

## **Bericht**

### **Mobile Raumluftreiniger - Ermittlung der Reinlufrate CADR**

**Auftrags-Nr.:** CAL-03476-21

**Projekt-Nr.:** CAL-20-0670

**Auftraggeber:** EFS Schermbeck GmbH  
Herr Karl-Heinz Jürgens  
Landwehr 134  
46514 Schermbeck

**Auftragsdatum:** 05.02.2021

**Analysedatum:** 02.03.2021

**Projektleiter:** André Schmitz

**Leiter Geschäftsfeld:** Dr. Jens Reiber

**Altenberge, 11.03.2021**

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	3
2	Allgemeine Informationen.....	3
2.1	SARS-CoV-2 .....	3
3	Analytik.....	6
3.1	Probenvorbereitung .....	6
3.2	Messprinzip .....	6
3.2.1	Ermittlung der Clean Air Delivery Rate (CADR) .....	6
3.2.2	Raumlufthygiene unter mobilen Raumluftreinigern .....	7
3.3	Detektion .....	8
4	Ergebnisse .....	8
4.1	Testaerosol.....	8
4.2	Natürliche Abklingrate.....	9
4.3	ECO CLEAN E150 .....	12
4.3.1	Totale Abklingrate mit Raumluftreiniger (Stufe 2 / 150 m <sup>3</sup> /h).....	12
4.3.2	Clean Air Delivery Rate und Raumgrößenempfehlung.....	13
5	Zusammenfassung .....	14

## Anlagen

## 1 Einleitung

Die EFS Schermbeck GmbH beauftragte die WESSLING GmbH mit der Ermittlung der Clean Air Delivery Rate (CADR) eines Raumluftreinigers zur Charakterisierung des Gerätes. In Anlehnung an die amerikanische Norm AHAM AC-1-2020 wurde dazu ein Testaerosol aus Natriumchlorid-Nanopartikeln in vergleichbarer Größe zum Coronavirus verwendet. Die Aerosoldetektion sollte mit einem SMPS-System durchgeführt werden.

## 2 Allgemeine Informationen

### 2.1 SARS-CoV-2

#### Erreger

*„SARS-CoV-2 (severe acute respiratory syndrome coronavirus type 2) ist ein neues Beta-Coronavirus, das Anfang 2020 als Auslöser von COVID-19 identifiziert wurde. Zu den Beta-Coronaviren gehören u.a. auch SARS-CoV und MERS-CoV.*

*Coronaviren sind unter Säugetieren und Vögeln weit verbreitet. Sie verursachen beim Menschen vorwiegend milde Erkältungskrankheiten, können aber mitunter schwere Lungenentzündungen hervorrufen. SARS-CoV-2 verwendet das Enzym ACE-2 als Rezeptor, um in die Wirtszellen zu gelangen. Eine hohe ACE-2-Dichte besteht im Atemwegstrakt, sowie im Darm, in Gefäßzellen, in der Niere, im Herzmuskel und in anderen Organen.“<sup>1</sup>*

#### Übertragungswege des Virus über die Luft

*„Der Hauptübertragungsweg für SARS-CoV-2 ist die respiratorische Aufnahme virushaltiger Partikel, die beim Atmen, Husten, Sprechen, Singen und Niesen entstehen. Je nach Partikelgröße bzw. den physikalischen Eigenschaften unterscheidet man zwischen den größeren Tröpfchen und kleineren Aerosolen, wobei der Übergang zwischen beiden Formen fließend ist. Während insbesondere größere respiratorische Partikel schnell zu Boden sinken, können Aerosole auch über längere Zeit in der Luft schweben und sich in geschlossenen Räumen verteilen. Ob und wie schnell die Tröpfchen und Aerosole absinken oder in*

---

<sup>1</sup> Robert Koch-Institut. Online verfügbar: [https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges\\_Coronavirus/Steckbrief.html](https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Steckbrief.html) (Zugriff am 10.02.2021).

*der Luft schweben bleiben, ist neben der Größe der Partikel von einer Vielzahl weiterer Faktoren, u. a. der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit, abhängig.*

*Beim Atmen und Sprechen, aber noch stärker beim Schreien und Singen, werden Aerosole ausgeschieden ; beim Husten und Niesen entstehen zusätzlich deutlich vermehrt größere Partikel. Neben der steigenden Lautstärke können auch individuelle Unterschiede zu einer verstärkten Freisetzung beitragen. Grundsätzlich ist die Wahrscheinlichkeit einer Exposition gegenüber infektiösen Partikeln jeglicher Größe im Umkreis von 1-2 m um eine infizierte Person herum erhöht. Eine Maske (Mund-Nasen-Schutz oder Mund-Nasen-Bedeckung) kann das Risiko einer Übertragung durch Partikel jeglicher Größe im unmittelbaren Umfeld um eine infizierte Person reduzieren.*

*Bei längerem Aufenthalt in kleinen, schlecht oder nicht belüfteten Räumen kann sich die Wahrscheinlichkeit einer Übertragung durch Aerosole auch über eine größere Distanz als 1,5 m erhöhen, insbesondere dann, wenn eine infektiöse Person besonders viele kleine Partikel (Aerosole) ausstößt, sich längere Zeit in dem Raum aufhält und exponierte Personen besonders tief oder häufig einatmen. Durch die Anreicherung und Verteilung der Aerosole im Raum ist das Einhalten des Mindestabstandes zur Infektionsprävention ggf. nicht mehr ausreichend. Ein Beispiel dafür ist das gemeinsame Singen in geschlossenen Räumen über einen längeren Zeitraum, wo es z. T. zu hohen Infektionsraten kam, die sonst nur selten beobachtet werden. Auch schwere körperliche Arbeit bei mangelnder Lüftung hat, beispielsweise in fleischverarbeitenden Betrieben, zu hohen Infektionsraten geführt. Ein effektiver Luftaustausch kann die Aerosolkonzentration in einem Raum vermindern. Übertragungen im Außenbereich kommen insgesamt selten vor. Bei Wahrung des Mindestabstandes ist die Übertragungswahrscheinlichkeit im Außenbereich aufgrund der Luftbewegung sehr gering.“<sup>1</sup>*

### **SARS-CoV-2 als Aerosol**

Sofern ein mit SARS-CoV-2-Infizierter durch beispielsweise sprechen das Virus in die Luft

freigibt, wird dieses initial innerhalb eines Tröpfchens vorliegen. Die Größe des Coronavirus wird mit einem Durchmesser von 80-140 nm angegeben.<sup>2</sup> In diesen Tröpfchen können ein oder mehrere Viren enthalten sein. Jedoch werden ausgeatmeten Tröpfchen, je nach Größe relativ schnell sedimentieren (0,6 s bei 1 mm Durchmesser; vgl. Abbildung 1, links), während kleinere Tröpfchen über einen längeren Zeitraum luftgetragen bleiben (16,6 Stunden bei 1 µm; vgl. Abbildung 1, links). Parallel dazu verdunstet Wasser an Luft, so dass kleinere Tröpfchen sehr schnell verdunsten (0,4 s Verdunstungszeit bei 50 µm Durchmesser; vgl. Abbildung 1, rechts) und das enthaltene Virus in der Luft als fester Partikel zurück bleibt.

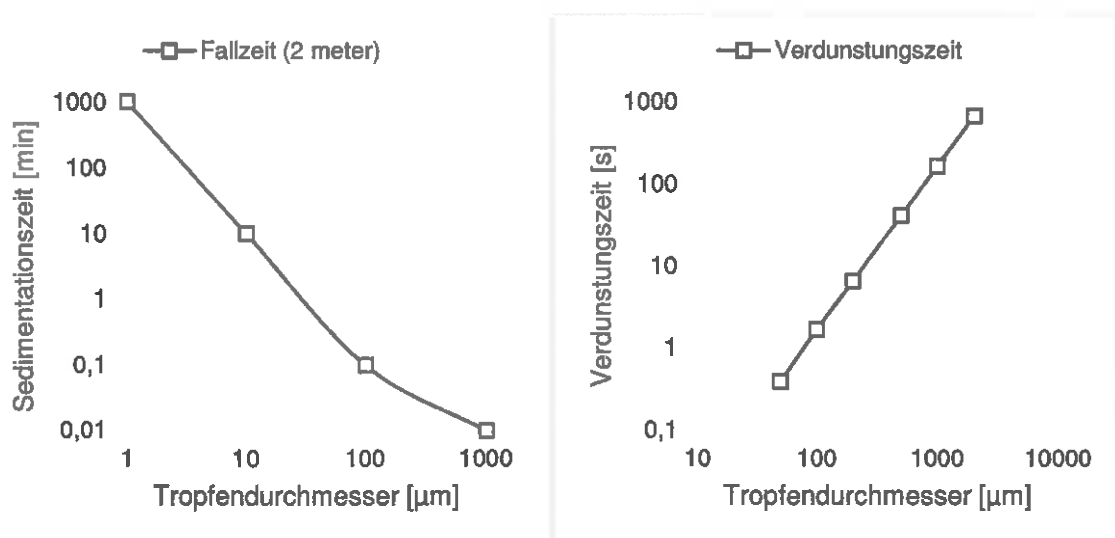


Abbildung 1: Sinkverhalten von Wassertropfen in gesättigter Luft (links), Verdunstungszeit in ungesättigter Luft bei 18° C (rechts)<sup>3</sup>

<sup>2</sup> Kaniyala Melanthota S, Banik S, Chakraborty I, et al. Elucidating the microscopic and computational techniques to study the structure and pathology of SARS-CoVs. *Microsc Res Tech.* 2020;83:1623–1638.

<sup>3</sup> W. F. WELLS, ON AIR-BORNE INFECTION: STUDY II. DROPLETS AND DROPLET NUCLEI., *American Journal of Epidemiology*, Volume 20, Issue 3, November 1934, Pages 611–618, <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a118097>

Somit ist davon auszugehen, dass ein resultierendes Aerosol Partikel beinhaltet die mindestens den Durchmesser des Virus besitzen bzw. Vielfache dessen.

### 3 Analytik

#### 3.1 Probenvorbereitung

Der Raumlufreiniger wurde nach Kundenangaben bzw. Herstellerangaben auf Stufe 2 während des Tests in der Prüfkammer betrieben. Laut Herstellerangabe besitzt das Gerät einen Volumenstrom von 150 m<sup>3</sup>/h bei diesen Einstellungen. Der Raumlufreiniger wurde mittig in der Prüfkammer platziert während der Messung.

#### 3.2 Messprinzip

##### 3.2.1 Ermittlung der Clean Air Delivery Rate (CADR)

Die amerikanische Norm AHAM AC-1-2020: *Method for Measuring Performance of Portable Household Electric Room Air Cleaners* beschreibt ein Testprocedere zur Charakterisierung von mobilen Raumlufreinigern innerhalb einer Testkammer.

Der Test sieht vor, dass die Kammer eine definierte Zeit mit Partikeln geflutet und anschließend die Abklingrate (Abnahme der Partikelkonzentration über die Zeit) bestimmt wird.

Dieses Procedere wird im ersten Schritt mit dem deaktivierten Raumlufreiniger getestet, so dass die *natürliche Abklingrate* bestimmt werden kann.

In einem zweiten Schritt wird der Versuch wiederholt, jedoch mit eingeschaltetem Raumlufreiniger unter Verwendung einer definierten Einstellung (z. B. Vollast), um die totale *Abklingrate* zu bestimmen. Diese Rate beinhaltet dann ebenso die natürliche Abklingrate.

Das Ergebnis des Prüfkammertest ist die Bestimmung der **Clean Air Delivery Rate (CADR)**, also der Rate an partikelfreier Luft die ein mobiler Raumlufreiniger bereitstellt. Diese wird aus den Abklingraten wie folgt bestimmt:

$$CADR = V (k_e - k_n) \quad \text{Gleichung 1}$$

mit:

$CADR$  = clean air delivery rate,  $m^3/h$

$V$  = Testkammervolumen,  $m^3$

$k_e$  = Konstante der totalen Abklingrate,  $min^{-1}$

$k_n$  = Konstante der natürlichen Abklingrate,  $min^{-1}$

Die Bestimmung der Abklingraten erfolgt durch Verwendung der folgenden Gleichung:

$$C_{t_i} = C_i e^{-kt_i} \quad \text{Gleichung 2}$$

mit:

$C_{t_i}$  = Konzentration zum Zeitpunkt  $t_i$ , Partikel/ $cm^3$

$C_i$  = Konzentration bei  $t = 0$ , Partikel/ $cm^3$

$k$  = Konstante der Abklingrate,  $min^{-1}$

$t_i$  = Zeit, min.

### 3.2.2 Raumlufthygiene unter mobilen Raumluftreinigern

Sofern mobile Raumluftreiniger zur gezielten Partikelreduktion in Innenräumen eingesetzt werden, ist der Bezug der  $CADR$  zur verwendeten Raumgröße wichtig.

Nach der amerikanischen Norm AHAM AC-1-2020: *Method for Measuring Performance of Portable Household Electric Room Air Cleaners* lässt sich der Zusammenhang zwischen empfohlener Raumgröße (unter der Annahme einer Raumhöhe von 2,4 m) und  $CADR$  anhand folgender Gleichung herstellen:

$$\text{Raumgröße [m}^2\text{]} = CADR [m^3/h] \times 0,0848 \quad \text{Gleichung 3}$$

Der VDI empfiehlt als Richtwert in der aktuellen pandemischen Situation eine CADR von 100 m<sup>3</sup>/h je 10 m<sup>2</sup> Fläche bei einer Raumhöhe von 2,5 m.<sup>4</sup>

### 3.3 Detektion

#### Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS)

Das Scanning-Mobility-Particle-Sizer-Messsystem (SMPS) Typ 3910 des Herstellers *TSI Inc.* wird verwendet, um polydispersen Partikeln aus einem Aerosol Größenklassen zuzuordnen und sie zu zählen. Dabei werden die Partikel ins elektrische Ladungsgleichgewicht überführt, nach Mobilitätsklassen differenziert und gezählt. Aus der resultierenden Mobilitätsverteilung wird die Durchmesserverteilung berechnet.

Die Betriebsparameter des Messsystems ergeben einen Partikelmessbereich von 10 nm bis 420 nm.

## 4 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Untersuchungsergebnisse des Raumlufreinigers dargestellt.

### 4.1 Testaerosol

Die Bereitstellung der Partikel erfolgte mit einem Atomizer (Model ATM 228 der Firma Topas GmbH) mit dem eine NaCl-Lösung zerstäubt wurde. Das entstehende Aerosol wurde anschließend in einen Diffusionstrockner überführt. Nachdem das Aerosol die Trocknungsstrecke durchlaufen hat wurde es zur weiteren Konditionierung in ein Puffervolumen überführt. Das resultierende Aerosol ist als Partikelgrößenverteilung in Abbildung 2 dargestellt.

---

<sup>4</sup> VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V. Online verfügbar: [https://www.vdi.de/fileadmin/pages/vdi\\_de/redakteure/themen/Corona/Dateien/Das\\_Corona-FAQ\\_VDI.pdf](https://www.vdi.de/fileadmin/pages/vdi_de/redakteure/themen/Corona/Dateien/Das_Corona-FAQ_VDI.pdf) (Zugriff am 25.02.2021)



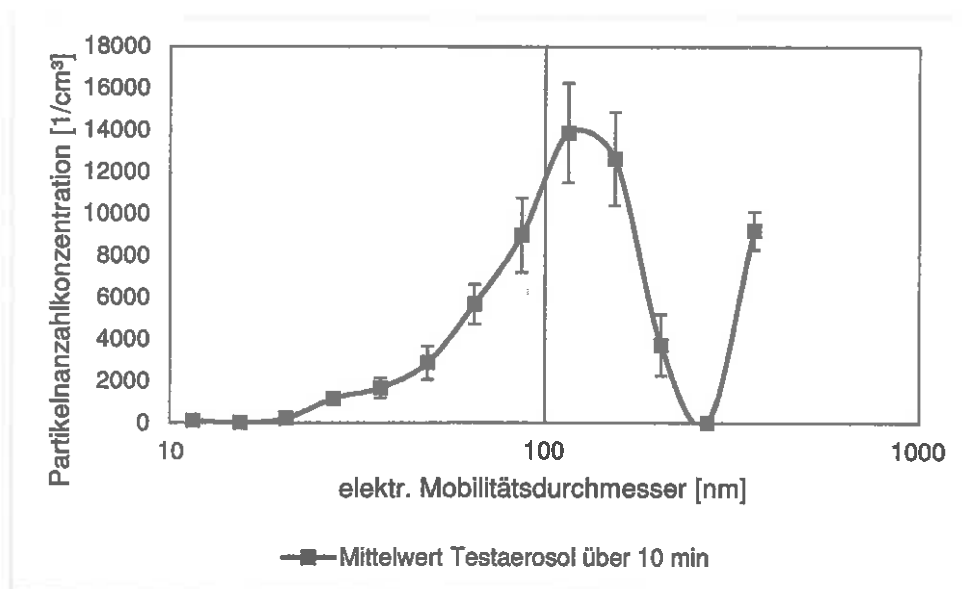


Abbildung 2: Partikelgrößenverteilung nach NaCl-Flutung der Testkammer.

Abbildung 2 zeigt die polydisperse Partikelverteilung der dispergierten Salzkernes mit einem relativen Hochpunkt in der Verteilung bei 115 nm. Als Fehlerbalken ist die Standardabweichung über 10 min Messung aufgezeigt. Somit ist das erzeugte Aerosol im vergleichbaren Größenbereich zu SARS-CoV-2 (vgl. Kapitel 2.1 SARS-CoV-2 als Aerosol).

## 4.2 Natürliche Abklingrate

### Bestimmung der Abklingraten-Konstanten

Die Bestimmungen der Konstanten für die Abklingkurven erfolgten analog zur AHAM-AC-1-2020 (vgl. Kapitel 3.2.1), mit Hilfe einer linearen Anpassung der Daten.

Zur Berechnung der CADR (vgl. Gleichung 2) wurde zunächst die Konstante  $k$  (vgl. Gleichung 1) bestimmt. Hierzu wurde der negative natürliche Logarithmus aus dem Quotienten der Konzentration zum Zeitpunkt  $t$  zur Anfangskonzentration ( $t=0$ ) über der Zeit aufgetragen. Aus der Steigung ließ sich durch lineare Anpassung die Steigung  $k$  bestimmen. Diese ist im Diagramm als  $y=k \cdot x$  dargestellt. Das Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) ist in den jeweiligen Diagrammen angegeben und liegt stets über 0,97.

### Natürliche Abklingrate $k_N$

Nach der Flutung der Kammer mit NaCl-Partikeln für 30 Minuten wurde mit einminütiger Auflösung die Partikelkonzentration im Raum bestimmt.

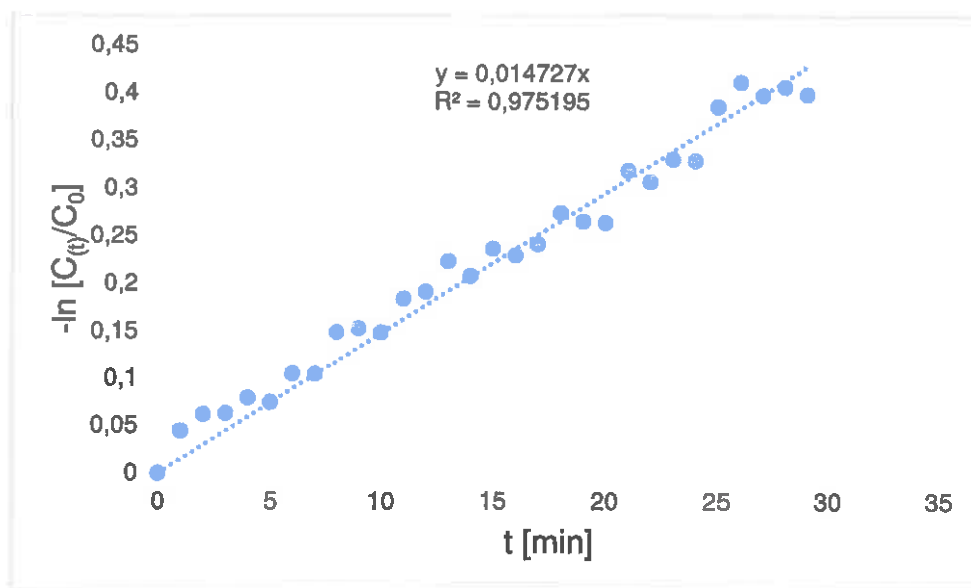


Abbildung 3: Berechnung der Steigung durch lineare Anpassung

Die somit bestimmte Steigung bzw. Konstante  $k_N = 0,014727$  kann wiederum mit den erhobenen Messdaten verglichen werden. Dies ist in der folgenden Abbildung 4 ersichtlich. Die Messpunkte sind in blau dargestellt, während die mathematische Anpassung (Fit) als rote Linie dargestellt ist.

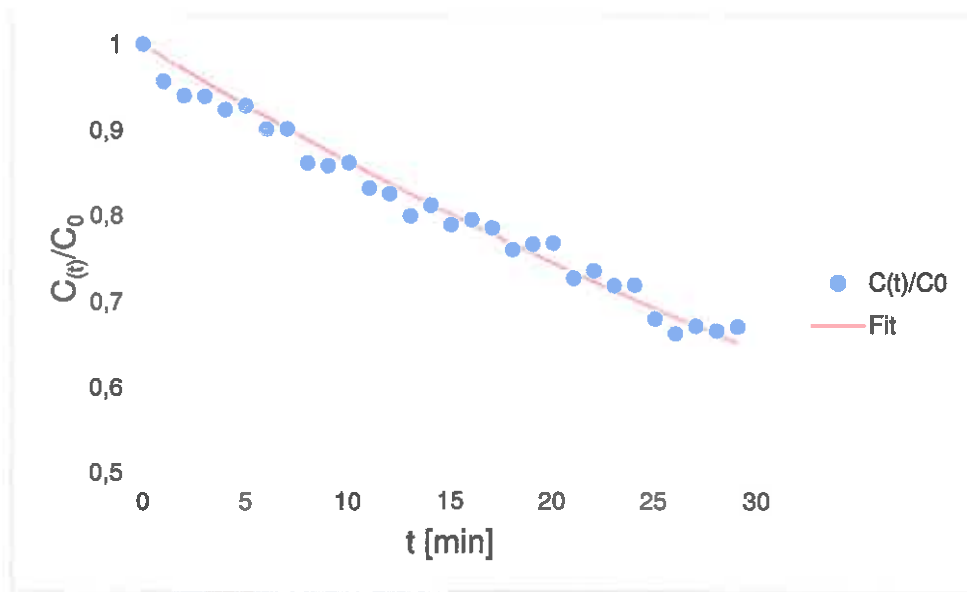


Abbildung 4: Vergleich der Messdaten mit der berechneten Abklingrate (Fit)

### 4.3 ECO CLEAN E150

#### 4.3.1 Totale Abklingrate mit Raumluftreiniger (Stufe 2 / 150 m³/h)

Nach der Flutung des Raumes mit NaCl-Partikeln für 30 Minuten wurde mit einminütiger Auflösung die Partikelkonzentration im Raum bestimmt.

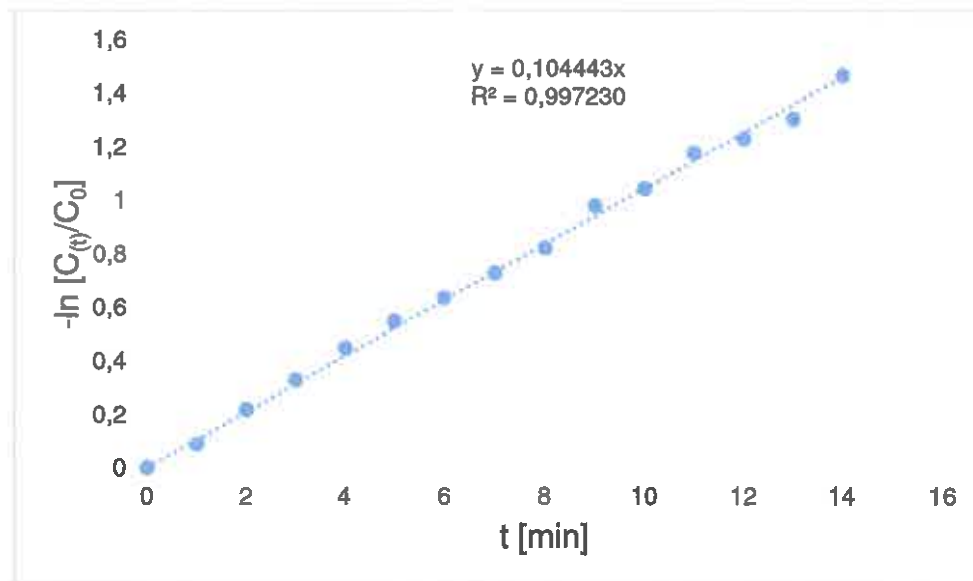


Abbildung 5: Berechnung der Steigung durch lineare Anpassung

Die somit bestimmte Steigung bzw. Konstante  $k_e = 0,104443$  kann wiederum mit den erhobenen Messdaten verglichen werden. Dies ist in der folgenden Abbildung 6 ersichtlich. Die Messpunkte sind in blau dargestellt, während die mathematische Anpassung (Fit) als rote Linie dargestellt ist.

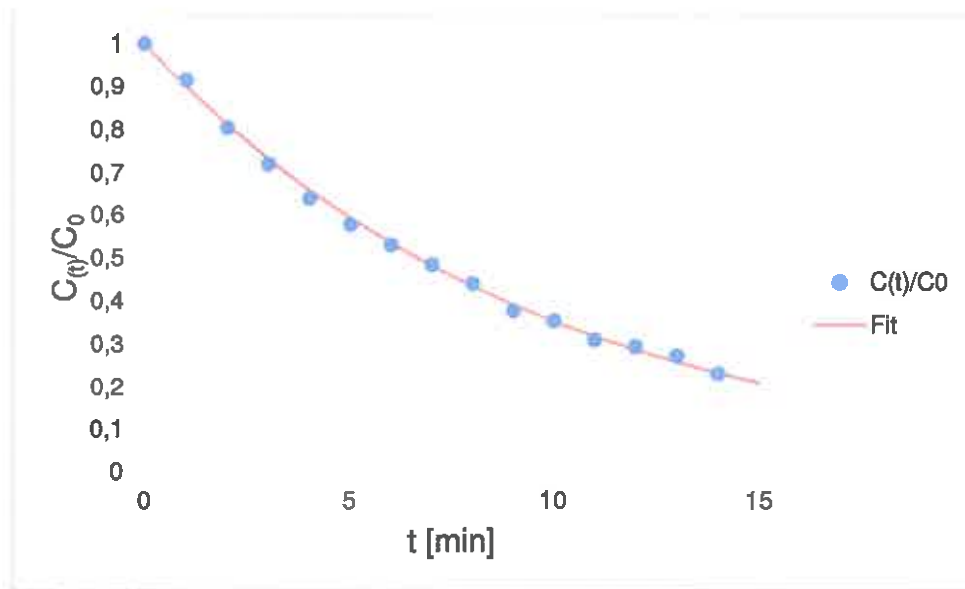


Abbildung 6: Vergleich der Messdaten mit der berechneten Abklingrate (Fit)

#### 4.3.2 Clean Air Delivery Rate und Raumgrößenempfehlung

Somit errechnet sich die CADR auf Stufe 2 des Raumluftreinigers anhand von Gleichung 1 zu 107,7 m<sup>3</sup>/h.

Laut AHAM-AC1 kann die empfohlene Raumgröße anhand des CADR-Wertes (vgl. Gleichung 3) zu 9,1 m<sup>2</sup> errechnet werden.

Der Richtwert des VDI für die Raumgröße errechnet sich zu 10,8 m<sup>2</sup> (vgl. Kapitel 3.2.2)

## 5 Zusammenfassung

Table 1: Zusammenfassung der Messergebnisse.

<b>Probennummer</b>	<b>21-040320-01-1</b>
<b>Analysedatum</b>	02.03.2021
<b>Temperatur [°C]</b>	22,9
<b>rel. Luftfeuchte [%]</b>	59
<b>Einstellung des Gerätes</b>	Stufe 2
<b>Volumenstrom bei Geräteeinstellung (laut Hersteller/Auftraggeber) [m³/h]</b>	150
<b>Anzahl der Messungen</b>	1
<b>CADR [m³/h]</b>	107,7
<b>Raumgrößenempfehlung laut AHAM-AC-1 [m²]<sup>A</sup></b>	9,1
<b>Richtwert für Raumgrößen laut VDI [m²]<sup>B</sup></b>	10,8

<sup>A</sup>bezogen auf eine Raumhöhe von 2,4 m

<sup>B</sup>bezogen auf eine Raumhöhe von 2,5 m



11.03.2021 12:35  
**Andre Schmitz**  
 M.Sc. NanoEngineering  
 Projektleiter Funktionale Materialien



11.03.2021 12:35  
**Tobias Kockmann**  
 M.Sc. Chemical Engineering  
 Projektleiter Funktionale Materialien

WESSLING GmbH, Oststr. 7, 48341 AltenbergeEFS Schermbeck GmbH  
Herr Karl-Heinz Jürgens  
Landwehr 134  
46514 SchermbeckPrüfbericht Nr.: **CAL21-036478-1**  
Auftrag Nr.: CAL-03476-21Geschäftsfeld: Funktionale Materialien –  
Mikro- und Nanoanalytik  
Ansprechpartner: A. Schmitz  
Durchwahl: +49 2505 89 673  
Fax:  
E-Mail: Andre.Schmitz  
@wessling.de  
Datum: 09.03.2021

## Prüfbericht

### Mobile Raumluftreiniger - Ermittlung der Reinlufrate CADR

Projekt Nr.: CAL-20-0670 EFS Schermbeck GmbH

Ihr Auftrag: vom 05.02.2021

#### Probeninformationen

Probe Nr.	21-040320-01	21-040320-01-1
Bezeichnung	ECO CLEAN E150	ECO CLEAN E150 (Stufe 2 / 150 m <sup>3</sup> /h)
Eingangsdatum	09.03.2021	09.03.2021
Untersuchungsbeginn	09.03.2021	09.03.2021
Untersuchungsende	09.03.2021	09.03.2021

#### Untersuchungsergebnisse

Probe Nr.		21-040320-01-1
CADR (Clean Air Delivery Rate)	m <sup>3</sup> /h	107,7
Datum		02.03.2021
Kammervolumen	m <sup>3</sup>	20
Prüfstück		ECO CLEAN E150
Geräteeinstellung (Prüfstück)		Stufe 2 / 150 m <sup>3</sup> /h

#### Abkürzungen und Methoden

CADR AHAM AC-1-2020 (mod.)

#### ausführender Standort

Labor Consult Altenberge



---

Prüfbericht Nr.:	<b>CAL21-036478-1</b>
Auftrag Nr.:	CAL-03476-21
Datum:	09.03.2021

---

11.03.2021 10:58  
**André Schmitz**

M. Sc. NanoEngineering  
Projektleiter Funktionale Materialien