

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Forschung, Entwicklung,
Demonstration und Beratung auf
den Gebieten der Bauphysik

Zulassung neuer Baustoffe,
Bauteile und Bauarten

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle für
Prüfung, Überwachung und Zertifizierung

Institutsleitung

Prof. Dr. Philip Leistner

Prof. Dr. Klaus Peter Sedlbauer

IBP-Bericht Nr. UHS-011/2021

Effizienzmessung gegenüber der Entfernung von Surrogat-Viren auf HEPA-Filter mit und ohne Dekontamination

Durchgeführt im Auftrag der
Trotec GmbH
Herrn Dipl.-Ing. Cezmi Akcay
Grebener Str. 7
52525 Heinsberg

Der Bericht umfasst:
13 Seiten Text
6 Bilder
5 Tabellen

Valley, 25. Februar 2021

Stv. Abteilungsleiterin:
Dr.-rer. nat. Andrea Burdack-Freitag

Gruppenleiterin:
M.Sc. Sabine Johann

Inhalt

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Untersuchungsgegenstand | 3 |
| 2 | Methode | 4 |
| 3 | Ergebnisse | 7 |
| 3.1 | TAC V+ ohne Dekontaminationstechnologie (Messtag 1) | 7 |
| 3.2 | TAC V+ mit Dekontaminationstechnologie (Messtag 2) | 9 |
| 3.3 | Vergleich von Messtag 1 und 2 | 10 |
| 4 | Zusammenfassung der Untersuchungen des H14-HEPA-Filters mit und ohne Dekontaminationstechnologie (Luftreinigungsgerät TAC V+) | 12 |
| 5 | Literatur | 13 |

1 Untersuchungsgegenstand

Ziel der Untersuchung war die Bestimmung der Reduktion sowie der Inaktivierung luftgetragener Surrogat-Viren (behüllte Phi6-Bakteriophage mit vergleichbarer Struktur, Partikelgröße und Umweltstabilität zu SARS-CoV-2 [1], [2], [3], [4], [5]) auf dem HEPA-Schwebstofffilter des Luftreinigungsgeräts TAC V+ ohne und mit Dekontaminationstechnologie. Diese Untersuchungen fanden in einem speziell ausgerüsteten Testraum statt.

Tabelle 1: Gerätespezifikation Gerät Messtag 1: TAC V+ ohne Dekontaminationstechnologie

| | |
|-----------------------------|--|
| Gerätename | TAC V+ |
| Hersteller | Trotec GmbH |
| Eingang des Gerätes | 1. Februar 2021 |
| Funktionsprinzip | <ul style="list-style-type: none">• Vorfilter F6 (EN 779:2002), ePM10 85 % (ISO 16890) <u>ausgebaut</u>• TROTEC Schwebstofffilter H14-Heat Resistant (DIN EN 1822)• Thermodekontamination/ Filterregeneration <u>inaktiv</u> |
| Leistungseinstellung Lüfter | Stufe 3 |
| Volumenstrom | 1050 m ³ /h |
| Gerätedimension | H 130 cm x T 69 cm x B 61 cm |
| IBP interne Prüfnummer | E3481-1 |
| Messzeitraum | KW 6 |

Tabelle 2: Gerätespezifikation Gerät Messtag 2: TAC V+ mit Dekontaminationstechnologie

| | |
|-----------------------------|---|
| Gerätename | TAC V+ |
| Hersteller | Trotec GmbH |
| Eingang des Gerätes | 1. Februar 2021 |
| Funktionsprinzip | <ul style="list-style-type: none">• Vorfilter F6 (EN 779:2002), ePM10 85 % (ISO 16890) <u>ausgebaut</u>• TROTEC Schwebstofffilter H14-Heat Resistant (DIN EN 1822)• Thermodekontamination/ Filterregeneration für 30 min <u>aktiv</u> |
| Leistungseinstellung Lüfter | Stufe 3 |
| Volumenstrom | 1050 m ³ /h |
| Gerätedimension | H 130 cm x T 69 cm x B 61 cm |
| IBP interne Prüfnummer | E3481-2 |
| Messzeitraum | KW 7 |

Die Untersuchungen bezogen sich ausschließlich auf aerosolierte Viren die durch den Filter zurückgehalten wurden. Dabei wurden die aerosolierten Viren durch den Raumlufreiniger angesaugt, so dass sie den H14-HEPA-Filter passieren konnten.

Der Aufbau erfolgte in Anlehnung an die DIN ISO 16000-36 [6] für die Untersuchung luftgetragener Bakterien, die realitätsnah an die spezifische Untersuchungsfragestellung angepasst wurde. Zur Vergleichbarkeit beider Messtage fanden die Probenahmen zur Raumlufbestimmungen (Tagesreferenz) an Viren analog zu DIN-ISO 16000-16 [7] statt. In Anlehnung an DIN ISO 16000-17 [8] wurden die herangezogenen Gelatinefilter aufgearbeitet. Die Anzahl aktiver Viren („Virulenz“) auf dem Gelatinefilter (Raumlufprobenahme) und auf dem Schwebstoff H14-HEPA-Filter wurde im Labor mittels der Plaque-Assay-Methode (Bild 2) bestimmt ([9], [10]).

Anmerkung: Untersuchungen der Virenaktivität auf Oberflächen bedürfen einer anderen Methode, da hier die Stabilität von Viren in Flüssigkeiten („Schmierinfektion“) betrachtet werden muss.

2 Methode

Die Versuche fanden in einem temperatur- und feuchtekontrollierten Teststand (IBP-Indoor Air Testcenter, IATC:127 m³) mit folgenden Stellparametern statt:

- Temperatur der Wandraumflächen 19°C
- Temperatur der Fensterflächen 15 °C
- Raumlufatemperatur ≈ 20°C
- Raumlufatfeuchte ≈ 40 H%
- Dummie-Temperatur 36 °C
- Luftwechsel 0 h⁻¹ (statisch)

Die Luftreinigungsgeräte TAC V+ ohne und mit Dekontaminationstechnologie (siehe Tabelle 1 und 2) wurden identisch nach folgendem Versuchsaufbau und Versuchsablauf an zwei Messtagen geprüft:

In dem gereinigten Teststand wurde das Luftreinigungsgerät auf einem Gestell zwischen dem Aerosolgenerator und dem Luftkeimsammler platziert (siehe Bild 1). Die Viren wurden im Abstand von 0,3 m direkt vor dem Einlass des Gerätes in den Raum eingebracht. Die Dosierung erfolgte zunächst ohne Einschalten des Gerätes, um die Tagesreferenz der Raumlufprobenahme zu entnehmen. Dafür wurden die Viren auf einen Luftkeimsammler (MBASS30 Version 3 adaptiert für Filterbetrieb von Firma Umweltanalytik Holbach GmbH, Wadern, Deutschland) gezogen und im Labor zur mikrobiellen Analyse einem Plaque-Assay-Test unterzogen. Die beaufschlagten Luftkeimsammler wurden binnen einer Stunde aufgearbeitet und nach 24 Stunden ausgewertet (siehe Bild 2).

Nach Beendigung der Raumluftprobenahme wurde die Dosierung und das Luftreinigungsgerät simultan für 2 Stunden betrieben. Dieser Versuchsaufbau wurde über eine Gesamtlauzeit von etwa 3 Stunden betrieben. Über die gesamte Laufzeit wurden die Partikelverteilung im Raum, die Temperatur und Feuchte sowie der Ozongehalt kontinuierlich gemessen. Unmittelbar nach dem Versuchsende wurde der H14-HEPA-Filter aus dem Luftreinigungsgerät ausgebaut, in Folie verpackt und im Labor aufbereitet. Im Labor wurde die Filterkassette geöffnet und das Filtervlies unter keimarmen Bedingungen von den Seitenwänden separiert (siehe Bild 3). Das mittlere Filtervlies (22. Lamelle) wurde für die weitere Probenaufbereitung entnommen. Aus dem Filtervlies wurde mittels einer Schere ein doppellagiger Streifen von 3 cm auf „upstream-Seite“ (Probenahme 2; TAC V+ Eingangsseite) und „downstream“-Seite (Probenahme 3; TAC V+ Ausgangsseite) gewonnen. Auf der „downstream“-Seite wurde 1 cm Filtervlies verworfen und eine Fraktion von 1 cm bis 4 cm im Tiefenprofil extrahiert (siehe Bild 4). Die Proben („upstream-Seite“ = Eingangsseite und „downstream“-Seite = Ausgangsseite) wurden getrennt gewonnen, gewogen und aufgearbeitet.



Bild 1: Aufbau TAC V+ -Luftreinigungsgerät im IATC mit Aerosolgenerator (Dosiergerät), Sensortechnik und Luftkeimsammler.



Bild 2: Mikrobielle Analyse. Agarplatte mit durch Viren verursachten Plaques (pfu, plaque-forming units).

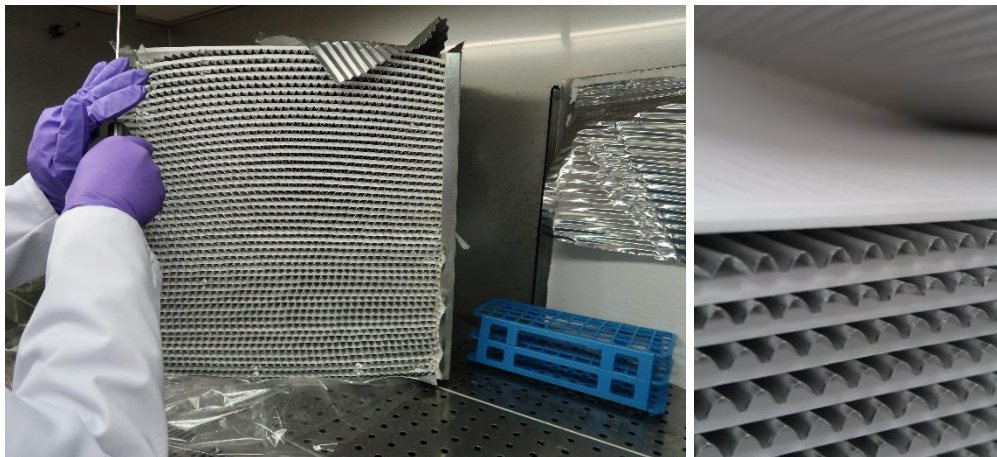


Bild 3: (links) Geöffnete Filterkassette mit Seitenwand Durchtrennung. (rechts) Darstellung des Filters mit Aluminiumlamellen.



Bild 4: Aufsicht auf das Filtervlies im mittleren Bereich der Kassette. Die Markierungen zeigen schematisch die Probenahmepositionen für die Probenahme 2 (P2; downstream) und 3 (P3; upstream).

3 Ergebnisse

3.1 TAC V+ ohne Dekontaminationstechnologie (Messtag 1)

Das Luftreinigungsgerät zog virenbelastete Luft durch den Filterkanal an. Innerhalb des Gerätes wurden Viren durch Luftfiltration über einen H14-HEPA-Filter zurückgehalten. Bild 5 zeigt die Verteilung des Virenaerosols im Raum über den Messzeitraum. Der Zeitraum der Probenahme (P1) für die Viren in der Luft ist im Diagramm (Bild 5) farblich markiert. Die Phagendosierung startete bei 0 min, das Raumlufreinigungsgerät wurde bei 62 min aktiviert, anschließend liefen die Dosierung sowie das Raumlufreinigungsgerät bis 182 min simultan und die Probenahmen des H14-Hepa-Filters fand im Anschluss zum Versuch statt.

- **P1:** Probenahme im Zeitraum von 30 min bis 60 min der Phagendosierung und TAC V+ inaktiv (entspricht Tages-Referenzmessung).
- **P2: Downstream** Probenahme H14-Hepa-Filter nach Beendigung der Phagendosierung. Die Zeit zwischen der Dosierung und der Entnahme des Probenstücks betrug aufgrund des Aufbrechens der Filterkassette ca. 45 min (siehe Ziffer 2).
- **P3: Upstream** Probenahme H14-Hepa-Filter nach Beendigung der Phagendosierung. Die Zeit zwischen der Dosierung und der Entnahme des Probenstücks betrug aufgrund des Aufbrechens der Filterkassette ca. 45 min (siehe Ziffer 2).

Die Kurven spiegeln die Messbereiche der Partikelmessgeräte (P-Trak/TSI, WCPC 3788/TSI und Fidas Frog/Pallas) wider. Das WCPC 3788 (2,5 nm bis 1000 nm) umfasst genau wie der P-Trak (20 bis 1000 nm) den nanoskaligen Bereich bis 1000 nm, deckt daher vor allem den Bereich einzelner Viren (Virengröße ca. 100 nm) in der Luft ab. Der Fidas Frog umfasst einen gröberskaligen Bereich von 0,2 bis 20 µm und erfasst somit Aerosol gebundene Viren (ca. 1 bis 3 µm Partikel). Umgehend nach dem Einschalten des Luftreinigers TAC V+ sanken binnen 30 Minuten sämtliche Größenbereiche der Partikel-Messwerte Upstream wie auch Downstream auf ein Grundniveau von etwa $5 \cdot 10^7$ P/m³ ab.

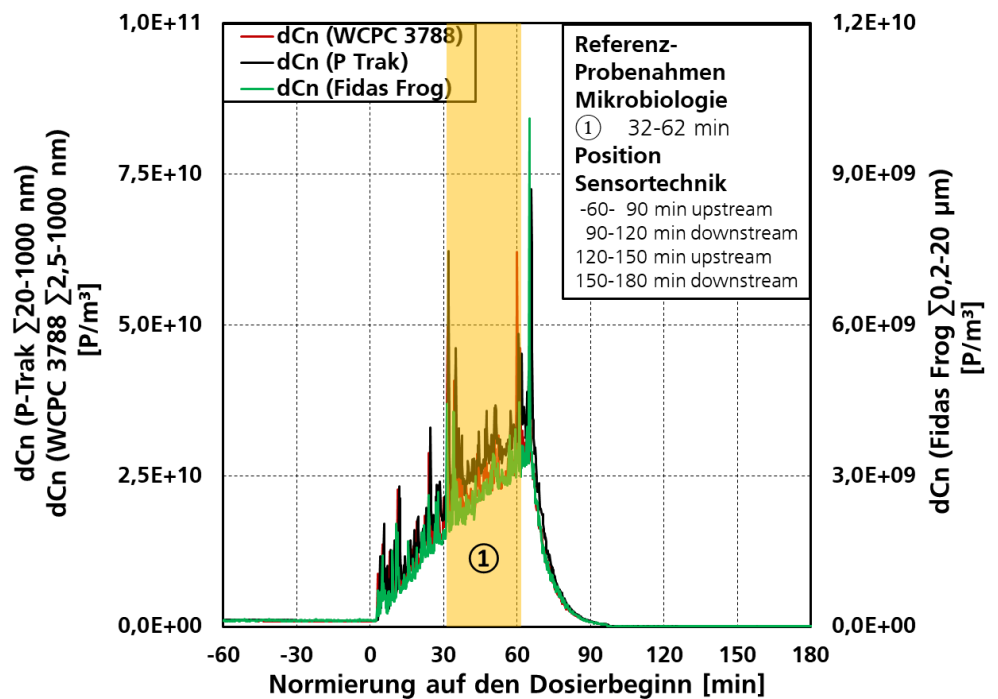


Bild 5: Verteilung des Virenaerosols im Raum und Zeitpunkte der Probenahmen.

Zur Vergleichbarkeit beider Messtage 1 und 2, wurde eine Tagesreferenzmessung aus der Raumluft gezogen. Des Weiteren wurden die Upstream und Downstream Seiten des H14-HEPA-Filters gewonnen und im Labor mittels der Plaque-Assay-Methode analysiert. Die Ergebnisse der im Labor nachgewiesenen aktiven Viren Einheiten der Probenahmen 1 bis 3 sind in Tabelle 3 dargestellt. Hierbei ist zu beachten, dass die Dekontaminationstechnologie innerhalb des Versuches inaktiv war und somit der HEPA-Filter nicht gereinigt wurde. Die Ergebnisse aus der Filteruntersuchung, aufgeführt in Tabelle 3 beziehen sich auf die beprobte Filterfläche von 240 cm² mit einem durchschnittlichen Gewicht von 1,836 g.

Tabelle 3: Messung der Virenaktivität Messtag 1 (ohne Dekontaminationstechnologie)

| | |
|--|--|
| Probenahme | Bestimmung aktiver Einheiten (plaque-forming units) mit Standardabweichung |
| P1 (Tagesreferenzmessung) | 867 (+41%) pfu/m ³ |
| P2 (H14-HEPA-Filter downstream) | 218.207 (+12%) pfu/Probe |
| P3 (H14-HEPA-Filter upstream) | 176.723 (+14%) pfu/Probe |

3.2 TAC V+ mit Dekontaminationstechnologie (Messtag 2)

Das Luftreinigungsgerät zog virenbelastete Luft durch den Filterkanal an. Innerhalb des Gerätes wurden Viren durch Luftfiltration über einen H14-HEPA-Filter zurückgehalten. Bild 6 zeigt die Verteilung des Virenaerosols im Raum über den Messzeitraum. Der Zeitraum der Probenahme (P1) für die Viren in der Luft ist im Diagramm (Bild 6) farblich markiert. Die Phagendosierung startete bei 0 min, das Raumlufreinigungsgerät wurde bei 60 min aktiviert, anschließend liefen die Dosierung sowie das Raumlufreinigungsgerät bis 180 min simultan, die Dekontaminationstechnologie wurde bei 150 min zusätzlich bis 180 min zugeschaltet und die Probenahmen des H14-Hepa-Filters fand im Anschluss des Versuches statt.

- **P1:** Probenahme im Zeitraum von 30 min bis 60 min der Phagendosierung und TAC V+ inaktiv (entspricht Tages-Referenzmessung).
- **P2: Downstream** Probenahme H14-Hepa-Filter nach Beendigung der Phagendosierung. Die Zeit zwischen der Dosierung und der Entnahme des Probenstücks betrug aufgrund des Aufbrechens der Filterkassette ca. 45 min (siehe Ziffer 2).
- **P3: Upstream** Probenahme H14-Hepa-Filter nach Beendigung der Phagendosierung. Die Zeit zwischen der Dosierung und der Entnahme des Probenstücks betrug aufgrund des Aufbrechens der Filterkassette ca.45 min (siehe Ziffer 2).

Die Kurven spiegeln die Messbereiche der Partikelmessgeräte (P-Trak/TSI, WCPC 3788/TSI und Fidas Frog/Pallas) wider. Das WCPC 3788 (2,5 nm bis 1000 nm) umfasst genau wie der P-Trak (20 bis 1000 nm) den nanoskalierten Bereich bis 1000 nm, deckt daher vor allem den Bereich einzelner Viren (Virengröße (ca. 100 nm) in der Luft ab. Der Fidas Frog umfasst einen gröberskalierten Bereich von 0,2 bis 20 µm und erfasst somit Aerosol gebundene Viren (ca. 1 bis 3 µm Partikel). Umgehend nach dem Einschalten des Luftreinigers TAC V+ sanken binnen 30 Minuten sämtliche Größenbereiche der Partikel-Messwerte Upstream wie auch Downstream auf ein Grundniveau von etwa $5 \cdot 10^7$ P/m³ab.

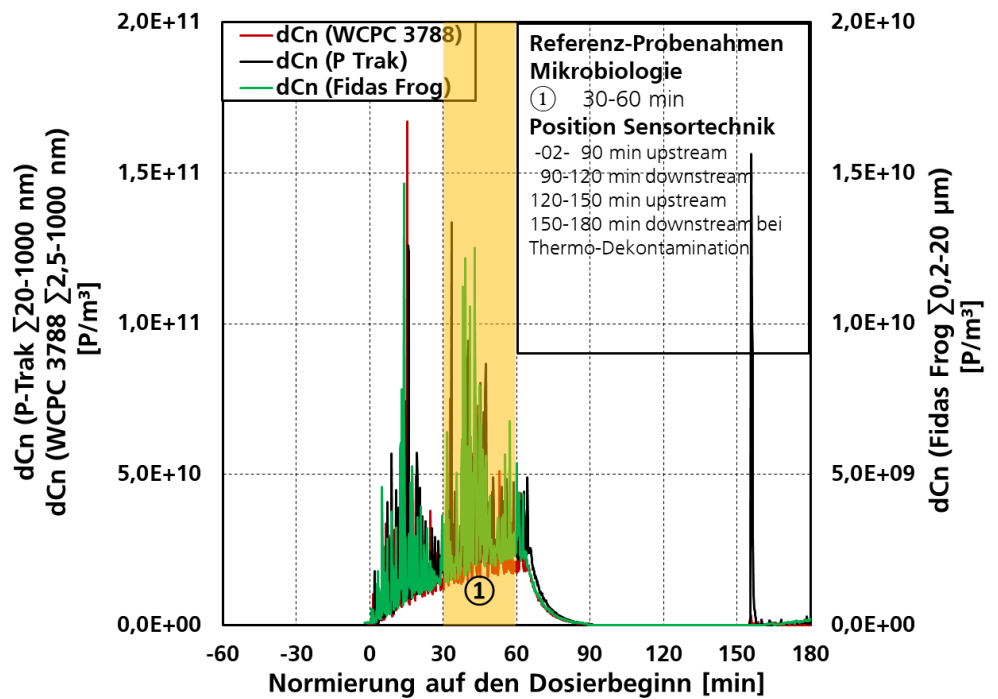


Bild 6: Verteilung der Virenpartikel im Raum und Zeitpunkte der Probenahmen.

Zur Vergleichbarkeit beider Messtage 1 und 2 wurde eine Referenzmessung aus der Raumluft gezogen. Des Weiteren wurden die Upstream und Downstream Seiten des H14-HEPA-Filters gewonnen und im Labor mittels der Plaque-Assay-Methode analysiert. Die Ergebnisse der im Labor nachgewiesenen aktiven Viren Einheiten der Probenahmen 1 bis 3 sind in Tabelle 4 dargestellt. Hierbei ist zu beachten, dass der HEPA-Filter mittels Dekontaminationstechnik gereinigt wurde.

Tabelle 4: Messung der Virenaktivität Messtag 2 (mit Dekontaminationstechnologie)

| Probenahme | Bestimmung aktiver Einheiten (plaque-forming units) mit Standardabweichung |
|--|--|
| P1 (Tagesreferenzmessung) | 1.317 ($\pm 53\%$) pfu/m ³ |
| P2 (H14-HEPA-Filter downstream) | 30.606 ($\pm 10\%$) pfu/Probe |
| P3 (H14-HEPA-Filter upstream) | 23.191 ($\pm 34\%$) pfu/Probe |

3.3 Vergleich von Messtag 1 und 2

Die verwendeten Partikelmessgeräte zeigten nach Beginn des TAC V+ Luftreinigers aufgrund der installierten Filtertechnologie binnen 30 Minuten eine Partikelreduzierung von über 99%. Ein abweichender Partikelverlauf zwischen Upstream und Downstream konnte nicht nachgewiesen werden (siehe Bild 5 und Bild 6). 10 Minuten nach Beginn der Thermodekontamination sowie Filterregeneration an Versuchstag 2 stiegen die Partikelkurven kurzfristig auf

$1,5 \cdot 10^{11}$ P/m³ an. Dieser Partikel-Maximalwert sowie ein wachsartiger sensorischer Eindruck wiesen auf die Dekontaminationstechnologie hin.

Für die Raumlufthprobenahme des Messtag 1 wurden aktive Viren Einheiten von 867 ($\pm 41\%$) und am Messtag 2 in Höhe von 1317 ($\pm 53\%$) nachgewiesen. Diese befinden sich in derselben Größenordnung und sind somit vergleichbar. Anhand diese Ergebnisse, ist davon aus zu gehen, dass an beiden Messtagen eine vergleichbare Virenbeaufschlagung auf den H14-HEPA-Filtern generiert wurde.

Nach Beendigung der Virendosierung und H14-HEPA-Filter Beprobung, konnten an beiden Messtagen die Probenahmen des H14-HEPA-Filter nach ca. 45 min entnommen werden. Die jeweiligen Proben aus dem Filtervlies (22. Lamelle) der jeweiligen Messtag 1 und 2 wurden für die Vergleichbarkeit gewogen. Die Masse der jeweiligen Proben ist in Tabelle 5 aufgeführt. Die Ergebnisse wurden auf ein einheitliches Durchschnittsgewicht korrigiert, um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

Tabelle 5: Masse der Probennahmen 2 und 3 zu Messtag 1 und 2. Entnommen aus dem jeweiligen Filtervlies des 22. Lamelle.

| Probenahme | Masse [g] | Masse [g] |
|--|-----------|-----------|
| | Messtag 1 | Messtag 2 |
| P2 (H14-HEPA-Filter downstream) | 1,62 | 2,24 |
| P3 (H14-HEPA-Filter upstream) | 1,86 | 1,74 |

Im Vergleich der beiden **downstream-Probenahmen (P2, H14-HEPA-Filter)** ergibt sich eine Reduktion von 218.207 pfu/Probe auf 30.606 pfu/Probe, somit um **85,97 %**. Im Vergleich der beiden **upstream-Probenahmen (P3, H14-HEPA-Filter)** ergibt sich eine Reduktion von 176.723 pfu/Probe auf 23.191 pfu/Probe, somit um **86,88 %**. Daher ist die Wirkung der Thermodekontamination sowie Filterregeneration anhand der Ergebnisse nachgewiesen. Auch ist die relative Wirkung auf der downstream-Seite und upstream-Seite bei den beprobten Positionen annähernd gleich.

4 Zusammenfassung der Untersuchungen des H14-HEPA-Filters mit und ohne Dekontaminationstechnologie (Luftreinigungsgerät TAC V+)

Das IATC wurde für beide Geräte bei einem Raumvolumen von 127 m³ für 3 Stunden mit Surrogat-Viren (behüllte Phi6-Bakteriophage mit vergleichbarer Struktur, Partikelgröße und Umweltstabilität zu SARS-CoV-2) beaufschlagt. Nach 1 h wurden die Luftreinigungsgeräte TAC V+ ohne (Messtag 1) mit Dekontaminationstechnologie (Messtag 2) (Trotec GmbH) zugeschaltet. Das Luftreinigungsgerät lief jeweils 2 Stunden zum Aerosolgenerator simultan. Anschließend wurden die H14-HEPA-Filter im Labor analysiert. Bei den untersuchten Segmenten der beiden H14-HEPA-Filter konnten aktive Viren (pfu) nachgewiesen werden, im Vergleich jedoch war die Konzentration am Messtag 2 deutlich niedriger. Somit wurde eine Reduktion an aktiven Viren (Phi6-Phagen) nach Durchführung der Thermodekontamination sowie Filterregeneration nachgewiesen. Die Reduktion betrug bei der upstream-Probenahme **85,97 %**. und bei der downstream- Probenahme **86,88 %**.

Die verwendeten Partikelmessgeräte zeigten an beiden Messtagen nach Beginn des TAC V+ Luftreinigers aufgrund der installierten Filtertechnologie binnen 30 Minuten eine Partikelreduzierung von über 99%.

5 Literatur

- [1] Carvallo, N.A. de, Stachler, E.N., Cimabue, N., Bibby, K. (2017): Evaluation of Phi6 Persistence and Suitability as an Enveloped Virus Surrogate. *Environmental Science & Technology* 51: 8692-8700.
- [2] Prussin, A.J., Schwake, D.O., Lin, K., Gallagher, D.L., Buttling, L., Marr, L.C. (2018): Survival of the Enveloped Virus Phi6 in Droplets as a Function of Relative Humidity, Absolute Humidity, and Temperature. *Applied and Environmental Microbiology* 84(12).
- [3] Whitworth, C., Mu, Y., Houston, H., Martinez-Smith, M., Noble-Wang, J., Coulliette-Salmond, A., Rose, L. (2020): Persistence of bacteriophage Phi 6 on Porous and Nonporous Surfaces and the Potential for Its Use as an Ebola Virus or Coronavirus Surrogate. *Applied and Environmental Microbiology* 86(17): 1-11.
- [4] Casanova, L.M. & Waka, B. (2013): Survival of a Surrogate Virus on N95 Respirator Material. *Infection Control and Hospital Epidemiology* 34(12): 1334-1335.
- [5] Turgeon, N., Toulouse, M.-J., Martel, B., Molneau, S., Duchaine, C. (2014): Comparison of Five Bacteriophages as Models for Viral Aerosol Studies. *Applied and Environmental Microbiology* 80(14): 4242-4250.
- [6] DIN ISO 16000-36:2019-07, Innenraumluftverunreinigungen – Teil 36: Prüfkammer-Verfahren zur Bestimmung der Minderungsrate luftgetragener, kultivierbarer Bakterien durch Luftreiniger mit einer Prüfkammer.
- [7] DIN ISO 16000-16:2009-12, Innenraumluftverunreinigungen - Teil 16: Nachweis und Zählung von Schimmelpilzen - Probenahme durch Filtration.
- [8] DIN ISO 16000-17:2010-06 Innenraumluftverunreinigungen - Teil 17: Nachweis und Zählung von Schimmelpilzen – Kultivierungsverfahren.
- [9] Baer, A. & Kehn-Hall, K. (2014): Viral Concentration Determination Through Plaque Assaya: Using Traditional and Novel Overlay Systems. *Journal of Visualized Experiments* 93: 1-10.
- [10] Dulbecco, R. 1952. Production of plaques in monolayer tissue cultures by single particles of an animal virus. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 38:747–752.