

# **Trenngradmessung von Atenschutzmasken verschiedener Ausführung und Hersteller**

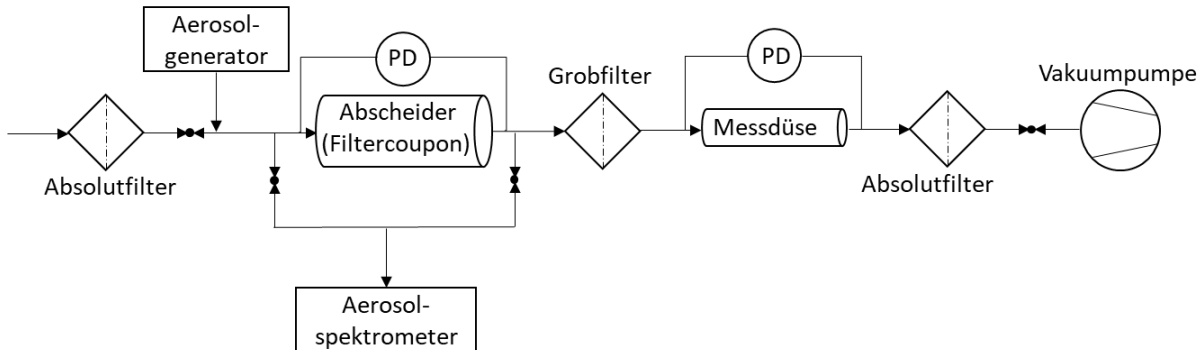
Institut für Mechanische Verfahrenstechnik  
Universität Stuttgart

Aufgrund sich häufender Berichte hinsichtlich minderwertiger, zum Verkauf angebotener Atemschutzmasken, wurden am Institut für Mechanische Verfahrenstechnik (IMVT) die dem Institut von der Universität Stuttgart über einen größeren Zeitraum hinweg bereitgestellten Atemschutzmasken untersucht. Zur Untersuchung der Filterleistung der gelieferten Atemschutzmasken, wurde ein bereits bestehender Filtermedienprüfstand eingesetzt. Die Aerosolbeladung der zu filternden Luft wurde dabei so gewählt, dass sie der Tröpfchenbeladung entspricht, die sich typischerweise beim menschlichen Atmen bzw. Sprechen ergibt.

---

# 1 Versuchsaufbau

In Abbildung 1.1 ist der verwendete Versuchsaufbau schematisch dargestellt.



*Abbildung 1.1: Schematische Skizze des angepassten Versuchsaufbaus zur Filtermedienanalyse von Filtercoupons.*

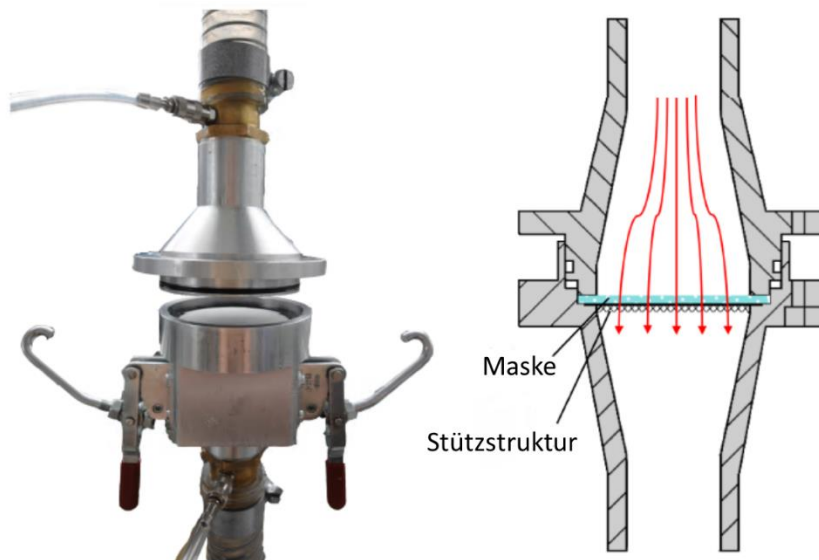
Als abzuschneidendes Aerosol wurden modellhaft Öltröpfchen mittels eines Aerosolgenerators (PALAS PLG 2100) erzeugt. Dabei ist zu erwarten, dass die Verwendung eines Öls als Aerosolflüssigkeit an Stelle einer NaCl Lösung beispielsweise, zu konservativen Aussagen hinsichtlich des Abscheidegrads führt (Rengasamy, et al., 2018). Gemäß dem in Abbildung 1.1. skizzierten Versuchsaufbau, wird Umgebungsluft durch ein Ventil mit vorgeschaltetem Absolutfilter angesaugt und mit dem erzeugten dosierten Aerosol vermischt. Der Absolutfilter dient dabei der Entfernung von Feststoffpartikeln oder Aerosolen die sich bereits in der Umgebungsluft befinden und die das Messergebnis verfälschen würden. Anschließend wird die aerosolbeladene Luft durch die Abscheidevorrichtung, in dem die jeweils zu untersuchende Maskenprobe (ein kreisförmiger Coupon der aus der Filtermaske gestanzt wurde, siehe Abbildung 4.3) fixiert ist, geleitet. Vor und nach dem Abscheider wird jeweils der Strömungsdruck gemessen und ein Teil der aerosolbeladenen Luftströmung über eine Sonde isokinetisch entnommen. Aufgrund der beaufschlagten geringen Aerosolkonzentration kann dabei auf eine Verdünnungsstufe, die normalerweise zwischen Probenahmesonde und Messgerät zwischengeschaltet ist, verzichtet werden. Bei dem hier verwendeten Messgerät handelt es sich um das Aerosolspektrometer WELAS digital 3000 von Palas, welches sich zur Vermessung von Aerosolkollektiven im Durchmesserbereich von 0,2 - 10  $\mu\text{m}$  eignet. Mit Hilfe der Messdaten kann dann die Anzahldichteverteilung  $q_0$  der Partikel/Tröpfchen in der Gasströmung vor und nach dem Abscheider bestimmt und damit der Trenngrad  $T(d)$

---

des in den Masken verwendeten Filtermaterials berechnet werden. Der Trenngrad charakterisiert dabei das Abscheideverhalten des Filtermediums und gibt an, welcher Anteil an Partikeln bzw. Tröpfchen einer Größenklasse in der Ausgangsbeladung abgeschieden wurde. Im vorliegenden Fall berechnet sich der Trenngrad also zu:

$$T(d) = \frac{\text{Aerosolkonz. im Größenbereich } [d; d+\Delta d] \text{ nach Filtermedium}}{\text{Aerosolkonz. im Größenbereich } [d; d+\Delta d] \text{ vor Filtermedium}} \quad (1.1)$$

wobei  $d$  den Tropfendurchmesser repräsentiert. Die Berechnung des Gasvolumenstroms erfolgt mittels einer Messdüse stromab von der Abscheidevorrichtung und nachdem der Gasstrom eine weitere Filterstufe passiert hat. Die Volumenstromförderung selbst wird durch eine Vakuumpumpe gewährleistet (und geregelt), welche am Ende der Messstrecke installiert ist und der selbst noch ein Absolutfilter vorgeschaltet ist.



*Abbildung 1.2: Vorrichtung zum Test eines kreisförmigen Filtermediencoupons (links) und entsprechende Funktionsskizze (rechts).*

---

## 2 Versuchsdurchführung und Ergebnisse

### 2.1 Randbedingungen

Für die Versuchsdurchführung wurde ein konstanter Luftvolumenstrom von 16 l/min bzw. 0,267 l/s verwendet. Dies entspricht dem mittleren Volumenstrom über einen Ausatemzug hinweg (Bautsch, 2019), siehe Abbildung 2.1. Die dem Gasvolumenstrom beaufschlagte Aerosolkonzentration als Funktion des Partikel- bzw. Tropfendurchmessers ist in Abbildung 2.2 aufgetragen, zusammen mit den Ergebnissen aus Messungen an Testpersonen bei „lautem“ und „leisem“ artikulieren des Buchstabens „α“ mehrmals hintereinander (Asadi, 2019). Die angegebenen Literaturdaten lassen erkennen, dass die freigesetzte Aerosolkonzentration beim Sprechen stark von der Lautstärke abhängt und dass die häufigste Partikelgröße bei etwa 1  $\mu\text{m}$  liegt. Die im vorliegenden Experiment beaufschlagte Aerosolkonzentration im Bereich des häufigsten Partikeldurchmessers entspricht also der Aerosolbelastung, die bei lautem Sprechen zu erwarten ist.

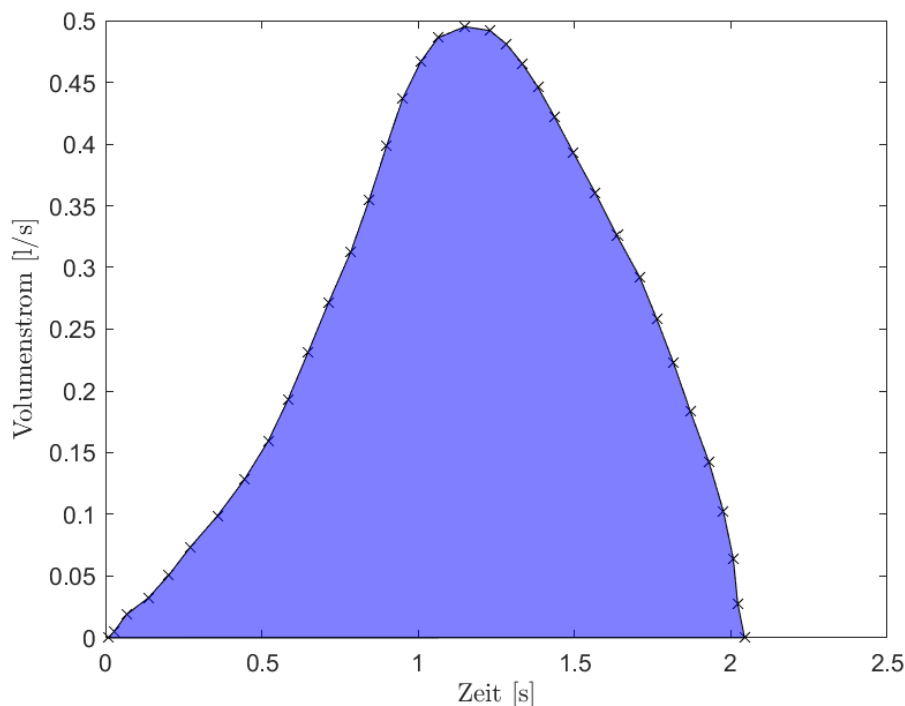


Abbildung 2.1: Zeitlicher Verlauf des Volumenstroms während eines Ausatemzugs (Bautsch, 2019).

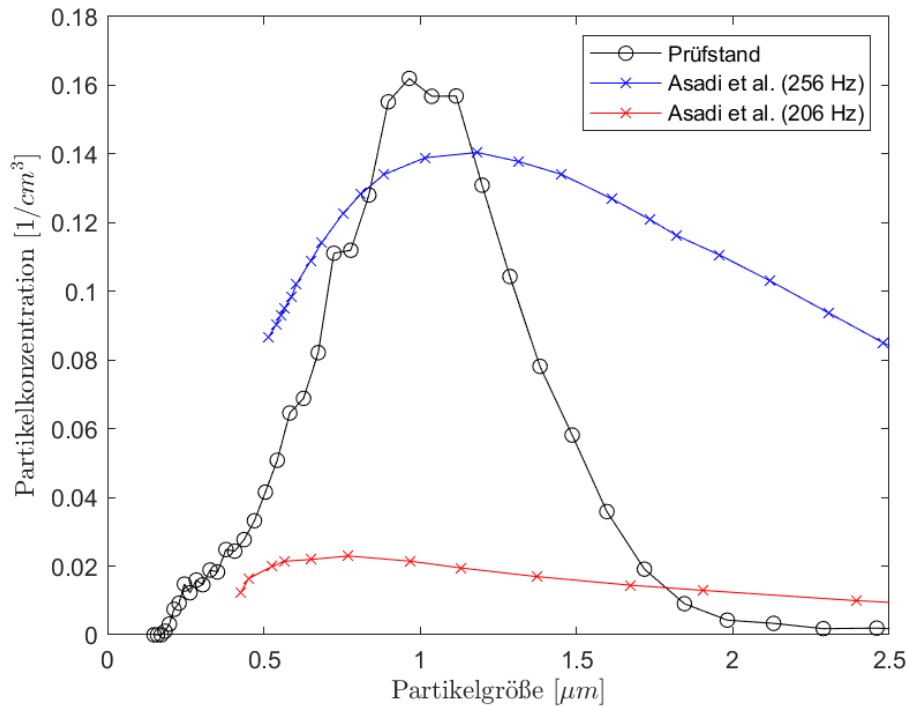
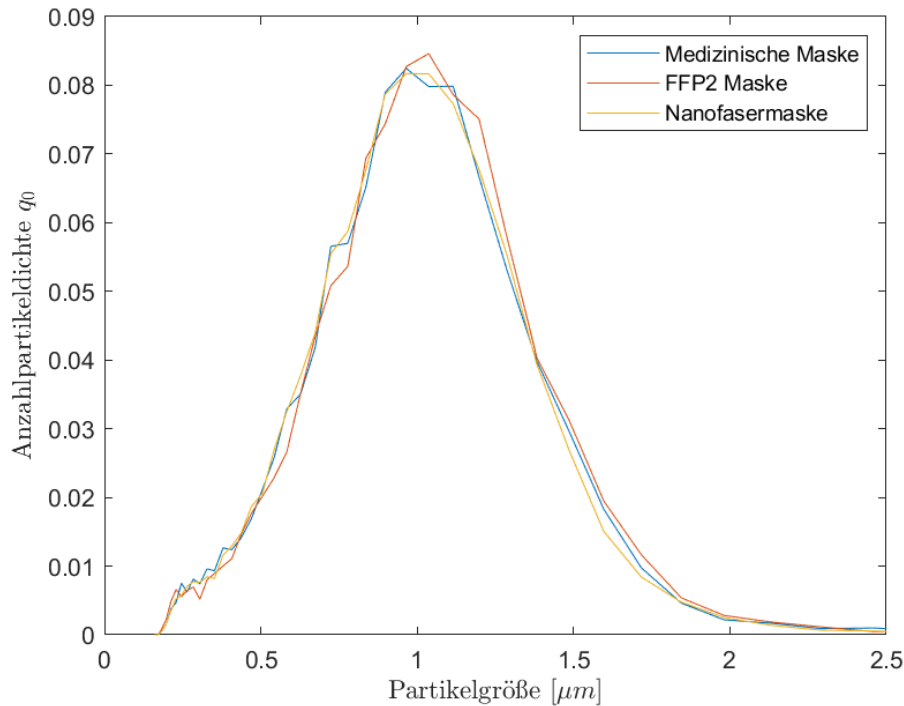


Abbildung 2.2: Partikelkonzentration in Abhängigkeit der Partikelgröße des im Prüfstand beaufschlagten Aerosols (schwarz); experimentelle Ergebnisse von Messungen an Testpersonen beim Sprechen mit 2 verschiedenen Lautstärken bei jeweils unterschiedlicher Frequenz (Asadi, 2019).

## 2.2 Vermessung verschiedener Maskentypen

Zur Messung der Abscheideleistung des Filtermediums der verschiedenen Atemschutzmasken wurden aus jeder Maske kreisförmige Mediensegmente bzw. – coupons von etwa 7 cm Durchmesser ausgestanzt (siehe Anhang, Abbildung 4.3). Nach Einbau in die Testvorrichtung betrug der Durchmesser des durchströmten Filterquerschnitts 6 cm. Alle Testcoupons wurden derselben Aerosolbeladung ausgesetzt. Abbildung 2.3 zeigt die entsprechende Partikelanzahlverteilungsdichte als Funktion des Partikeldurchmessers für separate Messungen an jeweils einem der drei untersuchten Masken- bzw. Filtermedientypen. Die gute Übereinstimmung der beaufschlagten Verteilungen gewährleistet die Vergleichbarkeit der verschiedenen Messungen.



*Abbildung 2.3: Verlauf der Partikelanzahlverteilungsdichte  $q_0$  in Abhängigkeit des Partikeldurchmessers vor dem getesteten Filtermediencoupon für drei verschiedene Messungen.*

Nach Messung der Partikelkonzentration als Funktion des Partikeldurchmessers im Aerosol vor und hinter dem durchströmten Filtermediencoupon ergeben sich die in Abbildung 2.4 aufgetragenen Trenngrade als Funktion des Partikeldurchmessers. Aufgeführt sind die Trenngradkurven für die Filtermedien zweier als „FFP2“ deklarierten Masken, einer medizinischen Hygienemaske und einer mit Nanofasern beschichteten Maske. Erstaunlicherweise weichen die Ergebnisse der getesteten FFP2-Masken stark voneinander ab. Der Trenngrad einer offensichtlich falsch deklarierten FFP2-Maske bzw. eines Nachahmungsprodukts (siehe Anhang, Abbildung 4.1, oben: rechte Maske (Hersteller 3)) liegt dabei deutlich unter den zu erwartenden Werten für eine FFP2-Maske und selbst weit unterhalb der Abscheideeffizienz einer gewöhnlichen medizinischen Hygienemaske. Die ermittelten Trenngrade der höherwertigen FFP2-Maske (siehe Anhang, Abbildung 4.1, oben: linke Maske (Hersteller 1)) und der medizinischen Hygienemaske (siehe Anhang, Abbildung 4.1, unten: rechte Maske) liegen jedoch in den für diese Maskentypen zu erwartenden Bereichen (Drewnick, 2020). Die von der Universität Stuttgart einmalig bereitgestellte Maske mit verarbeiteten Nanofasern eines

südkoreanischen Herstellers (siehe Anhang, Abbildung 4.1, unten: linke Maske, bzw. Abbildung 4.2: linke Verpackung) zeigt die besten Trenneigenschaften. Sie übertrifft den Trenngrad der getesteten FFP2-Masken, bei gleichzeitig reduziertem Druckverlust, d.h. besserer Atemfähigkeit für den Nutzer.

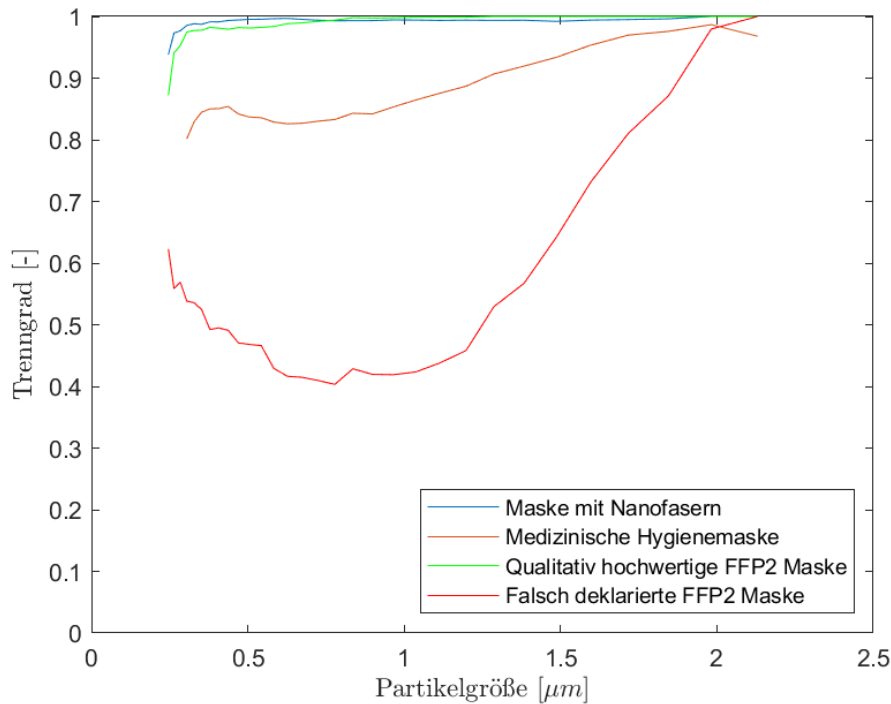


Abbildung 2.4: Gemessene Trenngrade als Funktion des Aerosoldurchmessers für die Filtermedien der untersuchten Maskentypen.

In Abbildung 2.5 sind die Trenngradkurven der vermessenen FFP2-Masken bzw. deren Filtermedien dargestellt. Zu erkennen ist die große Variabilität der Abscheideeffizienz zwischen den Masken unterschiedlicher Hersteller, sowie zwischen den Masken derselben Kategorie eines einzelnen Herstellers. Teilweise liegt der Trenngrad der FFP2-Masken, wie bereits erwähnt, sogar weit unter der einer medizinischen Hygienemaske. Bei den mit „Hersteller 2“ gekennzeichneten Masken handelt es sich um die FFP2-Masken, die von der Universität Stuttgart aktuell bereitgestellt werden (siehe Anhang, Abbildung 4.2: rechte Verpackung). Keine der untersuchten Masken von Hersteller 2 erfüllt den Standard einer FFP2-Maske.

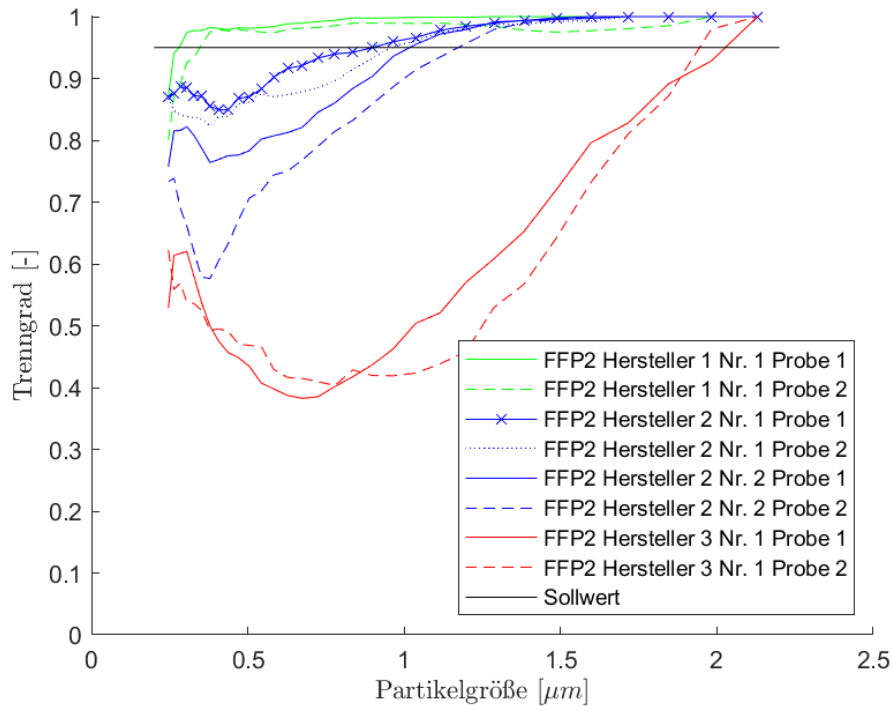


Abbildung 2.5: Trenngrad als Funktion des Aerosoldurchmessers für Filtermedien der FFP2-Masken unterschiedlicher Hersteller.



---

## 2.3 Fazit

Die Abscheideleistung der Filtermedien mehrerer Atemschutzmasken wurde experimentell untersucht. Bei den Masken handelt es sich um, von der Universität Stuttgart im Rahmen von COVID 19 Maßnahmen bereitgestellte Atemschutzmasken. Die Aerosolbelastung der Medien wurde so gewählt, dass sie die beim Ausatmen bzw. Sprechen auftretende häufigste Partikelgröße und deren Konzentration gut annähert. Die unterschiedlichen Abscheideleistungen dreier Maskentypen wurden quantifiziert. Die ermittelten Ergebnisse für zwei der untersuchten Maskentypen, d.h. medizinische Hygienemaske und mit Nanofasern beschichtete Maske, stimmen dabei mit den in der Literatur bzw. vom Hersteller angegebenen Abscheideleistungen überein. Bei den untersuchten FFP2-Masken wurde hingegen festgestellt, dass deren Abscheideleistung häufig den vorgegebenen Standard nicht erfüllen und somit den Maskenträger in falscher Sicherheit wiegen. Für Universitäten und Hochschulen, die intern über das notwendige „Know-How“ zur Vermessung von Filtermedien verfügen, sind daher kontinuierlich durchgeführte hauseigene Qualitätskontrollen der beschafften Atemschutzmasken zu empfehlen.

---

### 3 Literaturverzeichnis

Asadi, S. W. A. C. C. e. a., 2019. *Aerosol emission and superemission during human speech increase with voice loudness*, Sci Rep 9, 2348: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-38808-z>.

Bautsch, F. M. G. & R. P., 2019. *Development of a Novel Low-cost Lung Function Simulator*, Current Directions in Biomedical Engineering, 5(1), 557-560: doi: <https://doi.org/10.1515/cdbme-2019-0140>.

Drewnick, D. F., 2020. *Abscheideeffizienz von Mund-Nasen-Schutz Masken, selbstgenähten Gesichtsmasken, potentiellen Maskenmaterialien sowie „Community Masken“*. [Online] Available at: [https://www.mpic.de/4655395/filtermasken\\_zusammenfassung.pdf](https://www.mpic.de/4655395/filtermasken_zusammenfassung.pdf) [Zugriff am 07 12 2020].

M. Botros, H. H., 2020. *Fehlerhafte Masken in Kliniken und Apotheken*. [Online] Available at: <https://www.tagesschau.de/investigativ/report-mainz/betrug-masken-103.html>

[Zugriff am 07 12 2020].

Rengasamy, S. et al., 2018. A comparison of total inward leakage measured using sodium chloride (NaCl) and corn oil aerosol methods for air-purifying respirators. *J. Occupational and Environmental Hygiene*, Mai, pp. 616-627.

## 4 Anhang



Abbildung 4.1: Oben: FFP2 Hersteller 1 (links), FFP2 Hersteller 3 (rechts). Unten: Maske mit Nanofaserbeschichtung (links), med. Hygienemaske (rechts).

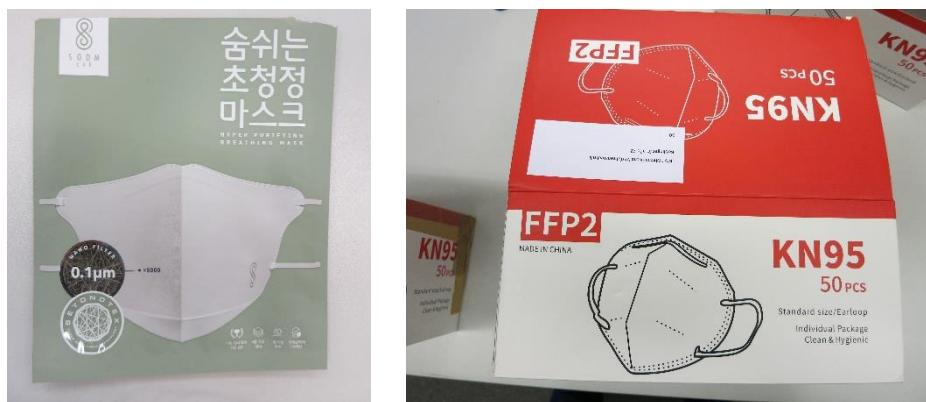


Abbildung 4.2: Verpackungen: Maske mit Nanofaserbeschichtung (links), FFP2 Hersteller 2 (rechts).



*Abbildung 4.3: FFP2 Maske nach Entfernung des Testcoupons.*