

Fraunhofer WKI | Bienroder Weg 54 E | 38108 Braunschweig

Nestro Lufttechnik GmbH
z.H.: Herr Till Uhle
Paulus-Nettelinstroth-Platz

07619 Schkölen
Deutschland - Germany

Fraunhofer Institut für Holzforschung
Wilhelm-Klauditz-Institut WKI

Institutsleiter
Prof. Dr. -Ing. Bohumil Kasal

Bienroder Weg 54 E
38108 Braunschweig | Germany

Sebastian Wientzek

Materialanalytik & Innenluftchemie
Phone + 49 531 2155-361 | Fax + 49 531 2155-905
sample_info@wki.fraunhofer.de
www.wki.fraunhofer.de

Braunschweig, 23.03.2021

Untersuchungsbericht Nr. MAIC-2021-0821

Auftraggeber:	Nestro Lufttechnik GmbH, Schkölen.	
Gegenstand der Untersuchungen:	Reinigungseffizienz eines Luftreinigers in Bezug auf Bakteriophagen	
Inhalt:	1. Probenbeschreibung	Seite 2
	2. Experimentelles	Seite 3
	3. Ergebnisse	Seite 9

Dieser Bericht umfasst 20 Seiten.

Der Untersuchungsbericht darf nur ungekürzt weitergegeben oder vervielfältigt werden. Eine auszugsweise Veröffentlichung ist nur mit schriftlicher Genehmigung des Fraunhofer-Instituts für Holzforschung – Wilhelm-Klauditz-Instituts (WKI) – gestattet. Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die untersuchten Prüfgegenstände. Das untersuchte Material wurde verbraucht.

Probenbeschreibung:

WKI Nr.	Eingangsdatum	Probenbezeichnung	Produkt-Nr.	Hersteller-Code	Datums-Stempel
P87237	15.02.2021	VITAPOINT ® 3000 (0,32kW-230V-50Hz RAL9016 Verkehrsweiß)	SN-21-112	n.a.	n.a.

(Probe P87237: Einzeln vollständig verpackt;)

Achtung: Probenmaterialien werden nach Erstellung des Untersuchungsberichts für 2 Monate aufbewahrt und danach entsorgt. Bitte setzen Sie sich mit uns in Verbindung, wenn eine längere Aufbewahrungszeit oder eine Rücksendung des Probenmaterials notwendig ist. Bei Probenmaterial für Emissionsprüfungen ist eine Rückstellung und damit eine Wiederholungsmessung normalerweise nicht möglich, dieses Material wird nur für spätere Identifikations- und Dokumentationszwecke aufbewahrt.



Bild 1: Probe nach Anlieferung.

Gegenstand der Untersuchung

Das Fraunhofer Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI) wurde von der Firma Nestro Lufttechnik GmbH mit der Untersuchung eines Luftreinigers (VITAPOINT ® 3000) hinsichtlich der Reinigungsleistung von Bakteriophagen und Partikeln, beauftragt.

Dabei wurden unter standardisierten Randbedingungen in einer Emissionsprüfkammer folgende Parameter untersucht:

- Ultrafeinpartikel (5.6 nm – 560 nm); Zeitaufgelöste kontinuierliche Partikelzählung mit Partikelgrößenverteilung
- Feinpartikel (0.3 µm – 10 µm); Zeitaufgelöste kontinuierliche Partikelzählung mit Partikelgrößenverteilung
- Bakteriophagen (MS2)

Experimentelles

Die Messungen erfolgten in einer 30m³ Edelstahl Prüfkammer, die bei einer Temperatur von 23°C und relativer Luftfeuchtigkeit von 50% betrieben worden ist. Die Prüfkammer wurde ohne Luftwechsel (statisch) betrieben. Die ideale Durchmischung der Prüfkammer wurde mit einer Ventilation erreicht.

Vor dem Beladen des Luftreinigers wurde zunächst der Hintergrundwert der Ultrafeinpartikel, Feinpartikel und der Bakteriophagen untersucht. Im Anschluss wurde der Luftreiniger beladen und die Prüfkammer wieder verschlossen. Der Luftreiniger wurde zunächst nicht eingeschaltet.

Das nachfolgende Bild (2) zeigt die Position des Luftreinigers in der Prüfkammer. Der Luftreiniger stand mittig in der Prüfkammer mit mehr als 1 Meter Abstand zur Wand.



Bild 2: Luftreiniger in der Prüfkammer

Nach dem Schließen der Prüfkammer wurden mit einem medizinischen Zerstäuber 8ml einer Bakteriophagen-Suspension für exakt 30 Minuten zerstäubt. Die eingebrachte Virenfracht lag bei etwa 10^{12} pfu (plaque forming units). Die Einheit pfu repräsentiert die Anzahl der vermehrungsfähigen/infektiösen Viren. Die Konzentration der ultrafeinen- und feinen Partikel wurde beim Dosieren der Bakteriophagen kontinuierlich gemessen.

Nachdem die Suspension in der Prüfkammer eingebracht worden ist, wurde zunächst für einen Zeitraum von 60 Minuten die natürliche Abbaurate in der Prüfkammer bestimmt. Dazu wurden insgesamt 4 Luftproben mittels einer Metallsonde aus der Kammerluft entnommen und in Impinger-Gefäßen nach dem Prinzip der kritischen Düse (VDI-Richtlinie 4252 Blatt 3) in einer Nährlösung gesammelt. Diese Impinger waren mit 30ml einer Sammelflüssigkeit gefüllt. Die Probenahmedauer betrug etwa 15 Minuten mit einem Probenahmefluss von 11 Liter pro Minute. Somit wurden etwa 165 Liter Kammerluft durch die Sammelflüssigkeit geleitet. Der Fluss wurde dabei mittels eines Rotameters überprüft.

Nachdem die 4 Probenahmen erfolgreich durchgeführt worden sind, wurde der Luftreiniger auf maximaler Stufe eingeschaltet.

Unmittelbar nach dem Einschalten wurde damit begonnen, über einen Zeitraum von etwa 2 Stunden insgesamt 7 Proben mittels Impinger zu entnehmen. Die Probenahmen erfolgten immer direkt nacheinander, so dass der Zeitraum von 2 Stunden annähernd abgedeckt ist.

Nach Abschluss der Messungen wurde die Kammer mit sauberer Luft gespült und der Luftreiniger entladen. Danach wurde die Kammer für einen Zeitraum von 16 Stunden bei einem erhöhten Luftwechsel thermisch gereinigt.

Nachweis der Phagen

In die Prüfkammer wurde ein Prüfbioaerosol eingebracht, welches die in der VDI-Richtlinie 4258 Blatt 1 vorgeschlagenen Bakteriophagen MS2 (insgesamt 10^{12} pfu) enthielt. Diese Viren sind nicht humanpathogen, besitzen eine relativ hohe Tenazität gegenüber Umweltbedingungen und repräsentiert von der Größe her Picornaviren (Picornaviridae), welche bei Wirbeltieren verschiedene Erkrankungen wie z.B. Erkältungen auslösen können. Aufgrund seiner geringen Größe (ca. 30 nm, damit deutlich kleiner als Grippe- und Coronaviren) und hohen Beständigkeit gegenüber Umwelteinflüssen wird der Phage MS2 oft für Filtertests eingesetzt. Das SARS-CoV-2 Virus ist mit einer durchschnittlichen Größe von etwa 80-140nm¹ deutlich größer als der Bakteriophage MS2.

Nach dem Sammeln in der Impingerflasche wurde mit den Phagen eine Bakterienkultur infiziert und anschließend die Anzahl der noch intakten/vermehrungsfähigen Viren mit einem Plaque-Assay nachgewiesen.

Bestimmung der ultrafeinen Partikel (UFP):

Der Fast Mobility Particle Sizer (FMPS) erfasst luftgetragene Partikel in Echtzeit und detektiert (zählt) diese im Sekunden-Takt. Es können Partikel im Größenbereich 5,6 nm bis 560 nm erfasst und in 16 verschiedene Größenkanäle unterteilt dargestellt werden. Die Größenkanäle sind abstandsgleich dargestellt, wobei der gemittelte Durchmesser jedes einzelnen Kanales dargestellt wird. Durch die hohe Flussrate der Probenluft werden besonders Verluste durch Diffusion vermieden. Das Messprinzip ist nachfolgend dargestellt:

¹ Laue, M., Kauter, A., Hoffmann, T., Moller, L., Michel, J., and Nitsche, A. (2021). Morphometry of SARS-CoV and SARS-CoV-2 particles in ultrathin plastic sections of infected Vero cell cultures. *Sci Rep* 11, 3515

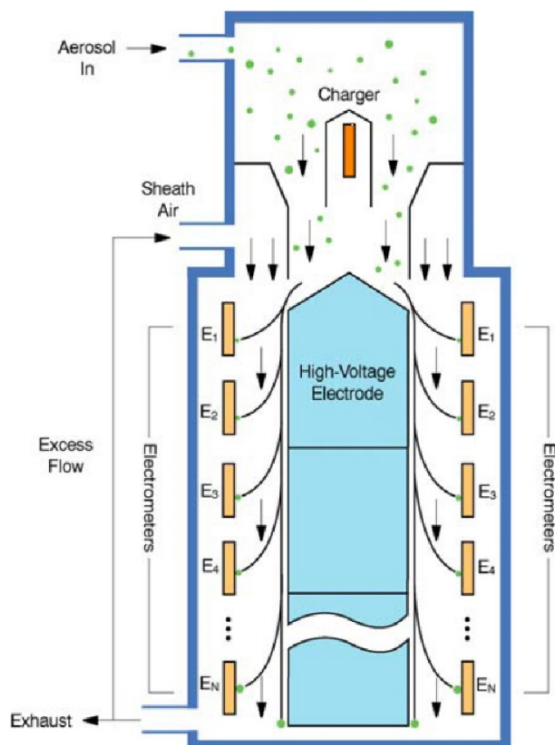


Bild 3: Messprinzip des Fast Mobility Particle Sizer²

Die luftgetragenen Partikel gelangen kontinuierlich in das Innere der Messkammer, wo sie durch eine Korona positiv aufgeladen werden. Anschließend gelangen diese mit Hilfe von gereinigter Luft in den Bereich einer mit Hochspannung positiv aufgeladenen Elektrode, die die Partikel entsprechend ihrer elektrischen Mobilität abstößt. Diese werden an die negativ aufgeladenen Elektroden abgeschieden, wo sie ihre Ladung abgeben. Dieser Vorgang wird messtechnisch erfasst und als Signal ausgegeben. Bei den durchgeführten Messungen kam ein Fast Mobility Particle Sizer 3019 der Firma TSI Incorporated zum Einsatz. Die Auswertung erfolgte über ein Tabellenkalkulationsprogramm in welches die Rohdaten mittels RS-232-Schnittstelle übertragen wurden.

Bestimmung der Feinpartikel

Der Optical Partikel Sizer (OPS) ist ein Messgerät zur Detektion (Zählung) von luftgetragenen Partikeln in Echtzeit. Die Datenerfassung erfolgt hierbei im 10-Sekunden-Takt. Es eignet sich zur Bestimmung der

² Fast Mobility Particle Sizer Spectrometer Model 3091 Spec Sheet (TSI Incorporated)

Größenverteilung und der Partikelkonzentration, dabei können Partikel in einem Bereich von 0,3 µm bis 10 µm in 16 verschiedenen Größenkanälen detektiert werden.

Die luftgetragenen Partikel werden über den Probenahmeschlauch in die Messzelle befördert, wo sie durch einen Laser streulichtphotometrisch erfasst werden. Der dabei auftretende Impuls wird von einem Detektor erfasst. Je nach Intensität des Impulses, wird dieser einer definierten Partikelgröße zugeordnet.

Das Spektrometer eignet sich für die Messung von Partikelkonzentrationen zwischen 0 bis 3000 Partikel pro cm³. Der Optical Particle Sizer ist eine gute Ergänzung zum Fast Mobility Particle Sizer, da somit der komplette Größenbereich von 5,6 nm bis 10 µm erfasst werden kann.

Bei den durchgeführten Messungen kam der Optical Particel Sizer 3330 der TSI Inc. zum Einsatz. Die Auswertung erfolgte über einen über die RS-232-Schnittstelle angeschlossenen Laptop, mit dem die Messergebnisse in einem Tabellenkalkulationsprogramm ausgewertet werden können.

Berechnung der Clean Air Delivery Rate (CADR)

Für den Luftreiniger wurde eine CADR in Bezug auf die Ultrafeinen- und feinen Partikel bestimmt.

Die Berechnung erfolgt mittels der nachfolgend beschriebenen Gleichungen

1. Natürliche Abbaurrate (natural decay, Reduktion der Aerosolkonzentration allein durch Alterung, Impaktion und Koagulation)

Die Abbaurrate wurde mit nachfolgender Gleichung gefittet:

$$C_t = C_0 * e^{-k_n * t} \quad (I)$$

C_t = Konzentration zum Zeitpunkt t [µg/m³]
 C_0 = Startkonzentration bei t=0 [µg/m³]
 k_n = Konstante des natürlichen Abbaus [min⁻¹]
 t = Zeit [min]

Die Halbwertszeit kann mit folgender Gleichung berechnet werden:

$$t_{1/2} = \ln 2 / K \quad (II)$$

2. Abbaurrate mit eingeschaltetem Luftreiniger

Die Abbaurrate wurde mit nachfolgender Gleichung gefittet:

$$C_t = C_0 * e^{-k_T * t} \quad (I)$$

C_t = Konzentration zum Zeitpunkt t [µg/m³]
 C_0 = Startkonzentration bei t=0 [µg/m³]

k_T = Konstante des natürlichen Gesamtabbaus [min^{-1}]
 t = time [min]

Die Halbwertszeit kann mit folgender Gleichung berechnet werden:

$$t_{1/2} = \ln 2 / k \quad (\text{II})$$

3. CADR (Q_p)

$$Q_p = (k_T - k_n) * V \quad (\text{III})$$

Q_p = CADR [m^3/h]
 k_T / k_n = Abbaukonstanten [h^{-1}]
 V = Kammervolumen [m^3]

Ergebnisse:

Die Untersuchungsergebnisse sind auf den folgenden Seiten zusammengefasst.

Parameter der Prüfung

Kammertyp	30 m ³ Edelstahl-Kammer 2
Temperatur:	23 °C
Rel. Luftfeuchte:	50 %
Luftwechsel:	0,0 h ⁻¹ (statisch)
Prüfdatum	02.03.2021 10:00 Uhr

Ergebnisse der Phagenmessungen

Insgesamt wurden 4 Proben für die Bestimmung der natürlichen Reduktionsrate und 7 Proben für die Reduktion durch den Luftreiniger gesammelt.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Ergebnisse der Kultivierung dargestellt:

Probe	PFU im Impinger	PFU/m ³	Bemerkung
N1	2,98E+08	1,81E+09	
N2	3,31E+08	2,01E+09	
N3	3,47E+08	2,10E+09	natürliche
N4	3,11E+08	1,89E+09	Reduktion
T1	4,03E+07	2,44E+08	
T2	3,94E+05	2,39E+06	
T3	3,03E+04	1,84E+05	
T4	5,91E+03	3,55E+04	
T5	4,84E+03	2,92E+04	
T6	4,15E+03	2,28E+04	Reduktion durch
T7	1,31E+04	7,57E+04	den Luftreiniger

Die Ergebnisse sind anschließend noch einmal grafisch dargestellt. Es gilt dabei zu beachten, dass die Ordinate eine logarithmische Skalierung hat.

Die Konzentration der Probe T7 beträgt lediglich 0,03% der Konzentration von der Probe T1.

Der eingeschaltete Luftreiniger entfernt also 99,97% der in die Kammer vorhandenen Bakteriophagen MS2.

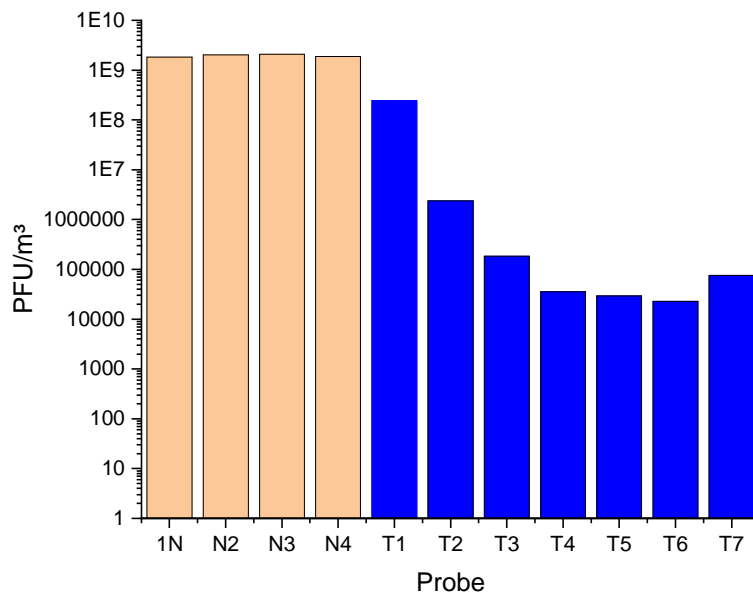


Bild 4: Gesamtverlauf der Phagenkonzentration während der Bestimmung der natürlichen Reduktionsrate (orange) und mit aktiviertem Luftreiniger (blau)

Ergebnisse ultrafeine Partikel (UFP)

Die nachfolgenden Bilder zeigen die Partikelkonzentration und die Partikelverteilung (5,6-560nm) zu den unterschiedlichen Zeitpunkten (Dosierung des Phagenaerosols, natürliche Reduktionsrate und Reduktion mit eingeschaltetem Luftreiniger).

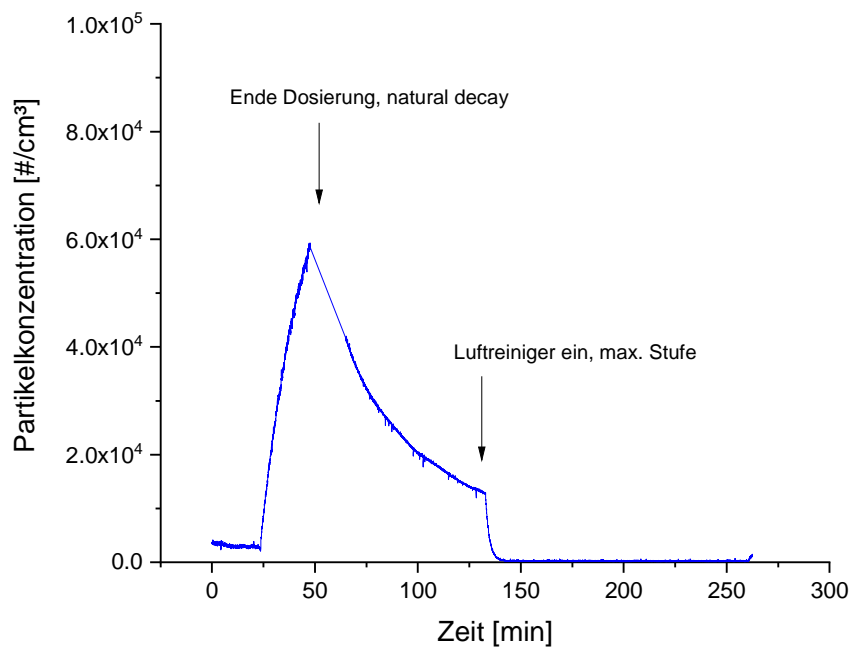


Bild 5: Gesamtverlauf der Partikelkonzentration während des Versuches

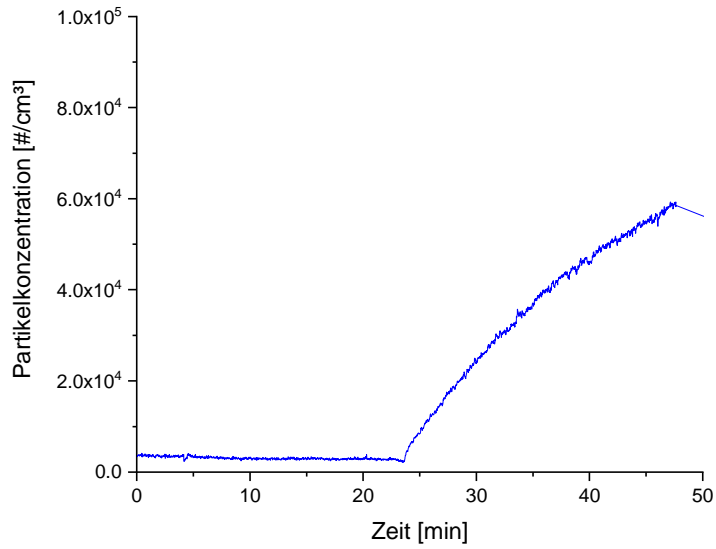


Bild 6: Dosierung der Phagen

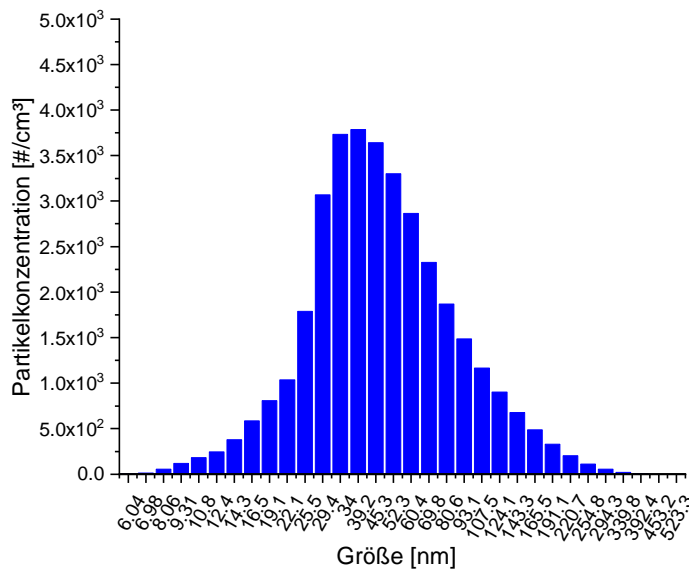


Bild 7: Partikelgrößenverteilung während der Dosierung der Phagen

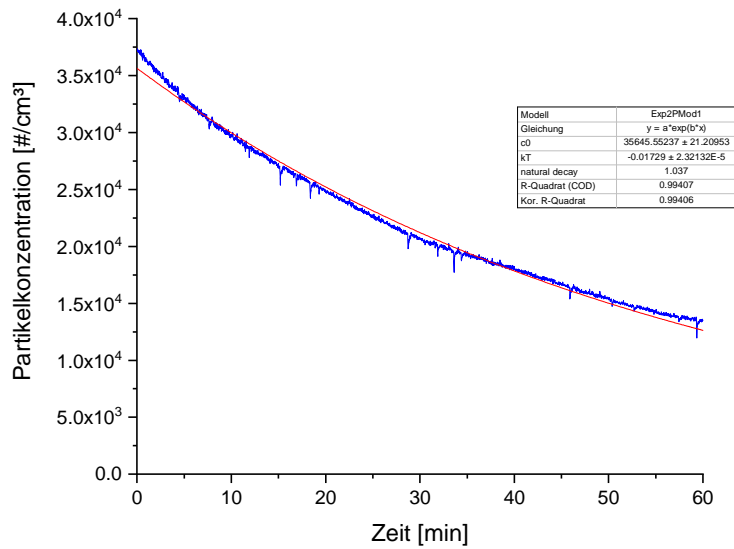


Bild 8: natürliche Reduktionsrate in der Prüfkammer

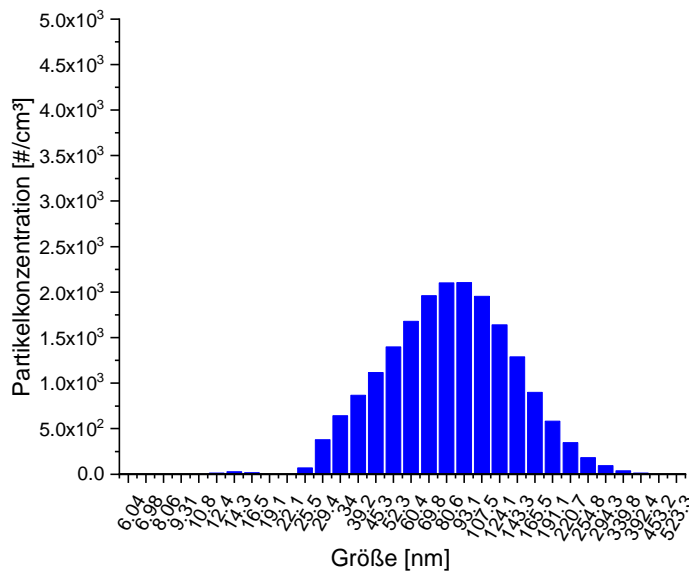


Bild 9: Partikelgrößenverteilung während der Messung der natürlichen Reduktionsrate in der Prüfkammer

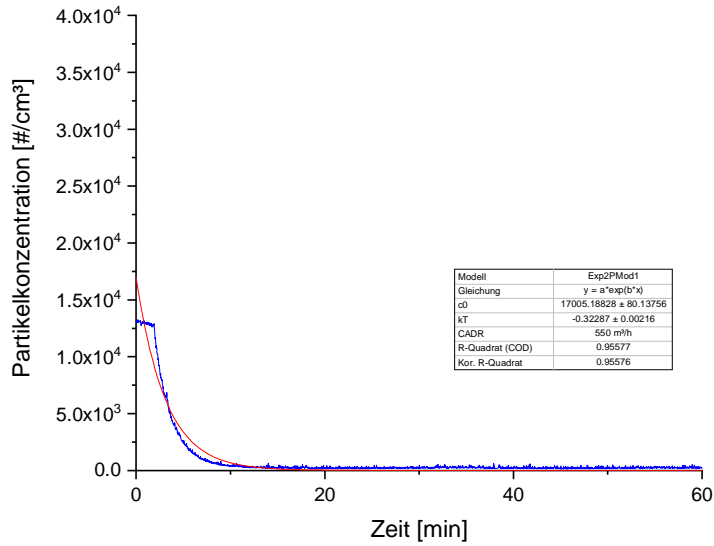


Bild 10: Reduktionsrate mit eingeschaltetem Luftreiniger

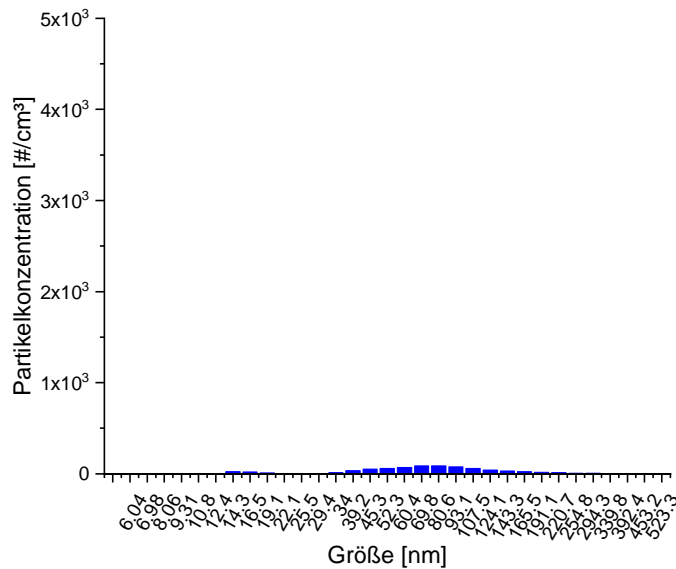


Bild 11: Partikelgrößenverteilung während der Messung der Reduktionsrate mit eingeschalteten Luftreiniger

Ergebnisse feine Partikel (FP)

Die nachfolgenden Bilder zeigen die Partikelkonzentration und die Partikelverteilung (0,3-10 μ m) zu den unterschiedlichen Zeitpunkten (Dosierung der Phagen, natürliche Reduktionsrate und Reduktion mit eingeschaltetem Luftreiniger).

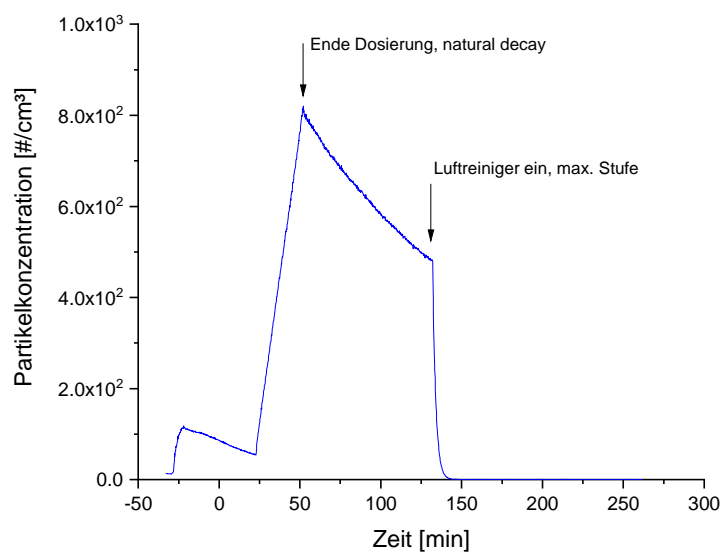


Bild 12: Gesamtverlauf der Partikelkonzentration während des Versuches

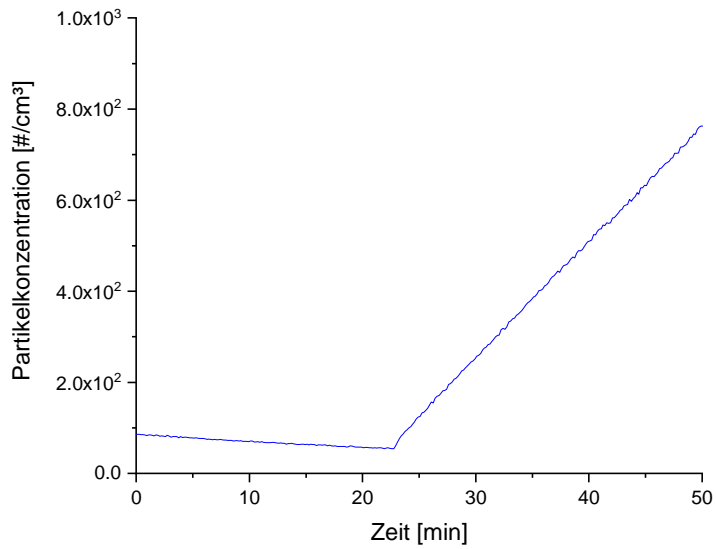


Bild 13: Dosierung der Phagen

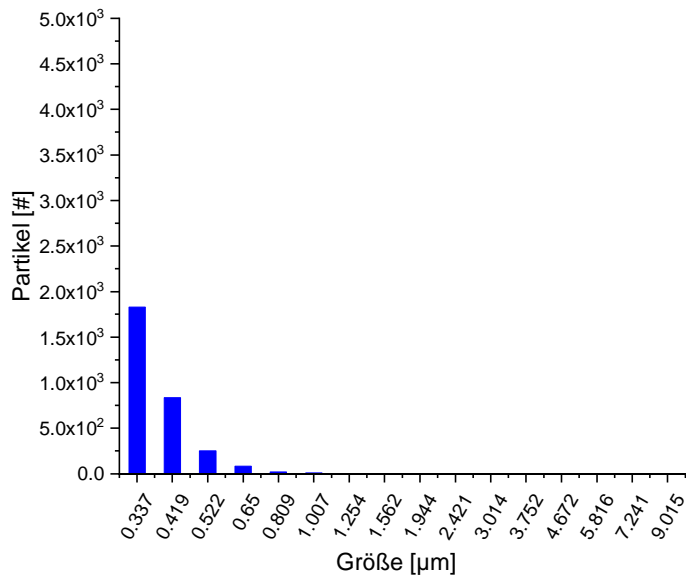


Bild 14: Partikelgrößenverteilung während der Dosierung der Phagen

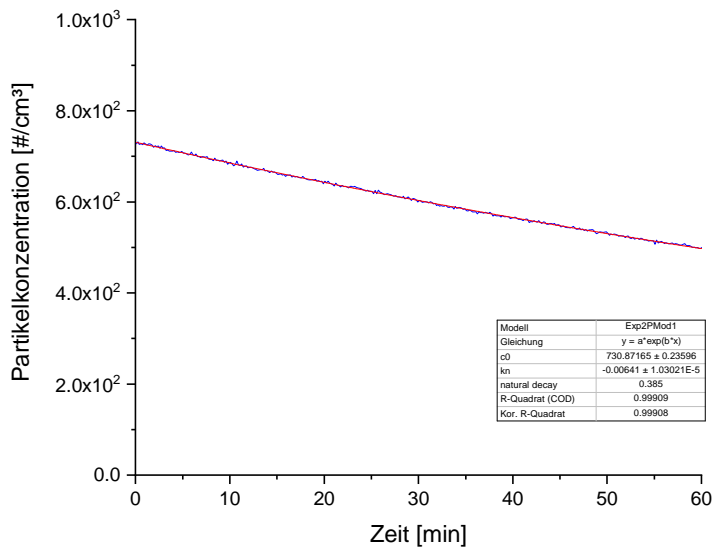


Bild 15: natürliche Reduktionsrate in der Prüfkammer

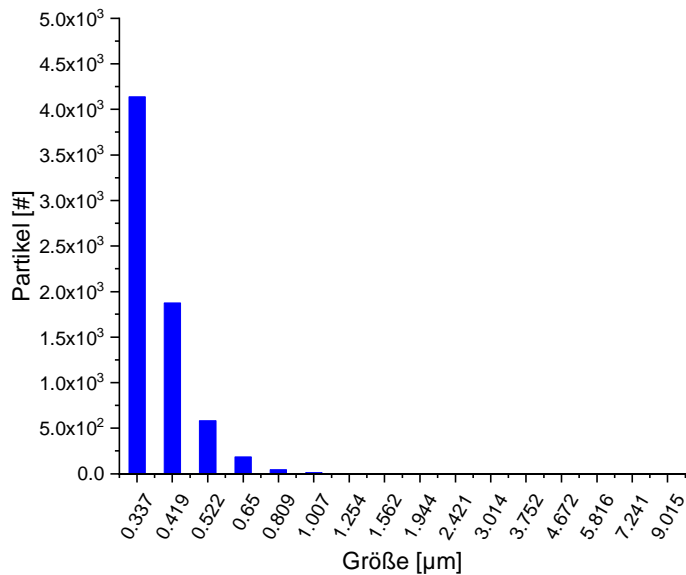


Bild 16: Partikelgrößenverteilung während der Messung der natürlichen Reduktionsrate in der Prüfkammer

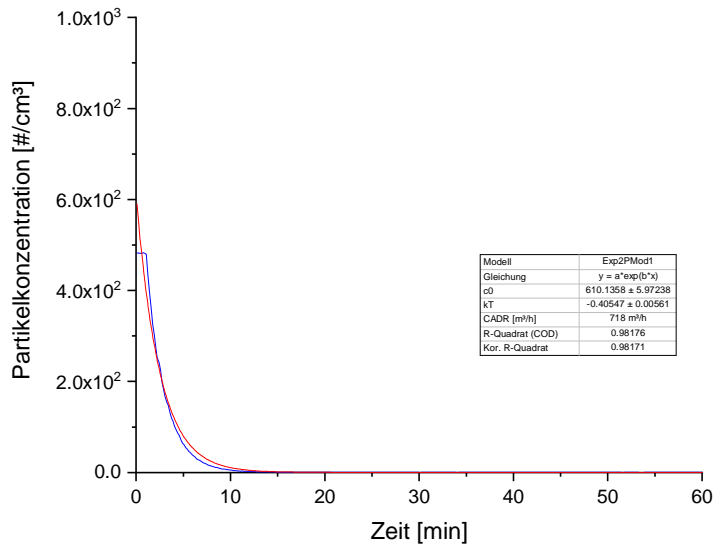


Bild 17: Reduktionsrate mit eingeschaltetem Luftreiniger

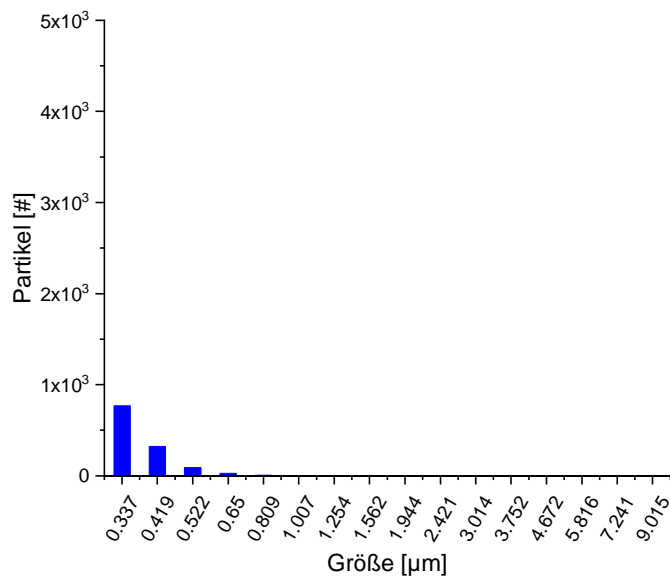


Bild 18: Partikelgrößenverteilung während der Messung der Reduktionsrate mit eingeschalteten Luftreiniger

Vergleich der drei Messmethoden

Das nachfolgende Bild enthält die vergleichenden Daten von ultrafeinen und feinen Partikeln, sowie der Bakteriophagenkonzentration in der Prüfkammer.

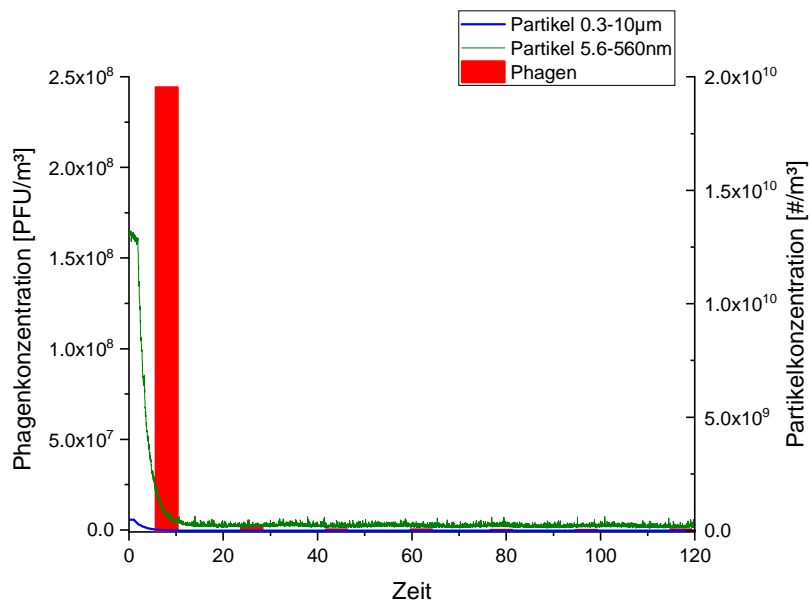


Bild 19: Vergleich Partikel- und Phagenkonzentration in der Prüfkammer während des Betriebs des Luftreinigers

Zusammenfassung

Das Fraunhofer Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI) wurde von der Nestro Lufttechnik GmbH mit der Untersuchung eines Luftreinigers (VITAPPOINT ® 3000), hinsichtlich der Reinigungsleistung von Bakteriophagen und Partikeln, beauftragt

Dabei wurden Ultrafein- und Feinpartikel im Größenbereich 5,6nm – 10µm gemessen. Außerdem wurden Proben der Kammerluft entnommen und auf Bakteriophagen untersucht, die vorher in die Prüfkammer eingebracht worden sind.

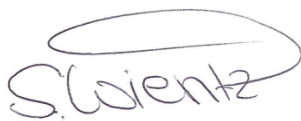
Dabei zeigte sich, dass nach dem Aktivieren des Luftreinigers 99,97% der eingebrachten Bakteriophagen MS2 aus der Kammerluft entfernt worden sind.

Ebenso sank die Partikelkonzentration der ultrafeinen und feinen Partikel in der Kammerluft innerhalb von 15-20 Minuten nach dem Einschalten des Luftreinigers auf das Niveau des Hintergrundwertes.

Die errechnete CADR für die ultrafeinen Partikel im Bereich 5,6-560nm beträgt 550m³/h und für die feinen Partikel im Bereich 0,3-10µm 718m³/h.

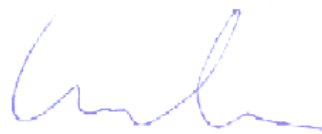
Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der Luftreiniger bei maximaler Leistung in der Lage ist, die Konzentrationen der Bakteriophagen MS2, ultrafeinen und feinen Partikel in der Kammerluft in kurzer Zeit um den Faktor 1000 zu verringern.

Sachbearbeiter



S.Wientzek

Für den Fachbereich



Dr. E. Uhde