

Institut für Sensorik und Elektronik
Gruppe Partikelmesstechnik
Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW)
Klosterzelgstrasse 2
CH-5210 Windisch
<http://www.fhnw.ch/engineering/ise>

Messbericht Nr. 19082020S10

Messauftrag: Abschätzung der Filtereffizienz von Masken
für Aerosolgrößen kleiner 3 µm

Auftraggeber
Firma: Universal Reusable Packaging GmbH
Hauptstrasse 137 E
8274 Tägerwilen
info@unrepa.ch

Kontaktperson: Pascal Eggmann
+41 79 862 17 87
pascal.eggmann@unrepa.ch

Messung
Messobjekte: LIVIPRO Maske ungewaschen
LIVIPRO Maske gewaschen
Hygienemaske EN 14683 Typ IIR, Coop Bau und Hobby
Hygienemaske Dynotex 3-lagig, Typ II EN 14683:2019, Migros
FFP2 Tect-Atenschutzmaske, Migros Do It + Garden

Durchführungsdatum: 19.08.2020 – 20.08.2020

Messbericht
Anzahl Seiten Bericht: 23
Gültigkeit: Die Messergebnisse haben nur Gültigkeit für die geprüften
Messobjekte.

Beilagen: **Swiss National COVID-19 Science Task Force (NCS-TF)**
Suggestion and recommendation paper
Norm DIN EN 14683
Medizinische Gesichtsmasken - Anforderungen und Prüfverfahren;
Deutsche Fassung EN 14683:2019+AC:2019

Messlabor
Institut: Institut für Sensorik und Elektronik, Gruppe Partikelmesstechnik
Hochschule für Technik
Fachhochschule Nordwestschweiz
Klosterzelgstrasse 1
5210 Windisch

Ansprechpartner: Nadine Karlen (nadine.karlen@fhnw.ch, 056 202 84 59)
Manuela Wipf (manuela.wipf@fhnw.ch, 056 202 87 84)
Tobias Rüggeberg (tobias.rueggeberg@fhnw.ch, 056 202 70 45)
Prof. Dr. Ernest Weingartner
(ernest.weingartner@fhnw.ch, 056 202 79 18)

Inhalt

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 1 | Messaufbau | 3 |
| 2 | Beispiel Filterabscheidekurve | 7 |
| 3 | Einteilung der Masken | 7 |
| 4 | Kriterien zur Beurteilung der Messresultate | 8 |
| 5 | Berechnung Face velocity | 9 |
| 6 | Kalibration Fidas Feinstaubmessgerät | 9 |
| 7 | Messungen | 10 |
| 7.1 | Messunsicherheit | 10 |
| 7.2 | Pfadvergleich mit und ohne Filter | 10 |
| 7.3 | Messprotokolle Filtermaterialien..... | 11 |
| 7.3.1 | Referenz Hygienemaske EN 14683 Typ IIR, Coop Bau und Hobby | 12 |
| 7.3.2 | Referenz Hygienemaske Typ II EN 14683:2019, Migros | 14 |
| 7.3.3 | Referenz FFP2 Tect-Atenschutzmaske, Migros Do It + Garden | 16 |
| 7.3.4 | LIVIPRO Maske ungewaschen | 18 |
| 7.3.5 | LIVIPRO Maske gewaschen | 20 |
| 8 | Zusammenfassende Beurteilung | 22 |
| 9 | Sorgfalt und Haftung | 23 |
| 10 | Verwendung des Berichts | 23 |

1 Messaufbau

Um die Filtereffizienz von Materialien für Aerosole mit Durchmesser von einigen 100 nm und Tröpfchen mit Durchmessern im Mikrometerbereich zu evaluieren, wurde ein TSI 3475 Kondensations-Aerosolgenerator verwendet. Dieser erzeugt sphärische Tröpfchen aus DEHS (Di-Ethyl-Hexyl-Sebacat, eine ölähnliche, nichtflüchtige Substanz) im Grössenbereich von 0.2 bis 5 μm . Es wird mit zwei verschiedenen Grössenverteilungen gearbeitet, um die Filtereffizienz bei 300 nm und bei 1 μm zu bestimmen gemäss Abbildung 1. Abbildung 8 zeigt schematisch den Messaufbau: Der Luftstrom mit den Tröpfchen wird in einem ersten Schritt mit sauberer Pressluft verdünnt. Anschliessend dient ein 30L-Puffergefäss zur Homogenisierung. Aus diesem Gefäss werden die Tröpfchen entweder über den zu testenden Filter oder über den Referenzpfad (ohne Filter) gesaugt (Durchfluss 4.8 LPM) und mit einem Palas Fidas® 100 die Tröpfchengrössenverteilungen und jeweiligen Tröpfchenkonzentrationen bestimmt. Das Messprinzip basiert auf einer optischen Streulichtmessung, bei der die Streulichtpulse von einzelnen Tröpfchen erfasst werden und die Streulichtintensität einer Tröpfchengrösse zugeordnet wird.

Im Versuchsaufbau gemäss Abbildung 5 und Abbildung 6 wurde grosser Wert auf isokinetische Bedingungen gelegt, d.h. keine engen Krümmungen (Vermeidung von Tröpfchenverlusten durch Impaktion an Schlauchwänden).

Messablauf:

Wenn die Tröpfchenkonzentration hinter dem Puffergefäss stabil ist, werden sequenziell folgende Daten erhoben:

1. Ventile schalten (Referenz auf, Filter zu)
2. Filter einlegen
3. Referenzmessung (ohne Filter)
4. Ventile schalten (Referenz zu, Filter auf)
5. Messung über Filter
6. Druckabfall über Filter erfassen
7. Ventile schalten (Referenz auf, Filter zu)
8. Referenzmessung (ohne Filter)
9. Ventile schalten (Referenz zu, Filter auf)
10. Messung über Filter
11. Druckabfall über Filter erfassen
12. Ventile schalten (Referenz auf, Filter zu)
13. Referenzmessung (ohne Filter)

Über den relativen Unterschied zwischen Referenzmessung ohne Filter (Mittelwert der Messpunkte zwischen den Filtermessungen) und der Messung über die zu testenden Filtermaterialien (Mittelwert der Messpunkte während den Filtermessungen) wird die grössenabhängige Abscheideeffizienz für DEHS-Tröpfchen abgeschätzt.

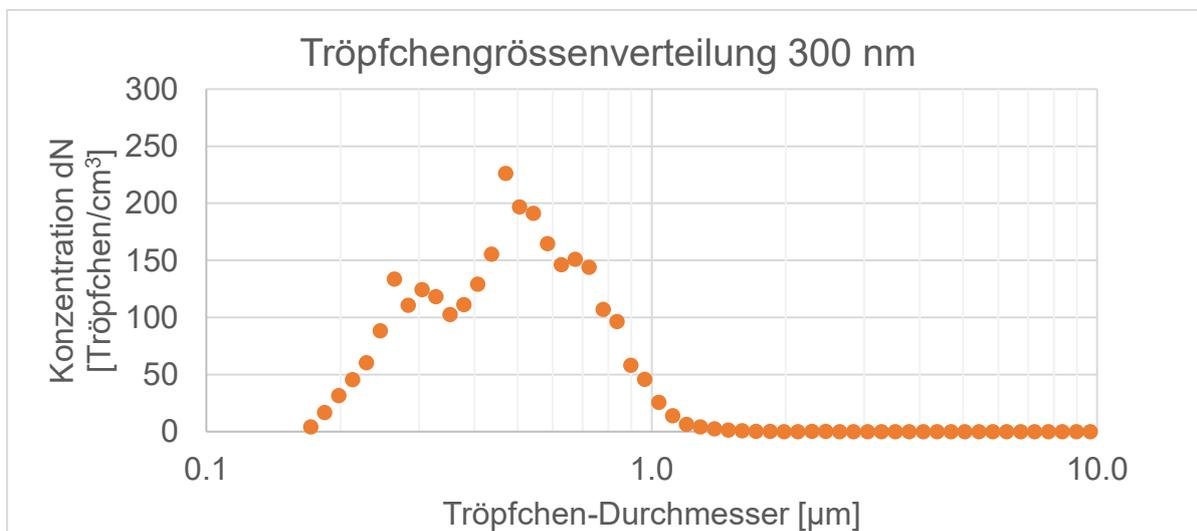
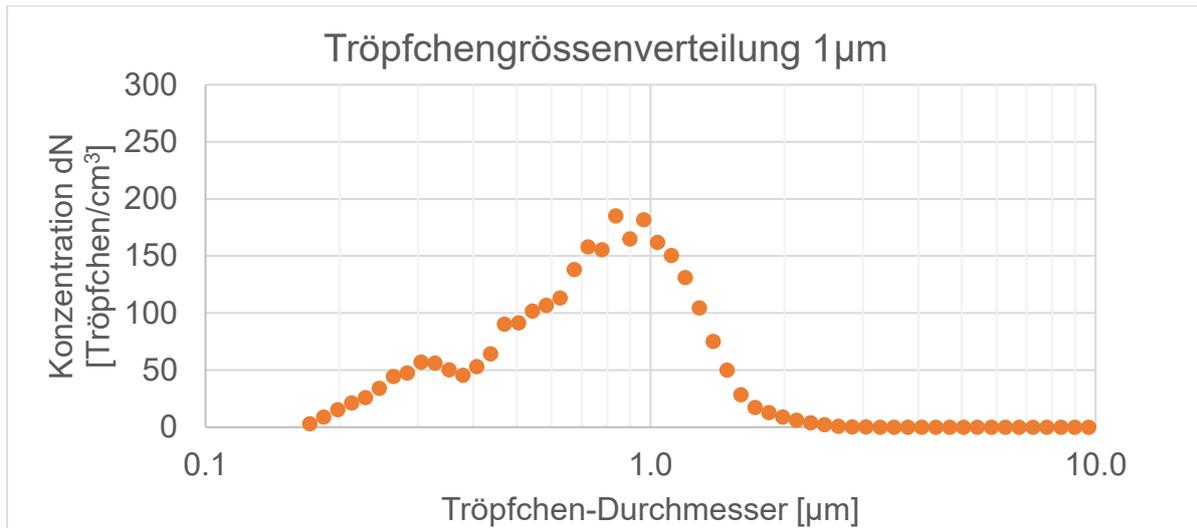


Abbildung 1: Beispielhafte Grössenverteilung der DEHS-Tröpfchen für die Bestimmung der Abscheideeffizienz bei 1 µm (oben) und bei 300 nm (unten)



Abbildung 2: Druckmessgerät



Abbildung 3: Filterhalter



Abbildung 4: DEHS-Tröpfchengenerator

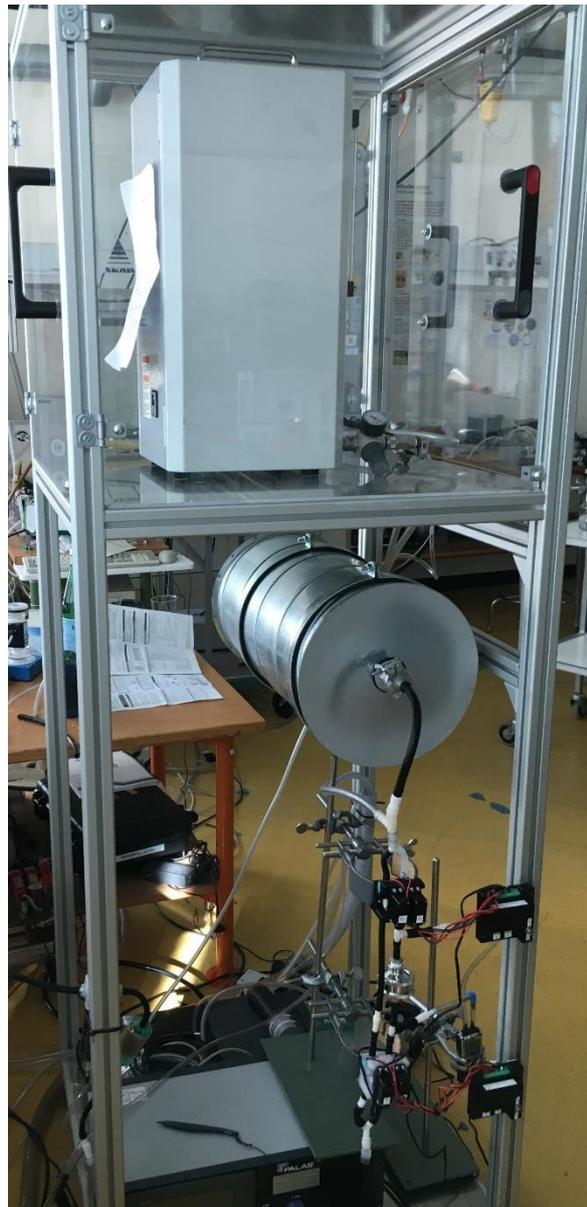


Abbildung 5: Messaufbau im Labor

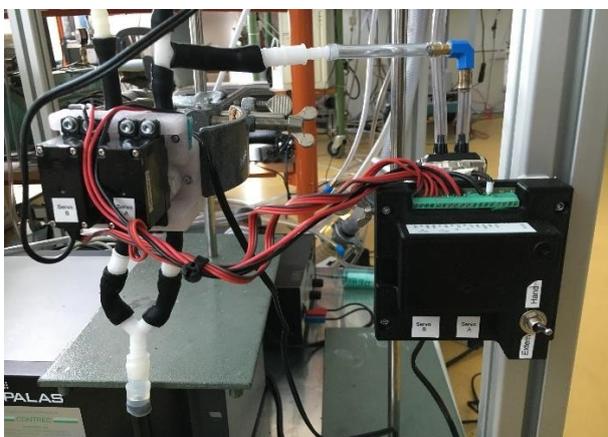


Abbildung 6: Ventil zum Umschalten zwischen Filter- und Referenzpfad



Abbildung 7: Fidas Feinstaubmessgerät

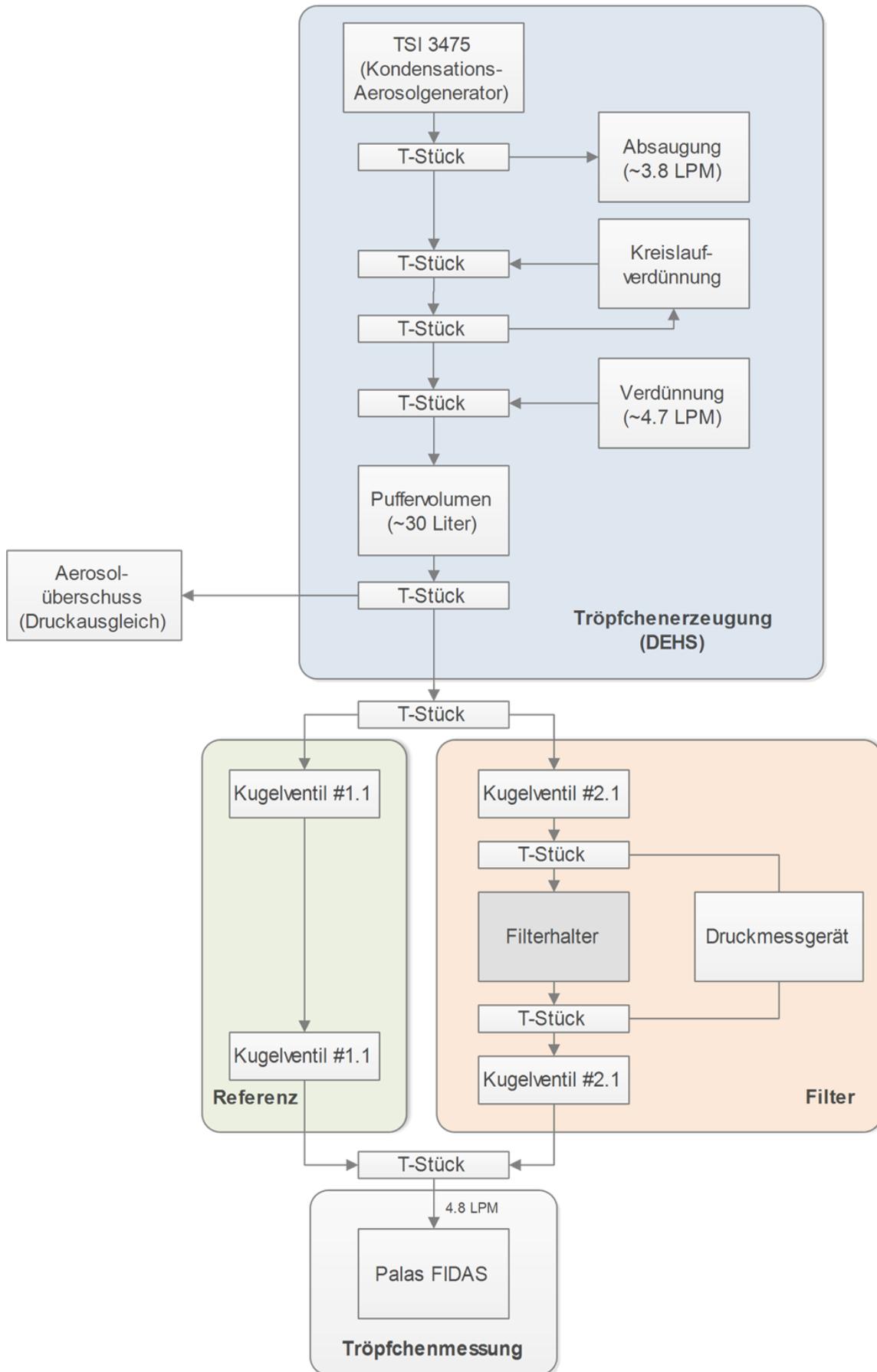


Abbildung 8: Schema Aufbau Filtertest

2 Beispiel Filterabscheidekurve

Je nach Grössenbereich nimmt die Abscheideeffizienz mit dem Partikeldurchmesser zu oder ab. Die Abscheidemechanismen beruhen bei Tröpfchen im Mikrometerbereich auf Impaktion und Interception der Partikel auf und an den Filterfasern, bei Aerosolen im Submikrometerbereich jedoch zunehmend auf Diffusion. Die verschiedenen Phänomene und deren Einfluss auf die Abscheideeffizienz je nach Partikelgrösse ist in Abbildung 9 dargestellt.

Wenn Partikel elektrostatisch geladen sind, dann werden sie zusätzlich durch elektrostatische Effekte abgeschieden. Beim verwendeten Messaufbau wird darauf geachtet, dass das Aerosol elektrisch neutral ist, wie dies bei Umweltaerosolen der Fall ist.

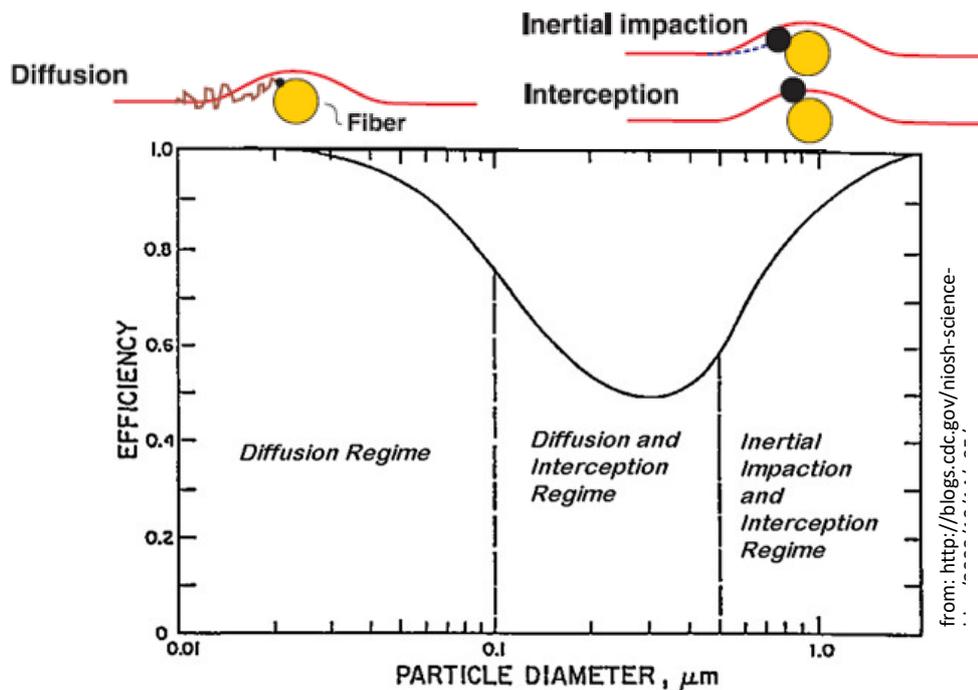


Abbildung 9: Beispiel-Abscheideeffizienzkurve eines Filters

3 Einteilung der Masken

Generell werden Masken in drei Kategorien unterteilt:

- Atemschutzmasken, welche eine Prüfnorm erfüllen. Dazu gehören FFP1, FFP2, FFP3 (Europa), KN95 (China) und N95 (USA). FFP bedeutet «Filtering Face Piece». FFP1 heisst, die Maske muss bei allen Partikelgrössen eine minimale Filterwirkung von 80 Prozent aufweisen. Bei FFP2 sind es 94, bei KN95 und N95 95 Prozent und bei FFP3 99 Prozent.
- Hygienemasken (Einwegmasken). Hygienemaske vom «Typ II» oder «Typ IIR» müssen eine bakterielle Mindestfilterwirkung von 98 Prozent erzielen, eine vom «Typ I» von 95 Prozent. Da Bakterien vergleichsweise gross sind, ist die Filterleistung für kleine Aerosole schwächer als die Filterwirkung der Atemschutzmasken.
- Stoffmasken, Community-Masken. Diese Masken bestehen aus mehreren Lagen Vliesen, Baumwolle oder Microfasern. Die Masken können mehrfach wiederverwendet werden und sind z.T. waschbar. Ihre Schutzwirkung gegenüber den feinen Aerosolen ist aber gering.

4 Kriterien zur Beurteilung der Messresultate

- Die Abscheideeffizienz bei 1 μm Aerosolgrösse muss gemäss Swiss National COVID-19 Science Task Force (NCS-TF) **mindestens 70% betragen**, um die empfohlenen Spezifikationen für Community Masken zu erfüllen.
- Für die **Abscheideeffizienz bei 300 nm** gibt es keine Vorgaben. Je kleiner die Filterwirkung bei dieser Grösse ist, desto besser können einzelne Viren die Maske passieren und so eine Ansteckung des Maskenträgers begünstigen.
- Aus der NCS-TF und der Norm EN 14683 geht hervor, dass die Luftdurchlässigkeit bei einer Filterfläche von 4.9 cm^2 einen Maximalwert von 60 Pa/cm^2 nicht überschreiten darf. Daraus ergibt sich ein **maximaler Druckabfall von 294 Pa**. Ist der Druckabfall höher, weist die Maske eine zu geringe Luftdurchlässigkeit auf. Diese führt dazu, dass einerseits schlecht durch die Maske geatmet werden kann und andererseits, dass vermehrt Fremdluft eingeatmet wird, wenn die Maske nicht überall passend am Gesicht des Trägers anliegt.
- Masken, die ein **Ventil** haben, erleichtern das Ausatmen für den Träger bei geringer Luftdurchlässigkeit der Maske. So schützt sich zwar der Träger vor Viren, seine Atemluft verlässt jedoch durch das Ventil ungefiltert die Maske und kann so ein Ansteckungsrisiko für das Gegenüber nicht vermindern.

Neben diesen materialwissenschaftlichen Anforderungen kommen weitere Faktoren wie ein möglichst dichtanliegender «Sitz» der Maske im Gesicht für einen guten Schutz zum Tragen. Dieses Kriterium wurde nicht geprüft und liegt auch in der Verantwortung des Trägers.

5 Berechnung Face velocity

Die Filtereffizienz ist abhängig vom Durchfluss, resp. von der Luftgeschwindigkeit durch den Filter (face velocity). Um die Filtereffizienz bei menschenähnlichem Atemfluss in Anlehnung an EN 14683:2019+AC:2019 (siehe Norm im Anhang) zu messen, wurde der Filterdurchmesser im Messaufbau gemäss nachfolgenden Werten ausgelegt:

| | |
|------------------------------|---|
| Aerosolfluss durch Messgerät | 4.8 LPM= 0.00008 m³/s |
|------------------------------|---|

| | |
|--------------------------|-------------------------|
| Filterdurchmesser | 20 mm = 0.02 m |
| Filterfläche | 0.000314 m ² |
| Facevelocity | 0.255 m/s |

Bei einem Fluss von 4.8 ± 0.15 LPM (gegeben durch das Fidas Feinstaubmessgerät) muss die verwendete Filterscheibe einen Durchmesser von 20 mm haben. Da die verwendeten Filterhalter einen Durchmesser von 47 mm aufweisen, wurde eine entsprechende Adapterscheibe angefertigt. Die Adapterscheibe besitzt einen Aussendurchmesser von 47 mm und einen Innendurchmesser von 20 mm gemäss Abbildung 10. Das zu testende Filtermaterial wurde auf die Grösse der Filterhalter zugeschnitten (Abbildung 11).

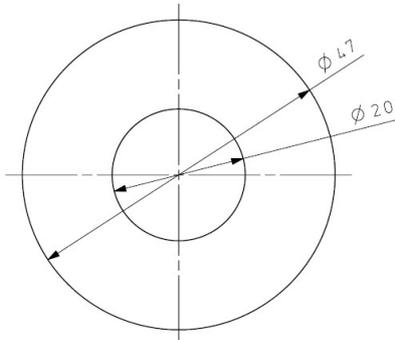


Abbildung 10: Adapterscheibe



Abbildung 11: Ausschneiden des Filtermaterials

6 Kalibration Fidas Feinstaubmessgerät

Das Fidas Feinstaubmessgerät (Abbildung 7), mit dem die Grössenverteilungen des DEHS mit und ohne Filter bestimmt werden, wird in regelmässigen Abständen kalibriert, in der Regel vor einer neuen Messreihe.

Der Luftvolumenstrom des FIDAS wird mit einer internen Pumpe geregelt und beträgt gemäss Kalibration mit einem «Defender 510» von Mesa Labs 4.8 ± 0.15 LPM.

Der vom Fidas gemessene optische Durchmesser wurde mit CalDust 1100 (LotNr 052008) mit Median von $1.1 \mu\text{m}$, einer Dichte von 2 g/cm^3 und einem Brechungsindex von 1.43 kalibriert.

Der Brechungsindex von DEHS beträgt 1.45 und ist damit sehr ähnlich wie derjenige des CalDusts, der zum Kalibrieren des Fidas verwendet wurde. Daher wurde auf eine Durchmesserkorrektur bzgl. des Brechungsindex verzichtet.

Die X-Achse in den Grafiken der Messresultate zeigt jeweils den optischen Durchmesser auf.

7 Messungen

7.1 Messunsicherheit

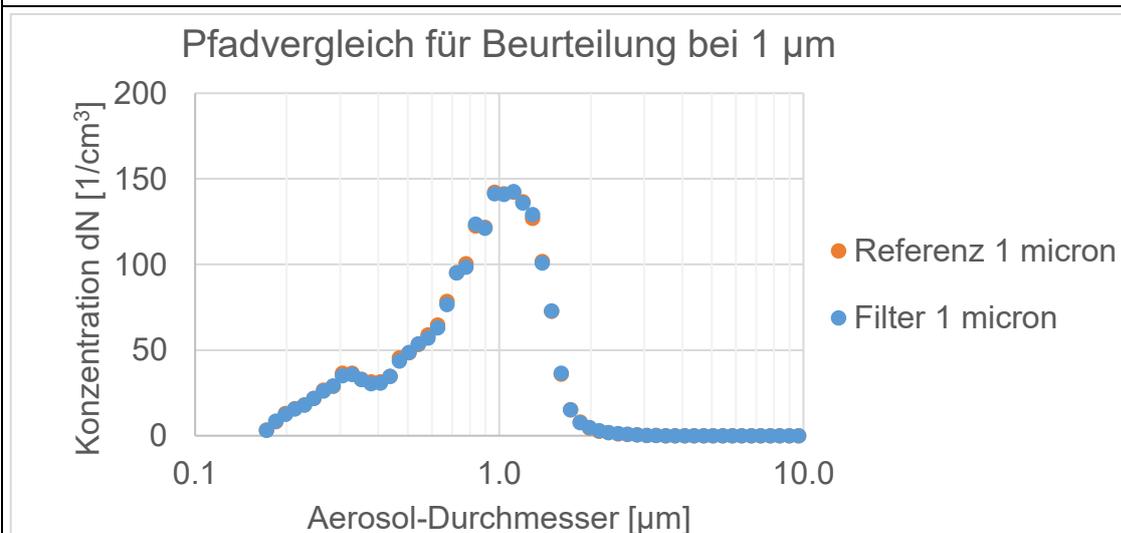
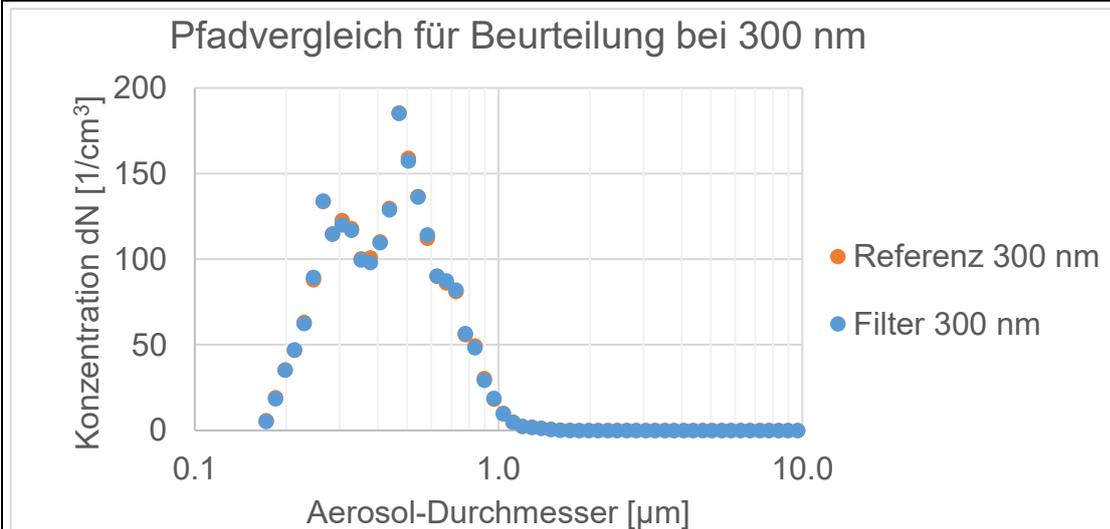
Die Bestimmung des Partikeldurchmessers beruht auf optischer Lichtstreuung von einzelnen Partikeln. Obwohl das verwendete Fidas Feinstaubmessgerät mithilfe einer T-Blende die Lichtintensitätsvariationen im Messvolumen korrigiert, ist der Durchmesser mit einem Fehler von ca. $\pm 10\%$ behaftet. Des Weiteren können bei Variationen der Eigenschaften des Filtermaterials die Messwerte entsprechend abweichen.

7.2 Pfadvergleich mit und ohne Filter

Um sicherzustellen, dass durch die Messung an zwei unterschiedlichen Orten (einmal mit und einmal ohne Filter gemäss Abbildung 8) im Messaufbau keine gravierenden Messfehler entstehen, wurde zu Beginn der jeweiligen Messreihe nachfolgende Vergleichsmessung der Pfade ohne eingelegten Filter durchgeführt. Darin ist ersichtlich, dass die Konzentrationen vor und nach dem Filter auf $\pm 10\%$ übereinstimmen und damit der verwendete Messaufbau für eine Abschätzung der Filtereffizienz geeignet ist.

Datum und Startzeit: 20.08.2020 10:03 h (Grössenverteilung 300 nm)
19.08.2020 11:55 h (Grössenverteilung 1 μm)

Messobjekt: Pfadvergleich



7.3 Messprotokolle Filtermaterialien

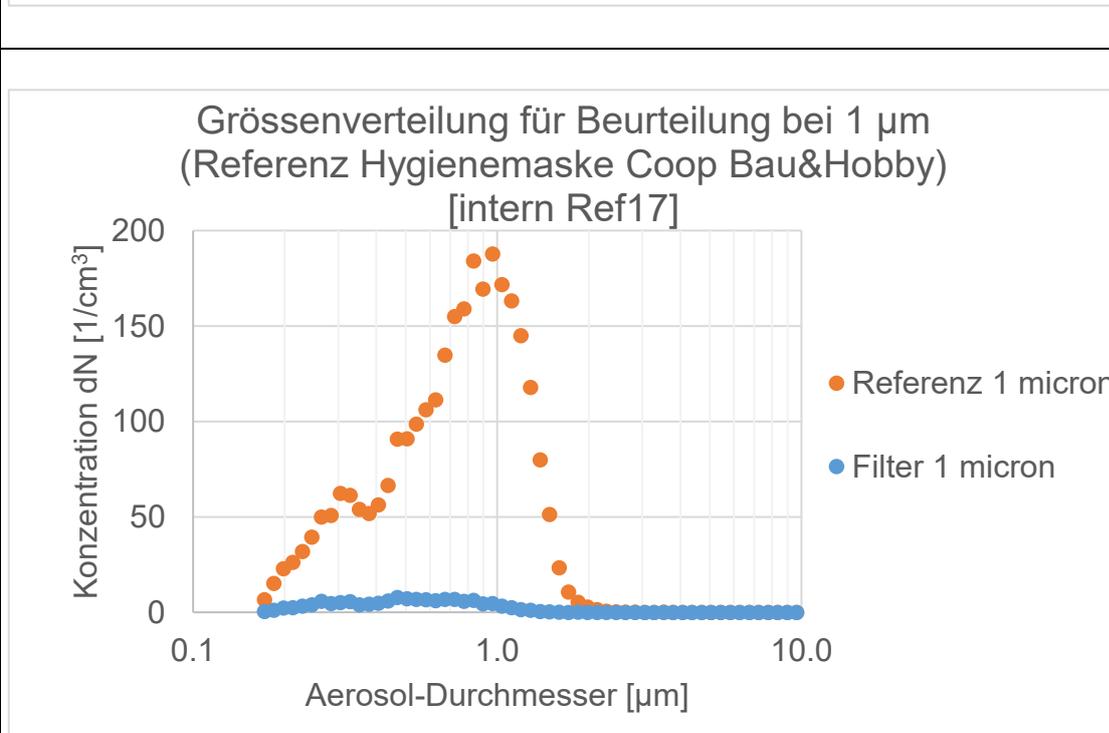
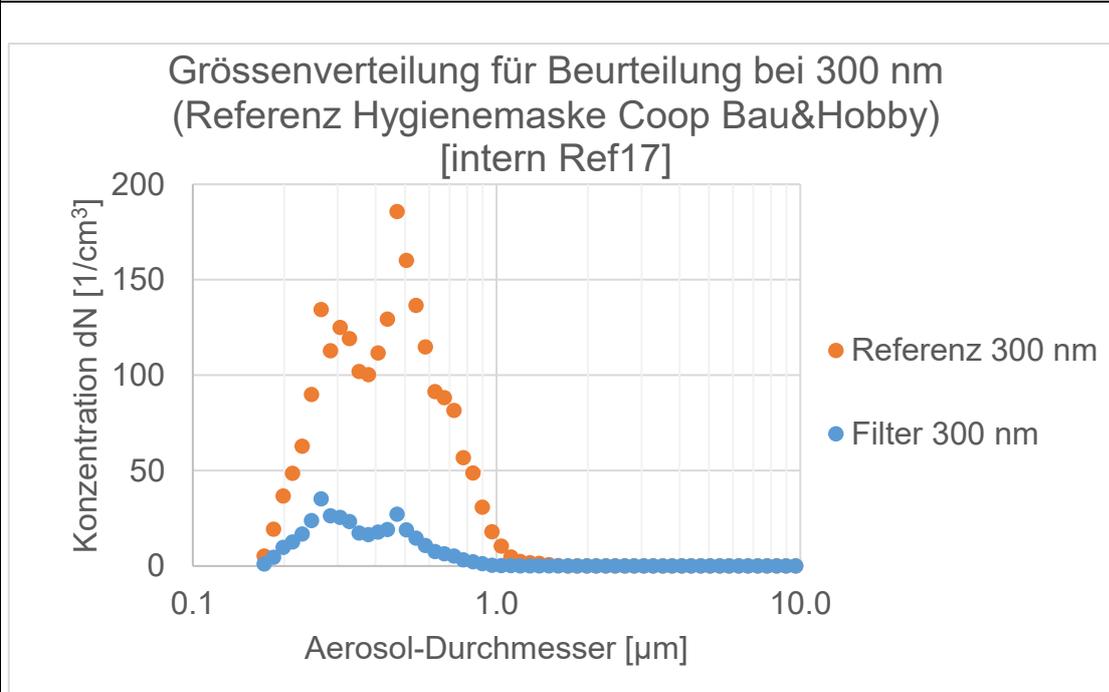
Nachfolgend sind die Messprotokolle der verschiedenen getesteten Filtermaterialien aufgeführt. Der vermerkte Druckabfall gibt Aufschluss darüber, wie gut durch das Filtermaterial geatmet werden kann. Je grösser der Druckabfall, desto mehr Widerstand leistet die Maske dem Atemluftstrom.

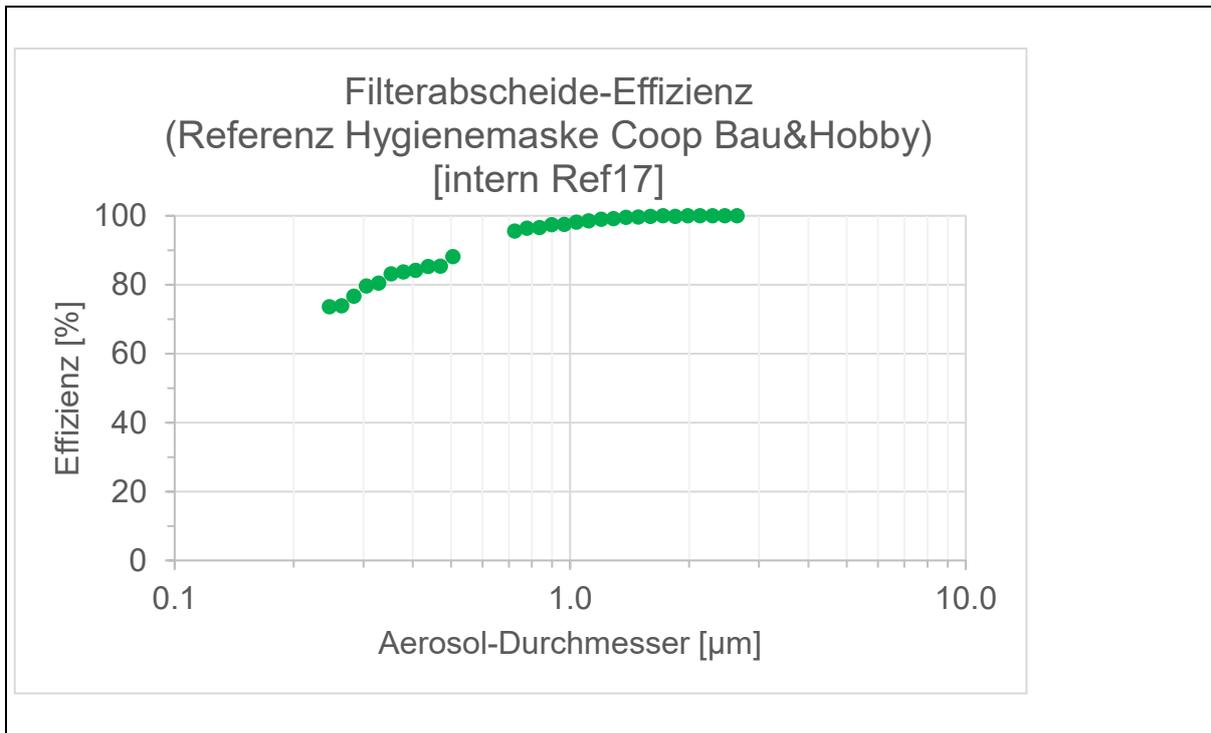
Die erste Grafik zeigt jeweils die Grössenverteilung vor und nach dem Filter. Es ist jeweils eine Messung für die Filtereffizienz-Bestimmung bei 300 nm und eine für die Effizienzbestimmung bei 1 µm aufgeführt (vgl. Abbildung 1).

Für den relevanten Grössenbereich um 300 nm bzw. 1 µm wurde daraus die Filterabscheideeffizienz bestimmt. Diese errechnet sich über das Verhältnis der DEHS-Tröpfchenkonzentration vor und nach dem Filter bei der jeweiligen Partikelgrösse. Die resultierenden Werte wurden in der Grafik Filterabscheideeffizienz aufgetragen. Die Filterabscheide-Effizienz beträgt idealerweise bei der relevanten Partikelgrösse 100 %. In den nachfolgenden Protokollen ist ersichtlich, wie gut welche Filtermaterialien bei welchen Partikelgrössen die Atemluft filtern.

7.3.1 Referenz Hygienemaske EN 14683 Typ IIR, Coop Bau und Hobby

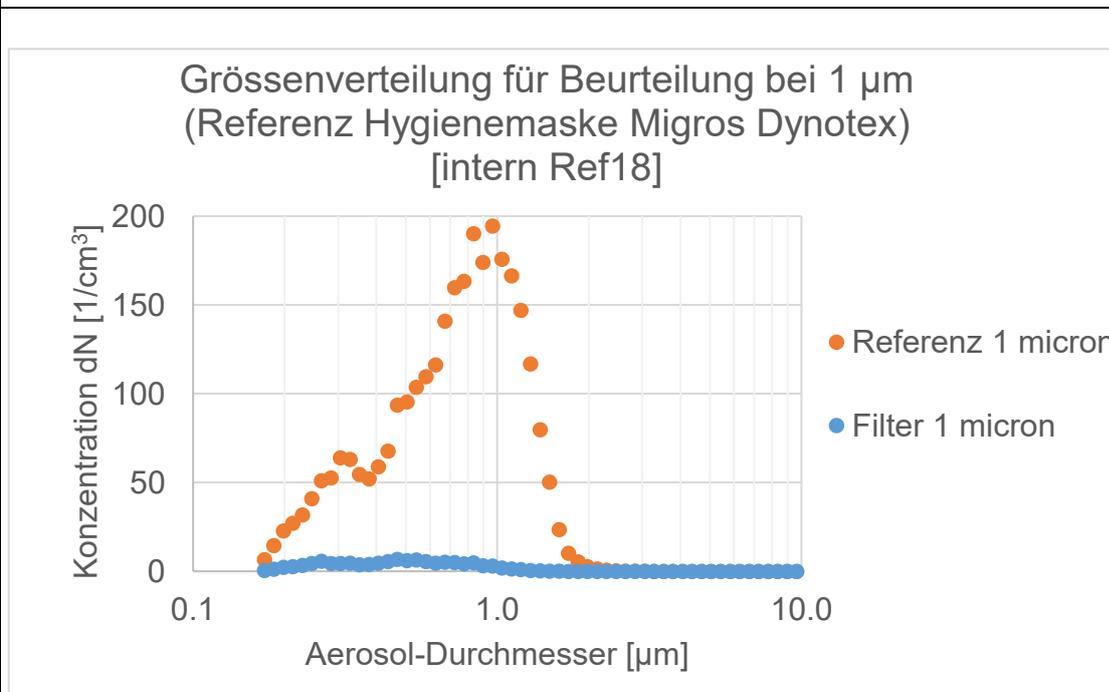
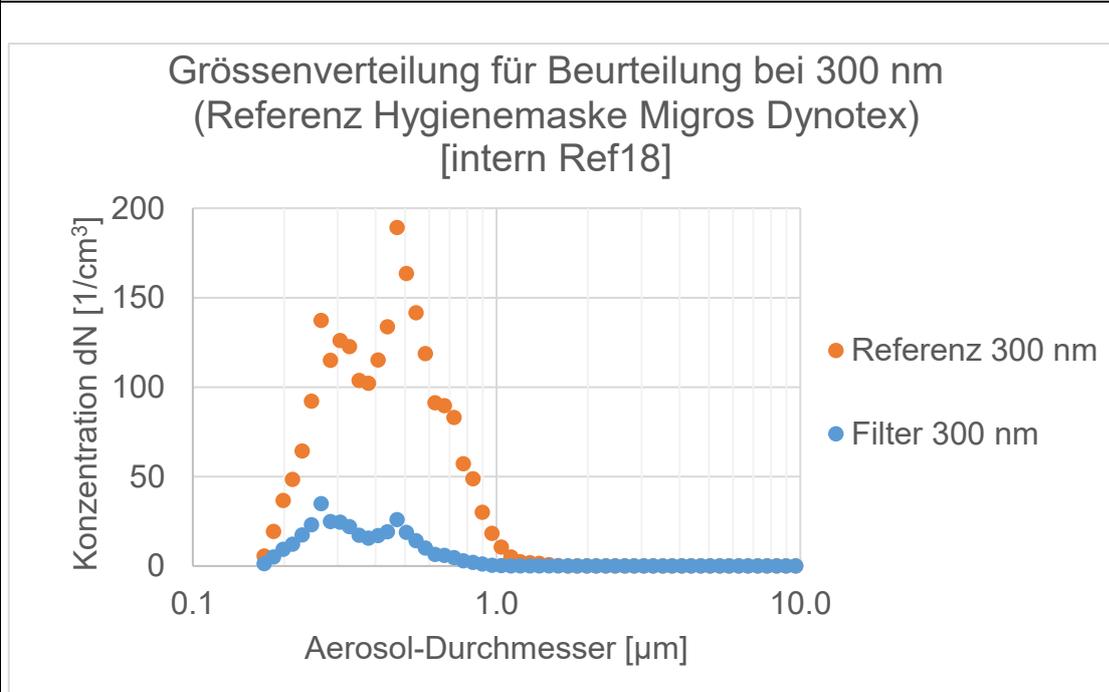
| | |
|-----------------------|--|
| Datum und Uhrzeit: | 20.08.2020 10:09h (Grössenverteilung 300 nm) 20.08.2020 14:54h (Grössenverteilung 1 µm) |
| Messobjekt: | Hygienemaske EN 14683 Typ IIR, Coop Bau und Hobby (Referenznummer intern Ref17) |
| Druckabfall: | 173-208 Pa |
| Filtrationseffizienz: | 80 % bei 300 nm 98 % bei 1 µm |

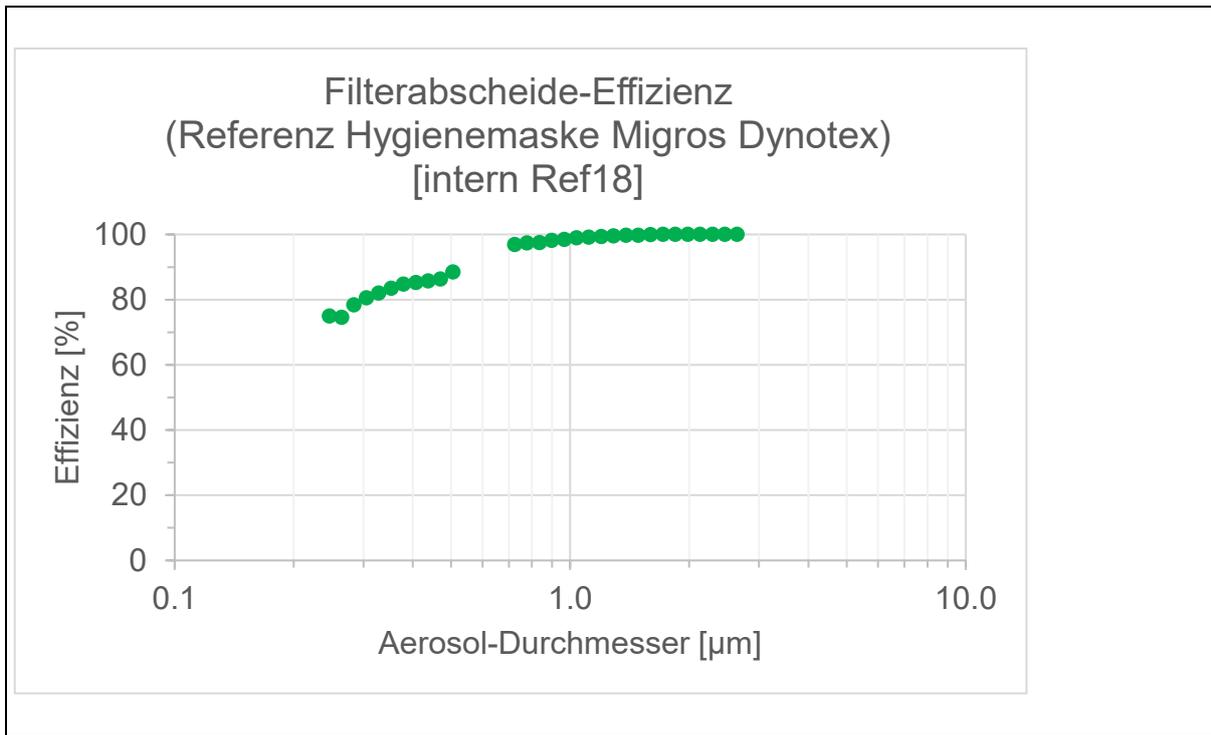




7.3.2 Referenz Hygienemaske Typ II EN 14683:2019, Migros

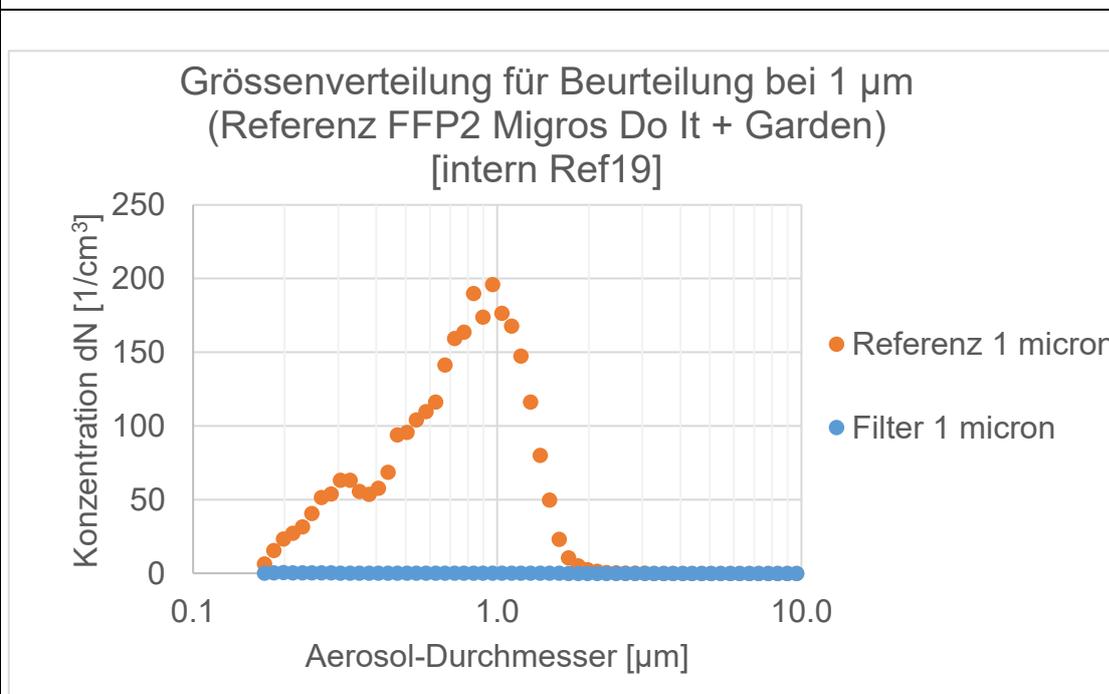
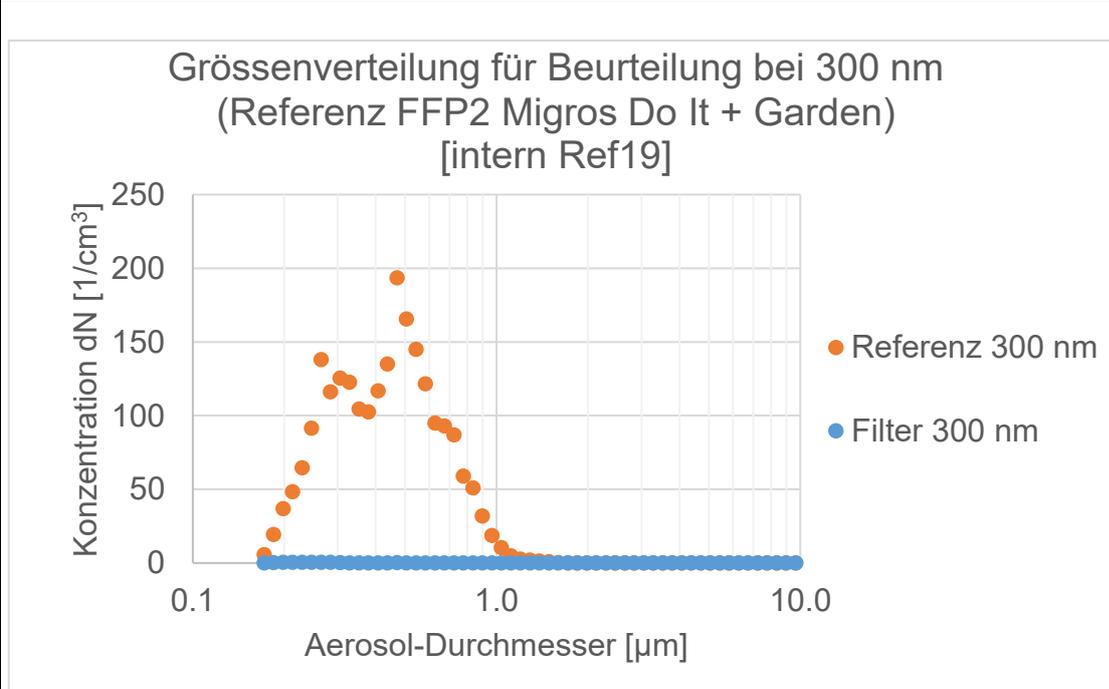
| | |
|-----------------------|---|
| Datum und Uhrzeit: | 20.08.2020 10:15h (Grössenverteilung 300 nm) 20.08.2020 15:00h (Grössenverteilung 1 µm) |
| Messobjekt: | Hygienemaske Dynotex 3-lagig, Typ II EN 14683:2019, Migros (Referenznummer intern Ref18) |
| Druckabfall: | 202-204 Pa |
| Filtrationseffizienz: | 81 % bei 300 nm 99 % bei 1 µm |

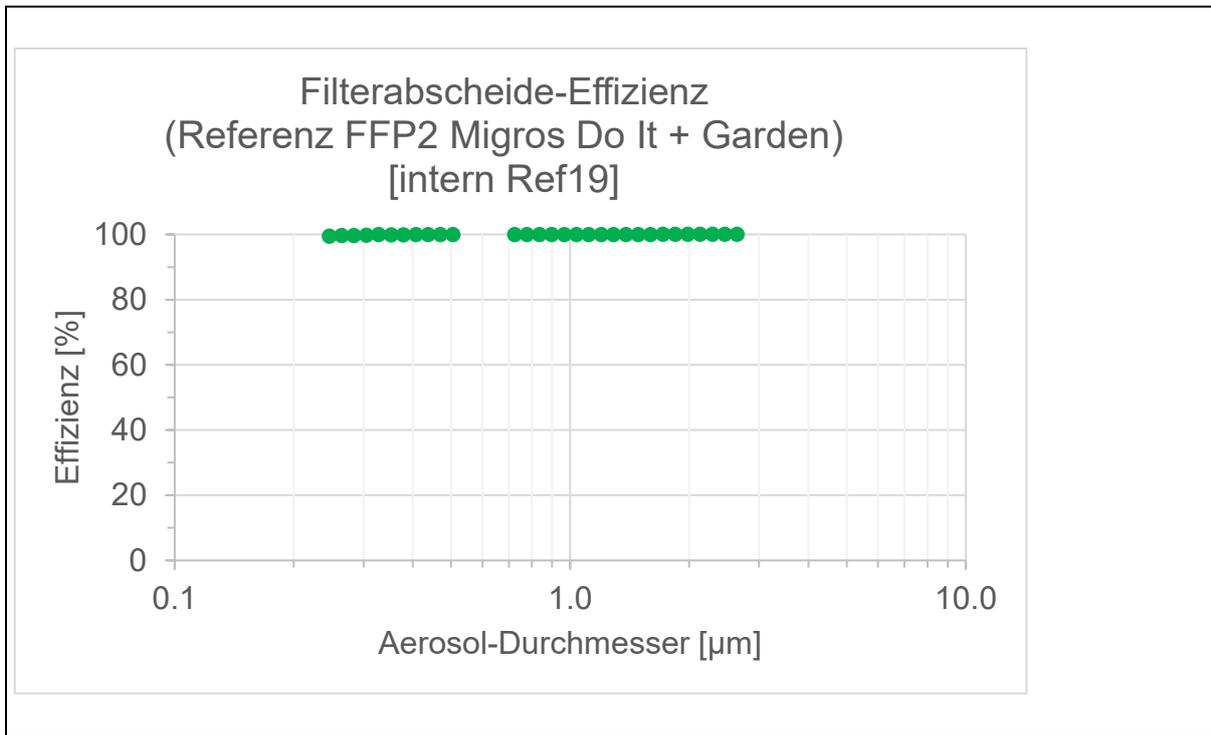




7.3.3 Referenz FFP2 Tect-Atenschutzmaske, Migros Do It + Garden

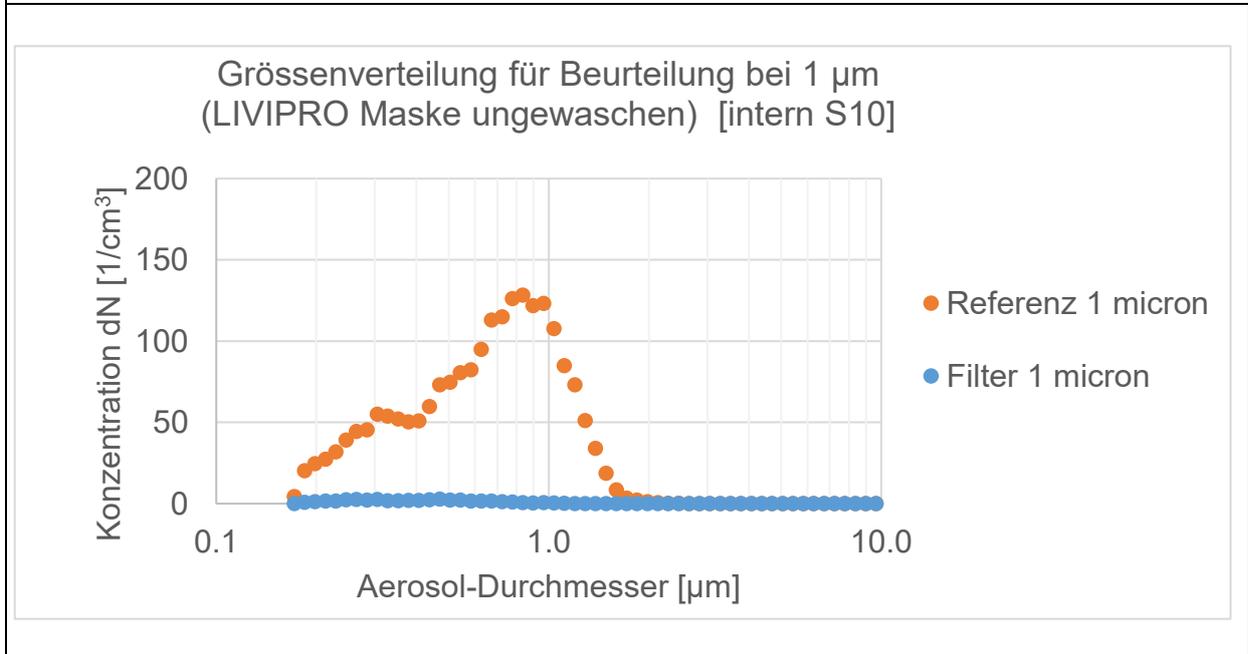
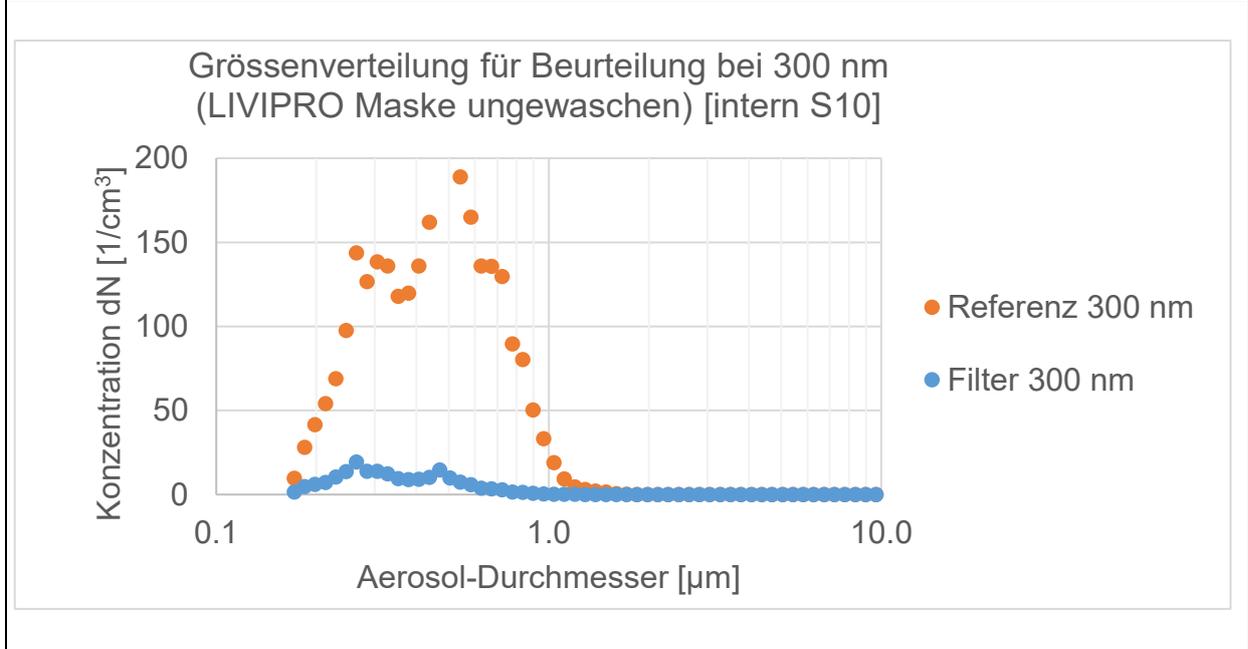
| | |
|-----------------------|--|
| Datum und Uhrzeit: | 20.08.2020 10:21h (Grössenverteilung 300 nm) 20.08.2020 15:06h (Grössenverteilung 1 µm) |
| Messobjekt: | Referenz FFP2 Tect-Atenschutzmaske, Migros Do It + Garden (Referenznummer intern Ref19) |
| Druckabfall: | 270-276 Pa |
| Filtrationseffizienz: | 100 % bei 300 nm 100 % bei 1 µm |

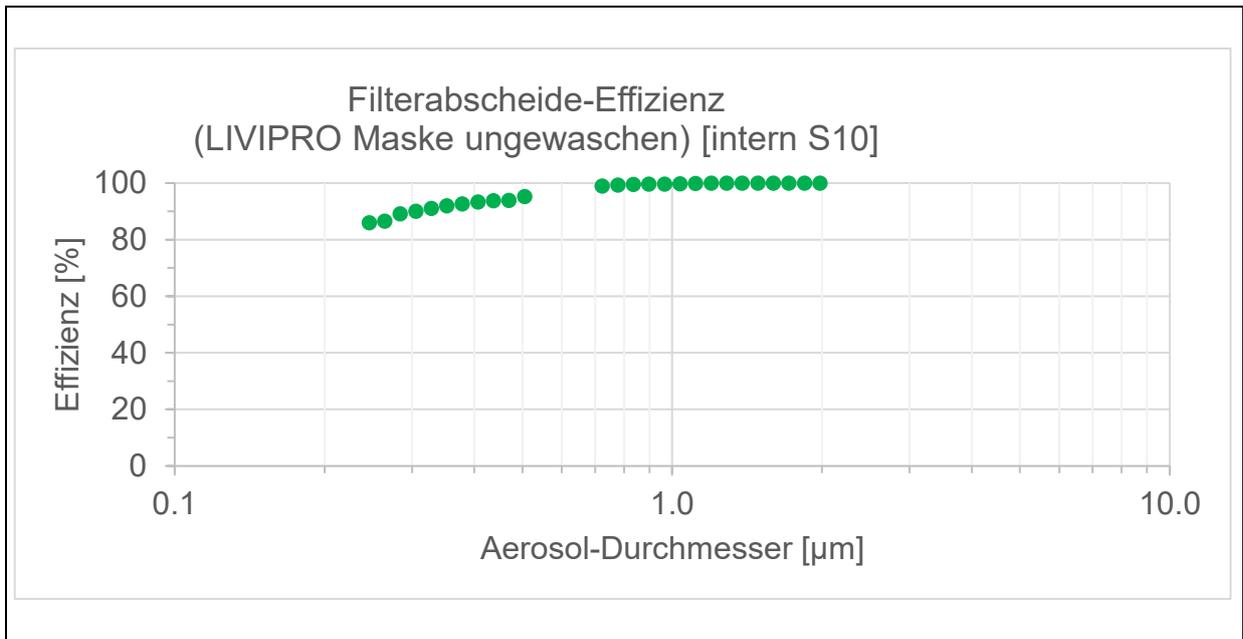




7.3.4 LIVIPRO Maske ungewaschen

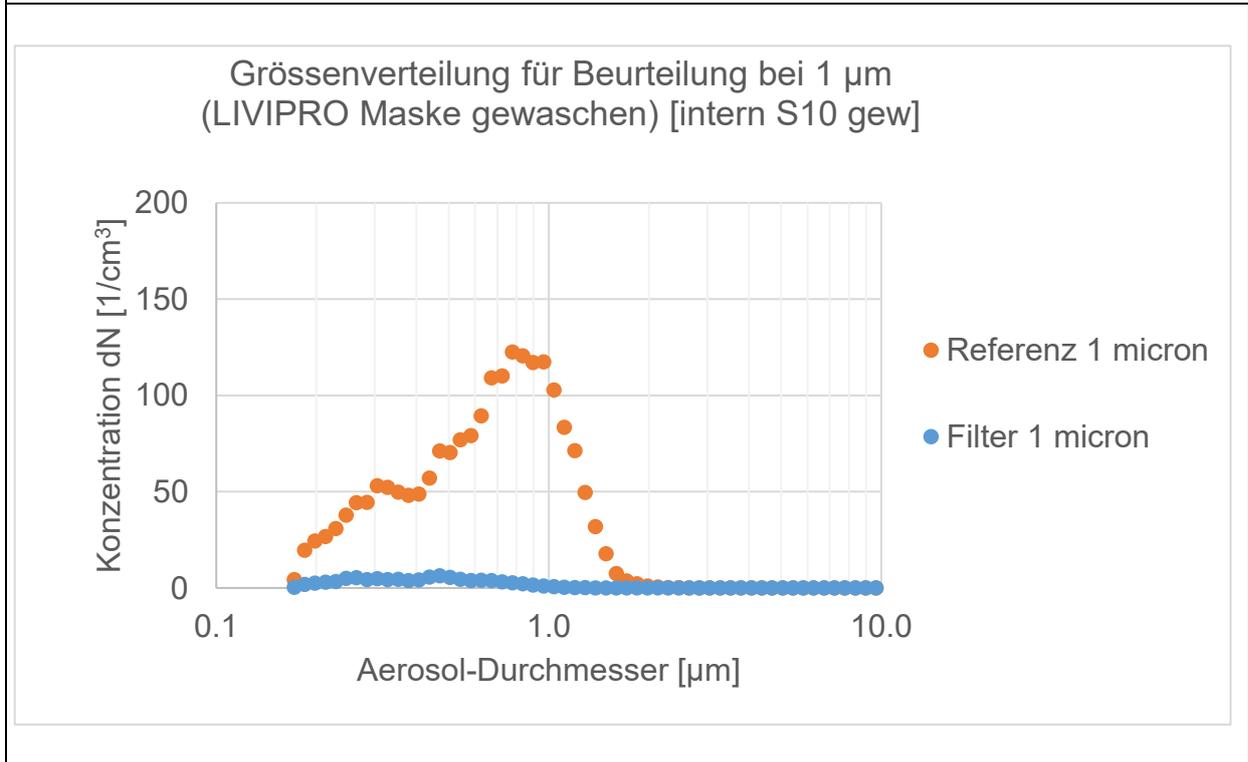
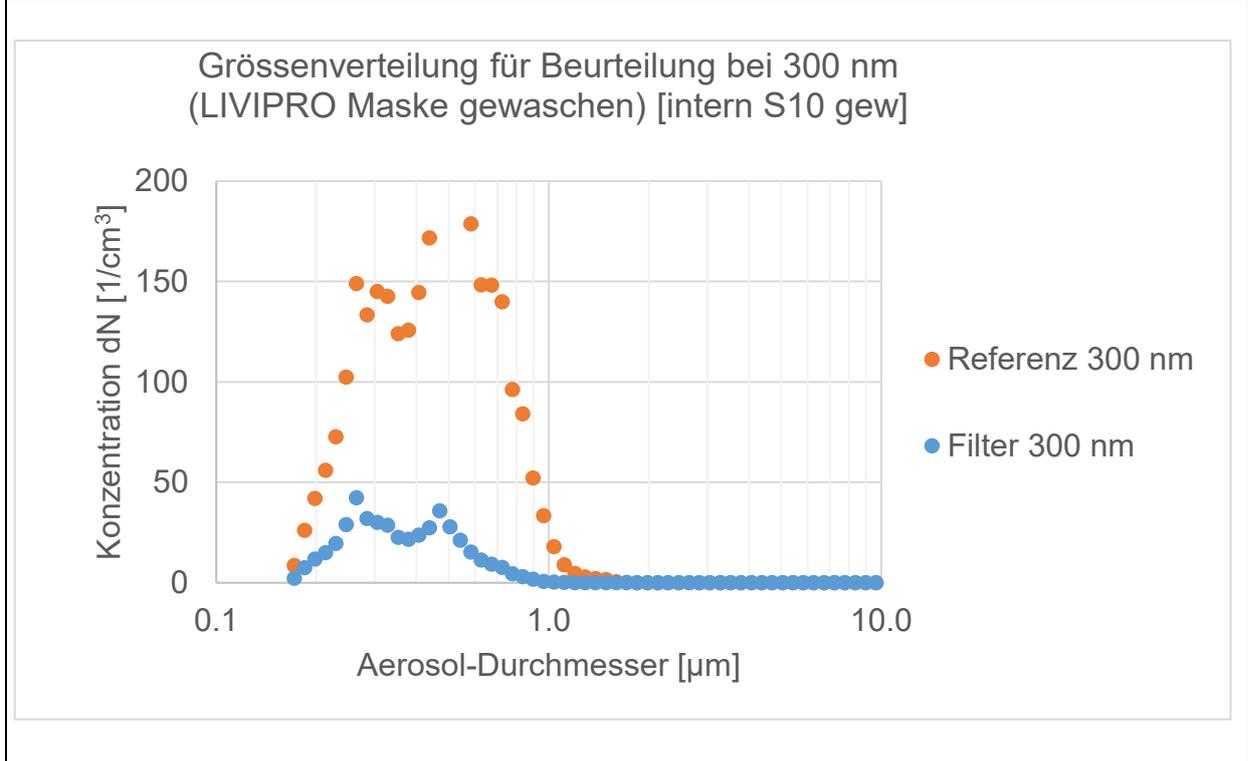
| | |
|-----------------------|--|
| Datum und Uhrzeit: | 20.08.2020 11:44h (Grössenverteilung 300 nm) 20.08.2020 16:15h (Grössenverteilung 1 µm) |
| Messobjekt: | LIVIPRO Maske ungewaschen (Referenznummer intern S10) |
| Druckabfall: | 210-220 Pa |
| Filtrationseffizienz: | 90 % bei 300 nm 100 % bei 1 µm |

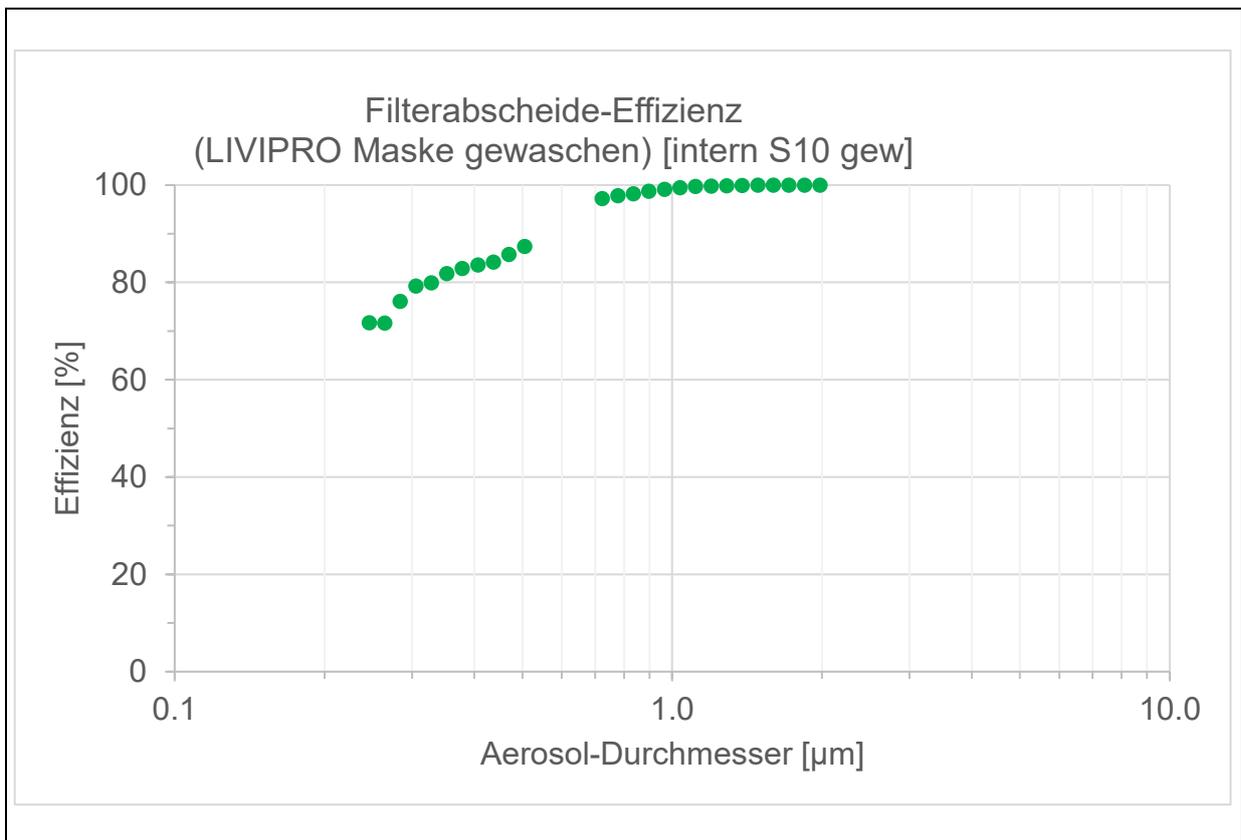




7.3.5 LIVIPRO Maske gewaschen

| | |
|-----------------------|--|
| Datum und Uhrzeit: | 20.08.2020 11:50h (Grössenverteilung 300 nm) 20.08.2020 16:08h (Grössenverteilung 1 µm) |
| Messobjekt: | LIVIPRO Maske gewaschen (Referenznummer intern S10 gew) |
| Druckabfall: | 226-230 Pa |
| Filtrationseffizienz: | 79 % bei 300 nm 99 % bei 1 µm |





8 Zusammenfassende Beurteilung

Zusammengefasst sind die Filtereffizienzen wie folgt (im Vergleich zu Einweg-FFP2-Masken vom Migros und Hygienemasken vom Migros und Coop):

| | Hygienemaske EN 14683 Typ IIR, Coop Bau und Hobby | Hygienemaske Dynotex 3-lagig, Typ II EN 14683:2019, Migros | FFP2 Tect-Atemschutzmaske, Migros Do It + Garden | LIVIPRO Maske ungewaschen | LIVIPRO Maske gewaschen |
|---|---|--|--|---------------------------|-------------------------|
| Abscheide-Effizienz bei Partikelgrösse 300 nm | 80 % | 81 % | 100 % | 90 % | 79 % |
| Abscheide-Effizienz bei Partikelgrösse 1 µm | 98 % | 99 % | 100 % | 100 % | 99 % |
| Bereich Druckabfall | 173-208 Pa | 202-204 Pa | 270-276 Pa | 210-220 Pa | 226-230 Pa |

100 % Abscheide-Effizienz bedeutet, dass alle Partikel der gemessenen Grösse gefiltert werden und ist damit ideal. 0 % bedeutet, dass keine Partikel der genannten Grösse gefiltert werden. Gemäss Empa-Vorgaben müssen bei Community-Masken bei 1 µm Partikelgrösse mindestens 70 % gefiltert werden.

Bei den durchgeführten Messungen haben die getesteten Masken die Vorgaben der Empa von 70% Filtereffizienz bei 1 µm Partikelgrösse erfüllt und weisen auch bei einer Partikelgrösse von 300 nm eine gute Abscheideeffizienz auf. Damit sind diese Masken geeignet zur Filtration kleiner Aerosole.

Der von der Maske verursachte Druckabfall liegt innerhalb der Vorgaben.

9 Sorgfalt und Haftung

Die Messungen wurden in Anlehnung an die Empfehlungen der Swiss National COVID-19 Science Task Force (NCS-TF) (siehe Dokument im Anhang) durchgeführt. Die verwendete Messapparatur ist jedoch kein Testgerät nach EN 14683 (siehe Norm im Anhang) und ersetzt damit weder eine Zertifizierung noch einen Nachweis für klinische Schutzmasken.

Die Messungen wurden unter Laborbedingungen mit DEHS-Tröpfchen durchgeführt und ersetzen damit keine Messungen beim Tragen einer Maske.

Die Masken wurden vor Gebrauch ausgemessen bzw. bei Stoffmasken vor und nach einer Sportwäsche bei 60°C und deshalb kann keine Aussage über die Messresultate nach mehrstündigem Tragen getroffen werden.

Die Messungen wurden unter der idealen Annahme durchgeführt, dass die Maske dicht am Gesicht anliegt und die gesamte Atemluft die Maske passiert und nicht seitlich zwischen Maske und Gesicht ungefiltert ein- bzw. ausgeatmet wird. Liegt die Maske nicht dicht am Gesicht an, ist die Filtereffizienz und der Druckabfall entsprechend kleiner.

Die Messung stellt eine Stichprobe dar und ermöglicht keine generelle Auskunft darüber, ob alle Masken desselben Artikels gleich gut schützen.

Die Fachhochschule lehnt jede Haftung für Abweichungen von den erhaltenen Messresultaten oder für mögliche Covid19-Erkrankungen oder damit verbundene Komplikationen bei Risikopatienten mit von uns getesteten Masken ab. Je nach angewendetem Messverfahren können die Ergebnisse voneinander abweichen, somit sind die in diesem Dokument festgehaltenen Resultate nur beschränkt mit anderen Messprotokollen, die nicht von der Fachhochschule erstellt wurden, vergleichbar. Zudem können die Ergebnisse je nach Charge des verwendeten Prüfobjekts variieren. Zudem hängt die Schutzwirkung der Maske entscheidend von der richtigen Anwendung des Trägers ab.

10 Verwendung des Berichts

Der vorliegende Bericht darf nicht als Ersatz für eine Zertifizierung der ausgemessenen Produkte verwendet werden. Er ermöglicht jedoch eine Abschätzung der Filterwirkung und des Druckabfalls im Vergleich zu zertifizierten Produkten und damit eine Einschätzung der Eigenschaften des Filtermaterials.

Dieses Dokument darf gegenüber Dritten verwendet oder veröffentlicht werden, um eine Abschätzung der gemessenen Filtereigenschaften vorzuweisen. Die beschriebenen Ergebnisse gelten nur für die im Test untersuchten Objekte und unter Berücksichtigung der vorhandenen Messunsicherheit von +/- 10 %.