

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

Messbericht Nr. 20211002

Messauftrag: Abschätzung der CADR-Werte zur Untersuchung der Filtrationsleistung von Luftreinigungsanlagen für Aerosolpartikel mit Durchmessern kleiner 1 Mikrometer

Auftraggeber Electrolux AG
Badenerstrasse 587
CH-8048 Zürich

Ansprechpartner: Marius Rübenacker
Product Line Manager Care
T +41 (0)44 405 80 61
M +41 (0)79 876 39 83
marius.rubenacker@electrolux.com

Messung
Messobjekt: 3 Luftreiniger:
Pure A9 PA91-604GY
Pure A9 PA91-404GY
Well A7 WA71-305DG

Durchführungsdatum: Anfangs Oktober 2021

Messbericht
Anzahl Seiten Bericht: 16

Gültigkeit: Die Messergebnisse haben nur Gültigkeit für die geprüften Messobjekte.

Messlabor
Institut: Institut für Sensorik und Elektronik, Gruppe Partikelmesstechnik
Hochschule für Technik
Fachhochschule Nordwestschweiz
Klosterzelgstrasse 2
5210 Windisch

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

Inhalt

1	SARS-CoV-2 und feine Aerosole	3
2	Experimenteller Aufbau	4
2.1	Repräsentatives Schulzimmer	4
2.2	Untersuchte Luftreiniger	5
2.3	Aerosol-Partikelerzeugung und Messung der Konzentration und Größenverteilung	5
2.4	Clean Air Delivery Rate (CADR)	8
2.5	Empfohlene Luftaustauschrate ACH	9
3	Messergebnisse	10
3.1	Messungen mit NaCl-Partikeln	10
3.2	Messungen mit feinen Russpartikeln	13
4	Zusammenfassende Beurteilung der Electrolux-Luftreiniger	15
5	Verwendung des Berichts	16
6	Referenzen	16
7	Weiterführende Links	16

1 SARS-CoV-2 und feine Aerosole

Das «severe acute respiratory syndrome coronavirus type 2» (SARS-CoV-2) ist ein neuartiges sogenanntes Beta-Coronavirus, welches zu Beginn des Jahres 2020 als Haupterreger für die COVID-19-Pandemie erkannt wurde. SARS-CoV-2 wird über Tröpfchen und feine Aerosole übertragen wie viele andere Viren, welche respiratorische Syndrome hervorrufen. Beim Sprechen, Husten, Niesen, aber auch beim Atmen emittiert ein Mensch kleinste Partikel, sogenannte Aerosole.

- Beim Sprechen liegt die Partikelemission je nach Aussprache ca. bei 1 bis 50 Partikeln pro Sekunde (0.06-3 Partikel pro cm³), die Partikel-Grösse bewegt sich zwischen 0.3 und mehreren Mikrometern (z.B. Lindsley et al, 2012; Asadi et al., 2019; Dhand & Li, 2020).
- Beim Husten oder Niesen werden hingegen weitaus mehr Partikel emittiert (180 bis 2'400 Partikel pro cm³), wobei deren Grössenverteilung etwas breiter gestreut ist als beim Sprechen.
- Eine mit SARS-CoV-2 infizierte Person emittiert ein Gemisch aus Aerosolen, welches eine unterschiedlich hohe Virenkonzentration beinhalten kann.

Um in geschlossenen Räumen die Virenkonzentration (Anzahl Viren pro Kubikzentimeter Luft) zu reduzieren, wurde deshalb während der Pandemie das regelmässige Lüften durch Öffnen von Fenstern empfohlen. Dies ist in der warmen Jahreszeit eher praktikabel. Im Herbst und in der Winterzeit wird dies schwierig, da der Raum massiv auskühlt und der Energieverbrauch der Heizung des Gebäudes markant steigt.

Alternativ können die Aerosole in der Raumluft auch mittels eines «Luftreinigers» gefiltert werden. In den vergangenen Jahren haben sich verschiedene spezialisierte, einschlägige Hersteller auf dem Markt etabliert. Diese preisen ihre Geräte meistens mit folgenden Technologien an:

- HEPA-Filter («Partikelfilter»)
- Aktivkohle-Filter («GeruchsfILTER»)
- Chemische Desinfektion (UV-C / Ionisation / Plasma / Ozon)

In den hier durchgeführten Experimenten untersuchen wir die Reinigungswirkung der Luftreiniger für feine Aerosolpartikel in einem Versuchsraum. Wir legen das Augenmerk auf die feinen Aerosolpartikel mit Durchmessern kleiner 1 Mikrometer, weil diese in schlecht belüfteten Räumen lange in der Luft schweben und dadurch eine wesentliche Rolle bei der Übertragung von SARS-CoV-2 spielen, siehe z.B. <https://www.info.gaef.de/positionspapier>.

2 Experimenteller Aufbau

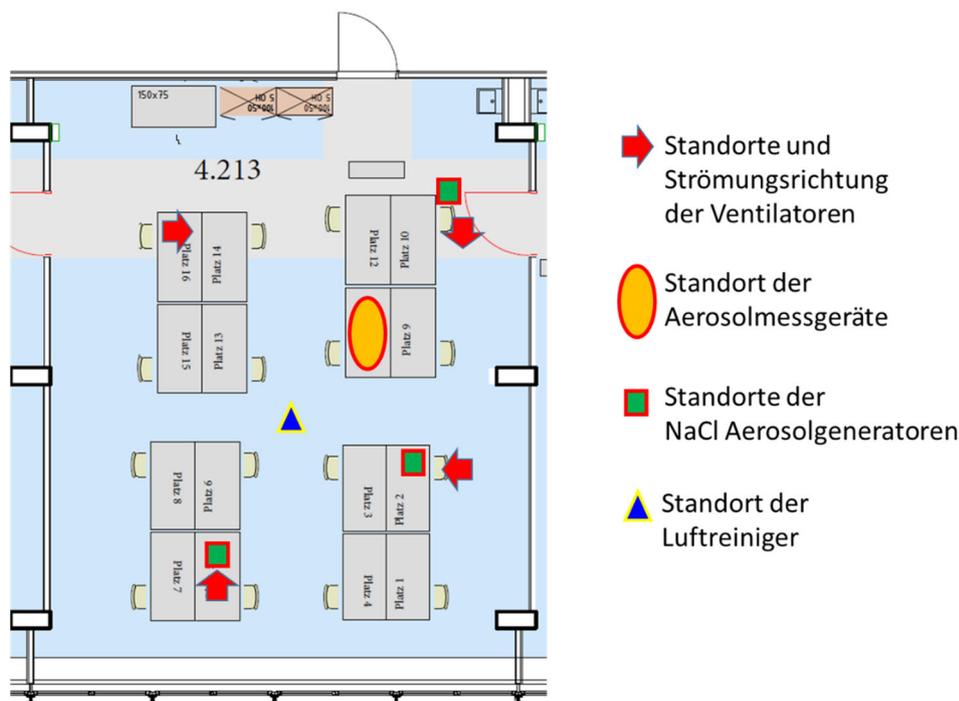
2.1 Repräsentatives Schulzimmer

Um die Filtrationsleistung der Luftreiniger zu messen, wurde an der FHNW in Windisch ein 80 m² grosses Zimmer (Raumhöhe 2.95 m) verwendet. Es handelt sich um ein Schulzimmer, das mit Tischen und Stühlen ausgestattet ist. Dieses hat keine Gebäudelüftung und die Fenster und Türen waren während der Experimente geschlossen, sodass die Situation eines nicht belüfteten Zimmers nachgebildet wurde.



Figur 1: Fotos des Schulzimmers inklusive Messausrüstung für die Experimente

Damit die Luft im Zimmer gut durchmischt wird, wurden zusätzlich ständig vier Ventilatoren betrieben, die so aufgestellt waren, dass die Luft turbulent in einer Kreisströmung vorherrschte. Diese Strömung sorgte dafür, dass sich kurzzeitig und lokal freigesetzte Aerosolpartikel (z.B. Russ aus einem kleinen Papierfeuer oder NaCl-Partikel aus einem Versprüher mit Salzlösung) innerhalb weniger Minuten homogen im Raum verteilen.



Figur 2: Grundriss des Raumes mit der Position der vier Ventilatoren sowie der Position des Luftreinigers und der Aerosolmessgeräte.

2.2 Untersuchte Luftreiniger

Folgende drei Luftreiniger der Firma Electrolux wurden auf ihre Reinigungsleistung untersucht, wobei beim kleineren Modells des Pure A9 Reinigers Messungen mit zwei unterschiedlichen Filtern durchgeführt wurden.

Modell	PNC & Serial Nr	Eingesetzter Filter	Leistungsstufe
Pure A9 PA91-604GY	PNC:950011385 S#:04900439	BREEZE Filter	maximal
Pure A9 PA91-404GY	PNC:950011383 S#:11200128	BREEZE Filter	maximal
Pure A9 PA91-404GY	PNC:950011383 S#:11200128	«Care360» Filter	maximal
Well A7 WA71-305DG	PNC:950011560 S#:10300106	Clean & fresh	maximal

Die Geräte wurden in der Raummitte am Boden aufgestellt und auf ihrer höchsten Leistungsstufe betrieben.



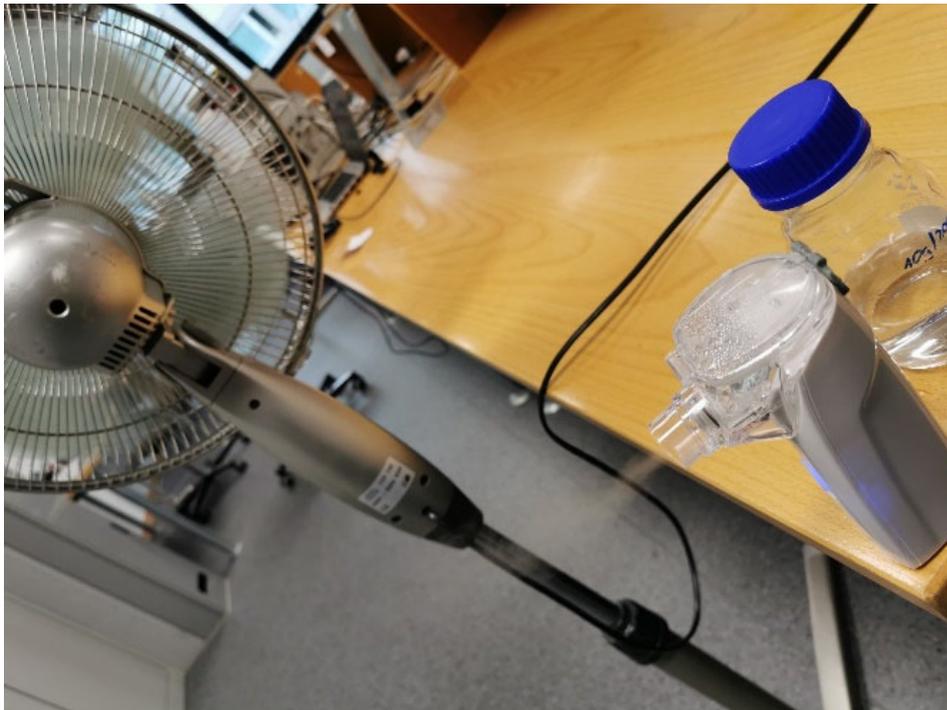
Figur 3: Die untersuchten Luftreiniger; Links Pure A9 PA91-604GY, Mitte Pure A9 PA91-404GY, rechts: WA71-305DG

2.3 Aerosol-Partikelerzeugung und Messung der Konzentration und Grössenverteilung

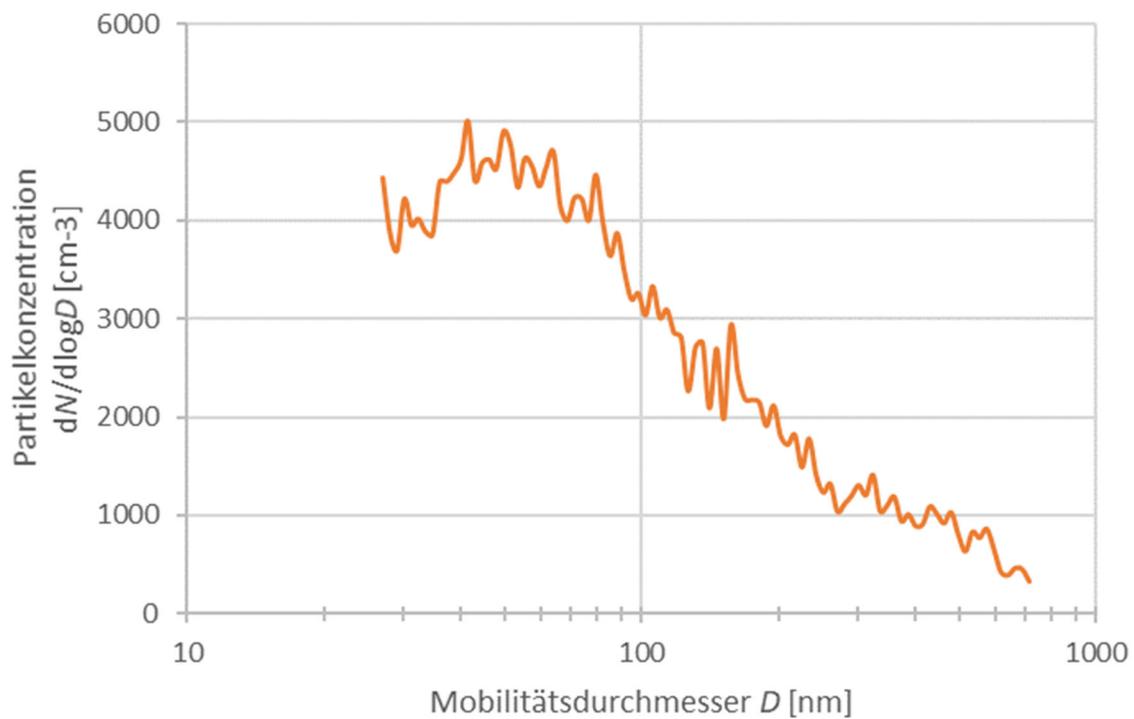
Mit dem nachfolgend erklärten Setup wurden unter kontrollierten und reproduzierbaren Bedingungen Aerosol-Experimente durchgeführt, um die Filtrationswirkung von Luftreinigern zu beurteilen.

In einem ersten Schritt wurde eine definierte Konzentration von feinen Aerosolpartikeln freigesetzt. Dazu wurden Salzpartikel (NaCl) verwendet, die durch Versprühen einer wässrigen Salzlösung (5 g/l) erzeugt wurden. Ein Ultraschallvernebler generierte mikrometergrosse Tröpfchen, welche in der trockenen Raumluft innerhalb weniger Sekunden abtrocknen. Es bleibt ein solides, trockenes Salzpartikel übrig. Dieses Salzaerosol weist eine breite Grössenverteilung im Bereich zwischen 20 und 1'000 nm auf (siehe Figur 5).

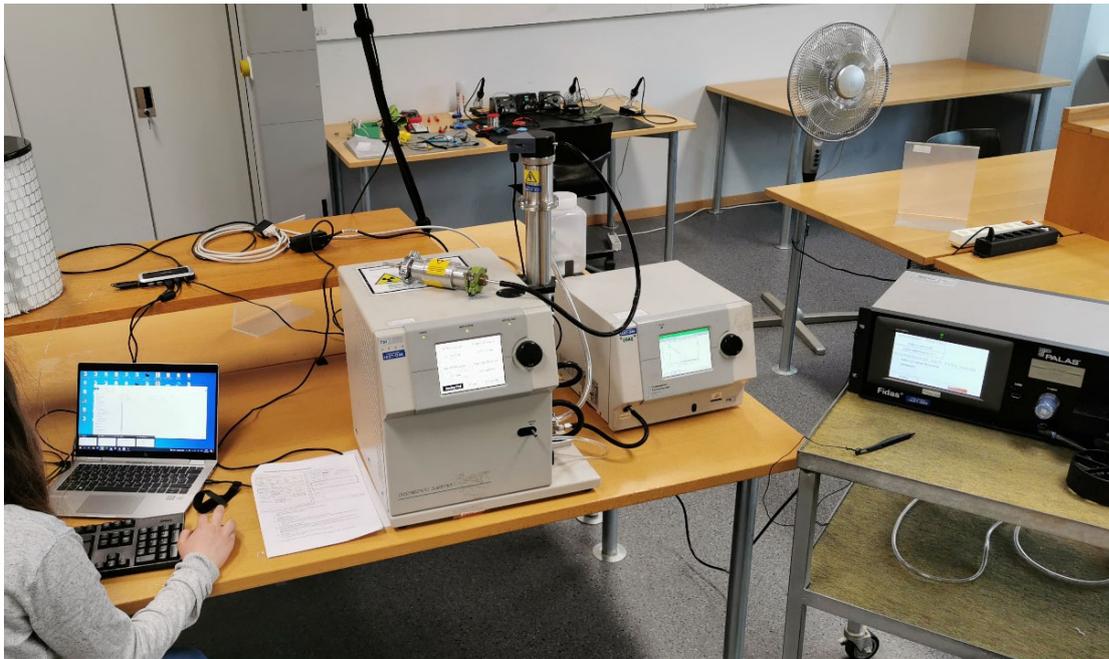
Alternativ wurden auch Experimente mit Verbrennungspartikeln (z.B. aus einem kleinen Papierfeuer) durchgeführt, diese Partikel sind flüchtiger und organischer Natur; die Partikeldurchmesser liegen hier i.d.R. unterhalb von 100 nm.



Figur 4: Freisetzen von feinen NaCl-Partikeln mittels eines Ultraschallverneblers



Figur 5: Typische Grössenverteilung der vom Vernebler produzierten trockenen NaCl-Partikel



Figur 6: Messung der Partikelgrößenverteilung 20 – 800 nm mithilfe eines SMPS

Nach der Freisetzung der Partikel erfolgt eine 15-minütige Stabilisierungs- und Homogenisierungsphase. Dann wurde über mehrere Stunden die zeitliche Veränderung dieses Aerosols mithilfe eines Scanning Mobility Particle Sizers (SMPS), bestehend aus Neutralisator, differenziellem Mobilitätsanalysator (DMA TSI 3081) und Kondensationskernzähler (CPC TSI 3775) verfolgt. Das SMPS erfasst die Partikelanzahlkonzentration und Grössenverteilung im Durchmesserbereich von 20 bis 800 Nanometern mit einer Zeitauflösung von 4 Minuten. Das Messprinzip basiert auf der Messung der elektrischen Mobilität eines geladenen Teilchens in einem elektrischen Feld. Die in das Gerät eingebrachten Partikel werden mit einer radioaktiven Quelle neutralisiert, sodass sie eine Gleichgewichtsladungsverteilung aufweisen. Anschliessend gelangen sie in einen differenziellen Mobilitätsanalysator (DMA), in dem die Aerosolpartikel nach ihrer elektrischen Mobilität klassiert werden, wobei pro Messscan nur Teilchen mit einem bestimmten Mobilitätsbereich durch den Ausgangspalt austreten. Diese monodisperse Verteilung gelangt dann in einen Kondensationskernzähler (CPC), der die Partikelkonzentration bzgl. dieser Grösse bestimmt. Der DMA besteht aus einem Zylinder mit einem negativ geladenen Stab in der Mitte; der Hauptstrom durch den DMA ist partikelfreie Luft, die an der Innenwand des DMA-Rohrs entlangströmt (Mantelluft). Es ist wichtig, dass diese Strömung laminar ist. Der Partikelstrom wird an der Aussenkante des DMAs eingespritzt, positiv geladene Partikel bewegen sich durch den Mantelstrom in Richtung des zentralen Stabes, und zwar mit einer Geschwindigkeit, die durch ihre elektrische Mobilität bestimmt wird. Teilchen mit einer bestimmten Mobilität treten durch den Probenschlitz am oberen Ende des DMA aus, während alle anderen Teilchen mit dem Abgasstrom abgeführt werden. Welche Partikel durch den Schlitz austreten, wird durch die Grösse der Partikel, die Ladung, die Spannung des zentralen Stabes und die Strömung im DMA bestimmt. Durch exponentielles Durchfahren der Spannung am zentralen Stab wird eine vollständige Partikelgrössenverteilung gemessen. Eine detailliertere Beschreibung des SMPS findet man z.B. auf der TSI-Webseite (<https://tsi.com/products/particle-sizers/particle-size-spectrometers/>).

Das SMPS wurde so betrieben, dass es die Anzahlgrössenverteilung im Durchmesserbereich 30 bis 800 nm misst. Die gemessenen Partikelkonzentrationen liegen mit einer hohen Durchmesserauflösung vor und werden im Folgenden für folgende Partikelgrössenbereiche durch Mittelwertbildung zusammengefasst: 30-50 nm, 50-100 nm, 100-200 nm, 200-400 nm und 400-800 nm. Zusätzlich wird in den Zeitverläufen der Konzentrationen auch die Gesamtkonzentration im Bereich 30-800 nm angegeben.

Die CADR-Werte der Luftreiniger werden auch für diese Grössenbereiche berechnet und für den entsprechenden Bereich beim mittleren Partikeldurchmesser angegeben, d.h. bei $D = 40$ nm, 75 nm, 150 nm, 300 nm und 600 nm.

2.4 Clean Air Delivery Rate (CADR)

Zur Quantifizierung der Reinigungswirkung von Luftreinigern wird die Clean Air Delivery Rate (CADR) als Mass verwendet (z. B. Nelson et al., 1993). Sie beschreibt die Durchflussrate der sauberen Luft, die der Luftreiniger in den Raum abgibt. Die CADR entspricht somit idealerweise dem Produkt der Filtrationseffizienz EF des Filters und dem Volumenstrom Q_V , der durch das Gerät gezogen wird:

$$CADR = EF \cdot Q_V \quad (1)$$

Die Filtrationseffizienz ist allerdings stark von der Partikelgrösse abhängig, somit muss auch der CADR-Wert in Abhängigkeit der Partikelgrösse angegeben werden.

Da die Durchflussmenge eines Raumluftreinigers (Q_V) normalerweise nicht so einfach messbar ist, wird hier ein anderer Ansatz gewählt, um den CADR-Wert zu bestimmen (für weitere Information siehe Küpper et al., 2019). Wir messen die Abklingraten k der Partikelkonzentration N in der für die oben definierten Grössenklassen, gemäss:

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-k \cdot t} \quad (2)$$

Da die im Raum vorhandenen Oberflächen (Wände, Möbel) auch Senken für Aerosolpartikel sind, werden Messungen mit ausgeschaltetem Luftreiniger (k_{Raum}) und mit eingeschaltetem Luftreiniger ($k_{LR+Raum}$) durchgeführt.

Mit Hilfe des Raumvolumens (V_{Raum}) lässt sich der CADR-Wert des Luftreinigers (LR) bestimmen:

$$\begin{aligned} CADR_{LR} &= CADR_{LR+Raum} - CADR_{Raum} \\ &= V_{Raum} \cdot k_{LR+Raum} - V_{Raum} \cdot k_{Raum} \end{aligned} \quad (3)$$

Durch Analyse der exponentiellen Abfälle der grössenabhängigen Aerosolkonzentrationen lässt sich damit auf den CADR-Wert des Luftreinigers schliessen. Es wurde darauf geachtet, dass bei den Experimenten die Partikelkonzentrationen nicht zu hoch sind, um Verfälschungen durch Koagulation zu vermeiden. Koagulationseffekte sind in den Messdaten dadurch erkennbar, dass die Abklingkurven nicht exponentieller Natur sind.

2.5 Empfohlene Luftaustauschrate ACH

Aus den CADR-Werten kann mit Hilfe der Raumgrösse die Luftaustauschrate ACH (Air Changes per Hour) berechnet werden:

$$ACH = \frac{CADR}{V_{Raum}} \quad (4)$$

Angesichts der Covid-Pandemie wird für Schul- oder Universitätsräume empfohlen, das gesamte Raumvolumen zwei bis sechs Mal pro Stunde mit sauberer Luft auszutauschen (z.B. DIN 16798). Gemäss Allen und Ibrahim (2021) empfiehlt die ASHRAE, eine der massgeblichen Normungsorganisationen für Belüftungsraten, eine Luftaustauschrate von mindestens 0.35 h^{-1} . Schulen sollten etwa für zehnmal höhere Werte ausgelegt sein ($ACH > 3.5 \text{ h}^{-1}$), jedoch erreichen die meisten Schulen diesen Wert in der Praxis nicht. Eine Zielvorgabe von 4 bis 6 ACH-Werten wird in Krankenhäusern vorgegeben. Diese hohen ACH-Anforderungen zeigen, dass hohe Luftwechselraten als Strategie zur Infektionskontrolle eine grosse Rolle spielen.

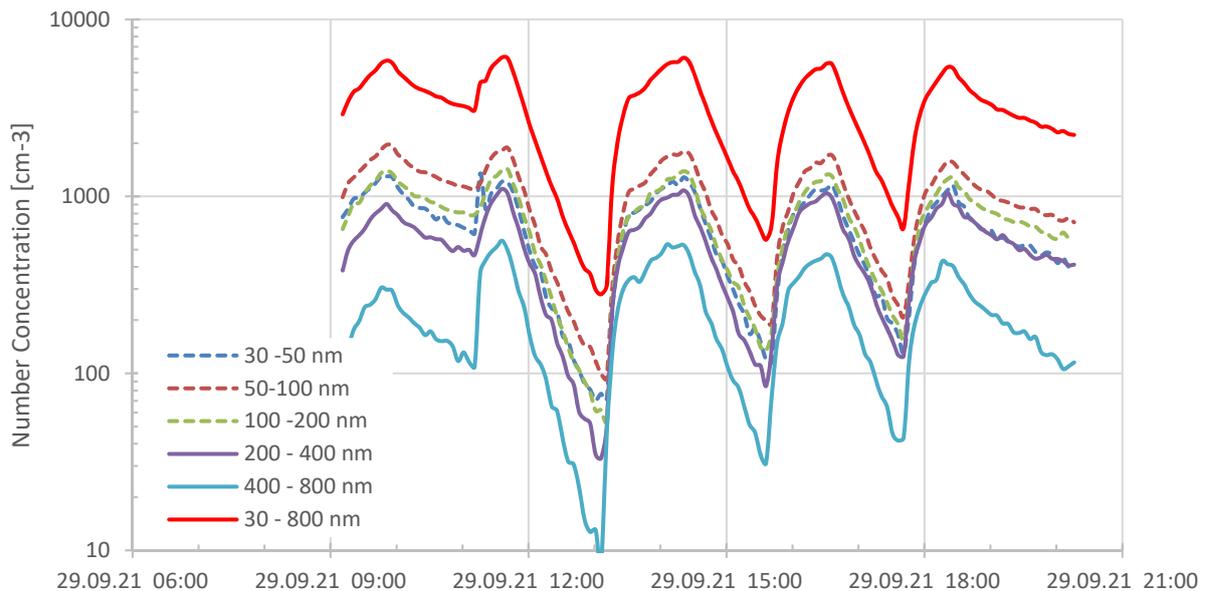
Eine alternative Empfehlung beruht auf der Angabe des Luftvolumens an gesäuberter Luft, welche pro Person zugeführt werden soll. Laut DIN 13779/12831 wird z.B. für eine «mittlere Raumluftqualität» ein Volumenaustausch von 36 bis 54 m^3 pro Stunde und Person empfohlen.

3 Messergebnisse

3.1 Messungen mit NaCl-Partikeln

Wir haben uns für die Verwendung von NaCl-Partikel entschieden, weil sie sich dadurch auszeichnen, dass nicht flüchtig sind, eine breitere Verteilung aufweisen und damit eine Beurteilung der Filtrationsleistung für Partikel > 30 nm ermöglichen.

Figur 7 zeigt den zeitlichen Verlauf der Konzentrationen in verschiedenen Grössenklassen. Bei dem gezeigten Experiment vom 29.9.2021 wurde im Messzimmer mehrfach NaCl-Partikel freigesetzt und diverse Raumreiniger sequenziell betrieben.



Figur 7: Zeitliche Entwicklung der vom SMPS gemessenen Anzahlkonzentrationen in verschiedenen Grössenklassen. Die 5-mal wurde der Raum mit NaCl Partikeln gefüllt. Dies äussert sich in den erkennbaren Anstiegen in den gemessenen Partikelkonzentrationen. Von 9:55 bis 11:18 wurde die «natürliche» Zerfallsrate des Aerosols ohne eingeschaltetem Luftreiniger gemessen. Eine weitere solche «Hintergrundmessung» findet am Ende statt, von 18:25 bis 20:15.

**Der Pure A9 PA91-604GY Luftreiniger mit « BREEZE » Filter ist von 11:46 bis 13:12 an.
Der Pure A9 PA91-404GY Luftreiniger mit « BREEZE » Filter ist von 14:31 bis 15:40 an.
Der Pure A9 PA91-404GY Luftreiniger mit « Care 360 » Filter ist von 16:42 bis 17:43 an.**

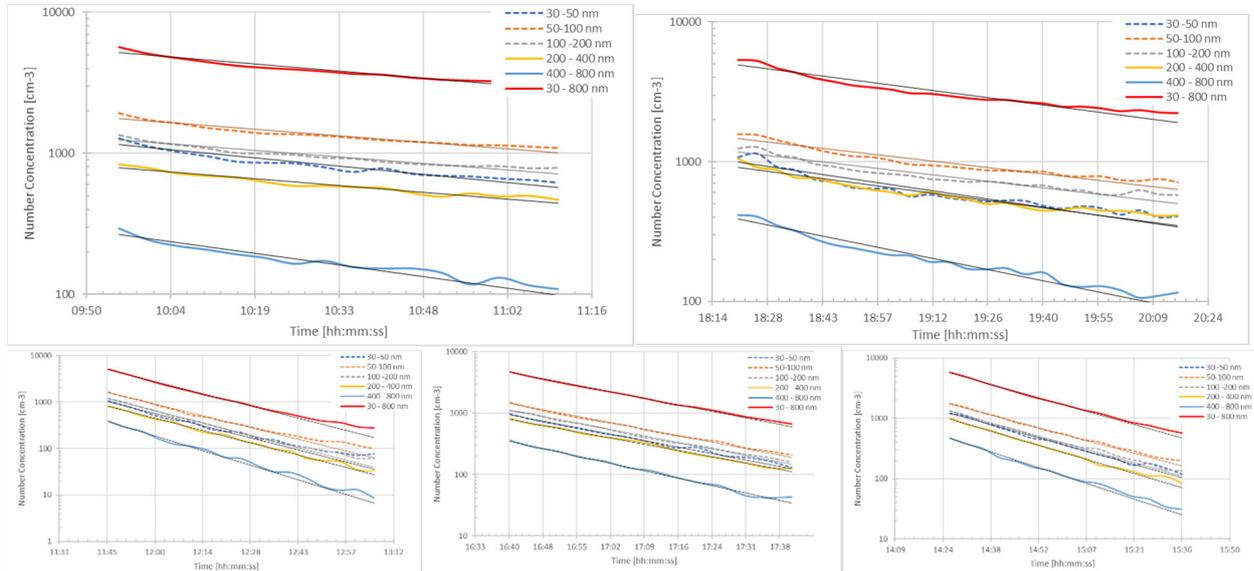
Schön ersichtlich ist, dass die Konzentrationsverläufe nach dem Befüllen des Raumes einem exponentiellen Abfall folgen – die Konzentrationsverläufe folgen geraden Linien in der logarithmischen Abbildung. Von 11:46 bis 17:43 wurden die Pure A9 Luftreiniger jeweils einzeln in Betrieb genommen.

Die Abnahmen in der Konzentration am Anfang und am Ende sind auf die Messung der «natürlichen» Partikelverluste im Raum zurückzuführen. Für die ultrafeinen Partikel ($D < 100$ nm) sind dies vor allem diffusionsbedingte Abscheidungen an sämtlichen im Raum vorhandenen Oberflächen (Wände, Tische, etc.). Je grösser die Partikel, desto stärker nehmen durch Sedimentation bedingte Abscheidungen zu. Auch ist zu erwarten, dass die grösseren Partikel an den Propellerblättern der zusätzlich betriebenen Ventilatoren impaktieren.

Klar ersichtlich ist, dass nach dem Einschalten des Luftreinigers die Konzentrationsverläufe aufgrund der zusätzlichen Reinigungswirkung schneller abnehmen.

Im Folgenden wurden für ausgewählte Zeitperioden die grössenabhängigen Abklingkurven gemäss Formel 2 und 3 parametrisiert, die Abklingraten bestimmt und die CADR-Werte berechnet. Figur 8 zeigt für die fünf Messphasen die an die Messdaten angefütteten exponentiellen Abklingkurven (schwarze feine Linien), die es erlauben die grössenabhängigen Abklingraten k_{Raum} und

$k_{LR+Raum}$ zu bestimmen. In anderen Worten: Die feinen Linien stellen das in 2.4 beschriebene Modell dar und wurden durch eine Regressionsanalyse an die Messdaten angeglichen um die k -Werte zu bestimmen.



Figur 8: Ausgewählte Konzentrationsverläufe vom 29.9.2021 mit angefitzten Zerfallskurven (feine schwarze Linien).

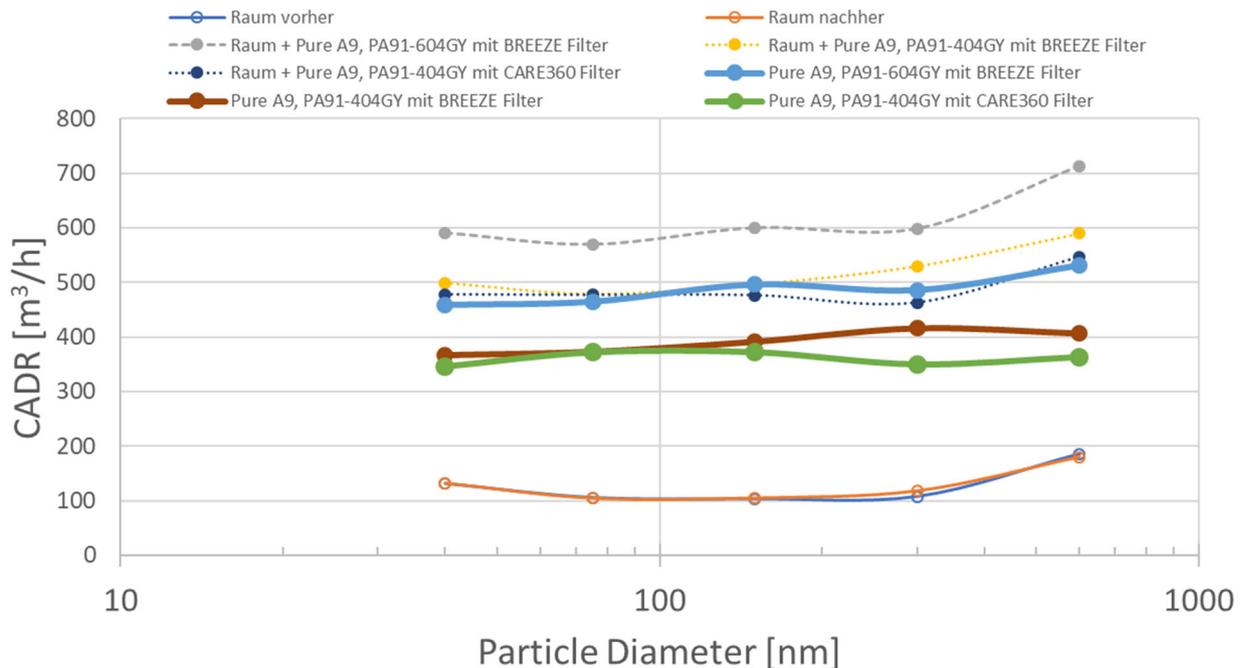
Obere zwei Figuren: Messungen des Hintergrunds am Anfang und Ende der Messreihe (jeweils ohne eingeschaltetem Reiniger)

Untere drei Figuren: die drei Reinigungsphasen mit eingeschaltetem Luftreiniger Ventilator

Mit Kenntnis des Raumvolumens (236 m^3) lassen sich gemäss Kapitel 2.4 die ermittelten Abklingraten in CADR-Werte umrechnen.

Figur 9 zeigt für diese NaCl-Experimente die direkt gemessenen Werte ($CADR_{LR+Raum}$, $CADR_{Raum}$) und die durch Differenzbildung ermittelten CADR Werte für die beiden Reinigungsgeräte.

Die dargestellten CADR Werte (bei $D = 40 \text{ nm}$, 75 nm , 150 nm , 300 nm und 600 nm) repräsentieren Mittelwerte, welche für die Partikel Partikelgrössenbereiche $30\text{-}50 \text{ nm}$, $50\text{-}100 \text{ nm}$, $100\text{-}200 \text{ nm}$, $200\text{-}400 \text{ nm}$ und $400\text{-}800 \text{ nm}$ berechnet wurden.

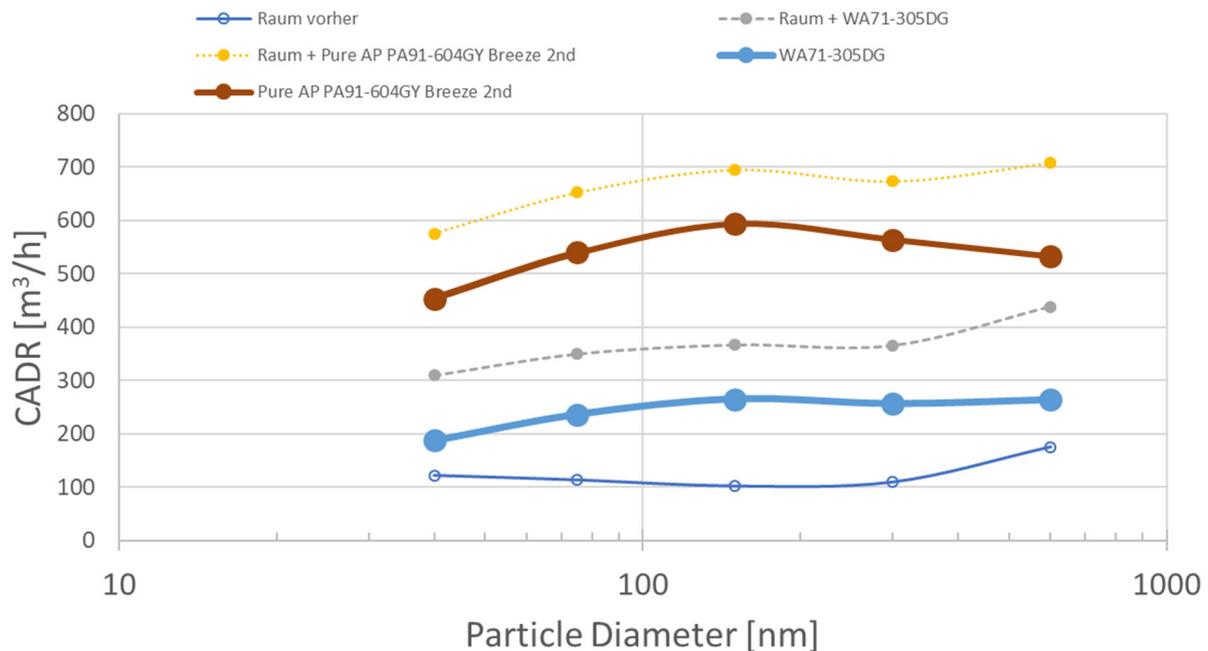


Figur 9: Die am 29.9.21 ermittelten CADR-Werte der Pure A9 Luftreiniger als Funktion der Partikelgrösse.

Die ausgezogenen dünnen Linien stellen die zwei Hintergrundmessungen der Reinigungswirkung des Raumes dar ($CADR 100\text{-}200 \text{ m}^3/\text{h}$). Die gestrichelten Linien sind die direkt gemessenen CADR Werte, wenn die Luftreiniger an sind. Die fetten Linien zeigen die Netto-CADR Werte der Luftreiniger, bei welchen die Reinigungswirkung des Raumes durch Subtraktion berücksichtigt wurde.

Die ermittelten CADR Werte zeigen keine ausgeprägte Abhängigkeit von der Partikelgrösse und liegen für das Pure A9 PA91-404GY Modell mit «BREEZE» und «Care360» Filter um die 350 bis $420 \text{ m}^3/\text{h}$. Der Pure A9 PA91-604GY zeigt deutlich höhere CADR Werte von $460 - 520 \text{ m}^3/\text{h}$.

Am 30.9.2021 wurde ein weiteres Experiment mit NaCl Partikeln durchgeführt und der Well A7 WA71-305DG Reiniger beurteilt. Auch wurde der Pure A9 PA91-604GY Reiniger ein zweites Mal getestet. Ich verzichte an dieser Stelle auf die Präsentation der zeitlichen Konzentrationsverläufe und zeigen die ermittelten CADR Werte (Figur 10).



Figur 10: Die am 30.9.21 ermittelten CADR-Werte des Well A7 WA71-305DG Luftreinigers und erneute Messung des Pure A9 PA91-604GY Modells.

Auch hier stellt die ausgezogene dünne Linie die Hintergrundmessung der Reinigungswirkung des Raumes dar (CADR 100-200 m³/h). Die gestrichelten Linien sind die direkt gemessenen CADR Werte, wenn die Luftreiniger an sind. Die fetten Linien zeigen die Netto-CADR Werte der Luftreiniger, bei welchen die Reinigungswirkung des Raumes durch Subtraktion berücksichtigt wurde.

Auch hier zeigen die ermittelten CADR Werte keine ausgeprägte Abhängigkeit von der Partikelgröße und liegen für das Well A7 WA71-305DG Modell zwischen 200 und 280 m³/h. Der Pure A9 PA91-604GY weist bei dieser Messung im Vergleich zum Vortag (Figur 9) leicht höhere CADR Werte auf: 450 – 600 m³/h.

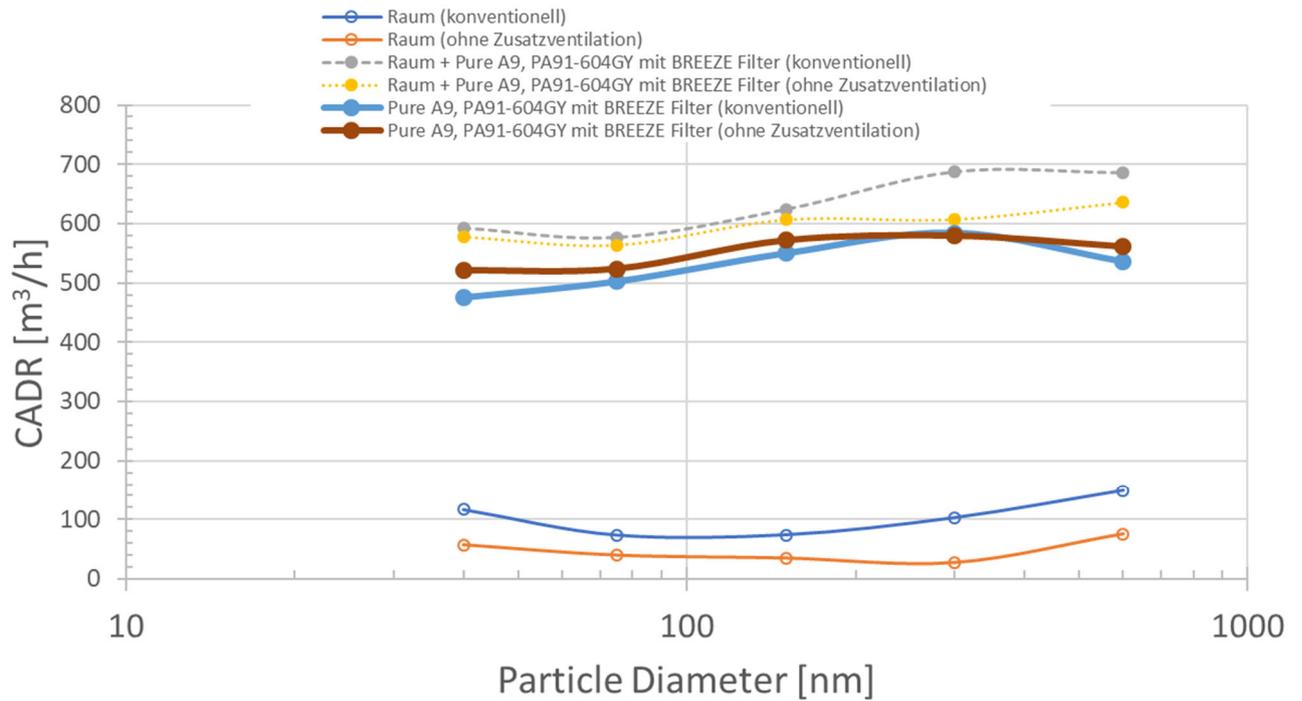
3.2 Messungen mit feinen Russpartikeln

Zur Qualitätssicherung und Aufdeckung von möglichen systematischen Fehlerquellen wurden Experimente mit im Raum freigesetzten Russpartikel durchgeführt. Im Gegensatz zu NaCl Partikel sind die Russpartikel deutlich kleiner, weisen eine fraktale Morphologie auf und sind eher flüchtiger Natur, d.h. dieses Aerosol besteht zu einem Grossteil aus semi-volatilen organischen Verbindungen.

Figur 11 zeigt die Ergebnisse der CADR Messungen für diese Russpartikel. Als Luftreiniger wurde der Pure A9 PA91-604GY mit Breeze Filter eingesetzt. Wieder wurden Hintergrundmessungen ohne Luftreiniger durchgeführt und die Netto-Reinigungswirkung wurde durch Differenzbildung der gemessenen CADR-Werte berechnet.

Wir haben den Luftreiniger mit folgenden zwei verschiedenen experimentellen Setups beurteilt:

- Bei den mit «konventionell» bezeichneten Experimenten wurde wie bei den NaCl Experimenten vorgegangen (die vier zusätzlich eingesetzten Ventilatoren sind immer an)
- Um den Einfluss der zusätzlich eingesetzten Ventilatoren auf die gewonnenen Ergebnisse zu prüfen, wurden diese ausgeschaltet, was zu einer verminderten Durchmischung der Raumes führt. Die Durchmischung erfolgt nur durch den Raumreiniger.



Figur 11: Die für das Modell Pure A9 PA91-604GY ermittelten CADR-Werte für Russpartikel. Ein Experiment wurde «konventionell» durchgeführt (so wie bei den NaCl Messungen) und bei anderen Experimenten wurden testhalber die zusätzlich betriebenen 4 Ventilatoren abgeschaltet.

Wie zu erwarten, zeigt Figur 11, dass die CADR Messung des Raumes (Hintergrundmessung) stark von dem Betrieb der zusätzlich eingesetzten Ventilatoren ist: Herrscht im Raum eine durchmischte Kreisströmung vor, dann sind die Partikelverluste rund doppelt so hoch. Diese zusätzliche Partikelabscheidung wird aber bei der Berechnung der Netto-Reinigungswirkung des Luftreinigers berücksichtigt. Dies zeigt sich darin, dass die für die Hintergrundverluste korrigierten CADR Werte für beide experimentellen Betriebsbedingungen sehr gut übereinstimmen.

Für die beiden Experimente mit Russpartikeln kann festgehalten werden, dass der Pure A9 PA91-604GY Reiniger CADR Werte im Bereich 500 – 600 m³/h aufweist.

4 Zusammenfassende Beurteilung der Electrolux-Luftreiniger

Es kann festgehalten werden, dass für die untersuchten Luftreiniger bei Partikeln mit Durchmessern zwischen 30 und 800 nm folgende mittleren CADR-Werte aufweisen:

Modell	Eingesetzter Filter	Leistungsstufe	CADR in m ³ /h
Pure A9 PA91-604GY	BREEZE Filter	maximal	520
Pure A9 PA91-404GY	BREEZE Filter	maximal	390
Pure A9 PA91-404GY	«Care360» Filter	maximal	365
Well A7 WA71-305DG	Clean & fresh	maximal	235

Die Unsicherheit der ermittelten CADR Werte, bedingt durch systematische Unterschiede im Messsetup und durch Messfehler des verwendeten SMPS, beziffern wir auf $\pm 5\%$ (1σ).

Diese CADR-Werte können folgendermassen eingestuft werden:

Wenn z.B. mit dem Gerät, das ein CADR von 500 m³/h aufweist, in einem Raum eine Luftaustauschrate von vier Luftwechseln pro Stunde (ACH = 4) erreicht werden soll, dann darf die Raumgrösse nicht grösser als 125 m³ sein. Bei einer Raumhöhe von 2.5 m entspricht dies einem Zimmer mit 50 m² Grundfläche.

Bei einem leistungsschwächeren Modell mit CADR = 250 m³/h ergeben sich für ACH = 4 ein Raumvolumen von maximal 63 m³, respektive eine Zimmergrundfläche von rund 25 m².

5 Verwendung des Berichts

Der vorliegende Bericht darf nicht als Ersatz für eine Zertifizierung der ausgemessenen Produkte verwendet werden. Er ermöglicht jedoch eine Einschätzung der Reinigungswirkung des getesteten Geräts.

Dieses Dokument darf gegenüber Dritten verwendet oder veröffentlicht werden, um eine Abschätzung der gemessenen Eigenschaften vorzuweisen.

6 Referenzen

Allen JG, Ibrahim AM. Indoor Air Changes and Potential Implications for SARS-CoV-2 Transmission. *JAMA*. 2021;325(20):2112–2113. doi:10.1001/jama.2021.5053

Asadi, S., Wexler, A. S., Cappa, C. D., Barreda, S., Bouvier, N. M., & Ristenpart, W. D. (2019). Aerosol emission and superemission during human speech increase with voice loudness. *Scientific reports*, 9(1), 1-10.

Dhand, R., & Li, J. (2020). Coughs and sneezes: their role in transmission of respiratory viral infections, including SARS-CoV-2. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 202(5), 651-659.

Küpper, M., Asbach, C., Schneiderwind, U., Finger, H., Spiegelhoff, D., Schumacher, S. (2019). Testing of an Indoor Air Cleaner for Particulate Pollutants under Realistic Conditions in an Office Room. *Aerosol and Air Quality Research*, 19: 1655–1665. doi: 10.4209/aaqr.2019.01.0029

Lindsley, W. G., Pearce, T. A., Hudnall, J. B., Davis, K. A., Davis, S. M., Fisher, M. A., Khakoo, R., Palmer, J. E., Clark, K. E., Celik, I., Coffey, C. C., Blachere, F. M., & Beezhold, D. H. (2012). Quantity and size distribution of cough-generated aerosol particles produced by influenza patients during and after illness. *Journal of occupational and environmental hygiene*, 9(7), 443-449.

Nelson, P.R., Sears, S.B. and Heavner, D.L. (1993). Application of methods for evaluating air cleaner performance. *Indoor Built Environ*. 2: 111–117.

7 Weiterführende Links

<https://www.info.qaef.de/positionspapier>

<https://tsi.com/products/particle-sizers/particle-size-spectrometers/>

https://www.vdi.de/news/detail/anforderungen-an-mobile-luftreiniger?utm_source=newsletter&utm_medium=email&utm_campaign=VDI+News+-+KW+35