



Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. (IUTA)

Luftreinhaltung & Filtration
Bliersheimer Straße 58-60
47229 Duisburg
Germany

Anna Caspari
Dr. Stefan Schumacher

Bericht UN2-210222-T5599900-034 Bestimmung der Reinigungsleistung eines Raumlufthereinigers im Partikelgrößenbereich von Viren und exhalieren Tröpfchen	
Kunde: ProActiveAir GmbH G. Heinrich, A. Wartha, M. Zahlen Marie-Curie-Straße 4 71083 Herrenberg-Gültstein	IUTA, Geschäftsführung  Duisburg, 29. März 2021

Bericht UN2-210222-T5599900-034
Bestimmung der Reinigungsleistung eines Raumlufthereinigers
im Partikelgrößenbereich von Viren und exhalieren Tröpfchen

Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. (IUTA)

Bliersheimer Straße 58–60 47229 Duisburg, Germany

Telefon: +49 2065 418 0

E-Mail: info@iuta.de

Website: www.iuta.de

IUTA Kontakt: Dr. Stefan Schumacher

Abteilung: Luftreinhaltung & Filtration

Datum: 29. März 2021



IUTA-Angebotsnummer: UN2-210222-T5599900-034

Datum des Angebots: 22. Februar 2021

Kunde: ProActiveAir GmbH
Marie-Curie-Straße 4
71083 Herrenberg-Gültstein

Kundenkontakt: Gunter Heinrich
Andreas Wartha
Marcel Zahlen

Auftragsdatum: 6. März 2021

Bearbeitungszeitraum: März 2021

Anzahl Seiten: 7

Inhaltsverzeichnis

1.	Hintergrund	3
2.	Prüfmuster	3
3.	Messungen	3
3.1	Prüfkammer	3
3.2	Prüf- und Messtechnik	4
3.3	Messverfahren	4
4.	Berechnung der Clean Air Delivery Rate (CADR)	5
5.	Ergebnisse	6

1. Hintergrund

Die ProActiveAir GmbH hat den IUTA e.V. mit der Untersuchung der Abscheidung von Aerosolpartikeln im Größenbereich von Viren und potenziell virusbeladener Tröpfchen durch einen Raumlufthereiniger beauftragt. Dazu wurde der Raumlufthereiniger in einer etwa 30 m³ großen Kammer nach GB/T 18801:2015 nacheinander mit zwei verschiedenen Aerosolen beaufschlagt. Die exhalieren Tröpfchen wurden mit Paraffinöl simuliert, welches auch zur Prüfung von Atemschutzmasken nach EN 149 eingesetzt wird. Die einzelnen Viren wurden hingegen durch feste Kaliumchlorid (KCl-) Partikel mit einer Größe von 0,12 µm (mittlere Größe des SARS-CoV-2 Virus nach Microsc. Res. Tech. 2020 1–16) repräsentiert. Durch Vergleich von Abklingkurven mit und ohne Raumlufthereiniger wurde die Clean Air Delivery Rate (CADR) für verschiedene Partikelgrößenbereiche bestimmt.

2. Prüfmuster

Das Prüfmuster wurde ohne erkennbare Schäden durch die ProActiveAir GmbH geliefert und auf korrekte Funktion geprüft. Der Luftreiniger enthielt keine wechselbaren Filter, die vorab eingesetzt oder konditioniert werden mussten. Betrieben wurde das Gerät auf der höchsten kontinuierlichen Ventilatorstufe (Stufe 3). Der über Rollen verfügbare Luftreiniger ist es als Bodengerät konzipiert und wurde deshalb zur Prüfung auf dem Boden in der Mitte der Prüfkammer positioniert.

3. Messungen

3.1 Prüfkammer

Alle Messungen wurden in der in Abbildung 1 schematisch gezeigten Prüfkammer nach GB/T 18801-2015 durchgeführt. Die Innenmaße der Kammer betragen 3,45 m x 3,40 m x 2,50 m, was einem Volumen von 29,3 m³ entspricht. Die Wände der Prüfkammer wurden mit antistatischer Folie ausgekleidet, um elektrostatische Partikelverluste zu minimieren. Die Prüfkammer besitzt ein aktives Lüftungssystem, um vor Beginn der Messungen vorhandene Partikel zu entfernen, sowie eine Klimaanlage zur Einstellung der benötigten Temperatur. Die relative Feuchte wurde mit einem tragbaren Luftbefeuchter eingestellt. Während der eigentlichen CADR-Messungen wurden Lüftung, Klimaanlage und Luftbefeuchter ausgeschaltet. Lediglich ein Ventilator auf dem Boden der Kammer lief wie in verschiedenen Prüfnormen für Luftreiniger gefordert, um das Prüfaerosol zu homogenisieren. Die Probenahme erfolgte durch Extraktion eines geringen Volumenstroms aus der Kammer, welcher den jeweiligen Messgeräten zugeführt wurde. Die Probenahmestelle befand sich in Anlehnung an GB/T 18801:2015 0,50 m von der Wand entfernt und 1,20 m über dem Boden.

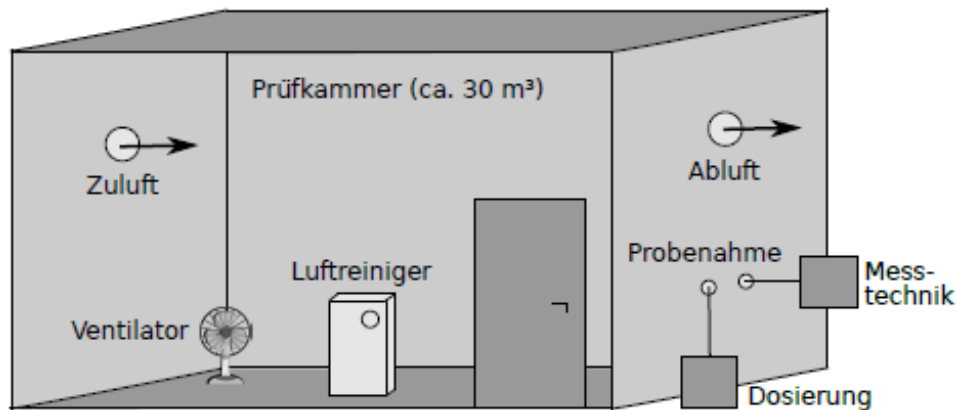


Abbildung 1 Schematischer Aufbau der CADR-Prüfkammer nach GB/T 18801-2015.

3.2 Prüf- und Messtechnik

Für die Messungen wurde die folgende Prüf- und Messtechnik verwendet:

- KCl-Partikel wurden mittels eines Atomizers (Modell Palas AGK 2000) aus einer wässrigen KCl-Lösung (100 g KCl pro Liter vollentsalztem Wasser) bei einem Arbeitsdruck von 2 bar erzeugt und durch Verdünnung mit trockener Druckluft getrocknet. Anschließend wurden die Partikel durch einen antistatischen Schlauch in den Prüfraum geleitet. Es wurde keine gezielte Neutralisierung der Partikel vorgenommen, da zu erwarten ist, dass die Partikel während der Verweilzeit im Prüfraum durch Wechselwirkung mit den dort natürlich vorhandenen Ionen einen bipolaren Gleichgewichtszustand erreichen.
- Paraffinöltröpfchen wurden mittels eines Atomizers (Modell Palas AGF 2.0) bei einem Arbeitsdruck von 2 bar dispergiert und über einen antistatischen Schlauch in die Prüfkammer geleitet. Auch hier erfolgte keine gezielte Neutralisation der Partikel.
- Monodisperse Partikel mit einer Größe von $0,12 \mu\text{m}$ wurden mittels eines Differentialmobilitätsanalysators (DMA, Modell TSI 3080/3081) aus dem polydispersen Prüfaerosol klassiert und anschließend mit einem butanolbasierten Kondensationspartikelzähler (CPC, Modell TSI 3776) gezählt. Der CPC wurde bei einem Volumenstrom von $1,5 \text{ l/min}$ betrieben und die Schleierluft des DMA auf 15 l/min eingestellt, um eine scharfe Klassierung zu erreichen.
- Der Größenbereich von $0,2$ bis $10 \mu\text{m}$ wurde mit einem optischen Aerosolspektrometer (OPC, Modell Palas welas digital 2000, Sensor 2070) vermessen.
- Der Größenbereich von $0,5$ bis $20 \mu\text{m}$ wurde mit einem aerodynamischen Partikelgrößenspektrometer (APS, Modell TSI 3321) vermessen.

3.3 Messverfahren

Zunächst wurde der Prüfraum abgereinigt, die Temperatur auf $(25 \pm 2) ^\circ\text{C}$ und relative Feuchte auf $(50 \pm 10) \%rF$ eingestellt. Im Anschluss wurden KCl-Partikel für 2 min in den Prüfraum dispergiert. Nach einer Wartezeit von 5 min zum Erreichen einer homogenen Durchmischung, wurde die natürliche Abklingkurve ohne Betrieb des Raumlufthereinigers über 30 min als Referenz gemessen. Im Anschluss wurde der Raumlufthereiniger eingeschaltet und auf der höchsten Stufe über 30 min betrieben, um die Abklingkurve mit Raumlufthereiniger aufzuzeichnen.

Nach Abschluss der Messung mit KCl wurde der Raum wieder abgereinigt, die Startwerte für Temperatur- und relative Feuchte nachjustiert und das gleiche Verfahren mit Paraffinöl wiederholt. Einziger

Unterschied bestand darin, dass als Zudosierungszeit 3 min gewählt wurden, um eine für diesen Fall geeignete Startkonzentration zu erreichen.

4. Berechnung der Clean Air Delivery Rate (CADR)

Als Maß für die Reinigungsleistung wurde die in der GB/T 18801-2015, ANSI/AHAM AC-1 und weiteren Normen verwendete Clean Air Delivery Rate (CADR) verwendet. Diese beschreibt den Volumenstrom an gereinigter Luft, den der Luftreiniger zur Verfügung stellt. Unter idealen Bedingungen ist die CADR gleich dem Produkt der Abscheideeffizienz des Luftreinigers und seinem Volumenstrom.

Die Änderung der Partikelkonzentration C_t über die Zeit t folgt der Exponentialfunktion

$$C_t = C_0 e^{-kt}$$

mit der anfänglichen Partikelkonzentration C_0 . Durch lineare Regression des natürlichen Logarithmus der Partikelkonzentration $\ln C_{t_i}$ kann die Abklingrate k bestimmt werden als

$$k = - \frac{(\sum_{i=1}^n t_i \ln C_{t_i}) - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n t_i) (\sum_{i=1}^n \ln C_{t_i})}{(\sum_{i=1}^n t_i^2) - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n t_i)^2}$$

wobei die Zeit t_i dem i -ten Datenpunkt und n der Zahl der Datenpunkte entspricht. Die natürliche Abklingrate k_{nat} und die gesamte Abklingrate k_{tot} können durch aus Abklingkurven mit und ohne Betrieb des Luftreinigers gewonnen werden.

Der Korrelationskoeffizient R^2 ist ein Maß für den Grad des linearen Zusammenhangs zwischen der unabhängigen Variablen x_i und der abhängigen Variablen y_i dar. Er wird berechnet nach

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n \left(x_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \right) \left(y_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \right) \right]^2}{\sum_{i=1}^n \left(x_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \left(y_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \right)^2}$$

In diesem Fall ist $x_i = t_i$ und $y_i = \ln C_{t_i}$. Der GB/T 18801-2015 folgend, wurde ein Korrelationskoeffizient $>0,98$ als Mindestkriterium für eine verwertbare Messung vorausgesetzt. Aus der natürlichen und gesamten Abklingrate berechnet sich die CADR zu

$$\text{CADR} = (k_{\text{tot}} - k_{\text{nat}}) \cdot V$$

mit dem effektiven Volumen V der Prüfkammer. Diese kann für einzelne Partikelgrößenklassen oder zusammengefasste Größenbereiche angegeben werden.

5. Ergebnisse

Abbildung 2 zeigt die Abklingkurven exemplarisch zusammengefasst für die drei Größenbereiche 0,12 μm (DMA+CPC), 0,2 – 0,5 μm (OPC) und 0,5 – 1 μm (APS). Entgegen der ursprünglichen Planung wurden dabei die APS-Daten für KCl statt Paraffinöl ausgewertet, da so ein weiterer Größenbereich abgedeckt werden konnte. Im überlappenden Größenbereich von 0,5 bis 1 μm zeigte sich jedoch eine gute Übereinstimmung mit den Messwerten für Paraffinöl. Auf der linken Seite sind die Abklingkurven jeweils in linearer Auftragung dargestellt, auf der rechten in logarithmischer. Der Raumlufthereiniger wurde jeweils nach 30 min eingeschaltet. Schwarze Linien zeigen die zur Bestimmung der Abklingraten verwendeten exponentiellen Fits.

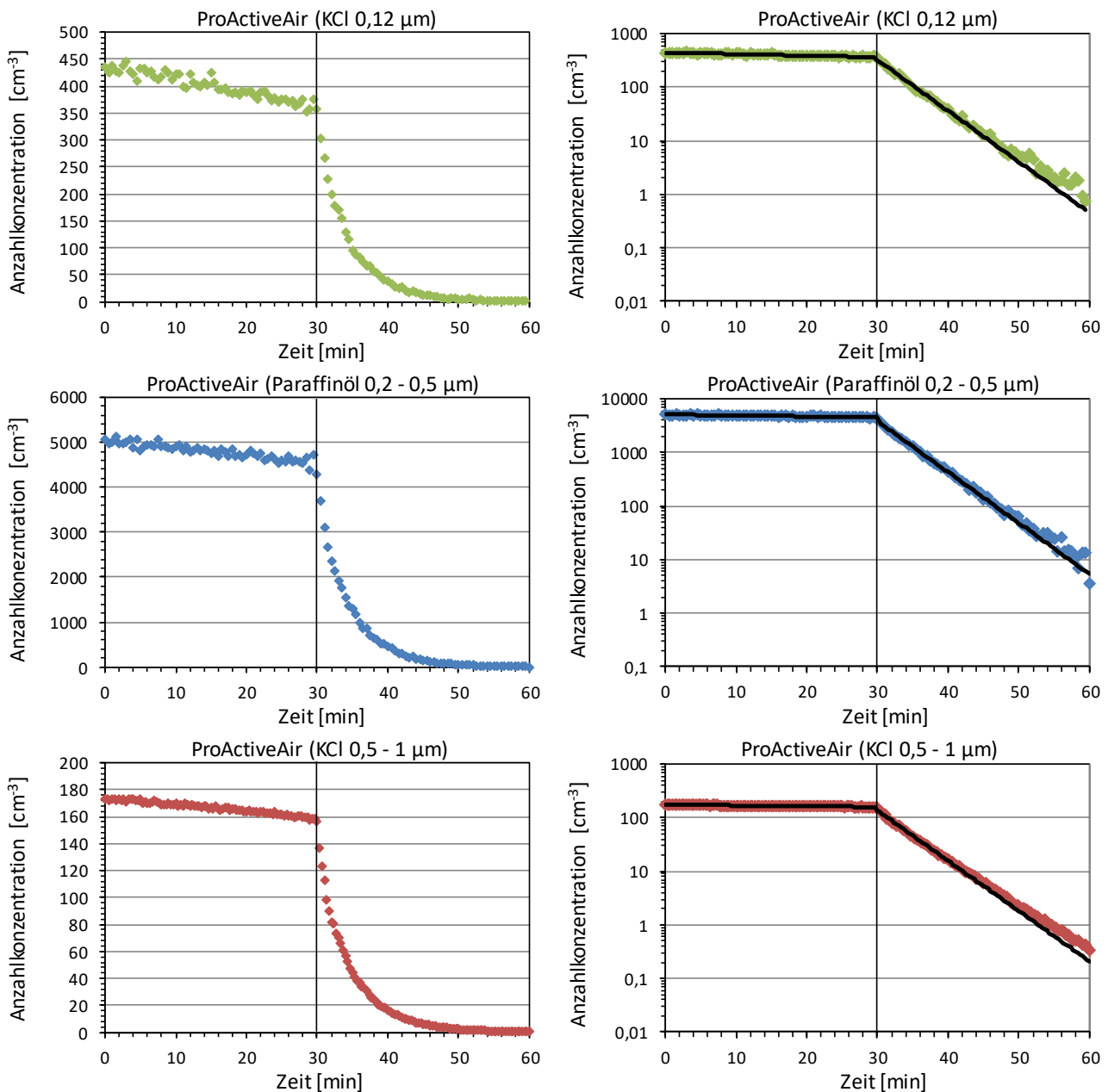


Abbildung 2 Abklingkurven für drei verschiedene Partikelgrößenbereiche (30 min ohne und 30 min mit eingeschaltetem Luftreiniger) in linearer und logarithmischer Auftragung. Die schwarzen Linien sind exponentielle Fits an die Datenpunkte.

Tabelle 1 fasst die integrierten CADR-Werte für die drei Größenbereiche zusammen. Zusätzlich sind das jeweilige Prüfaerosol, die verwendete Messtechnik, die natürliche und gesamte Abklingrate sowie der Korrelationskoeffizient für die Messung mit eingeschaltetem Luftreiniger angegeben.

Tabelle 1 Größenintegrierte CADR für verschiedene Größenbereiche.

Prüf-aerosol	Partikel-größe	Mess-technik	k_{nat} [min ⁻¹]	k_{tot} [min ⁻¹]	R^2_{tot} []	CADR [m ³ h ⁻¹]
KCl	0,12 µm	DMA+CPC	0,0070	0,2188	0,9931	372
Paraffinöl	0,2 – 0,5 µm	OPC	0,0042	0,2192	0,9948	378
KCl	0,5 – 1 µm	APS	0,0035	0,2160	0,9955	374

Die aus den Abklingkurven der einzelnen Größenklassen (zusammengefasst auf jeweils 16 Klassen pro Dekade) ermittelte größenabhängige CADR über den gesamten betrachteten Größenbereich von etwa 0,12 bis 3 µm ist in Abbildung 3 gezeigt.

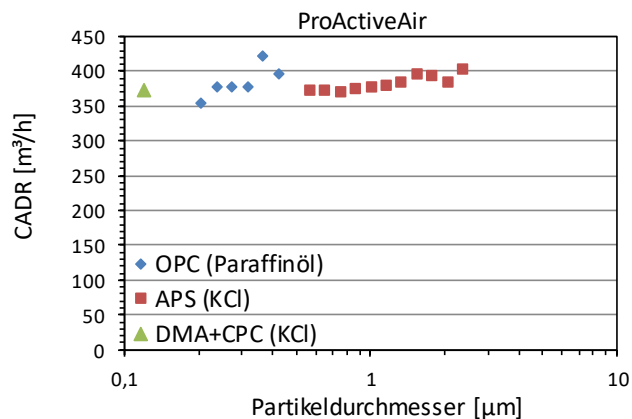


Abbildung 3 Größenaufgelöste CADR des Luftreinigers bei Betrieb auf Stufe 3.

S. Schumacher

Dr. Stefan Schumacher
 Luftreinhaltung & Filtration