

wendung von Impfstoffen. Während der SARS-Epidemie 2003 in Asien wurden von den genannten Institutionen auch Empfehlungen gegeben, um sich gegenüber infektiösen Aerosolen zu schützen, z. B. beim Anhusten durch Erkrankte oder beim Aufenthalt mit diesen auf engem Raum, wie auf Schiffen oder in Flugzeugen. Es fiel auf, dass sich diese Empfehlungen unterschieden, insbesondere zur Verwendung medizinischer Mund-Nasen-Schutze (MNS, Synonyme: OP- oder chirurgische Masken) und Partikel filternder Halbmasken (in Europa FFP, in den USA NIOSH N, Vergleich siehe **Tabelle 1**). In Deutschland entwickelte sich auf Initiative der Berufsgenossenschaften eine Zusammenarbeit zwischen Arbeitsschützern und Medizinern, die zu den in diesem Beitrag zusammengetragenen Ergebnissen führte.

2 Anwendung des klassischen Atemschutzes zum Schutz vor Bioaerosolen

Viele Mikroorganismen gelten als Infektionserreger, die auf verschiedenen Übertragungswegen in den menschlichen Organismus eindringen und eine Infektion bzw. eine Infektionskrankheit auslösen können. Zur Verhütung übertragbarer Erkrankungen werden Maßnahmen der Expositions- und soweit möglich der Dispositionsprophylaxe (Schutzimpfungen) eingesetzt. Ein wesentlicher Bestandteil der Expositionsprophylaxe sind die Unterbrechung der Übertragungswege und die Einschränkung der Übertragungsmöglichkeiten. In dieser Publikation wird vor allem der Übertragungsweg des Einatmens von Infektionserregern mit der Atemluft betrachtet. Es kann davon ausgegangen werden, dass es sich bei den durch die Luft transportierten Infektionserregern

Typ der Halbmaske	Mindestrückhaltevermögen des Filters für NaCl-Prüfaerosol [bzw. <i>Staphylococcus aureus</i>] in %	Maximal zulässige Gesamtleckage an Probanden in %
FFP 1	80	22 ¹⁾
FFP 2	94	8 ¹⁾
FFP 3	99	2 ¹⁾
NIOSH N95	95	10 ²⁾
NIOSH N99	99	10 ²⁾
NIOSH N100	99,97	10 ²⁾
MNS (<i>S. aureus</i>)	[95]	nicht angegeben

FFP = Filtering facepiece, NIOSH = National Institute for Occupational Safety & Health

¹⁾ Für FFP-Masken mit NaCl-Aerosol gemäß DIN EN 149 festgelegt [1].

²⁾ Für NIOSH-N-Masken abgeleitet aus dem von NIOSH angegebenen Assigned Protection Factor (APF) von 10. Dieser setzt einen bestandenen qualitativen oder quantitativen Fit-Test nach OSHA voraus [2].

Tabelle 1. Vergleich der Anforderungen an Partikel filternde Halbmasken nach DIN EN 149 und NIOSH sowie an Mund-Nasen-Schutz (MNS) nach prEN 14683.

um Partikeln (an Tröpfchen gebundene Viren, Bakterien und Pilze; Tröpfchenkerne; auch an Staubpartikeln gebundene Infektionserreger, z. B. in Tierställen; selten: freie, d. h. nicht an andere Partikeln gebundene Infektionserreger) [3] handelt, deren Größenverteilung einen lungen- bzw. alveolengängigen Anteil umfasst (Partikeldurchmesser < 5 µm). Es spricht nichts gegen die Annahme, dass sich solche Aerosole infektiöser Teilchen in ihrem strömungsmechanischen Verhalten wie Aerosole unbelebter Teilchen verhalten. Zur Unterbindung dieses Übertragungsweges bieten sich deshalb Partikel filternde Atemschutzgeräte oder MNS an, die ein entsprechendes Rückhaltevermögen gegenüber Partikeln haben.

Daneben kann beim Einsatz solcher Systeme auch ein Schutzeffekt durch das verhinderte Auftreffen von Infektionserregern auf die Mund- oder Nasenschleimhaut diskutiert werden.

Wie die Kurve des Filterabscheidegrades prinzipiell zeigt (Bild 1; [4]), werden selbst Partikeln in der Größenordnung freier, nicht an Tröpfchen gebundener Bakterien und Pilze (> 0,5 µm) oder Viren (< 0,2 µm) an typischen, in Atemschutzgeräten verwendeten Filtermedien gut abgeschieden. Für die in Bild 1 beschriebenen Fälle liegen die Abscheide-minima bei 0,15 bzw. 0,2 µm. Kleinere oder größere Partikeln werden besser abgeschieden.

Medizinische Mund-Nasen-Schutz (MNS) sind zum Schutz von Patienten konzipiert, insbesondere für den Einsatz in Operationsbereichen. Dementsprechend weist das Filtermaterial, wenn es den normativen Anforderungen [5] entspricht, eine gute Filterwirkung für Viren, Bakterien und Pilze auf. Wegen ihrer Funktion unterliegen MNS dem Medizinproduktegesetz, sie sollen den Anforderungen des Normentwurfes prEN 14683 [5] entsprechen. Die Verwender von MNS, wie Ärzte und Pflegekräfte, unterstellen dem MNS oft auch eine Schutzwirkung für sich selbst, wie sich auch in den Empfehlungen des Deutschen Zentralkomitees zur Bekämpfung der Tuberkulose (DZK) niederschlägt [6]. Zum Schutz von Beschäftigten eingesetzte Atemschutzgeräte unterliegen der Europäischen Richtlinie für das Inverkehrbringen Persönlicher Schutzausrüstungen [7]; Atemschutzgeräte müssen den Anforderungen harmonisierter Europäischer Normen entsprechen. Für den medizinischen Bereich kommt im Wesentlichen der Einsatz Partikel filternder Halbmasken (FFP, filtering facepiece) in Betracht. Die Anforderungen an FFP-Masken sind in DIN EN 149 [1] vorgegeben. Sie umfassen nicht nur die Leistungsmerkmale des Filtermaterials, sondern berücksichtigen auch den Dichtsitz am Gesicht des Trägers. Die vorgeschriebenen Prüfungen

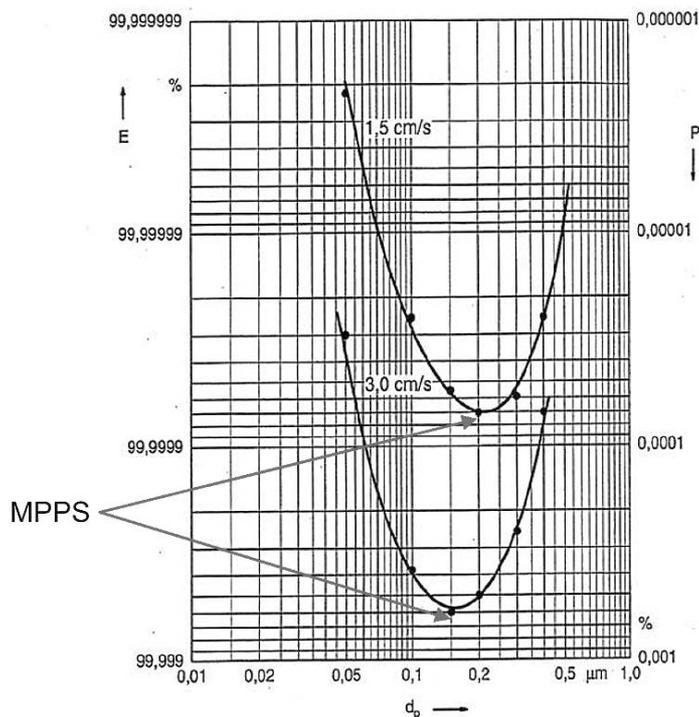


Bild 1. Funktion des Partikeldurchmessers d_p für zwei verschiedene Filteranströmgeschwindigkeiten (Beispiel).

E = Abscheidegrad, P = Durchlassgrad, d_p = Partikeldurchmesser, MPPS = most penetrating particle size; Maskenanströmgeschwindigkeiten: ca. 8 cm/s bei 95 l/min, ca. 2,5 cm/s bei 30 l/min

der Gesamtleckage werden an Probanden vorgenommen. Nur so lässt sich der Einsatz von FFP-Masken in der Praxis simulieren.

Vergleicht man MNS und FFP-Masken, ist der oft schon visuell leicht erkennbare mangelnde Dichtsitz von MNS am Gesicht des Trägers auffallend. Aus Sicht des klassischen Atemschutzes ist deshalb der Einsatz der auf genügenden Dichtsitz an Probanden geprüften FFP-Masken zu empfehlen (Tabelle 1).

Um die Frage zu erörtern, welche Schutzsysteme letztlich für den Einsatz bei medizinischen Tätigkeiten mit einer Exposition gegenüber luftübertragenen Infektionserregern geeignet sind, wird in diesem Beitrag in drei Abschnitten eingegangen auf

1. eine Datenbankrecherche zur Epidemiologie für den Einsatz von MNS und Partikel filternden Halbmasken,
2. experimentelle Untersuchungen von MNS an einem mikrobiologischen Modell,

3. experimentelle Untersuchungen von MNS nach den Verfahren der DIN EN 149.

3 Bisherige Studien zum Einsatz von medizinischen Mund-Nasen-Schutzen (OP-Masken) und FFP-Masken

Viele Infektionen werden aerogen übertragen. Dazu gehören Pilzinfektionen, wie z. B. Aspergillosen, bakterielle Infektionen, wie z. B. Pertussis, Diphtherie, Tuberkulose und Meningokokken-Infektionen, sowie virale Infektionen, z. B. Influenza, SARS oder Noro-Virus-Infektionen. Die Erreger kommen an Tröpfchen und an Tröpfchenkerne gebunden vor [8]. In Tröpfchen sind infektiöse virale, bakterielle und pilzliche Partikeln enthalten, umgeben von einer Wasserhülle mit einem Durchmesser von > 10 µm. Solange das infektiöse Partikel von einer Wasserhülle umgeben ist, sedimentiert es schnell aus der Luft auf den Boden. Da jedoch die Wasserhülle in kurzer Zeit verdampfen kann, entsteht aus dem Tröpfchen ein Tröpfchenkern ohne Wasserhülle mit einem Durchmesser von < 10 µm. Dies verbleibt aufgrund seiner geringen Sedimentationsgeschwindigkeit als Schwebstoffteilchen längere Zeit in der Luft. Sofern ein infektiöses Partikel als Tröpfchen vorliegt, ist eine Übertragung über eine Distanz bis zu 3 m beschrieben [9]. Handelt es sich um einen Tröpfchenkern, sind keine Angaben zur Übertragungsentfernung bekannt. Um sich vor infektiösen Tröpfchen oder Tröpfchenkernen zu schützen, bieten Masken – in welcher Form auch immer – einen relativen, wenn auch nicht vollständigen Schutz. So werden MNS in erster Linie zum Patientenschutz, jedoch auch zum Personalschutz (z. B. gegen Influenza) eingesetzt. FFP- und NIOSH-Masken werden nur zum Personalschutz eingesetzt. Nur die chirurgischen Masken (MNS) werden bezüglich ihres Filtermaterial-Durchlassgrades mikrobiologisch geprüft, und zwar mit *Staphylococcus aureus* [5]. Da die FFP- und NIOSH-Masken dem Schutz des Personals vor partikulären chemischen und biologischen Stoffen dienen, erfolgt die Prüfung mit chemischen Substanzen (Testaerosolen), wobei davon ausgegangen wird, dass diese Prüfsubstanzen aufgrund ihrer Größenverteilung das Abscheideverhalten von biologischen Stoffen, wie Viren, Bakterien und Pilze, miteinschließen.

Eine Medline-Datenbankrecherche zu infektionspräventiven Eigenschaften von Masken unter Ausschluss von nicht epidemiologisch durchgeführten Untersuchungen ergab nur Studien zu MNS und NIOSH-Masken. Zur FFP-Maske ist keine epidemiologische Studie in nationalen oder internationalen Peer-review-Zeitschriften publiziert.

Ein MNS wird überwiegend im OP-Saal eingesetzt, denn dort soll die Übertragung infektiöser Partikeln aus dem Mund-Nasen-Bereich des OP-Teams auf das Wundgebiet verhindert werden und damit einer OP-Team-assoziierten Wund-

infektion vorgebeugt werden. Die einzige bislang veröffentlichte kontrollierte Studie von *Tunevall* [10] hat jedoch nicht belegen können, dass der vom Personal getragene MNS das Wundinfektionsrisiko vermindert, auch wenn es trotz fehlender Evidenz weltweit so gehandhabt wird. Wenn jedoch Infektionen der oberen Atemwege einschließlich einer Sinusitis bestehen, konnte belegt werden, dass derartig erkrankte Personen infektiöse Partikeln im großen Umfang emittieren, was mit dem Tragen eines MNS nahezu vollständig unterbunden wurde [11].

Aufgabe einer Maske ist es jedoch auch, dass die (noch) nicht infizierte Person vor infektiösen Partikeln, emittiert von erkrankten Personen, geschützt wird. Erfahrungen im Krankenhaus zeigen, dass beispielsweise die Übertragung von Noro-Virus-Infektionen – hier reichen 10 bis 100 virus-haltige Partikeln aus, um bei gesunden Personen eine Infektion hervorzurufen – durch das Tragen einer chirurgischen Maske auf dem Luftweg verhindert werden kann [12].

Erst mit dem Auftreten von SARS-Infektionen konnte in epidemiologischen Studien zu deren Ätiologie und Transmission gezeigt werden, dass MNS und NIOSH-Masken [13 bis 16] in der Lage sind, nicht erkrankte Personen vor den das Krankheitsbild SARS erzeugenden Coronaviren zu schützen, wenn auch bei Verwendung beider Masken (MNS und NIOSH-Masken) SARS-Transmissionen nicht vollständig unterbunden wurden (**Tabellen 2 bis 5**). Wie bereits erwähnt, liegen für FFP-Masken keine epidemiologischen Studien zum Schutz vor luftübertragenen infektiösen Partikeln vor. Ausgehend von der Tatsache, dass die epidemiologisch bestätigte Effizienz von MNS und NIOSH-Masken statistisch signifikant ist [15], sind beide Maskentypen zum Schutz vor belebten viralen, bakteriellen und pilzlichen Agenzien aus medizinischer Sicht gleichermaßen geeignet (kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen chirurgischen und NIOSH-Masken). Dabei bekommt die Bereitschaft zum Tragen von Masken (**Tabellen 6 bis 7**) eine herausragende Bedeutung [13]. MNS sowie NIOSH-Masken (wohl auch FFP-Masken trotz fehlender epidemiologischer Evidenz) sind nach der epidemiologischen Literatur [14; 16] für den Personalschutz geeignet.

4 Mikrobiologische Modelluntersuchungen zur Evaluation von MNS und FFP-Masken mit Bioaerosolen an einem Kunstkopf

Mangels epidemiologischer Daten zur Schutzwirkung sowie aus ethischen Gründen können nur Laborversuche zur Evaluierung von MNS oder FFP-Masken herangezogen werden. Jedes Modell kann die praktische Realität nur ungenügend abbilden, sollte dieser im Ergebnis aber möglichst nahe kommen. Meist werden hierfür physikalische Experimente

Tabelle 2. Infektionsübertragung von SARS auf medizinisches Personal im Rahmen eines Ausbruchs in Hongkong [16] in Abhängigkeit vom Tragen einer Maske bei der Versorgung von SARS-Patienten (n = 11).

	Infiziertes Personal n = 13	Nicht infiziertes Personal n = 241	p
Keine Maske	11	72	
Masken (gesamt)	2	169	0,0001
– Papiermaske*	2	26	n. s.
– OP-Maske	0	51	0,007
– N95-Maske	0	92	0,0004

*: Mund-Nasen-Schutz ohne spezielle Prüfung des Rückhaltevermögens, wie er vor allem im asiatischen Raum häufig im öffentlichen Verkehr benutzt wird.
n. s. = nicht signifikant

eingesetzt, welche die Penetration von Flüssigkeitströpfchen oder festen partikulären Substanzen unbeladener Natur messen. Diese Untersuchungen finden in der medizinischen Praxis jedoch nur eine geringe Akzeptanz, da die Meinung vorherrscht, dass die Ergebnisse nur bedingt mit der Filtration von Mikroorganismen vergleichbar sind. Ziel der vorliegenden Untersuchungen war es, unterschiedliche MNS und FFP-Masken unter verschiedenen Bedingungen hinsichtlich ihrer Filtrationswirkung in einem einheitlichen praxisnahen Prüfmodell mit bakterienhaltigen Aerosolen zu evaluieren. Untersuchungen mit Bioaerosolen zum Rückhaltevermögen verschiedener Filter wurden bereits früher durchgeführt [17].

4.1 Material und Methoden

Zur Prüfung der Keimpenetration durch MNS oder FFP-Masken wurde ein handelsüblicher zahnmedizinischer Phantomkopf mit menschlichen Abmessungen in einer Messkammer von 85 l Inhalt (Typ: 850-2L, Fa. Plas Labs, Lansing, Michigan, USA) einem Bioaerosol ausgesetzt (Bild 2). Das Aerosol wurde mit einem Aerosolgenerator vom Typ ATM 225 (Fa. Topas, Dresden) erzeugt, der ein definiertes Aerosol mit einem Luftvolumenstrom von 1,6 l/min direkt vor den Phantomkopf leitete. Das Aerosol wies folgende Größenverteilung auf:

- total: ca. 10⁸ Partikeln/cm³,
 - < 0,5 µm: ca. 7 · 10⁷ Partikeln/cm³,
 - 0,5 bis 0,5 µm: 1,5 · 10⁷ Partikeln/cm³,
 - > 0,5 µm: 8,0 · 10⁶ Partikeln/cm³,
 - > 1,0 µm: 1,0 · 10⁵ Partikeln/cm³,
- die mit einem Partikelmonitor vom Typ abacus TM air (Fa. Markus Klotz, Bad Liebenzell) bestimmt wurde.

Die Luft wurde vollständig über den geöffneten Mund des Phantomkopfes eingesaugt, wobei dies bei dicht angelegten Masken bzw. zusätzlich mit präparierten Leckagen erfolgte (Bild 3). Die inspirierte Luftmenge wurde durch die simulierte Trachea des Phantomkopfes durch einen Luftkeimsammler vom Typ MD 8 airscan der Fa. Sartorius (Göttingen) mit einer Saugrate von 33,3 l/min abgesaugt (Bild 4). Aufgrund der Differenz aus Aerosolproduktions-

Tabelle 3. Infektionsübertragung von SARS auf Pflegepersonal von zwei Intensivstationen in Toronto, in Abhängigkeit vom Tragen einer Maske bei der Versorgung von SARS-Patienten [14].

		Chirurgische Maske oder N95-Maske getragen	
		Ja	Nein
SARS-Infektion	Ja	3	5
	Nein	20	4

Relatives Risiko (RR): 0,23
95-%-Konfidenzintervall (CI₉₅: 0,07; 0,78)

N95-Maske versus chirurgische Maske	
Relatives Risiko	0,50
CI ₉₅	0,06; 4,23
p	0,51

Tabelle 4. Infektionsübertragung von SARS auf Pflegepersonal von zwei Intensivstationen in Toronto, in Abhängigkeit von der Art der Maske [14].

Tabelle 5. Auftreten von SARS-Infektionen unter dem Personal bei der Behandlung von SARS-Patienten mit Tragen von chirurgischen und/oder N95-Masken [15].

Maske	Zahl der exponierten Mitarbeiter	Zahl der exponierten Mitarbeiter mit SARS	
		n	%
Chirurgische Maske	6	2	33
N95-Maske	6	1	17
Chirurgische oder N95-Maske	13	3	23

Tabelle 6. Bereitschaft zum Tragen von Masken im Rahmen der SARS-Epidemie in Hongkong [13].

	Odds Ratio (OR)	CI ₉₅
Frauen versus Männer	2,02	1,29; 3,31
Krankenhauspersonal versus übrige Personen	3,44	1,65; 7,16
Effektivität der Maske aus der Sicht des Trägers: ja versus nein	7,15	4,25; 12,05

Tabelle 7. Kriterien für die Akzeptanz von Masken in der Charité – Universitätsmedizin Berlin.

Akzeptanzkriterium	MNS	FFP-Maske		
		Typ 1	Typ 2	Typ 3
höchstmögliche Filteraktivität	++	+	+	++
geringstmögliche Leckage	+	+	+	++
niedrige Kosten	++	++	+	-
hoher Tragekomfort und geringe Atemarbeit	++	+	-	-
Handhabung	++	+	+	+
Anpassung an die Gesichtsform	+	++	++	++
Einsehbarkeit auf die Gesichtszüge des Anwenders	+	+	+	+
Verfügbarkeit in verschiedenen Größen	+++	+	+	+
akzeptables Aussehen	+	+	+	+
keine Einengung des Gesichtsfeldes beim Anwender	++	+	+	+

-: unwichtig, +: wichtig, ++: sehr wichtig, +++: äußerst wichtig



Bild 2. Versuchsmo­dell mit Aerosol­ge­ne­ra­tor, Acryl­kam­mer und Phantom­kopf.

rate und Saugrate der Atemluft erfolgte über einen bakteriendichten Beatmungsfilter (Typ: hygrovent, Fa. B+P Beatmungsprodukte, Neunkirchen-Seelscheid) ein Druckausgleich in der Messkammer. Die Mikroorganismen wurden auf Gelatinefiltern mit einer Porenweite von 3,0 µm (Fa. Sartorius, Göttingen) abgeschieden. Pro Maske, Untersuchungsbedingung trocken dicht, trocken undicht und feucht dicht sowie pro Bakterienart wurden Serien mit jeweils zehn Einzelmessungen durchgeführt.

Als Testkeime wurden verwendet:

- *Staphylococcus aureus* ATCC 6538,
- *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 15442,
- *Legionella pneumophila* (Corby CA, Deutschland).

Zur Aerosolproduktion wurden die Bakteriensuspensionen in einer Konzentration von ca. 10^7 Kolonie bildenden Einheiten (KBE)/ml jeweils in physiologischer Kochsalzlösung eingesetzt (Legionellen in Aqua dest.). Zur quantitativen Keimrückgewinnung wurden die Gelatinefilter in Kochsalzlösung gelöst (bei Legionellen in Aqua dest.) sowie aus der Suspension die Anzahl kultivierbarer Mikroorganismen bestimmt. Die Koloniezählbestimmung von *Staphylococcus aureus* sowie *Pseudomonas aeruginosa* erfolgte nach 24-stündiger aerober Inkubation bei 37 °C auf Columbia-Blut-Agar. *Legionella pneumophila* wurde auf GVPC-Agar über 36 Stunden inkubiert (37 °C, 5 % CO₂-Einleitung). Es wurden zehn unterschiedliche Gesichts- bzw. Atemschutzmasken geprüft (Tabelle 8). Zur Simulation einer verlängerten Tragedauer der Gesichtsmasken wurden diese mit einem Ultraschallvernebler vom Typ Monsun U901 der Fa. MEDAP (Bad Homburg) von der Innenseite mit 1 ml destillierten Wassers befeuchtet.

Die statistische Bearbeitung der Daten erfolgte mit der Software „SPSS für Windows 11.5“. Es wurden die Verfahren nach *Kruskal-Wallis* und *Mann-Whitney* (U-Test) verwendet, womit bei diesem Versuchsmodell statistisch signifikante Unterschiede in den Filtrationseffektivitäten zwischen den Masken nachgewiesen werden konnten.

4.2 Ergebnisse

Mit der Untersuchungsmethode können über Aerosole inhalierte Mikroorganismen quantitativ reproduzierbar nachgewiesen werden. Trotz annähernd gleicher Konzentrationen der Mikroorganismen in den zur Aerosolproduktion



Bild 3. Phantomkopf mit dicht angelegten Gesichtsmasken.



Bild 4. Keimrückgewinnung mittels eines Luftkeimsammlers MD 8 airscan der Fa. Sartorius (Göttingen).

verwendeten Suspensionen differierte deren Nachweisrate in der Atemluft. Diese war für *Staphylococcus aureus* ($4 \cdot 10^4$ KBE/33 l) am höchsten, für *Legionella pneumophila* etwa um die Hälfte geringer (Bild 5). Das Tragen von einlagigen

gen Papiermasken senkte die Anzahl der inhalierten Bakterien im Durchschnitt um 40 %. Signifikant bessere Filtrationswirkungen wurden mit mehrlagigen chirurgischen Masken, speziell für die Zahnmedizin hergestellten Masken sowie FFP-Masken erzielt (Bild 6). Vergleichbare Ergebnisse wurden auch für Aerosole, die *Pseudomonas aeruginosa* oder *Legionella pneumophila* enthielten, ermittelt (Bild 7). Unterschiede in den Nachweisfrequenzen verschiedener Bakterien aus dem Aerosol sind in der Größe der Bakterienzellen, der Zusammenlagerung in unterschiedlich große Zellaggregate und deren Stabilität im Aerosol zu begründen. Die Filtrationsleistungen der Masken zeigten jedoch bei allen eingesetzten Bakterien prinzipiell gleiche Relationen. *Staphylococcus aureus* erwies sich als optimaler Testkeim, da seine Nachweisfrequenz im Aerosol am höchsten war. Obwohl MNS vordergründig der Prävention von Wundinfektionen bei den Patienten dienen und Atemschutzmasken des Typs FFP2 gezielt zum Schutz des Trägers vor Tröpfcheninfektionen bestimmt sind, zeigte sich im vorliegenden Untersuchungsmodell ein Rückhaltevermögen beider Maskentypen in der gleichen Größenordnung. Dagegen wiesen einlagige Papiermasken ein deutlich geringeres Rückhaltevermögen auf. Zu ähnlichen Schlussfolgerungen bezüglich der Anwendbarkeit von Gesichtsmasken gelangen *Beggs et al.* [18] und *Schaberg et al.* [6] bei infektionsepidemiologischen Untersuchungen zur Prävention der nosokomialen Tuberkulose sowie *Seto et al.* [16] im Rahmen der Ausbreitung von SARS. Die Ergebnisse des untersuchten Labormodells scheinen mit denen der vorgenannten infektionsepidemiologischen Studien zu korrelieren. Unkorrektes Tragen der Maske beeinflusst die Schutzfunktion der Maske negativ. Allein der Verzicht auf das Andrücken des Nasenbügels führt zu einem deutlichen Verlust an Schutzfunktion wegen erhöhter Leckage. Entgegen bisherigen Vorstellungen scheint eine Befeuchtung der Innenseite der Gesichtsmaske durch die Atemluft nicht (sofort) zur verstärkten Keimpenetration zu führen (Bilder 7 und 8).

Tabelle 8. Übersicht über die an einem Phantomkopf geprüften Masken.

Nr.	Name	Hersteller	Lagen	Typ
1	Valamask	Fa. Paul Hartmann, 89522 Heidenheim	1	Papier
2	Medimask Spezial		3	MNS
3	Standard	Mölnlycke Health Care AB, 40252 Göteborg, Box 13080, Schweden	3	MNS
4	Prophydent Quecksilber-Mundschutz	Fa. F.O.S. Medizintechnik, Am Vatheuershof 19, 59229 Ahlen	3	MNS
5	Comfort Natural	Fa. Rösner-Mautby Meditrade, Thierseestr. 196, 83088 Kiefersfelden	3	MNS
6	Antifluid Natural		4	MNS
7	1862 (FFP2)	Fa. 3M Medica, 46325 Borken	5	FFP
8	1872V (FFP2)		5	FFP
9	Sentinx lite	Fa. Rauscher, 30982 Pattensen	3	MNS
10	Sentinx Safety Shield	Fa. Lohmann & Rauscher International, 56579 Rengsdorf	4	MNS

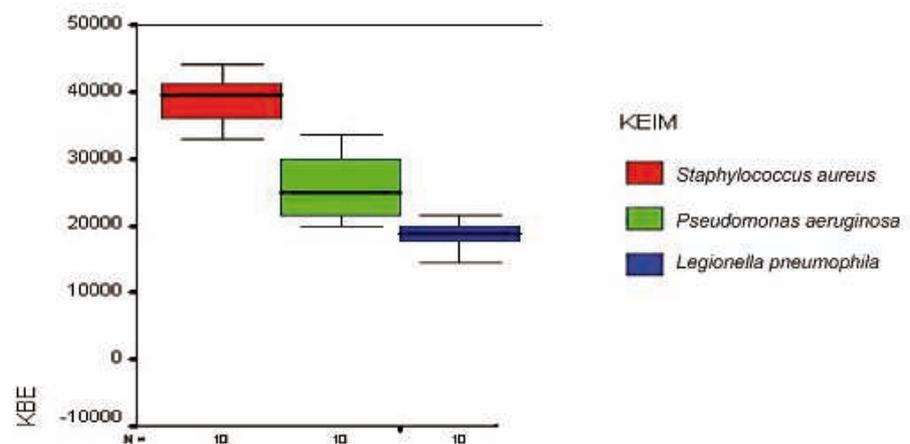


Bild 5. Nachweis der Testorganismen (in KBE/33 l) im Versuchsmodell ohne Einsatz von Masken – „Rohaerosolgehalt“.

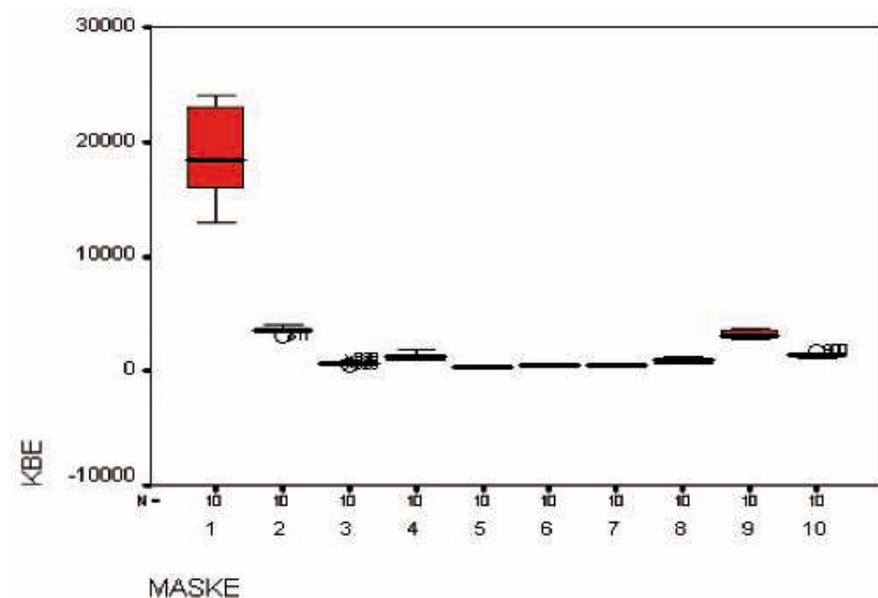


Bild 6. Nachweis von *Staphylococcus aureus* (in KBE/33 l) „atemseitig“ bei Einsatz unterschiedlicher Masken (Masken Nr. 1 bis 10: siehe Tabelle 8).

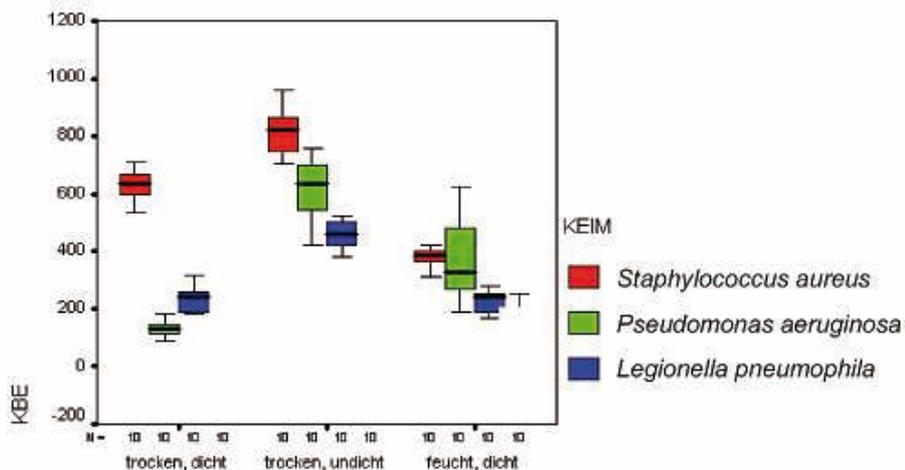


Bild 7. Nachweis der Testkeime (in KBE/33 l) bei Einsatz eines dreilagigen MNS (Nr. 5, siehe Tabelle 8) unter verschiedenen Tragebedingungen.

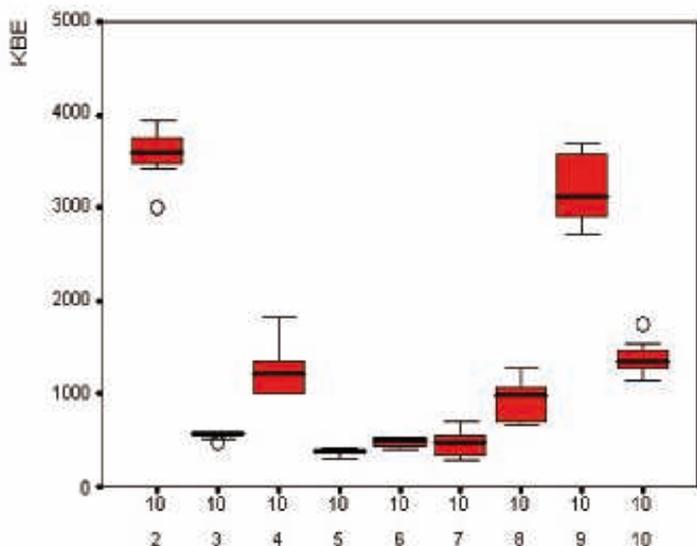


Bild 8. Unterschiede im Nachweis von *Staphylococcus aureus* (in KBE/33 l) „atenseitig“ bei Einsatz unterschiedlicher Masken nach deren Befeuchtung (Masken Nr. 2 bis 10, siehe Tabelle 8).

5 Untersuchung marktüblicher medizinischer Mund-Nasen-Schutz-Produkte nach der Atemschutzgerätenorm DIN EN 149

In vielen Bereichen des Gesundheitswesens werden in der alltäglichen Praxis OP-Mund-Nasenschutz-Produkte (MNS) nicht nur zum Schutz des Patienten eingesetzt, sondern häufig auch zum Schutz der Atemwege des Behandlers gegen infektiöse Keime, die vom Patienten herrühren. Ob diese bezüglich der Konzeption dieser Geräte nicht vorgesehene Verwendung als Atemschutzgerät seine Berechtigung hat, sollten einschlägige Prüfungen nach standardisierten Anforderungen für einfache Atemschutzgeräte in zwei Untersuchungsreihen zeigen, zumal für das Inverkehrbringen von MNS eine Zulassung durch eine unabhängige Prüfstelle, so wie es für alle Atemschutzgeräte gesetzlich vorgeschrieben ist, nicht verlangt wird. Wegen der Ähnlichkeit von

Design und Funktion mit Partikel filtrierenden Halbmasken, die ebenfalls zum einmaligen Gebrauch vorgesehen sind, wird auf die für diese Atemschutzgeräte gültige Prüfnorm DIN EN 149 [1] Bezug genommen. Eine bereits 1995 im Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitsschutz – BGIA durchgeführte Studie [19] an elf verschiedenen Typen von MNS-Produkten wurde nach dem Auftreten bisher für den Menschen neuartiger Infektionserreger (SARS) aktualisiert, um den derzeitigen Stand der Technik einzubeziehen.

5.1 Material und Methoden

In Anlehnung an die Norm DIN EN 149 [1] für Partikel filtrierende Halbmasken wurden drei zur Beurteilung der Schutzwirkung signifikante

Tests in Dreifachbestimmung an 16 verschiedenen, willkürlich ausgewählten markttypischen Produkten durchgeführt (Tabelle 9). Die gemäß NIOSH geprüfte und in den CDC-Leitlinien [20] zur Infektionsprävention bei Tuberkulose (Tbc) empfohlene N95 (Maske N) ist als einziges Produkt von einer unabhängigen Prüfstelle als Atemschutzgerät zugelassen.

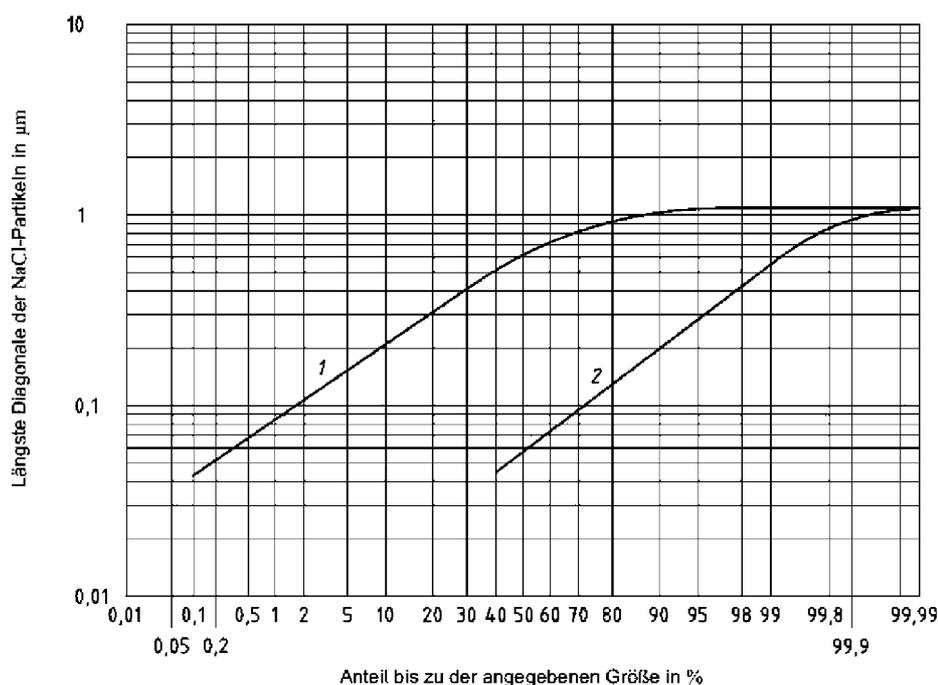
Neben der Ermittlung des Atemwiderstandes als Maß für die zusätzliche Beanspruchung des Trägers durch Erschwerung der Atmung wurden die Gesamtleckage und der Filtermaterial-Durchlassgrad mit einem fein verstäubten Kochsalzaerosol (NaCl) zur Beurteilung des potenziellen Eintrages von Gefahrstoffen bzw. Krankheitserregern gemessen. Mehr als 99 % der NaCl-Partikeln des nach DIN EN 143 [21] eingesetzten Prüfaerosols sind < 1 µm und ca. 70 % < 0,1 µm (Bild 9). Damit werden als Worst-case der Größenbereich isolierter Viren (ca. 0,01 µm bis 0,3 µm) annähernd und der Bereich der größten Durchlässigkeit solcher Filtermedien vollständig abgedeckt. Die Anwendung von besser penetrierendem Paraffinölnebel als flüssiges Aerosol wurde wegen der unterschiedlichen Eigenschaften von öligen im Vergleich zu wässrigen bzw. wasserbasierten Aerosolen im Falle von Viren nicht in Erwägung gezogen. Der Filtermaterial-Durchlassgrad bei 95 l/min kontinuierlichem Volumenstrom bildet als Worst-case den wahrscheinlich maximal kurzzeitig auftretenden Spitzenvolumenstrom ab und entspricht bei 30 l/min kontinuierlicher Messung dem Mittelwert über die Einatemphase einer zu erwartenden Atmung bei leichter bis mittelschwerer körperlicher Tätigkeit. Der bei 30 l/min ermittelte Durchlassgrad des Filtermaterials ist den Bedingungen der Leckagemessung mit Probanden angepasst und liefert daher zusätzliche Informationen zur Abschätzung der Gesichtleckage, die in grober Näherung als Differenz von Gesamtleckage und Materialdurchlassgrad angenommen werden kann.

5.2 Ergebnisse

Nach der Messung der Gesamtleckage als Maß für die effektive Schutzleistung unter standardisierten Tragebedingungen erfüllen zwölf der 16 Produkte nicht einmal die Anforderung an Partikel filtrierende Halbmasken mit dem niedrigsten Schutzniveau (FFP1) und könnten allein deswegen nicht

Kennung	Produkt	Adresse	Lagen	Typ
A	Unigloves Profil	UNIGLOVES Ärzte & Klinikbedarf, Amperestr. 24, 53844 Troisdorf	3	MNS
B	IREMA Facemate grün (Tuch)	IREMA Ireland, Kilmallock Co.Limerick, Republic of Ireland	3	MNS
C	Mölnlycke BARRIER Surgine Plus grün (Tuch)	Mölnlycke Health Care AB, Box 13080, 402 52 Göteborg, Schweden	3	MNS
D	Selective TIE-ON FACEMASKS blau (Tuch)	Jovident International B.V.; Brussellaan 2B, 5628 TC Eindhoven, Niederlande	3	MNS
E	roeko DIRECTA blau (Maske)	Fa. roeko, 89122 Langenau	2	MNS
F	Papier Mundschutz 32500 (Tuch)	UNIGLOVES Ärzte & Klinikbedarf, Amperestr. 24, 53844 Troisdorf	1	Papiermaske
G	KOLMI OP-Maske HF Blau M14311 (Tuch)	KOLMI S.A., Z.I. rue de la Chanterie, 49124 St. Barthelemy d'Anjou, Frankreich	3	MNS
H	Kimberly-Clark TECNOL TEDDY BEAR (Tuch)	Kimberly-Clark, Roswell, GA 30076, USA	3	MNS
I	B.Braun Melsungen BE-EM Visma Plus (Tuch)	Fa. B. Braun Melsungen, 34209 Melsungen	3	MNS
K	roeko Protecta (Tuch)	Fa. roeko, 89122 Langenau	3	MNS
L	Golden Phönix	Jiangyin Golden Phoenix Special Textile Co. Ltd, 2 Luhua Road, Industrial Park, Huashi Town, Jiangyin City, Jiangsu Province, China	3	MNS
M	GoldenPhönix Bio-A-Safe	Messemodell (Taiwan), keine Angaben	./.	MNS
N	Dach High-Risk-Mask NIOSH N95 (Maske)	Fa. Dach Schutzbekleidung, Pforzheimer Straße 94, 76275 Ettlingen	4	NIOSH N95
O	FarStar Anti-Fog grün (Tuch)	Farstar medical, Spaldingstr. 74, 20097 Hamburg	3	MNS
P	FarStar SURGICAL Plus blau (Tuch)	Farstar medical, Spaldingstr. 74, 20097 Hamburg	3	MNS
Q	Hartmann Medimask Special	Fa. Paul Hartmann, 89522 Heidenheim	3	MNS

Tabelle 9. Übersicht über die in Anlehnung an DIN EN 149 geprüften Produkte.



NaCl-Prüfaerosol
Größenverteilung, erzeugt durch Zerstäuben einer 1%igen NaCl-Lösung bei 3,45 bar
1 Masse
2 Anzahl

Bild 9. Partikelgrößenverteilung des NaCl-Aerosols.
Mediane Partikeldurchmesser: D50-Masse = 0,6 µm,
D50-Anzahl = 0,06 µm.

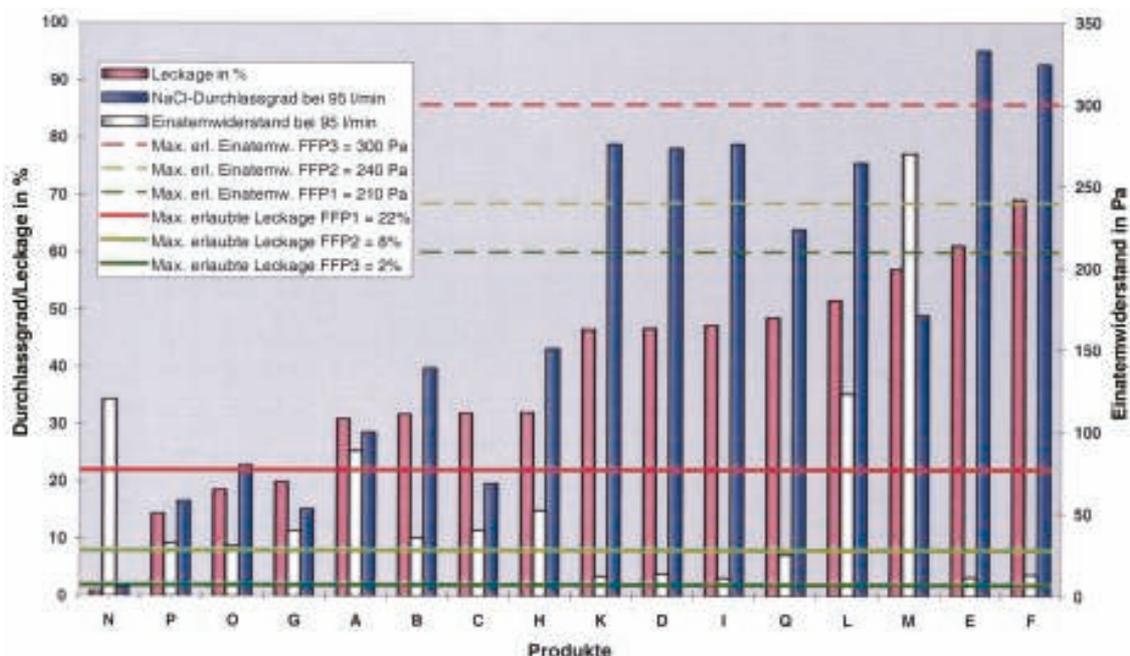


Bild 10. Prüfergebnisse in Anlehnung an DIN EN 149 [1].

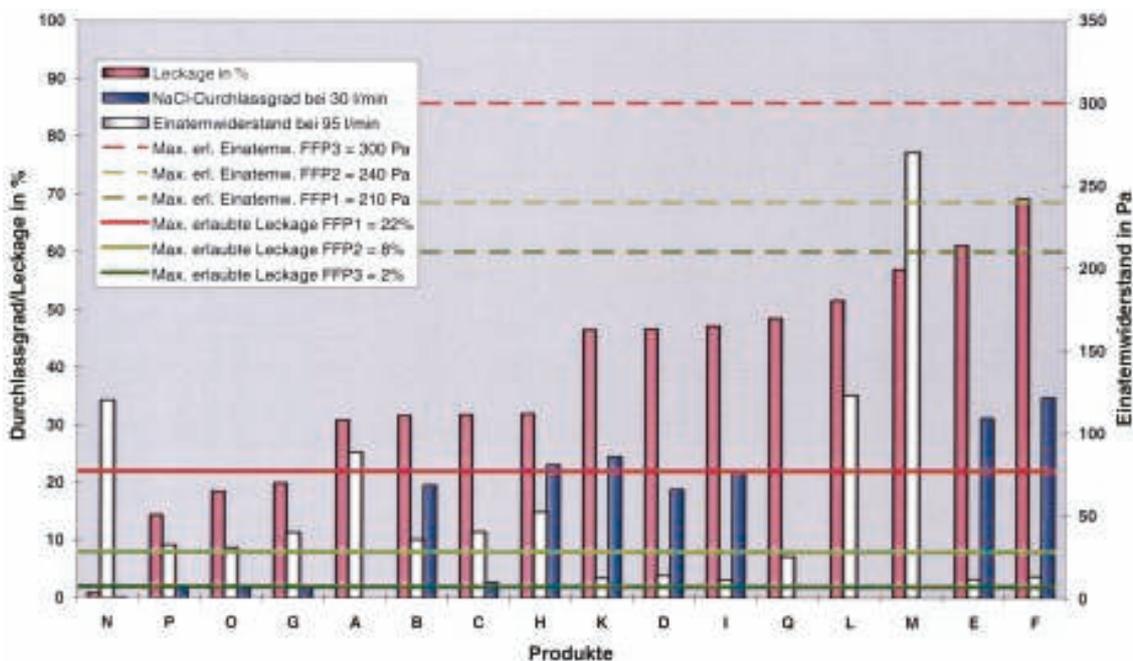


Bild 11. Prüfergebnisse in Anlehnung an DIN EN 149 [1]; Messung des Filtermaterial-Durchlassgrades mit NaCl-Aerosol bei 30 l/min.

als Atemschutzgerät zugelassen werden (Bild 10). Vier Produkte erfüllen die Anforderungen an Atemschutzgeräte nach DIN EN 149; davon haben drei eine Schutzwirkung entsprechend dem FFP1-Typ (maximale Gesamtleckage 22 %) und eine (Maske N) sogar die des Typs FFP3 mit 2 % maximal zulässiger Gesamtleckage. Ein vergleichbares Ergebnis (Bild 10) zeigt sich bei der Messung des Filtermaterial-Durchlassgrades bei einem Volumenstrom von 95 l/min. Zwölf Produkte liegen mit Werten zwischen 22 und 95 % Penetration außerhalb des zulässigen Normbereiches. Lediglich drei MNS erfüllen die Stufe FFP1 (maximal 22 %), und eine (Maske N) erreicht die Leistungsstufe FFP2 (maximal 6 %). Insgesamt verbleiben nur drei von den je vier MNS, die sowohl die Normanforderungen an die Leckage als auch an den Filterdurchlassgrad gleichermaßen erfüllen. Wie Bild 10 ebenfalls zeigt, stellen die normativen Anforder-

ungen an den maximal zulässigen Druckabfall über das Filtermaterial als wesentlichen Beitrag zum Ein- bzw. Ausatemwiderstand keine Hürde für den Großteil der MNS dar. Für zwölf der 16 Produkte wurde zusätzlich untersucht, welche der Faktoren für die Gesamtleckage, die sich aus der Verpassungsleckage (Undichtigkeiten zwischen Maskenrahmen und Gesicht des Trägers) und dem Filtermaterial-Durchlassgrad zusammensetzt, bestimmend sind. Hierzu wurde entsprechend den Bedingungen für die Leckagemessungen der Filtermaterial-Durchlassgrad mit NaCl-Aerosol bei 30 l/min kontinuierlich gemessen (Bild 11). Bei den Materialien K, D, I, E und F wird ein niedriger Druckabfall über das Filtermaterial im Verhältnis zum Durchlassgrad gemessen. Hier hat die Penetration der Partikel durch das Filtermaterial einen wesentlichen Einfluss mit einem Anteil von etwa 40 bis 60 % zur Gesamtleckage. Bei gut

abscheidenden Materialien im Bereich von 0,2 bis 3 % mit hohem Filterwiderstand (N, P, O, G, C) ist der relative Anteil der Verpassungsleckage mit 85 bis 90 % an der Gesamtleckage wesentlich größer und überwiegt demzufolge den Effekt des Partikeleinstroms durch das Filtermaterial.

Aus diesen Ergebnissen lässt sich feststellen, dass die durch mangelnden Dichtsitz verursachte Verpassungsleckage als Beitrag zur Gesamtleckage umso bedeutsamer wird, je leistungsfähiger das Filtermaterial ist. In gleicher Weise wird der Einfluss der Partikelgrößenverteilung auf das Gesamtleistungsvermögen des „Atemschutzes“ immer unwichtiger. So ist bei Produkten mit ausreichend guten Filtrationseigenschaften des Materials nahezu ausschließlich die Verpassungsleckage bestimmend. Die Diskussion von Größe und Art der Partikeln wird in diesem Zusammenhang bedeutungslos. Filterwiderstand des Materials, Form und Flexibilität eines MNS sowie die Anpassung an das Gesicht des Trägers sind die für die Verpassungsleckage entscheidenden Faktoren.

Insgesamt bestätigt die aktualisierte Überprüfung der medizinischen MNS nach Atemschutzanforderungen das Ergebnis der Untersuchung von 1995 [19].

6 Diskussion

Wie die in Abschn. 3 berichtete Literaturrecherche zeigt, wurden epidemiologische Untersuchungen zur Wirksamkeit von MNS und Partikel filtrierendem Atemschutz als Schutz vor luftübertragenen Infektionskrankheiten erst mit dem Auftreten der neuen Atemweginfektion SARS vorgenommen und publiziert. Aus den Untersuchungsergebnissen kann abgeleitet werden, dass das ständige Tragen von MNS oder Partikel filtrierenden (NIOSH) N95-Masken bei Tätigkeiten an/mit SARS-infizierten Patienten die Träger der Masken wenn auch nicht vollständig, so doch signifikant vor SARS-Infektionen schützt. Ein signifikanter Unterschied zwischen der Wirkung von MNS und N95-Masken konnte nicht gezeigt werden. Dies mag einfach auf zu geringe Fallzahlen zurückzuführen sein; dennoch empfehlen *Loeb et al.* [14], vorzugsweise eine N95-Maske für den Schutz des medizinischen Personals. In den CDC-Richtlinien zur Prävention von Influenza [22] werden MNS und N-Masken gleichermaßen empfohlen.

Aus Sicht des klassischen Arbeitsschutzes bietet es sich an, auf ihre Filterwirkung und Gesamtleckage geprüfte Atemschutzgeräte einzusetzen, um Personal vor luftübertragenen Infektionserregern zu schützen. Dies setzt die Annahme voraus, dass sowohl freie als auch in Tröpfchenaerosolen an Wasser assoziierte Infektionserreger sich wie unbelebte Partikeln der entsprechenden Größe verhalten. Strömungsmechanische Effekte des im Luftstrom bewegten Aerosols dürften Bewegungseffekte belebter Mikroorganismen, welcher Art auch immer diese sein mögen, deutlich überwiegen. Gleichwohl ließe sich ein Beweis dieser Annahme nur über das Experiment mit entsprechenden Bioaerosolen führen. Hierzu bietet das im Abschn. 4 beschriebene Labormodell einen interessanten Ansatz. Es zeigt, dass Bioaerosole durch MNS und Partikel filtrierende Masken (FFP) wirksam zurückgehalten werden können. Allerdings weist das Modell Schwächen auf: Die Anordnung des starren Kunstkopfes mit seiner glatten Oberfläche entspricht nicht der Realität eines Menschen, der sich während seiner Tätigkeit bewegt und der eine „nicht glatte“ Hautoberfläche sowie



Bild 12. Prüfung von MNS in Anlehnung an DIN EN 149.

Prüfaerosol: NaCl; Laufband [v]: 6 km/h; Übungen: Gehen, Gehen und Kopfdrehen, Gehen und Kopfnicken, Gehen und Sprechübung, Gehen; Probenahme: 2 Minuten/Übung; Gesamtprüfzeit: ca. 20 min; Belastungsprofil/-simulation: Mittelschwere Arbeit

eine meist nicht völlig regelmäßige Gesichtsform aufweist. Das heißt, der am Menschen tatsächlich bestehende Dichtsitz einer Maske an der Gesichtshaut kann durch das Kunstkopffmodell nicht realistisch genug abgebildet werden. Je nach Dichtsitz kommt es zu mehr oder weniger großen Verpassungsleckagen. Diese Situation wird in den europäischen Normen über Leistungsanforderungen an Atemschutzgeräte [1; 21] besser berücksichtigt. Sie sehen die Prüfung von Atemschutzgeräten an mehreren Probanden bei verschiedenen Bewegungsabläufen mit NaCl-Aerosol vor (Bild 12).

Eine deshalb vom BGIA im Jahr 2005 vorgenommene Untersuchungsreihe (Abschn. 5) von MNS nach den Kriterien der DIN EN 149 bestätigt diese Annahme und kommt damit zu ähnlichen Ergebnissen wie die frühere Untersuchung im Jahr 1995 [19].

Die Ergebnisse weisen – ebenso wie die berichteten Versuche mit den Bioaerosolen am Kunstkopf – darauf hin, dass zwar in einigen MNS leistungsfähiges Filtermaterial eingesetzt wird, aufgrund der äußeren Form des MNS jedoch eine unzulässig große Gesamtleckage besteht. Nur vier der aktuell geprüften Produkte weisen eine Gesamtleckage auf, wie sie mindestens für Partikel filtrierende Halbmasken (FFP) der geringsten Leistungsklasse (FFP1) gefordert wird. Davon erfüllt ein Produkt sogar die Leistungsklasse FFP2, nämlich die nach NIOSH als N95 klassifizierte „Tbc-Maske“. Versucht man ein Fazit, so bleiben einige Unbekannte, die momentan eine eindeutige wissenschaftlich begründete Empfehlung für den Einsatz bestimmter MNS oder Atemschutzgeräte erschweren. Deshalb muss eine Konvention, in

der die berichteten Ergebnisse sowie auch das im Arbeitsschutz übliche Vorsorgeprinzip berücksichtigt werden, die wissenschaftliche Empfehlung ersetzen [25]. In einer Gesamtbewertung ist zudem eine auf die Tätigkeiten von Beschäftigten bezogene Risikobewertung vorzunehmen und die Pathogenität und Infektiosität (Kontagiosität, Infektionsdosis) der infrage kommenden Erreger zu berücksichtigen. Wie erfahren Betriebe, die MNS einsetzen möchten, welche Produkte die Leistungskriterien von FFP1-Masken erfüllen? Da sich das CE-Zeichen von MNS-Produkten in der Regel nur auf die Anforderungen des Medizinproduktegesetzes bezieht, kann der Verbraucher zunächst nicht erkennen, ob der MNS auch die Anforderungen einer FFP1-Maske erfüllt.

Hierzu ist es erforderlich, dass der MNS nach DIN EN 149 geprüft und zertifiziert wurde. Der Expertenkreis des Koordinierungskreises für Biologische Arbeitsstoffe (KOBAS) hat angeregt, solche MNS-Produkte in einer Positivliste zu veröffentlichen. Das BGIA, das als anerkanntes Prüfinstitut entsprechende Prüfungen durchführt, hat den Vorschlag aufgegriffen und will eine Positivliste MNS publizieren.

Danksagung

Wir danken Herrn Dr. Frank Haamann von der Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege für die Bereitstellung der MNS-Produkte für die Untersuchungen nach DIN EN 149.

Literatur

- [1] DIN EN 149: Atemschutzgeräte – Filtrierende Halbmasken zum Schutz gegen Partikeln – Anforderungen, Prüfung, Kennzeichnung. Berlin: Beuth 2001.
- [2] Fit Testing Procedures (Mandatory) – 1910.134 App A. Hrsg.: U. S. Department of Labor, Occupational Safety & Health Administration. April 1998/August 2004. www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9780
- [3] Köhler, W.; Eggers, H. J.; Fleischer, B.; Marre, R.; Pfister, H.; Pulverer, G. (Hrsg.): Medizinische Mikrobiologie. 8. Aufl. München: Urban & Fischer 2001.
- [4] DIN EN 1822: Schwebstofffilter (HEPA und ULPA) Teil 1: Klassifikation, Leistungsprüfung, Kennzeichnung (7/1998). Berlin: Beuth 1998.
- [5] prEN 14683: Chirurgische Masken – Anforderungen und Prüfverfahren. Berlin: Beuth 2003.
- [6] Schaberg, T.; Hauer, B.; Lodenkemper, R.; Brendel, A.; Haas, W.; Just, H. M.; Loytved, G.; Meyer, C.; Rieder, H. L.; Rügen, H.; Sagebiel, D.: Deutsches Zentralkomitee zur Bekämpfung der Tuberkulose, Empfehlungen zur Anwendung von Atemschutzgeräten bei Tuberkulose. Pneumologie 58 (2004), S. 92-102.
- [7] Richtlinie 89/686/EWG des Rates vom 21. Dezember 1989 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für persönliche Schutzausrüstungen. ABl. EG Nr. L 399, S. 18-38.
- [8] Meleney, F. L.; Stevens F. A.: Postoperative haemolytic Streptococcus wound infections and their relation to haemolytic streptococcus carriers among operation personnel. Surg. Gynecol. Obstet. 43 (1926), S. 338-342.
- [9] Olsen, S. J.; Chang, H. L.; Cheung, T. Y.; Tang, A. F.; Fisk, T. L.; Ooi, S. P.; Kuo, H. W.; Jiang, D. D.; Chen, K. T.; Lando, J.; Hsu, K. H.; Chen, T. J.; Dowell S. F.: Transmission of the severe acute respiratory syndrome on aircraft. N. Engl. J. Med. 349 (2003), S. 2416-2422.
- [10] Tunevall, T. G.: Postoperative wound infections and surgical face masks: a controlled study. World J. Surg. 15 (1991), S. 383-387; discussion S. 387-388.
- [11] Sheretz, R. J.; Reagan, D. R.; Hampton, K. D.; Robertson, K. L.; Streed, S. A.; Hoen, H. M.; Thomas, R.; Gwaltney, J. M.: A cloud adult: the Staphylococcus aureus-virus interaction revisited. Ann. Intern. Med. 124 (1996), S. 539-547.
- [12] Erkrankungen durch Noroviren. RKI-Ratgeber Infektionskrankheiten – Merkblatt für Ärzte. Neufassung August 2005. Hrsg.: Robert Koch-Institut, Berlin 2005. www.rki.de/cdn_006/nn_225576/DE/Content/Infekt/EpidBull/Merkblaetter/Ratgeber_Mbl_Noroviren.html
- [13] Lau, J. T.; Yang, X.; Tsui, H.; Kim, J. H.: Monitoring community responses to the SARS epidemic in Hong Kong: from day 10 to day 62. J. Epidemiol. Community Health 57 (2003), S. 864-870.
- [14] Loeb, M.; McGeer, A.; Henry, B.; Ofner, M.; Rose, D.; Hlywka, T.; Levie, J.; McQueen, J.; Smith, S.; Moss, L.; Smith, A.; Green, K.; Walter, S. D.: SARS among critical care nurses, Toronto. Emerg. Infect. Dis. 10 (2004), S. 251-255.
- [15] Scales, D. C.; Green, K.; Chan, A. K.; Poutanen, S. M.; Foster, D.; Nowak, K.; Rabout, J. M.; Saskin, R.; Lapinsky, S. E.; Stewart, T. E.: Illness in intensive care staff after brief exposure to severe acute respiratory syndrome. Emerg. Infect. Dis. 9 (2003), S. 1205-1210.
- [16] Seto, W. H.; Tsang, D.; Yung, R. W.; Ching, T. Y.; Ng, T. K.; Ho, M.; Ho, L. M.; Peiris, J. S.: Effectiveness of precautions against droplets and contact in prevention of nosocomial transmission of severe acute respiratory syndrome (SARS). Lancet 361 (2003), S.1519-1520.
- [17] Wake, D.; Bowry, A. C.; Crook, B.; Brown, R. C.: Performance of respirator filters and surgical masks against bacterial aerosols. J. Aerosol Sci. 28 (1997), S. 1311-1329.
- [18] Beggs, C. B.; Noakes, C. J.; Sleight, P. A.; Fletcher, L. A.; Siddiqi, K.: The transmission of tuberculosis in confined spaces: an analytical review of alternative epidemiological models. Int. J. Tuberc. Lung Dis. 7 (2003) Nr. 11, S. 1015-1026.
- [19] Projekt-Nr. BIA 1067 „Schutzwirkung von OP-Mundschutz im Vergleich mit Mindestanforderungen des Atemschutzes“. Forschungsdatenbank der gewerblichen Berufsgenossenschaften. www.hvb.de/d/bia/pro/pro1/pr1067.html.
- [20] Guidelines for environmental infection control in health-care facilities, Recommendations of CDC and the Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee (HICPAC). Morb. Mortal. Wkly. Rep. 52 (2003) No. RR-10. www.cdc.gov/mmwr/PDF/rr/rr5210.pdf; Guidelines for preventing the transmission of Mycobacterium tuberculosis in health-care facilities. Morb. Mortal. Wkly. Rep. 43 (1994) No. RR-13. www.cdc.gov/mmwr/PDF/rr/rr4313.pdf. Hrsg.: Department of Health and Human Services, Centers for Disease and Prevention (CDC), Atlanta, Georgia, USA.
- [21] DIN EN 143: Atemschutzgeräte Partikelfilter – Anforderungen, Prüfung, Kennzeichnung (5/2000). Berlin: Beuth Mai 2000.
- [22] CDC Guidelines and Recommendations, Interim Guidance for the Use of Masks to Control Influenza, August 8, 2005. www.cdc.gov/flu.
- [23] Beschluss 609 des ABAS „Arbeitsschutz beim Auftreten von Influenza unter besonderer Berücksichtigung des Atemschutzes“. BARbBl. (2005) Nr. 8/9, S. 57-63.