

RÜCKHALTEVERMÖGEN VON ATEMSCHUTZFILTERN GEGENÜBER BIOLOGISCHEN ARBEITSSTOFFEN

Zusammenfassung

B Ahlert¹, G Helmke¹, L Hillemann², Klaus W Mueller³, S Ripperger⁴ & M Stintz², T Voigt⁴
Forschungsgesellschaft f. angewandte Systemforschung und Arbeitsmedizin FSA e. V. Mannheim
in Kooperation mit der Tiefbau-Berufsgenossenschaft München (jetzt: BG Bau) und der
Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel u. Gaststätten Mannheim

Partikelfiltrierende Halbmasken (engl. Filtering Face Pieces FFP) werden für den Einmalgebrauch als persönliche Schutzausrüstung zum Schutz gegen das Einatmen von Aerosolen in der Atemluft empfohlen. Nach Expertenmeinung spielt für das Rückhaltevermögen einer solchen Filtermaske die Art oder auch Oberflächenbeschaffenheit der Luftpartikeln keine besondere Rolle. Deshalb werden die Masken sowohl gegenüber luftgetragenen, partikulären Gefahrstoffen wie auch gegenüber Biostoffen für wirksam gehalten.

Auf Grund des relativ hohen Tragekomforts und der geringen Kosten kommen diese Filtermasken vor allem bei nur kurzfristiger, sporadischer oder nicht genau bekannter Exposition gegenüber Biostoffen zum Einsatz, z. B. im Gesundheitswesen, in Poststellen (bei Gefahr von biologischen Terroranschlägen), für Flugpersonal (bei Infektionsgefahr) oder bei der Sanierung von Bauwerken (Vogelkot-Kontamination).

Diese Masken, bei denen der Maskenkörper als Filter wirksam ist, werden in Europa gemäß EN 149 als FFP 1, FFP 2 und FFP 3 klassifiziert, was Leckageraten von maximal 22 %, 8 % bzw. 2 % entspricht. Die Klassifizierung wird durch Untersuchungen an Testpersonen mit aufgesetzten Masken vorgenommen. Dabei werden die Testpersonen mit aufgesetzten Masken kristallinen NaCl-Partikeln mit einem Größenspektrum von ca. 0,02 to 1 µm und einem Größenmedian von 60 nm Durchmesser ausgesetzt. Die gesamte Leckagerate der Masken wird mit Hilfe von Massenkonzentrationsmessungen außerhalb und innerhalb bestimmt, während die Maskenträger bestimmte Übungen durchführen.

Die Massenkonzentration als Prüfkriterium für Filtermasken liefert nützliche Informationen in Bezug auf die Beurteilung der Schutzwirkung gegenüber Gefahren durch chemisch oder physikalisch wirksame Substanzen. Hinsichtlich der Infektionsgefahren durch Mikroorganismen ist jedoch die Massenkonzentration weniger geeignet als Beurteilungsbasis. In diesen Fällen ist die Anzahlkonzentration aussagekräftiger. Dieser Umstand wird in den Empfehlungen für die Filtermasken als Atemschutz gegen Biostoffe bisher nicht berücksichtigt.

Auch wird bei dem Prüfverfahren gemäß EN 149 nicht dem Umstand Rechnung getragen, dass biologisch aktive Partikeln eine definierte Größe besitzen; für das Prüfergebnis spielt eine Größenabhängigkeit bei der Leckagebestimmung keine Rolle.

Bei unseren Untersuchungen kamen von 4 bedeutenden Filtermaskenherstellern (in den Abbildungen mit A, B, C, und D bezeichnet) je eine Maskenart der Klassen FFP 1, FFP 2 und FFP 3 zum Einsatz. Dabei war es nicht das Ziel, die Übereinstimmung mit der Norm EN 149 mit der Massenkonzentration als Basis zu prüfen, sondern es wurde die Rückhalterate des Filtermediums bzw. der Filtermasken gegenüber NaCl- und biologisch aktiven Aerosolen in Abhängigkeit von deren Partikelgröße untersucht.

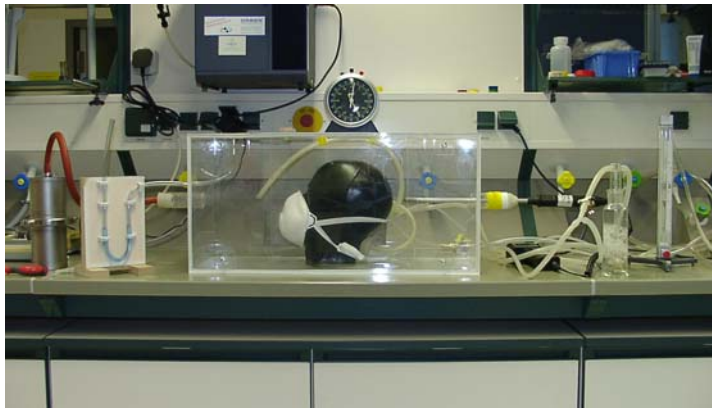
Die Filterleistung des Filtermediums wurde mittels in einen Halter eingespannter Materialproben ermittelt. Zur Beurteilung der Leckage der kompletten Filtermaske wurden die vollständigen, auf einem genormten Prüfkopf befestigten Masken verwendet.

¹ Fachhochschule Fulda, Fachbereich Lebensmitteltechnologie

² Technische Universität Dresden, Institut für Verfahrenstechnik und Umwelttechnik

³ Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gaststätten Mannheim, Abteilung Sicherheit

⁴ Technische Universität Kaiserslautern, Lehrstuhl für Mechanische Verfahrenstechnik



Abbildungen 1 und 2: Filterprüfstand und Materialhalter bzw. Prüfkopf mit aufgesetzter Filtermaske

Für die Beurteilung der Filterleistung wurde die Anzahlkonzentration in Abhängigkeit von der Partikelgröße bestimmt. Als Prüfaerosol diente dazu einerseits ein entsprechend der EN 149 generiertes NaCl-Aerosolspektrum

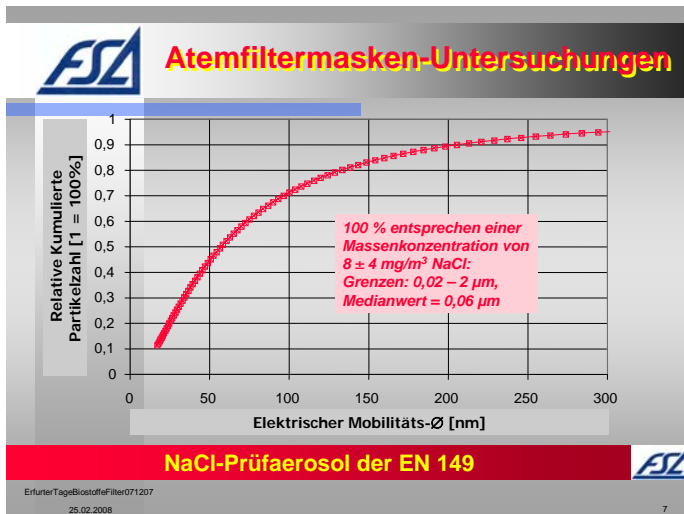


Abbildung 3: NaCl-Aerosolspektrum gemäß EN 149 (Darstellung der kumulierten Anzahl gegen die Aerosolgröße)

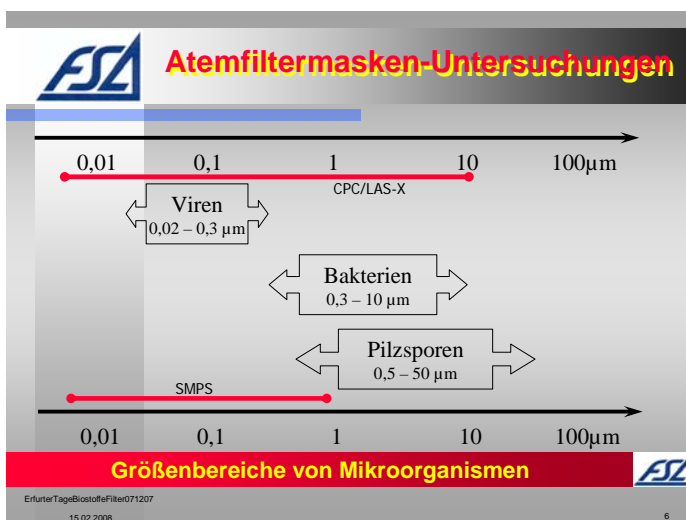


Abbildung 4: Größenbereiche der Mikroorganismen (rote Balken stellen die Messbereiche der verwendeten Messmethoden dar)

(0,7 µm, zur Simulation einer Bakterienart). Zur Beurteilung der Filterleistung gegenüber biologisch aktiven Aerosolen wurden andererseits lebende, biologische Partikeln verwendet, die den Größenbe-

reich von Viren, Bakterien oder Pilzsporen repräsentieren. Dazu wurden Bakteriophagen P008 (Wirtsorganismus: *Lactococcus lactis*), Sporen von *Bacillus subtilis* (stäbchenförmiges Bakterium) und Conidien von *Aspergillus niger* (Schwarzschimmel) verwendet.

Untersuchungsergebnisse:

Die Filtermedien weisen, abhängig vom jeweiligen Hersteller - sowohl zwischen den wie auch innerhalb der drei Filterklassen - unterschiedliche, partikelgrößenabhängige Rückhaltecharakteristiken auf. Dies ist auf die jeweilige Kombination unterschiedlicher Faserstärken, Materialdichten, Schichtdicken bzw. elektrischer Eigenschaften der Fasern zurückzuführen, mit denen die Hersteller versuchen, für die Filtermasken im durch die Prüfkriterien der EN 149 gesetzten Rahmen ein Optimum zwischen Filterleistung und Tragekomfort (Atemwiderstand) zu erreichen.



Atemfiltermasken-Untersuchungen

**Einflussfaktoren:
Faserstärke – Geflechtdichte – Schichtdicke – Oberfl.-Potential**



x500 #74 50µm 3.00kV MUT TU DRESDEN

Gute Filterwirkung
Höherer Atemwiderstand



x500 #74 50µm 3.00kV MUT TU DRESDEN

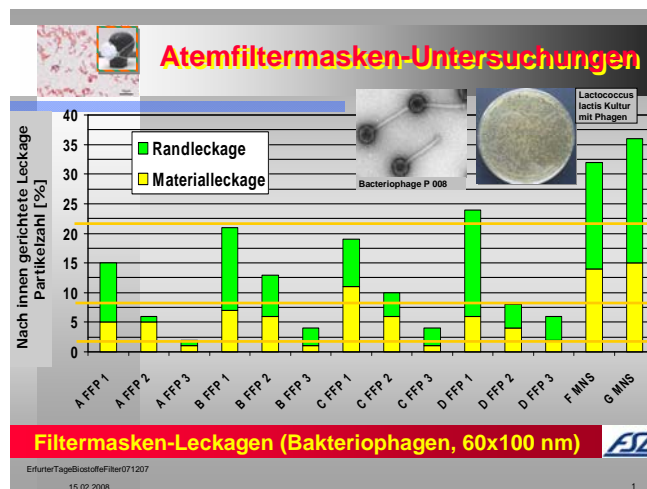
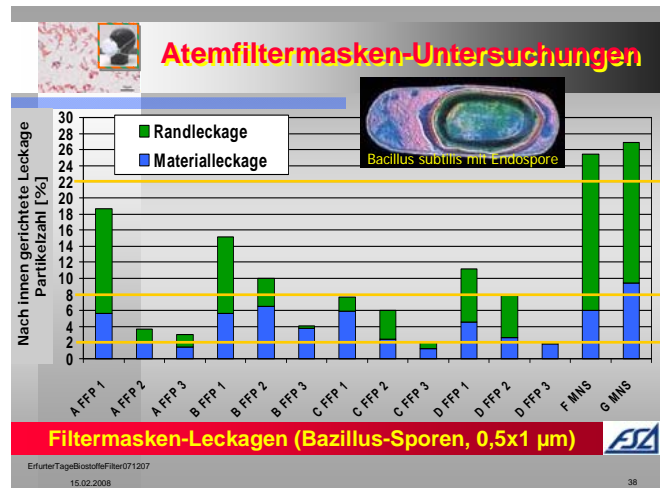
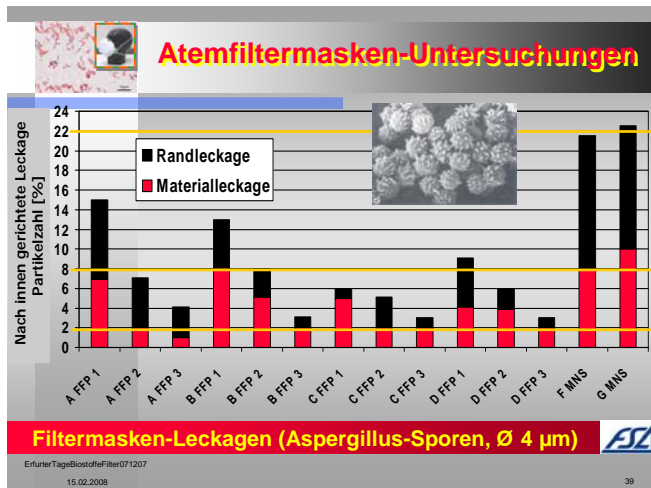
Beispiele für die Faserstruktur von Filtermasken

ErfurterTageBiotoffeFilter071207
11

Abbildung 5: Unterschiedliche Faserstruktur der Filtermedien

Zur Beurteilung der Rand- und der Materialleckagen wurden die Filtermasken nach Herstelleranweisung auf dem Standard-Prüfkopf fixiert bzw. zusätzlich deren Rand mittels Klebeband vollständig abgedichtet. Die relativen Leckageraten (Anzahlkonzentration ohne aufgesetzte Filtermaske = 100%) der Masken bezüglich Bakterien-, Pilzsporen und Bakteriophagen sind in den Abbildungen 6 – 8 dargestellt.

Ohne die zusätzliche Randabdichtung mit Klebeband wurde eine Leckage zwischen Maskenrand und Prüfkopfoberfläche von bis zu 70 % des gesamten Partikeldurchlasses ermittelt, abhängig von Maskentyp und Hersteller; in einigen Fällen liegt die Gesamt-Leckage, anhand der Anzahl der Partikel ermittelt, über den in der EN 149 genannten Grenzen. Dazu ist anzumerken, dass die (oben genannten) Normgrenzen für Leckagen gelten, die als Massenkonzentration für Masken bestimmt werden, die von Probanden während bestimmter Übungen getragen werden.



Abbildungen 6 bis 8: Gesamtleckage (= Rand- und Materialleckage) der Filtermasken für Bioaerosole definierter Größe (je 1 Maske FFP 1, FFP 2 und FFP 3 von 4 Herstellern, zum Vergleich „OP-Masken“ (Mund-Nasen-Schutz) von 2 verschiedenen Herstellern, die gelben Linien sind hier zu Vergleichszwecken angegeben und stellen die Grenzen gemäß EN 149 für die anhand der Massenkonzentration ermittelten Leckage dar).

NaCl-Aerosole der Größenklasse 0,7 µm, die etwa dem aerodynamischen Durchmesser der Bakteriosporen entsprechen, wurden von den geprüften Filtermaterialien weniger gut zurück gehalten als die betreffenden biologischen Partikel selbst. Das könnte ein Hinweis darauf sein, dass die Form oder Oberflächenbeschaffenheit von Aerosolen die Filterleistung beeinflussen kann.

Die Theorie der Mechanismen zur Abscheidung an den Fasern des Filtermediums lässt erwarten, dass die Anströmgeschwindigkeit der Aerosole die Leistung der Filtermasken beeinflusst. Wie die Untersuchungen mit 3 verschiedenen Anströmgeschwindigkeiten an Filtermedien zeigen, sind vor allem bei den FFP 1 Masken deutliche Unterschiede der Rückhalteraten festzustellen. Bei den FFP 2 und vor allem bei den FFP 3 Filtermedien ist der Einfluss der Strömungsgeschwindigkeit geringer.

Bei den FFP 3 Masken der vier Hersteller wird die Filterleistung kaum durch die Partikelgröße beeinflusst, d.h. die Filterleistung ist auch in dem filtertechnisch problematischen Größenbereich zwischen ca. 50 und 120 nm Durchmesser sehr gut. In diesem Größenbereich wirkt die Abscheidung durch die Brown'sche Molekularbewegung (Diffusionsabscheidung) nicht mehr so gut, weil die Teilchen für eine ausgeprägte Eigenbewegung zu groß sind. Die Abscheidewirkung auf Grund der Massenträgheit der Partikeln (Sperrwirkung der Fasern) ist jedoch auf Grund der geringen Masse nicht besonders ausgeprägt.

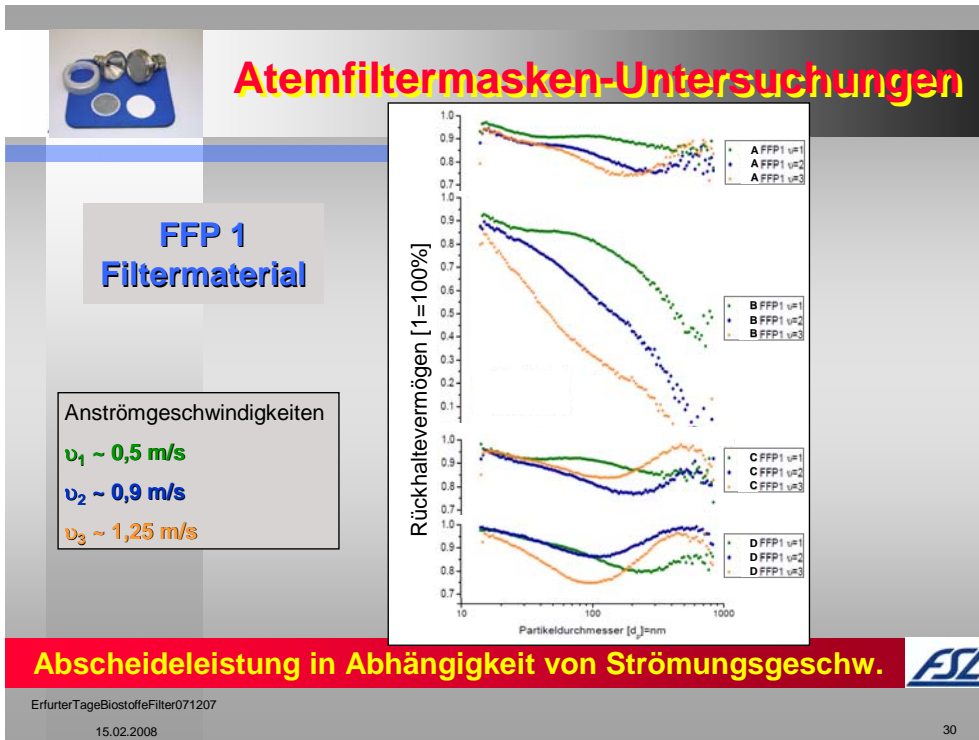


Abbildung 9: Filterleistung von Masken der Klasse FFP 1 (Hersteller A, B, C, D), gemessen als Anzahlkonzentration in % bei unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten.

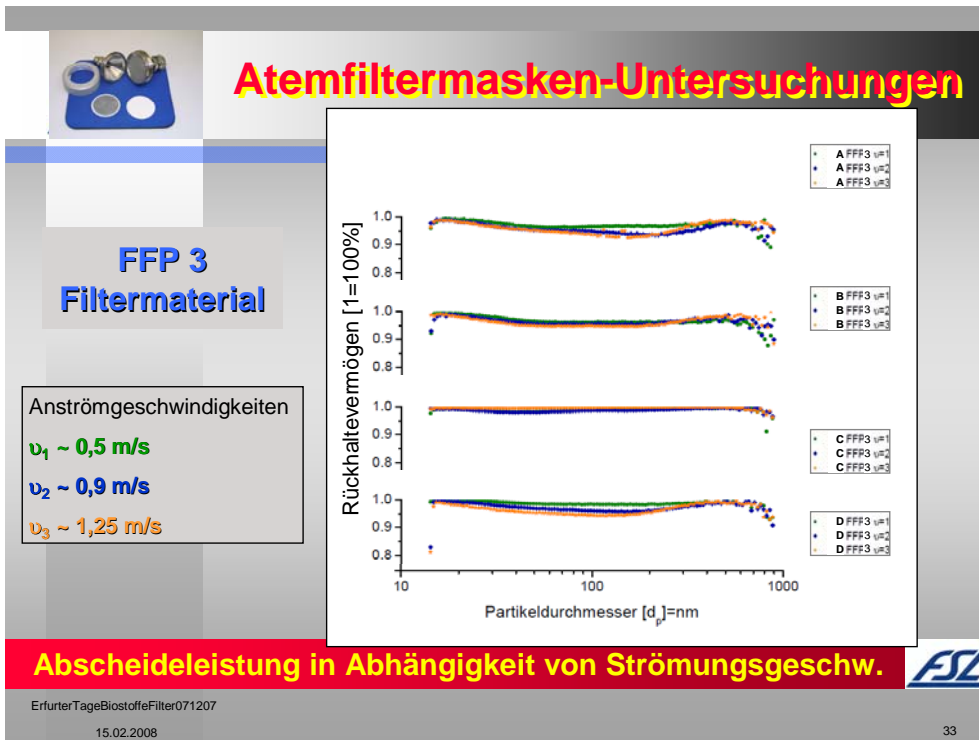
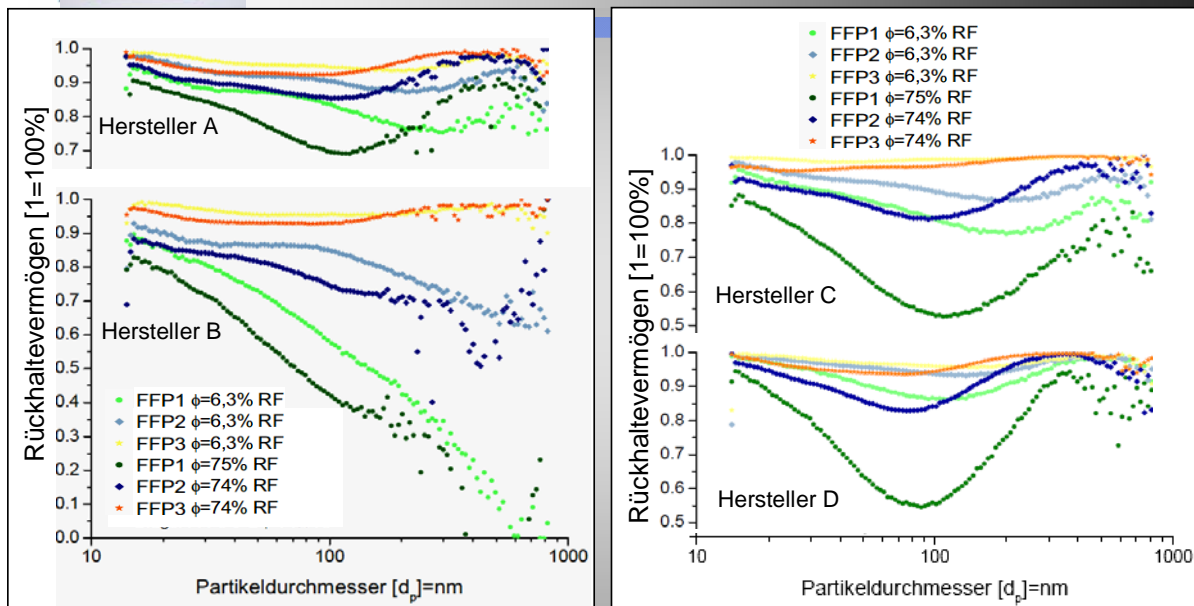


Abbildung 10: Filterleistung von Masken der Klasse FFP 3 (Hersteller A, B, C, D), gemessen als Anzahlkonzentration in % bei unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten.

Die Filterleistung kann durch die Erzeugung eines der Teilchenladung entgegen gesetzten Oberflächenpotentials auf den Filterfasern erhöht werden bei sonst gleicher Faserstruktur und Schichtdicke. Dieses Potential ist jedoch stark beeinflussbar durch die Luftfeuchte. Untersuchungen der Filtermasken mit Trägerluft unterschiedlicher Feuchte (ca. 6% bzw. ca. 75% rF) ergeben bei den verschiedenen Herstellern unterschiedliche Abscheidecharakteristiken. Der ungünstige Einfluss der Feuchte auf die Abscheideleistung nimmt jedoch bei allen Herstellern von der niedrigen Filterklasse FFP 1 zur hohen FFP 3 deutlich ab.



Atemfiltermasken-Untersuchungen



Abscheideleistung in Abhängigkeit von Luftfeuchte



ErfurterTageBiotoffeFilter071207

Anströmgeschwindigkeit: $v_2 \sim 0,9 \text{ m/s}$

15.02.2008

36

Abbildung 11: Filterleistung von Masken der Klassen FFP 1 bis 3 (Hersteller A-D) bei unterschiedlichen Luftfeuchten (6,3% rF und 75% rF)

Aus den Ergebnissen können folgende Schlüsse gezogen werden:

Eine Klassifizierung von Filtermasken auf Basis der Bestimmung der Massenkonzentration über einen ganzen Größenbereich gemäß EN 149 ist bezüglich der Beurteilung der Filterleistung gegenüber Bioaerosolen mit Gefährdungspotential nicht sinnvoll, da die Gefährdung von der Anzahl (möglicherweise auch von der Kontaktfläche) abhängt. Die Masse ist keine gute direkte Beurteilungsbasis bei Einsatz eines ganzen Größenspektrums, da große, penetrierende Teilchen einen großen Effekt ausmachen, kleine jedoch nur einen geringen, was nicht mit der biologischen Wirksamkeit korreliert.

Soll die Massenkonzentration als einfach zu bestimmende Größe für die Beurteilung der Filterleistung herangezogen werden, so erscheint für eine Klassifizierung gemäß der Abscheideleistung von Aerosolen einer bestimmten Größe, die am besten die Maske penetrieren, geeigneter. Dieser Gesichtspunkt wird z.B. bei der Maskenklassifizierung nach dem amerikanischen Standard 42 CFR 84 (z.B. N95, N99, N100) besser berücksichtigt, weil deren Klassifizierungskriterium die „am meisten penetrierende Partikelgröße“ (engl. „MPPS = most penetrating particle size“) ist. Allerdings wird dazu nicht deren tatsächliche Größe ermittelt, sondern auf Grund theoretischer Annahmen und praktischer Erwägungen die Teilchengröße von $0,3 \mu\text{m}$ (aerodynamischer Durchmesser) festgelegt.

Für die Ermittlung eines optimalen Atemschutzes bei möglichst geringer physischer Belastung des Trägers (möglichst geringer Atemwiderstand, Tragekomfort) erscheint es auf Grund der aufgeführten Ergebnisse sinnvoll, die Art und Größe der in Frage kommenden Partikel zu ermitteln.

Die Filtermasken sollten auf Basis von entsprechenden Partikelgrößenklassen und Anzahl-orientierten Messverfahren für ihre Eignung als Schutzmaßnahme gegenüber der Exposition luftgetragener Biotoffe klassifiziert werden.

Als Ansatzpunkt für die Weiterentwicklung der Filtermasken ist vor allem die Verbesserung der Randabdichtung zwischen Maske und Gesicht zu sehen.