

Bericht

06.10.2020

Untersuchung der Minderung der Partikelkonzentration in geschlossenen Innenräumen durch einen hoch wirksamen Innenraumfilter

M.Sc. Julia Szabadi, Dr.-Ing. Jörg Meyer & Prof. Dr.-Ing. Achim Dittler

Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Mechanik, Karlsruher Institut für
Technologie

MANN+HUMMEL Projekt

Einführung:

Die steigenden Infektionszahlen durch das SARS-CoV-2 Virus zeigen, dass die Pandemie gegenwärtig noch nicht eingedämmt ist (Robert-Koch-Institut 2020a). Für die Übertragung des Virus sind gasgetragene Tröpfchen (sog. Tropfen-Aerosole) von Bedeutung, die durch Atmen, Sprechen, Singen, Schreien, Husten oder Niesen entstehen und über die Luft verteilt werden (Jayaweera et al. 2020; Kähler und Hain 2020; Lu et al. 2020; Morawska und Cao 2020; Zhang et al. 2020). Wissenschaftliche Studien belegen, dass ein mit infektiösen Viren beladenes Aerosol zu einer COVID-19 Infektion führen kann, wenn die flüssige Phase der Aerosolpartikeln noch nicht vollständig verdunstet ist (Pyankov et al. 2018; van Doremalen et al. 2020). Bei moderater Luftfeuchte beläuft sich die Verdunstungszeit wässriger Aerosolpartikeln mit einem Durchmesser von einigen Mikrometern auf weniger als eine Sekunde. Ob Aerosolpartikeln nach dem Verdunsten der flüssigen Phase, sogenannte „Tröpfchenkerne“, noch infektiös sind, ist noch nicht geklärt. Eindeutigkeit herrscht jedoch darüber, dass die Infektionswahrscheinlichkeit in einem geschlossenen Raum mit der Anzahl infizierter Personen und deren Aufenthaltsdauer ansteigt (Kähler et al. 2020; Robert-Koch-Institut 2020b). Aus diesem Grund sollten Maßnahmen zur Minderung der Partikel- und Tropfenkonzentration in Innenräumen getroffen werden. Das Tragen von einfachen Mund-Nasen-Bedeckungen bietet zwar in einem entsprechenden Sicherheitsabstand einen gewissen Eigen- und Fremdschutz, ist bei einer längeren Tragedauer jedoch wenig komfortabel. Von der Möglichkeit durch kontinuierliches Lüften die Partikelanzahlkonzentration zu reduzieren, ist in den Wintermonaten aus energetischer Sicht eher abzuraten. Deshalb stellen Luftreiniger einen Komplementärbeitrag zum Tragen eines wirksamen Mund-Nasen-Schutzes, dem Einhalten der gebotenen Abstands- und Hygieneregeln und dem Lüften dar. Vor allem in Gebäuden und in Räumen, in denen sich viele Menschen aufhalten, wie Krankenhäuser, Klassenzimmer, oder Fitnessräumen können Luftreiniger eingesetzt werden, um die Aerosolbelastung abzusenken und auf einem niedrigen Niveau zu halten.

Im vorliegenden Beitrag wurde im Auftrag der Firma MANN+HUMMEL, Ludwigsburg, die Wirkungsweise eines neuartigen Innenraumfilters des Typs OurAir TK 850 untersucht und bewertet. Dazu wurde die zeitliche Entwicklung der Partikelanzahlkonzentration (gleichzeitig an drei unterschiedlichen Stellen) in einem Klassenraum der GMS Eggenstein-Leopoldshafen und in einem Büro am MVM gemessen. Dabei wurden unterschiedliche Leistungsstufen des Luftreinigers und die Wirkungsweise von zwei verschiedenen Filtertypen untersucht. Weiter wurde die Wirksamkeit des Luftreinigers bei Anwesenheit einer Punktquelle im Raum näher betrachtet. Durch Temperaturmessungen sollte die Abwärme des Luftreinigers eingeschätzt werden. Zusätzlich erfolgten Messungen der CO₂-Konzentration, um einen möglichen Zusammenhang mit der Partikelanzahlkonzentration herzustellen.

Methodik:

Messtechnik:

Um die Partikelkonzentration an verschiedenen Positionen im Raum zu detektieren, standen drei Fidas® Frog der Firma Palas® zur Verfügung. Diese arbeiten nach dem Prinzip der optischen Lichtstreuung und können Partikeln in einem Größenbereich von 0,18 - 18 µm erfassen. Die maximal messbare Anzahlkonzentration beträgt 20.000.000 Partikeln/l. In der nachfolgenden Tabelle sind alle wichtigen technischen Merkmale zusammengefasst.

Tabelle 1: Technische Daten Fidas® Frog

Technische Daten Fidas® Frog der Firma Palas®	
Höhe x Breite x Tiefe	100 mm x 240 mm x 150 mm
Messbereich	0,18 – 18 µm
Größenkanäle	32/Dekade, 256 Rohdatenkanäle
Messprinzip	Optische Lichtstreuung am Einzelpartikel
Messbereich (Anzahl C_N)	0 – 20.000.000 Partikeln/l
Volumenstrom	1,4 l/min



Aerosolgenerierung:

Quellen für Aerosole können im realen Schulbetrieb z.B. sprechende oder niesende Personen (Schüler, Lehrer) sein. Um eine möglichst konstante Ausgangskonzentration zwischen den Messreihen zu gewährleisten wurde eine künstliche Aerosolquelle zur Generierung eines Tropfen-Aerosols eingesetzt. Der dazu verwendete Aerosolgenerator AGK 2000 der Firma Palas® erzeugt Nanopartikeln aus einer NaCl-Lösung (1/6 - Gewichts-%). Der anzahlgewichtete mittlere Partikeldurchmesser beträgt 0,361 µm, was in etwa der Größe von feinsten virushaltigen Flüssigkeitspartikeln und Tröpfchenkernen (< 0,5 µm) entspricht (Robert-Koch-Institut 2020b). Der Volumenstrom am Austritt des Generators beträgt $\dot{V} = 25$ l/min und die Partikelanzahlkonzentration $c_{NaCl} = 160.000$ Partikeln/cm³.

Tabelle 2: Technische Daten AGK 2000

Technische Daten AGK 2000 der Firma Palas®	
Partikeln	NaCl - Partikeln
Konzentration (bei 0,8 bar an Düse und 4 bar bei Verdünnung)	160.000 Partikeln/cm ³
$X_{50,0}$	0,361 µm
Konzentration der Kochsalzlösung	1/6 Gew-% (0,16)
Gesamtvolumenstrom am Auslass	24,9 l/min



Luftreiniger:

Der Luftreiniger – OurAir TK 850, der Firma MANN+HUMMEL ist für Raumgrößen im Bereich bis zu $A = 70 \text{ m}^2$ ausgelegt und schafft in diesem Luftaustauschraten größer 5. Die Luft wird mit einem Volumenstrom von $\dot{V} = 850 \text{ m}^3/\text{h}$ (optimaler Betriebspunkt) über Luftlöcher am Boden eingezogen, durch einen Filter geleitet und über Lochblenden an der rechten und linken oberen Seite abgegeben.



Tabelle 3: Technische Daten OurAir TK 850

Technische Daten OurAir TK 850	
Länge x Breite x Höhe	0,5 m x 0,55 m x 0,75 m
Gewicht	50 kg
Leistung	90 W/h bei max. Volumenstrom
Durchflussrate	850 m^3/h
Luftaustauschrate	≥ 5 -mal/ Stunde (70 m^2 Raumgröße)

Im Rahmen dieser Studie wurden die zwei in Tabelle 4 aufgeführten Filterelemente für den US- und europäischen Markt auf ihre Filterleistung untersucht.

Tabelle 4: Technische Daten der Filterelemente

Technische Daten Filterelemente		
Filterelement	US HEPA	HEPA H14
Klasse	HYB5939 PerForm®	EN 1822 H14
Länge x Breite x Höhe	0,46 m x 0,46 m x 0,29 m	0,46 m x 0,46 m x 0,29 m
Mediengeschwindigkeit	1,2 cm/s	2,3 cm/s
Gewicht	68 g/m^2	88 g/m^2
Filterfläche	20 m^2	10,4 m^2
Filtereffizienz (mit $0,3 \mu\text{m}$ bei 5,3 cm/s)	99,97%	99,995%

Luftwechselrate:

Die Luftwechselrate ist ein Maß für den Lüftungsvolumenstrom bezogen auf das Raumvolumen. Sie gibt an, wie oft die Luft eines Raumes innerhalb einer Stunde durch Frischluft ausgetauscht wird. Meistens beträgt sie ein Vielfaches der Raumgröße. Da der Lüfter OurAir TK 850 die Raumluft nur „filtert“ und nicht die Luft durch Frischluft ersetzt, ist die eigentliche Definition der Luftwechselrate in diesem Falle nichtzutreffend. Jedoch wird im Rahmen dieser Untersuchungen angelehnt an die Luftwechselrate, die Filterrate (f) für einen qualitative Unterscheidung der verschiedenen Raumgrößen (Büro, Klassenzimmer) eingeführt.

Untersuchungen der zeitlichen Entwicklung der Partikelanzahlkonzentration in einem Büro des Instituts für Mechanische Verfahrenstechnik und Mechanik

Zur Untersuchung der Wirkungsweise des o.g. Luftfilters mit dem US HEPA Filterelement erfolgten erste Messungen in einem Büro mit einem Volumen von $V = 102,81 \text{ m}^3$. Bei maximalem Betrieb des Lüfters von $\dot{V} = 1220 \text{ m}^3/\text{h}$ ergibt sich ein Verhältnis von Volumenstrom zu Raumvolumen von $f = 11,86 \text{ h}^{-1}$. Für die Messungen wurde zuvor gelüftet und die natürliche Partikelanzahlkonzentration mit und ohne Betrieb des Lüfters ($1220 \text{ m}^3/\text{h}$) erfasst (Tabelle 5). Die natürliche Partikelanzahlkonzentration bezieht sich dabei auf die Aerosolgenerierung von drei Personen ohne Masken, um reale Bedingungen besser abzubilden.

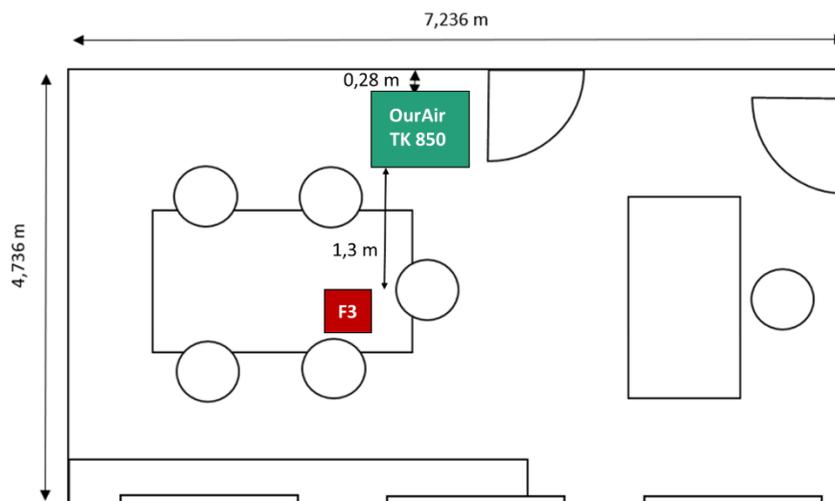


Abbildung 1: Raumskizze des Büros mit ausgestatteter Messtechnik



Abbildung 2: Büro mit ausgestatteter Messtechnik

Tabelle 5: Versuchsablauf

1. Messung	OurAir TK 850 an	2. Messung	OurAir TK 850 an
Lüften (15 min)	nein	Lüften (15 min)	nein
Aerosolerzeugung (60 min)	nein	Aerosolerzeugung (60 min)	nein
Abklingen	nein	Filtern US HEPA (1220 m ³ /h)	ja

Untersuchungen der zeitlichen Entwicklung der Partikelanzahlkonzentration in einem Klassenzimmer der GMS Eggenstein-Leopoldshafen

Um den Extremfall eines deutlich größeren Raumes abzubilden, wurden für die erste Messreihe drei Messungen in einem Klassenzimmer (Abbildung 4) durchgeführt. Das Klassenzimmer besitzt ein Volumen von $V = 221,83 \text{ m}^3$ und ist dementsprechend mehr als doppelt so groß wie das Büro aus der vorherigen Messreihe.

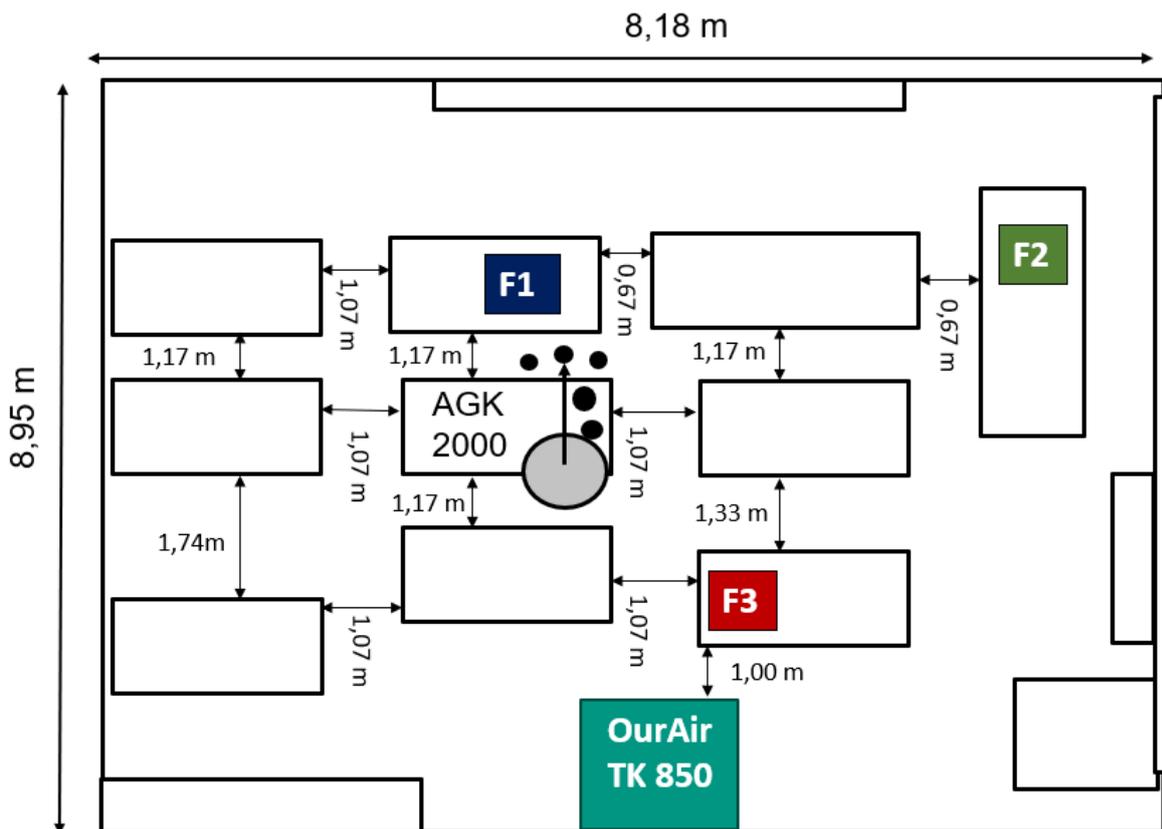


Abbildung 3: Raumskizze des Klassenzimmers mit ausgestatteter Messtechnik

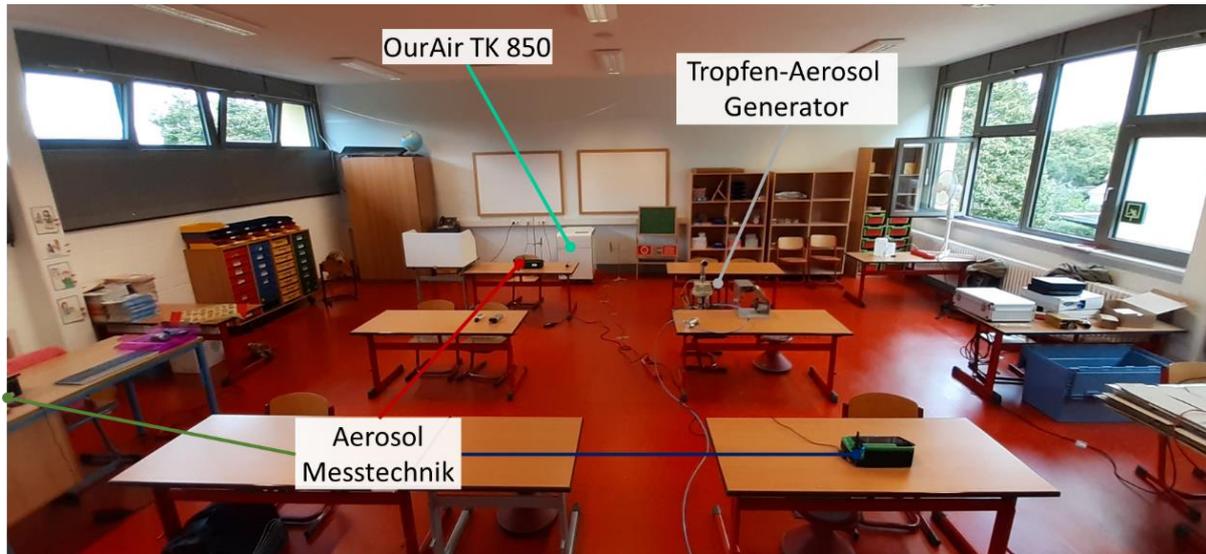


Abbildung 4: Klassenzimmer mit ausgestatteter Messtechnik

Im Rahmen dieser Messreihe wurden zuerst die natürliche Abklingrate der Partikelanzahlkonzentration in der Raumluft im Klassenzimmer und die zeitliche Entwicklung der Partikelanzahlkonzentration bei zwei verschiedenen Volumenströmen ($\dot{V} = 425 \text{ m}^3/\text{h}$, $\dot{V} = 850 \text{ m}^3/\text{h}$) des OurAir TK 850 (Filtermedium: US HEPA) untersucht. Die Fidas® Frogs sind im Klassenzimmer verteilt, um die zeitliche und räumliche Ausbreitung der Partikeln zu erfassen. Zusätzlich wurde auch die Temperatur während des Messzeitraums durch die Fidas® Frogs detektiert. Tabelle 6 zeigt das Vorgehen der drei durchgeführten Messungen im Klassenzimmer. Während des Versuchs befanden sich keine Personen im Raum.

Tabelle 6: Übersicht - Versuchsablauf

1. Messung	OurAir TK 850 an	2. Messung	OurAir TK 850 an	3. Messung	OurAir TK 850 an
Lüften (15 min)	nein	Lüften (15 min)	nein	Lüften (15 min)	nein
Aerosolerzeugung (20 min)	nein	Aerosolerzeugung (20 min)	nein	Aerosolerzeugung (20 min)	nein
Abklingen	nein	Filtern US HEPA (425 m ³ /h)	ja	Filtern US HEPA (850 m ³ /h)	ja

Im ersten Schritt wurden die Messgeräte F 1-3 eingeschaltet und das Klassenzimmer 15 Minuten gelüftet. Im Anschluss wurden alle Fenster und Türen geschlossen und der AGK 2000 für 20 Minuten eingeschaltet. Um die Realität näher abzubilden, wurde der Dispergierer auf einen Stuhl positioniert. Dadurch befand sich der Auslass für das Aerosol auf einer Höhe ähnlich der Kopfhöhe eines Schülers. Mit Hilfe von zwei Ventilatoren wurden die entstandenen Partikeln homogen im Klassenzimmer verteilt. Nach Beendigung der Partikelgenerierung wurde die Veränderung der Partikelanzahlkonzentration im Raum gemessen und so das natürliche Abklingen der Partikelkonzentration im Raum bestimmt. In den nächsten beiden Versuch (2. und 3. Messung) wurde analog gelüftet, die Partikeln durch den AGK 2000 erzeugt und anschließend die Luft durch den OurAir

TK 850 für 90 Minuten bei zwei verschiedenen Einstellungen (Variation des Volumenstroms) gefiltert. Die Position des Luftfilters im Raum blieb gleich. Um die Abwärme des Luftfilters zu untersuchen, wurde die Temperatur an allen drei Raumpositionen im Klassenzimmer durch die Fidas® Frogs detektiert.

Ergebnisse und Diskussion:

In der nachfolgenden Abbildung 5 sind die Abklingkurven aus vier verschiedenen Messungen dargestellt. Die Verläufe zeigen die Abnahme der Partikelanzahlkonzentration bezogen auf die Anfangskonzentration im Raum. Drei der Verläufe zeigen die Partikelabnahme im Klassenzimmer und ein Kurvenverlauf stellt die ermittelte Partikelanzahlkonzentration im Büro dar.

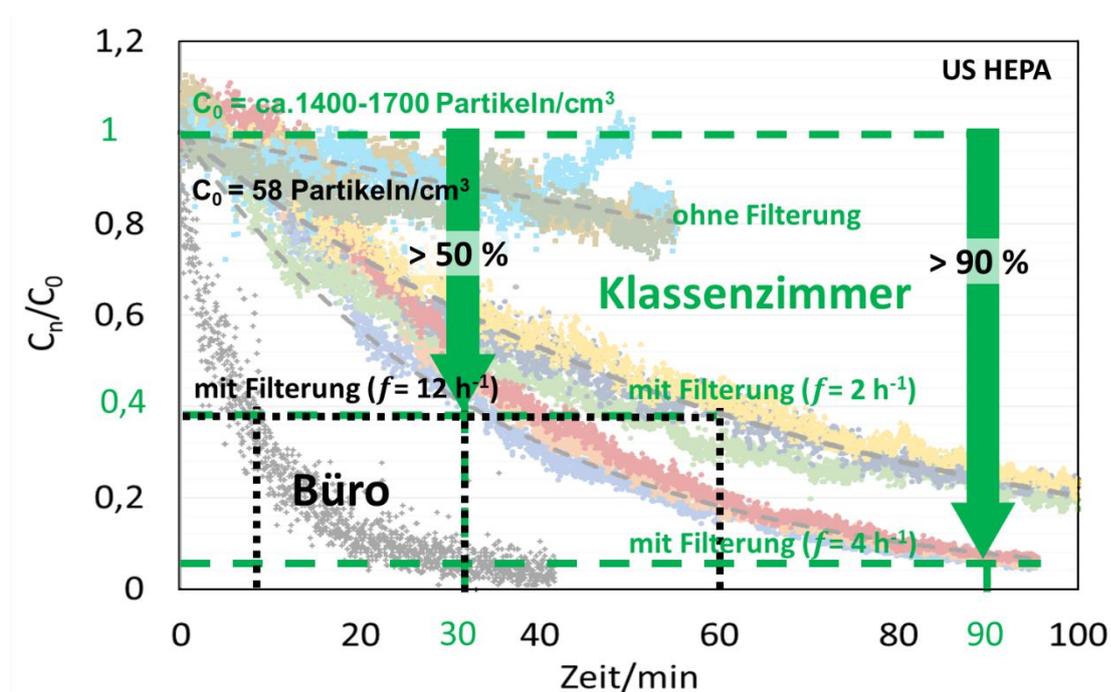


Abbildung 5: Abklingkurven im Klassenzimmer und Büro bei verschiedenen Lüfterleistungen - US HEPA

Die Messung im Büro startet im Vergleich zur Messreihe im Klassenzimmer bei einer deutlich geringeren Anfangskonzentration. Um die Grenzen des Lüfters zu testen, wurde dieser bei dem maximalen Volumenstrom von $\dot{V} = 1220 \text{ m}^3/\text{h}$ betrieben, was im Verhältnis von Volumenstrom zu Raumvolumen etwa $f = 12 \text{ h}^{-1}$ entspricht. Die Partikelanzahlkonzentration im Büro wurde – abweichend zu den Versuchen im Klassenzimmer - nur an einer Position erfasst, wodurch auch nur ein Kurvenverlauf abgebildet werden kann. Anhand der Abklingkurve im Büro ist zu sehen, dass die Partikelanzahlkonzentration in kurzer Zeit signifikant reduziert wird. Sie nimmt innerhalb von 30 Minuten um 90 % ab.

Im Klassenzimmer, das mehr als doppelt so groß wie das Büro ist, wurde bei einer Partikelanzahlkonzentration von $c_0 = 1400\text{-}1700 \text{ Partikeln}/\text{cm}^3$ gestartet. Die obere Abklingkurve zeigt die natürliche Abnahme der Partikelanzahlkonzentration in Bezug auf die Anfangskonzentration im geschlossenen Klassenzimmer, wenn keine Personen im Raum sind und die Luft nicht gefiltert wird.

Die zwei weiteren Abklingkurven im Klassenzimmer stellen die exponentielle Abnahme der Partikelanzahlkonzentration bei einem Volumenstrom des Lüfters von $\dot{V} = 425 \text{ m}^3/\text{h}$ und $\dot{V} = 850 \text{ m}^3/\text{h}$ dar. Bei einem Volumenstrom von $\dot{V} = 425 \text{ m}^3/\text{h}$ wird die Luft im Klassenzimmer im Vergleich zum Büro nur ca. 2-mal innerhalb einer Stunde gefiltert und durch eine Verdopplung des Volumenstroms ($\dot{V} = 850 \text{ m}^3/\text{h}$) 4-mal. Aus diesem Grund nimmt die Anfangskonzentration mit einem größeren Verhältnis von Volumenstrom zum Raumvolumen schneller ab. Dabei sind bei einem mittleren Volumenstrom-Raumverhältnis von $f = 4 \text{ h}^{-1}$, nach 30 Minuten mehr als die Hälfte und nach 90 Minuten mehr als 90 % der Partikel aus der Luft entfernt. In erster Näherung lässt sich sagen, dass sich die Abnahme der Partikelanzahlkonzentration reziprok zum Verhältnis des Volumenstroms zum Raumvolumen verhält. Des Weiteren kommt es zu einer annähernd homogenen Umwälzung („idealer Rührkessel“) der Raumluft mit steigendem Volumenstrom des Lüfters, was an den drei Kurvenverläufen bei $\dot{V} = 850 \text{ m}^3/\text{h}$ zu sehen ist. Hier detektieren die Partikelmessgeräte zeitlich ähnliche Partikelanzahlkonzentrationen. Aus den bestimmten Verläufen lässt sich für den jeweiligen Lüftervolumenstrom die sog. „Clean Air Delivery Rate“ (CADR) berechnen, die die meisten Filterhersteller zur Charakterisierung ihres Lüfters als Produkt der Filtrationseffizienz und des Luftvolumenstroms angeben. Diese Angabe berücksichtigt aber nicht die Mischeigenschaften und das Raumvolumen und entsprechend liegt der tatsächliche CADR-Wert unterhalb des angegebenen Wertes (Noh und Oh 2015). Aus diesem Grund ist für die Untersuchungen von Luftreinigern in diesem oder vergleichbaren Messaufbauten von der Verwendung der CADR abzuraten.

Neben den Untersuchungen zur Filtration wurde zusätzlich die Temperaturzunahme betrachtet. Abbildung 6 verdeutlicht, dass nach Einschalten des Luftreinigers sich die Raumluft innerhalb von 100 Minuten um $\Delta T = 2 \text{ K}$ erwärmt hat, was allgemein eher auf Umgebungseinflüsse und weniger auf die zusätzliche Abwärme des Geräts zurückgeführt werden kann.

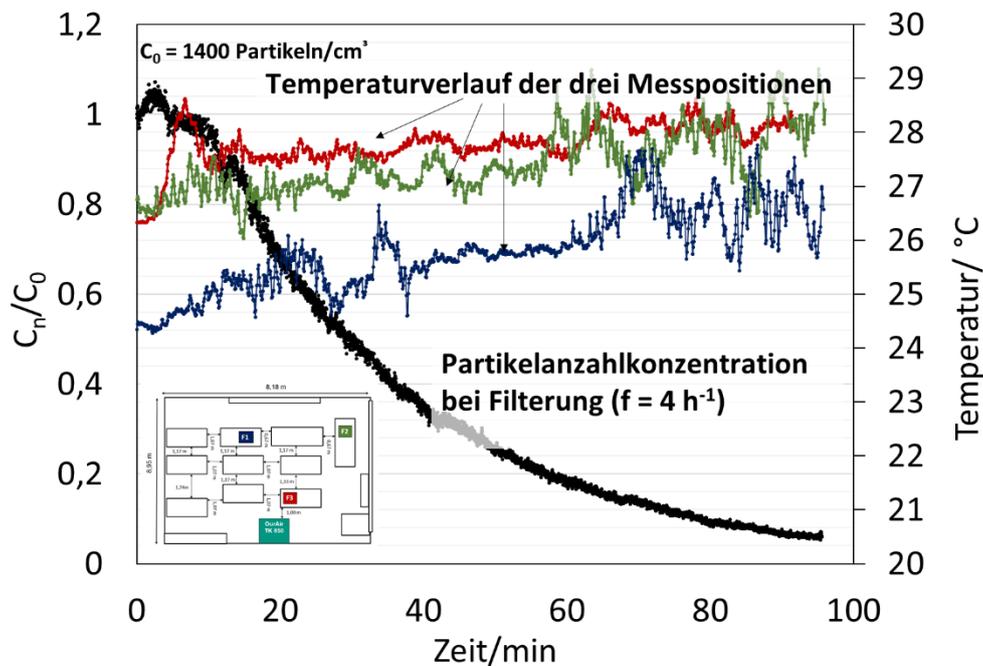


Abbildung 6: Temperaturverlauf und Partikelanzahlkonzentration bei Betrieb des OurAir TK 850

Untersuchungen der zeitlichen Entwicklung der Partikelanzahlkonzentration einer lokalen Punktquelle in einem Klassenzimmer der GMS Eggenstein-Leopoldshafen mit & ohne zeitgleiche Filterung der Luft

Dieses Szenario soll den Fall darstellen, dass eine infizierte Person im Raum infektiösen Viren durch Sprechen, Husten, Niesen oder ähnliches absondert. Die durch den AGK 2000 erzeugte Partikelanzahl (ca. $c_{\text{NaCl}} = 160.000 \text{ Partikeln/cm}^3$) musste aus messtechnischen Gründen deutlich höher gewählt werden, als eine Einzelperson tatsächlich durch Niesen oder Husten abgibt.

Tabelle 7: Versuchsablauf

1. Messung	OurAir TK 850 an	2. Messung	Our Air TK 850 an
Lüften (15 min)	nein	Lüften (15 min)	nein
Aerosolerzeugung (10 min)	nein	Aerosolerzeugung (10 min)	ja
Abklingen	nein	Filtern US HEPA (850 m ³ /h)	ja

Um vergleichbare Grundzustände zu schaffen wurde bei beiden Messungen erneut für 15 Minuten gelüftet. Anschließend generierte die Aerosolquelle lokal (AGK 2000) 10 Minuten lang ein Tropfen-Aerosol. Die zeitliche und räumliche Ausbreitung des Aerosols wurde mit Hilfe der drei Fidas® Frogs erfasst. Nachdem die Partikelerzeugung abgeschlossen war, wurde in einer ersten Messung die natürliche Partikelverteilung im Raum und in einer zweiten Messung die Partikelausbreitung bei gleichzeitiger Filterung der Raumluft durch den OurAir TK 850 untersucht. Auch in dieser Messreihe wurde die Raumluft durch das US-HEPA Filterelement gefiltert.

Ergebnis und Diskussion:

Abbildung 7 soll zeigen, wie sich die Partikelanzahlkonzentration bei einer lokalen Quelle im Raum ändert, wenn der Lüfter ausgeschaltet bzw. in Betrieb ($\dot{V} = 850 \text{ m}^3/\text{h}$) und mit dem US-HEPA Filtermedium ausgestattet ist.

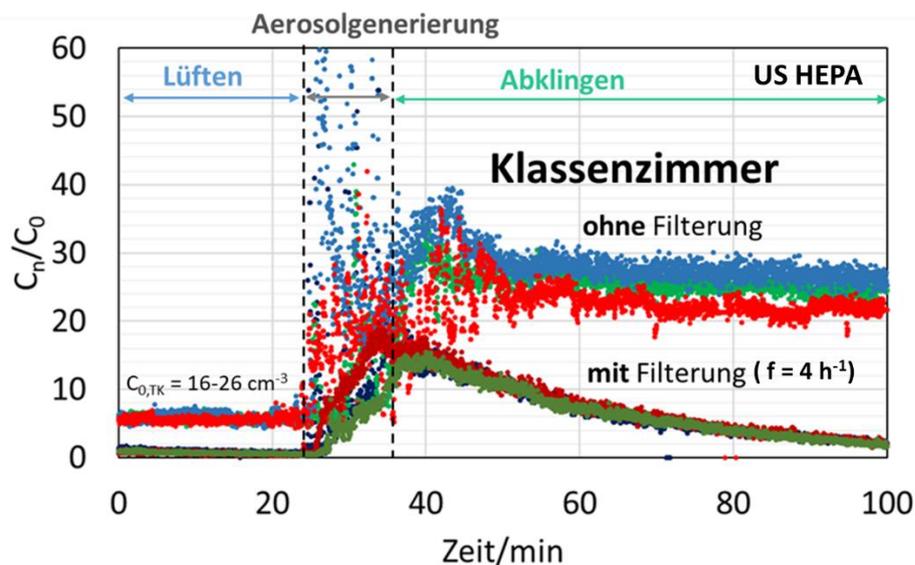


Abbildung 7: Partikelanzahlkonzentration mit & ohne Filterung der Raumluft

Eine deutliche Strähnenbildung zeigt sich bei allen Messpositionen ohne Betrieb des Lüfters. Vor allem die Messposition in unmittelbarer Nähe des Auslasses des Aerosolgenerators erfasst eine erhöhte Partikelkonzentration (hellblaue Kurve). Nach Beendigung der Partikelgenerierung detektieren die drei Partikelmessgeräte nach ca. 10 Minuten annähernd gleichbleibende Partikelanzahlkonzentrationen, wenn die Luft nicht gefiltert wird. Dies lässt auf eine gleichmäßige Verteilung der Partikel im Raum schließen. Bei Betrieb des Luftreinigers kommt es zu einer signifikant geringeren Ausbildung von lokal erhöhten Partikelanzahlkonzentrationen zum Zeitpunkt der Aerosolgenerierung. Die Raumluft wird im gesamten Raum homogen abgesaugt und gefiltert, worauf die annähernd gleichen Verläufe der Abklingkurven schließen lassen (mit Filterung).

Abbildung 8 zeigt die Partikelgrößenverteilung zu drei verschiedenen Zeitpunkten im Raum (F1-F3) mit und ohne Betrieb des Lüfters (OurAir TK 850). Zu Beginn der Messung ($t = 0$ min) sind die drei Partikelgrößenverteilungen in beiden Messungen vergleichbar (mit und ohne Filterung). Zum Zeitpunkt der Aerosolgenerierung ($t = 30$ min) mindert die Filterung deutlich den Anstieg der Partikelanzahlkonzentration im Vergleich zur Messung ohne Filterung. Ca. 60 Minuten nachdem die Aerosolquelle abgeschaltet wurde, konnte durch die Filterung eine deutlich niedrigere Partikelanzahlkonzentration in der Luft erreicht werden, als durch einfaches Lüften.

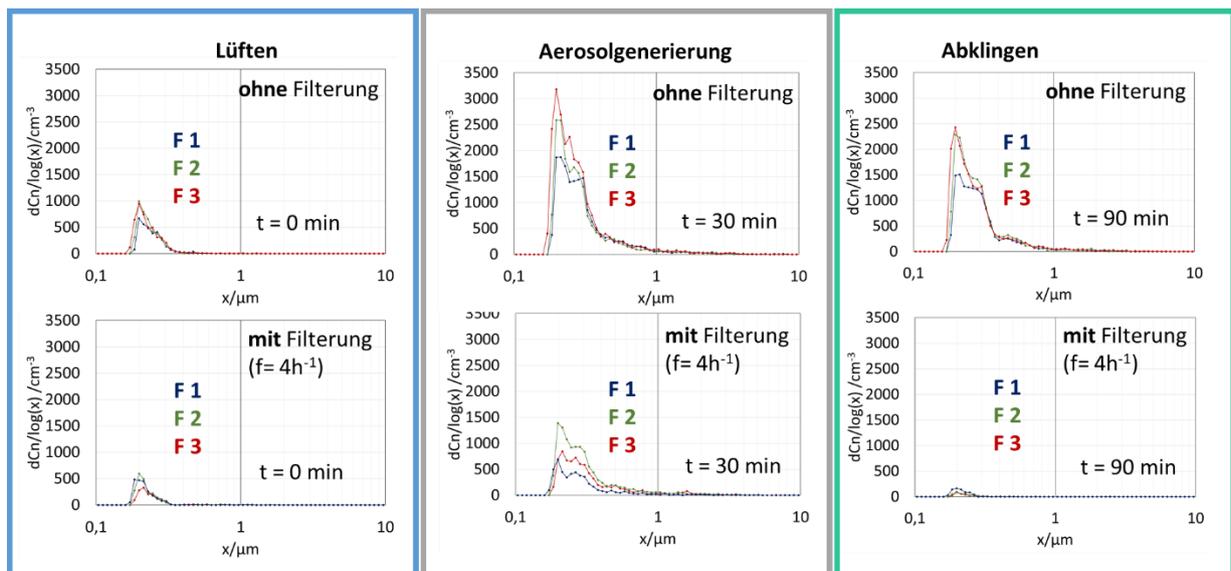


Abbildung 8: Partikelgrößenverteilung mit & ohne Filterung der Raumluft

Untersuchungen der zeitlichen Entwicklung der Partikelanzahlkonzentration in einem Klassenzimmer der GMS Eggenstein-Leopoldshafen mit einem HEPA H14 Filterelement

Bisher wurde bei allen Messreihen ein US HEPA Filterelement zur Filterung verwendet. Bei dieser Messung erfolgte erstmals der Einsatz eines HEPA H14 Filterelements, das für den europäischen Markt ausgelegt ist. In Tabelle 8 ist das Vorgehen dargestellt.

Tabelle 8: Versuchsablauf

1. Messung	OurAir TK 850 an
Lüften (15 min)	nein
Aerosolerzeugung (20 min)	nein
Filtern HEPA H14 (850 m ³ /h)	ja

Vor dem Versuch wurde erneut gelüftet und anschließend 20 Minuten lang ein Tropfen- Aerosol erzeugt und mittels Ventilatoren im Raum verteilt. Nachdem die künstliche Aerosolgenerierung beendet wurde, wurde die Luft durch den neuen HEPA H14 Filter bei einem Volumenstrom von $\dot{V}=850 \text{ m}^3/\text{h}$ gefiltert.

Ergebnis und Diskussion:

In Abbildung 9 ist zusätzlich zur Abklingkurve des neuen HEPA H14 Filterelements zum Vergleich, die bereits bekannte Abklingkurve des US HEPA Filters dargestellt.

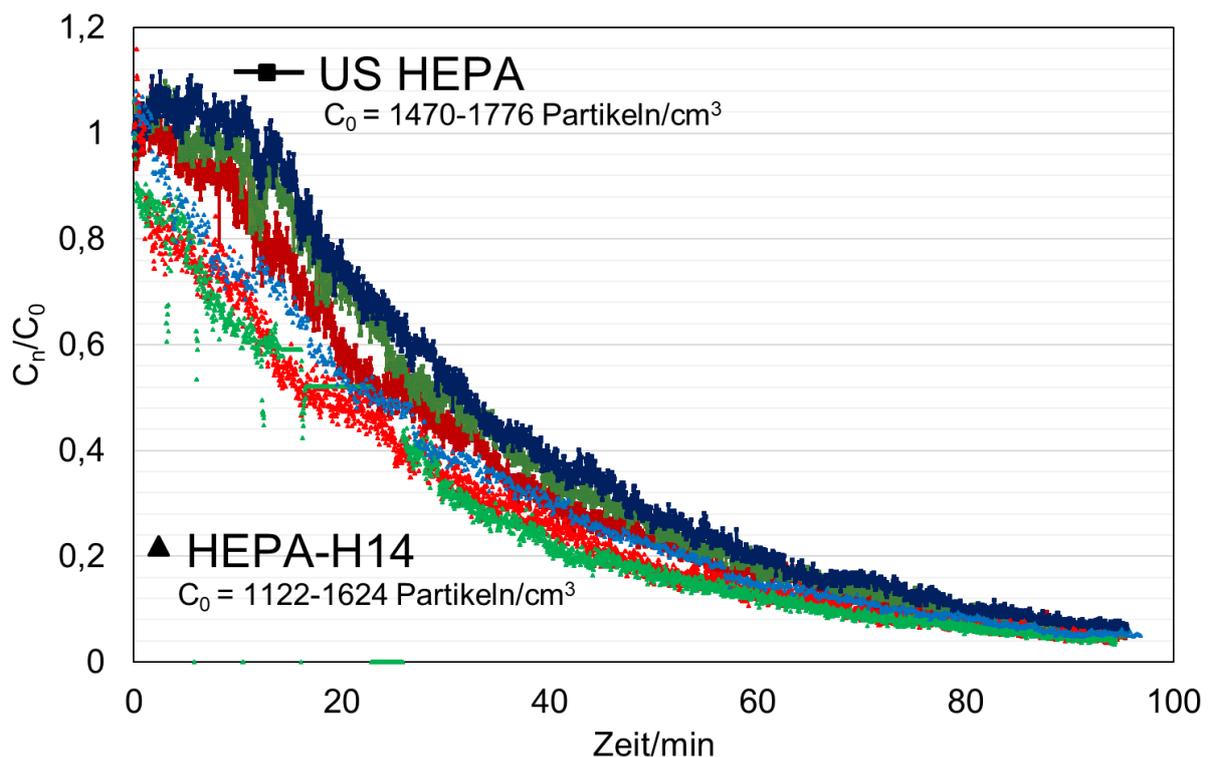


Abbildung 9: Abklingkurven, US-HEPA und HEPA H14

Die Abklingkurven beider Filterelemente weisen ähnliche Verläufe auf. Berücksichtigt man die etwas geringere Anfangskonzentration bei dem HEPA H14 Element, so lässt sich die etwas schnellere Abnahme der Partikelanzahlkonzentration im Vergleich zum US HEPA Element erklären.

Untersuchungen der zeitlichen Entwicklung der Partikelanzahlkonzentration in einem Klassenzimmer mit 15 Personen bei Schulbetrieb

Im Rahmen dieser Messreihe sollte der OurAir TK 850 unter realen Bedingungen im Schulbetrieb getestet werden (Tabelle 9). Für die Messungen befanden sich insgesamt 15 Personen im Klassenzimmer. Um die Zunahme der Partikelanzahlkonzentration ohne Luftfilterung zu testen, wurde nach der Lüftungsphase, die Fenster und Türen für 45 Minuten geschlossen. Nach 45 Minuten wurde erneut gelüftet und der Lüfter (OurAir TK 850) 45 Minuten eingeschaltet. Hierbei wurde der HEPA H14 Filter getestet, der auch für den europäischen Markt eingesetzt werden soll.

Tabelle 9: Versuchsablauf

1. Messung	Our Air TK 850 an	2. Messung	Our Air TK 850 an
Lüften (15 min)	nein	Lüften (15 min)	nein
Aerosolerzeugung durch Personen (45 min)	nein	Aerosolerzeugung durch Personen (45 min)	ja
Abklingen	nein	Filtern HEPA H14 (850 m ³ /h)	ja

Zusätzlich wurde neben der Partikelanzahlkonzentration auch die CO₂-Konzentration durch zwei Messgeräte erfasst. Zum einen wurde ein preiswertes CO₂-Messgerät der Firma Netatmo und das Handmessgerät C11 von Rotronic verwendet. Die Messungen sollte zeigen, inwiefern die CO₂-Konzentration mit der Partikelanzahlkonzentration korreliert und ob deutliche Messunterschiede zwischen einem teurerem und einem Low-Cost Messgerät bestehen.

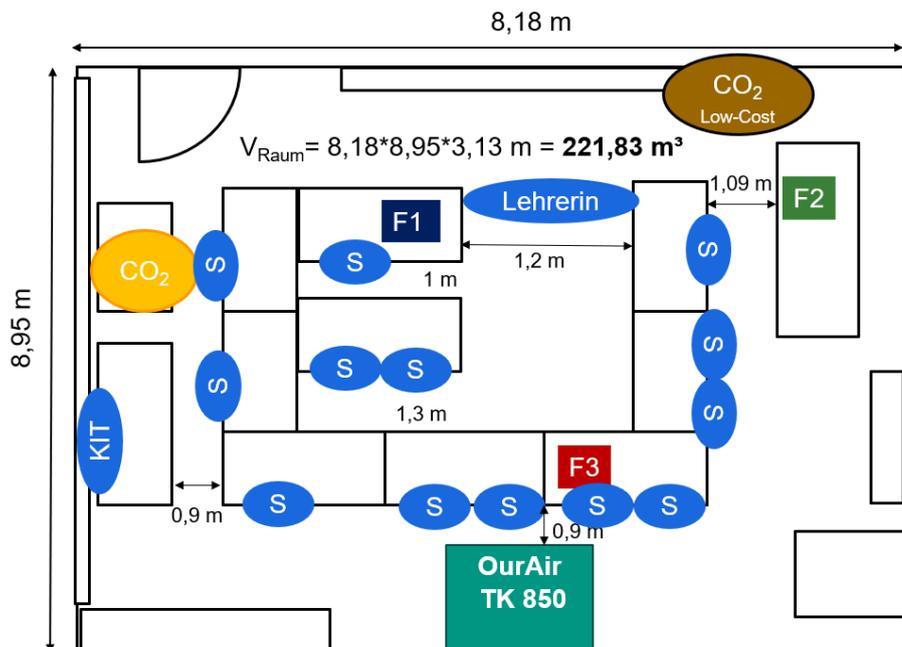


Abbildung 9: Raumskizze des Klassenzimmers mit ausgestatteter Messtechnik

Ergebnisse und Diskussion:

Abbildung 10 stellt die Abnahme der Partikelanzahlkonzentration mit und ohne Filterung dar. Auch bei der dauerhaften Anwesenheit von Quellen (Personen im Raum) zeigt sich eine deutliche Abnahme der Partikelkonzentration durch den Lüfter. Erneut sind nach 30 Minuten mehr als die Hälfte und nach 60 Minuten mehr als 80 % der Partikeln aus der Luft entfernt. Im Vergleich zur natürlichen Partikelanzahlkonzentration ohne Filterung, nimmt die Partikelanzahlkonzentration trotz verschiedener Aerosolquellen im Raum, homogen durch die Filterung ab.

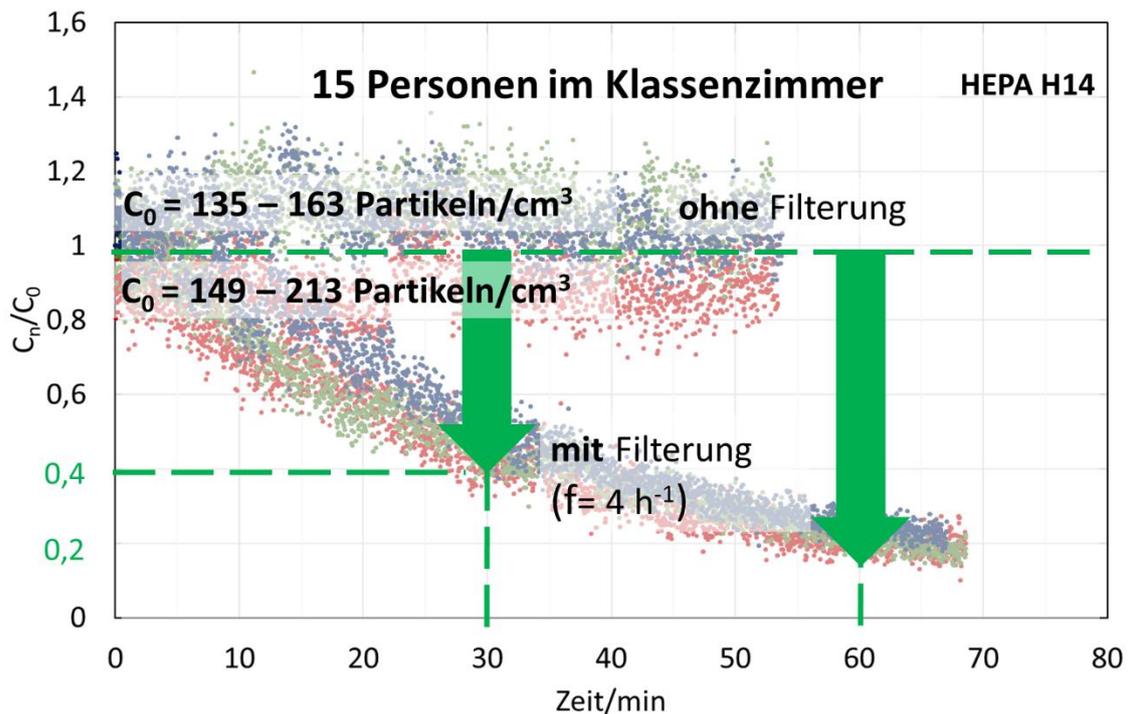


Abbildung 10: Partikelanzahlkonzentration mit und ohne Filterung der Raumluft im Schulbetrieb

CO₂ – Konzentration vs. Partikelanzahlkonzentration

In vielen Veröffentlichungen wird diskutiert, dass anhand der CO₂-Konzentration im Raum auch eine Aussage über die Aerosolkonzentration getroffen werden kann (S. N. Rudnick und D. K. Milton 2003). Abbildung 11 zeigt den Verlauf der CO₂-Konzentration bei Anwesenheit von 15 Personen in einem Klassenzimmer. Das teurere Handmessgerät CP11 (gelbe Punkte) erfassen alle 60 Sekunden einen Wert und das preiswertere Messgerät von Netatmo (braune Punkte) alle 5 Minuten. Innerhalb der ersten 50 Minuten steigt die CO₂-Konzentration durch die Personen bis zu 1200 ppm an. Durch Lüften sinkt die CO₂-Konzentration innerhalb von 20 Minuten auf ein konstantes Niveau von ca. 450 ppm ab. Nach Einschalten des Lüfters (OurAir TK 850) steigt der CO₂-Anteil in der Luft durch die Personen im Raum erneut an, da der HEPA H14 Filter nur Partikeln aus der Luft entfernt. Die Partikelanzahlkonzentration im Raum sinkt entsprechend durch die Filterung. Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl das Handmessgerät CP11 als auch das Messgerät von Netatmo ähnliche Messwerte

detektieren. Aus diesem Grund würde sich das Low-Cost CO₂- Messgerät auf jeden Fall zur Überwachung der CO₂-Konzentration im Klassenzimmer eignen und könnte als Indikator für Lüftungsphasen dienen.

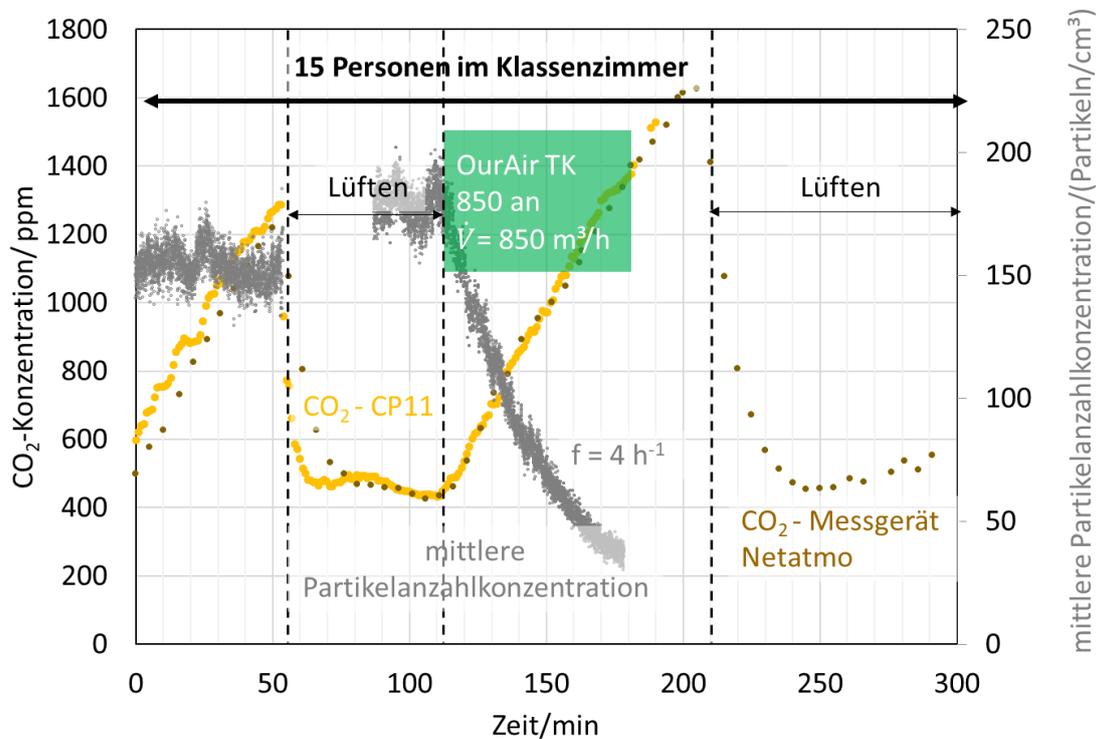


Abbildung 11: Vergleich der CO₂-Konzentration Netatmo vs. CP11

Zusammenfassung:

Die Ergebnisse zu den Untersuchungen der zeitlichen Entwicklung der Partikelanzahlkonzentration im Büro und Klassenzimmer zeigen, dass durch einen qualitativ hochwertigen Luftreiniger (ausgestattet mit einem hoch wirksamen Filtermedium) die Aerosolkonzentration im Innenraum schnell deutlich abgesenkt und auf einem konstant niedrigen Niveau gehalten werden kann. Bei einer Raumgröße, für die der Lüfter ausgelegt ist, in diesem Fall das Büro, kann eine signifikante Reduktion der Partikelanzahlkonzentration erreicht werden. Der zeitliche Rückgang der Partikelanzahlkonzentration hängt neben der Qualität des Filtermediums entscheidend vom Verhältnis des Volumenstroms des Lüfters zum Raumvolumen (also der sog. „Filterrate“) ab. Bei gleichbleibender Raumgröße sinkt die Partikelanzahlkonzentration mit steigendem Volumenstrom schneller ab. Tendenziell nimmt die Partikelanzahlkonzentration im Raum umgekehrt proportional mit dem Verhältnis des Volumenstroms zum Raumvolumen ab. Durch eine lokale Punktquelle im Raum konnte gezeigt werden, dass die Raumluft bzw. das Aerosol durch den Lüfter homogen im Raum umgewälzt und gleichmäßig an allen Messpositionen gemindert werden kann. Die Partikelanzahl sank durch das Filtern auf ein niedrigeres Niveau als es durch Lüften erreicht wurde. Auch im realen Schulbetrieb mit natürlichen Aerosolquellen

wurde die Partikelanzahlkonzentration schnell und deutlich abgesenkt. Eine Korrelation zwischen Partikelanzahlkonzentration und CO₂-Konzentration konnte im Rahmen dieser Untersuchungen nicht festgestellt werden. Der Vergleich zwischen dem Low-Cost Messgerät (Netatmo) und einem teureren CO₂-Handmessgerät (Rotronic-CP11) ergab keine signifikanten Unterschiede in den Messergebnissen.

Literaturverzeichnis

- Jayaweera, Mahesh; Perera, Hasini; Gunawardana, Buddhika; Manatunge, Jagath (2020): Transmission of COVID-19 virus by droplets and aerosols: A critical review on the unresolved dichotomy. In: *Environmental research* 188, S. 109819. DOI: 10.1016/j.envres.2020.109819.
- Kähler, Christian J.; Fuchs, Thomas; Hain, Rainer (2020): Können mobile Raumlufreiniger eine indirekte SARS-CoV-2 Infektionsgefahr durch Aerosole wirksam reduzieren? Hg. v. Universität der Bundeswehr München. Strömungsmechanik und Aerodynamik. Online verfügbar unter <https://www.unibw.de/lrt7/raumlufreiniger.pdf>, zuletzt geprüft am 18.09.2020.
- Kähler, Christian J.; Hain, Rainer (2020): Fundamental protective mechanisms of face masks against droplet infections. In: *Journal of aerosol science* 148, S. 105617. DOI: 10.1016/j.jaerosci.2020.105617.
- Lu, Jianyun; Gu, Jieni; Li, Kuibiao; Xu, Conghui; Su, Wenzhe; Lai, Zhisheng et al. (2020): COVID-19 Outbreak Associated with Air Conditioning in Restaurant, Guangzhou, China, 2020. In: *Emerging infectious diseases* 26 (7), S. 1628–1631. DOI: 10.3201/eid2607.200764.
- Morawska, Lidia; Cao, Junji (2020): Airborne transmission of SARS-CoV-2: The world should face the reality. In: *Environment international* 139, S. 105730. DOI: 10.1016/j.envint.2020.105730.
- Noh, Kwang-Chul; Oh, Myung-Do (2015): Variation of clean air delivery rate and effective air cleaning ratio of room air cleaning devices. In: *Building and Environment* 84, S. 44–49. DOI: 10.1016/j.buildenv.2014.10.031.
- Pyankov, Oleg V.; Bodnev, Sergey A.; Pyankova, Olga G.; Agranovski, Igor E. (2018): Survival of aerosolized coronavirus in the ambient air. In: *Journal of aerosol science* 115, S. 158–163. DOI: 10.1016/j.jaerosci.2017.09.009.
- Robert-Koch-Institut (2020a). Robert-Koch-Institut. Online verfügbar unter <https://experience.arcgis.com/experience/478220a4c454480e823b17327b2bf1d4>.
- Robert-Koch-Institut (2020b): SARS-CoV-2 Steckbrief zur Coronavirus-Krankheit-2019 (COVID-19). Stand: 18.9.2020. Online verfügbar unter https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Steckbrief.html#doc13776792bodyText2.
- S. N. Rudnick; D. K. Milton (2003): Risk of indoor airborne infection transmission estimated from carbon dioxide concentration (*Indoor Air*, 13; 237–245).
- van Doremalen, Neeltje; Bushmaker, Trenton; Morris, Dylan H.; Holbrook, Myndi G.; Gamble, Amandine; Williamson, Brandi N. et al. (2020): Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. In: *The New England journal of medicine* 382 (16), S. 1564–1567. DOI: 10.1056/NEJMc2004973.

Zhang, Renyi; Li, Yixin; Zhang, Annie L.; Wang, Yuan; Molina, Mario J. (2020): Identifying airborne transmission as the dominant route for the spread of COVID-19. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 117 (26), S. 14857–14863. DOI: 10.1073/pnas.2009637117.