

Analyse eines *Viromed Virosafe 2000/F800* Raumluftreinigers mit Außenluftzuführung in einem 80 m² großen Raum

Christian J. Kähler, Rainer Hain
Universität der Bundeswehr München
Institut für Strömungsmechanik und Aerodynamik
Werner-Heisenberg-Weg 39, 85577 Neubiberg

1. Einleitung

Die Filterung von festen und flüssigen Schadstoffen (Viren, Bakterien, Pilzsporen, Feinstaub, Pollen, Asbest) aus der Raumlufte wird seit Jahrzehnten mit mobilen Luftreinigern mit Filtern der Klasse H13 oder H14 realisiert und daher werden nur diese Filter für die Abscheidung von Viren empfohlen [1]. Diese Filter sind gemäß der Norm EN 1822 und DIN EN 60335-2-69 in der Lage, 99,95% bzw. 99,995% der Schadstoffe mit einem Durchmesser ab 0,1 – 0,3 µm beim einmaligen Durchströmen aus dem Luftstrom herauszufiltern [2]. Im Rahmen der Pandemie werden diese Geräte in Büros, Geschäften und Schulen vielfach genutzt, um das indirekte SARS-CoV-2 Infektionsrisiko zu reduzieren. Eine indirekte Infektion kann immer dann auftreten, wenn die Raumlufte mit Viren kontaminiert ist und sich Personen ohne Immunität in einem Zeitraum von 24 Stunden hinreichend lange in der belasteten Umgebung aufhalten [3, 4]. Um die indirekte Infektionswahrscheinlichkeit zu verringern, muss entweder die Virenlast im Raum vermindert oder die Verweilzeit in kontaminierten Räumen verkürzt werden. Da letzteres aufgrund der Arbeitsprozesse oft nicht möglich ist, müssen Maßnahmen zur Reduzierung der Virenlast im Raum etabliert werden.

Die freie Lüftung über Fenster ist eine Möglichkeit, um die Virenlast im Raum zu reduzieren. Allerdings verfügen moderne Gebäude oft nicht über eine ausreichende zu öffnende Fensteranzahl, da Fenster heute in vielen Bereichen eingebaut werden, um für ausreichend Licht zu sorgen, nicht aber um die Aufgabe der Lüftung zu übernehmen. Ferner werden viele Menschen sich weigern, alle paar Minuten die Fenster für hinreichend lange Zeit zu öffnen. Das Öffnen verursacht Arbeit, unterbricht die Arbeitsprozesse, kühlt im Winter den Raum aus und schafft somit eine unangenehme Arbeitsatmosphäre, die auch Erkältungskrankheiten befördert, da durch das Lüften im Winter die Luftfeuchte abnimmt und somit Infektionskrankheiten leichter übertragen werden können. Darüber hinaus ist die Effizienz der freien Lüftung davon abhängig, wie stark der Wind vor den Fenstern weht und wie groß der Temperaturunterschied zwischen drinnen und draußen ist [5, 6]. Da der Wind oft nicht ausreichend stark ist und der Temperaturunterschied mit zunehmender Lüftungsdauer abgebaut wird, ist der mögliche Lüftungserfolg

nicht nur von der baulichen Ausstattung (Anzahl und Größe der Fenster) und der Bereitschaft der Menschen abhängig, sondern auch physikalisch durch nicht beeinflussbare Faktoren (Wind, Temperatur) begrenzt. Schließlich wird bei der freien Lüftung massiv Energie verschwendet.

Deutlich besser sind daher technische Maßnahmen wie raumluftechnische (RLT) Anlagen. Dabei handelt es sich um fest verbaute Lüftungssysteme in Gebäuden, die bei modernen Ausführungen mit Wärmerückgewinnung arbeiten. Diese Anlagen gewährleisten unabhängig von den physikalischen Bedingungen und dem Willen der Menschen einen gleichbleibenden Lüftungserfolg. Gegenwärtig lautet die Empfehlung, diese Anlagen mit 100% Außenluft zu betreiben und den Volumenstrom zu maximieren, um das Infektionsrisiko zu minimieren [7]. Die Effektivität einer hochmodernen RLT Anlagen im Vergleich zur Querlüftung und der einseitigen Fensterlüftung sind in [8] dargestellt. Aufgrund der klimatischen Verhältnisse sind diese Anlagen in unseren Breitengraden jedoch in vielen Gebäuden nicht verbaut. Eine Nachrüstung der RLT Anlagen in bestehende Gebäude ist in der Regel sehr aufwändig oder oft nicht möglich, da diese bereits beim Bau der Gebäude eingeplant und installiert werden müssen. Eine Nachrüstung kann nur in einzelnen Räumen realisiert werden, aber dazu müssen in jedem Raum Kernbohrungen durch das Außenmauerwerk durchgeführt werden. Dazu sind oft zeitlich aufwändige Genehmigungsverfahren erforderlich. Ferner ist die Anschaffung sehr kostspielig und die Installation zeitintensiv.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, mobile Raumluftreiniger zu nutzen. Diese erfordern keinen baulichen Aufwand - sie benötigen lediglich etwas Platz und eine Steckdose zum Betrieb. Die Wirkungsweise der Raumluftreiniger wurde in verschiedenen unabhängigen Studien erforscht [9, 10, 11, 12, 13]. Inzwischen herrscht weitgehender Konsens, dass diese Geräte einen sehr wirksamen Beitrag zur Reduzierung von indirekten SARS-CoV-2 Infektionen leisten können [14, 15]. Insbesondere im Hinblick auf die zunehmende Ausbreitungsgeschwindigkeit mutierter Virusvarianten herrscht Einigkeit, dass technische Maßnahmen zum Infektionsschutz notwendig sind, da Maßnahmen, die alleine auf das Verhalten der Menschen setzen, mit zunehmender Zeit immer mehr an ihre Grenzen kommen und darüber hinaus Staat, Wirtschaft und die Gesellschaft nachhaltig belasten. Dass die mobilen Raumluftreiniger zum Abscheiden der Viren geeignet sind, ist seit Jahrzehnten erwiesen. Dass der Aufstellungsort relativ frei gewählt werden kann und der Lüftungserfolg auch nicht wesentlich durch Möbel oder bewegte Personen im Raum behindert wird, wurde auch gezeigt [13]. Personen im Raum sind sogar vorteilhaft, da sie die Vermischung der Luft im Raum durch Bewegung, Atmung und die Körperwärme befördern und für eine gleichmäßige Abnahme der Viren in allen Raumbereichen sorgen. Auch die Raumluftreiniger versetzen die Raumluft zusätzlich in Bewegung, so dass eine effiziente Reduktion der Virenlast im Raum gewährleistet ist. Die Luftbewegungen im Raum sind dabei so gering, dass sie nicht gespürt werden [12, 16]. Lediglich direkt am Ansaug- und Ausblasbereich sind Luftbewegungen vorhanden, wie sie auch bei der Fensterlüftung auftreten. Während aber die Fensterlüftung aufgrund der Temperaturänderungen im gesamten Raum für unangenehme Verhältnisse sorgt, ist bei den Raumluftreinigern, die das 6-fache des Raumvolumens pro Stunde filtert, lediglich direkt am Gerät ein Luftstrom spürbar [12, 16].

Ein wesentlicher Kritikpunkt, der gegen die mobilen Raumluftreiniger hervorgebracht wird, ist die Lärmemission. Bei großen leistungsstarken Geräten beträgt der Schallpegel bei einem Volumenstrom von 1200m³/h weniger als 52 dB(A). Dies entspricht in etwa der Lautstärke in einer Schulklasse, in der nicht geredet wird. Kleine Geräte erreichen diese Werte schon bei rund 300 m³/h. Daher empfiehlt es sich, große Geräte zu nutzen. Ist der Lärmpegel weiterhin zu groß, dann kann er durch den gleichzeitigen Einsatz mehrere Geräte weiter reduziert werden, wenn der Volumenstrom der einzelnen Geräte entsprechend reduziert wird. Die Umsetzung dieser

Maßnahme ist aber mit erhöhten Kosten verbunden, wenn ein bestimmter Volumenstrom mit mehreren Geräten realisiert wird anstatt mit einem. Da auch die freie Lüftung mit Lärm verbunden ist, insbesondere wenn die Räume Richtung Straße oder anderen Lärmquellen ausgerichtet sind, sollten im Rahmen der Pandemie diese Konzepte nicht mit dem Lärmargument verhindert werden, denn ein erhöhter Geräuschpegel ist sicher besser als eine erhöhte Infektionsgefahr durch ein potentiell tödliches Virus. Es ist auch nicht nachvollziehbar, warum eine leichte Erhöhung des Geräuschpegels kritisch sein soll, eine starke Abnahme der Lufttemperatur durch die freie Lüftung aber toleriert werden muss. Laut Arbeitsschutz darf in Büro und Unterrichtsräumen bei leichter Tätigkeit die reine Lufttemperatur (ohne Wärmestrahlung von den Wänden) nicht geringer als 20°C sein [17].

Schließlich wird als Kritik benannt, dass diese mobilen Geräte im Umluftbetrieb arbeiten und daher zwar sehr wirtschaftlich sind, weil keine thermische Energie zum Fenster entweicht, aber durch den Umluftbetrieb das Problem des CO₂ Anstiegs in der Raumluft nicht verhindert wird [18]. Es ist natürlich die Frage, warum ein Gerät, das die Gefahr einer indirekten Infektion reduziert, jetzt auch noch Probleme lösen soll, die seit Jahrzehnten bestehen und nicht behoben wurden. Andererseits ist mit dem VIROSAFE 2000/F800 Raumluftreiniger der Firma Viomed ein sehr leistungsstarkes, mobiles Gerät verfügbar, das die Raumluft im Umluftbetrieb energieeffizient filtert und gleichzeitig durch einen Bypass kontrolliert Außenluft in der gewünschten Menge dem Raum zuführen kann, um einen CO₂ Anstieg entgegenzuwirken [19]. Dieses Gerät kann somit immer dann eingesetzt werden, wenn nicht nur Viren, Bakterien, Pilzsporen, Feinstaub, Pollen oder Stoffe wie Asbest aus der Raumluft beseitigt werden müssen, sondern auch CO₂ oder andere Ausdünstungen aus den Menschen, den Objekten im Raum oder dem Gebäude entfernt werden sollen.

Es ist klar, dass die von außen einströmende Luftmasse kompensiert werden muss, da einerseits ein Gebäude kein Luftballon ist und andererseits der Luftdruck im Raum nicht beliebig gesteigert werden kann, aber auch, weil kontaminierte Raumluft durch Zuführung von Außenluft unkontrolliert in andere Gebäudeteile strömen könnte. Die kontrollierte Zuführung von Außenluft mit einem sehr leistungsstarken Raumluftreiniger führt daher zu folgenden wissenschaftlichen Fragestellungen:

- Wie hängt die Filterleistung im reinen Umluftbetrieb vom Volumenstrom ab, wenn der Luftreiniger bei sehr große Volumenströmen betrieben wird?
- Wie ändert sich die Konzentration der Aerosolpartikel im Raum, wenn neben der Abscheidung der Aerosolpartikel im Umluftbetrieb zusätzlich kontrolliert Außenluft über einen Bypassschlauch passiv oder aktiv (mit Zusatzlüfter) zugeführt wird?
- Ist es empfehlenswert, die kontrollierte Zuführung der Außenluftmasse durch das Gerät über ein leicht geöffnetes Fenster zu kompensieren, um einem Entweichen der Aerosolpartikel aus dem Raum in andere Gebäudeteile entgegenzuwirken?

Diese Fragen sollen im Rahmen dieser Studie mithilfe von kontrollierten wissenschaftlichen Experimenten beantwortet werden, da die Komplexität der Phänomene nur experimentell richtig erfasst und analysiert werden kann.

2. Messaufbau und Datenanalyse

Zur Beantwortung der wissenschaftlichen Fragestellungen wurde ein VIROSAFE 2000/F800 Raumluftreiniger der Firma Viomed verwendet. Das Gerät hat laut Herstellerangaben [19] einen Volumenstrom von bis zu 2000 m³/h im reinen Umluftbetrieb. Durch Zuschalten der Außenluft kann der Gesamtvolumenstrom laut Herstellerangaben auf bis zu 2800 m³/h erhöht werden [19]. Das Gerät verfügt über F7 und F9 Vorfilter gemäß EN 779:2012, die den groben

Schmutz in der Raumluft abscheiden und den hochleistungs Schwebstofffilter vor einer Kontamination schützen. Der Schwebstofffilter der Klasse H14 nach EN 1822-1 scheidet somit lediglich die von den Vorfiltern schwer oder nicht zu entfernende Aerosolpartikel und damit auch die Viren ab [1, 2]. Dadurch wird gewährleistet, dass sich die Lebensdauer des H14 Filters verlängert und er nicht regelmäßig gereinigt werden muss. Wird zusätzlich Luft von außen angesaugt, dann wird diese durch einen G4 Grobstaubfilter vorgefiltert und anschließend durch die F7 und F9 Feinstaubfilter und den H14 Schwebstofffilter geleitet, bevor sie in den Raum geführt wird. Daher ist auch die gesamte Außenluft, die von dem Raumluftreiniger in den Raum geführt wird, frei von Feinstaub, Pollen und anderen Schwebstoffen. Abbildung 1 zeigt konzeptionell den Aufbau des Gerätes und die Luftführung im Umluft- und Überdruckmodus mit Außenluftzufuhr.

Umluftmodus

Überdruckmodus (optional)

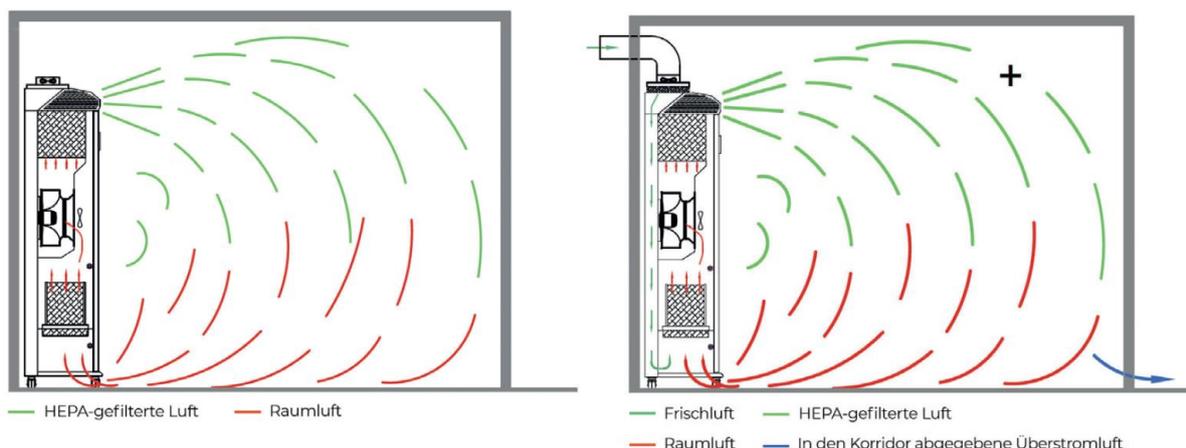


Abbildung 1: Funktionsweise des VIROSAFE 2000/F800 Raumluftreiniger der Firma Viomed aus [18].

Die Messungen wurden gemäß Abbildung 2 in einem Raum mit einer quadratischen Grundfläche von 80 m^2 und einer Höhe von $2,5 \text{ m}$ durchgeführt. Der Raumluftreiniger wurde dicht an einer Seitenwand positioniert, da diese Anordnung einer typischen Anordnung in der Praxis entspricht. Der Abstand des Gerätes von der Wand betrug $0,5 \text{ m}$.

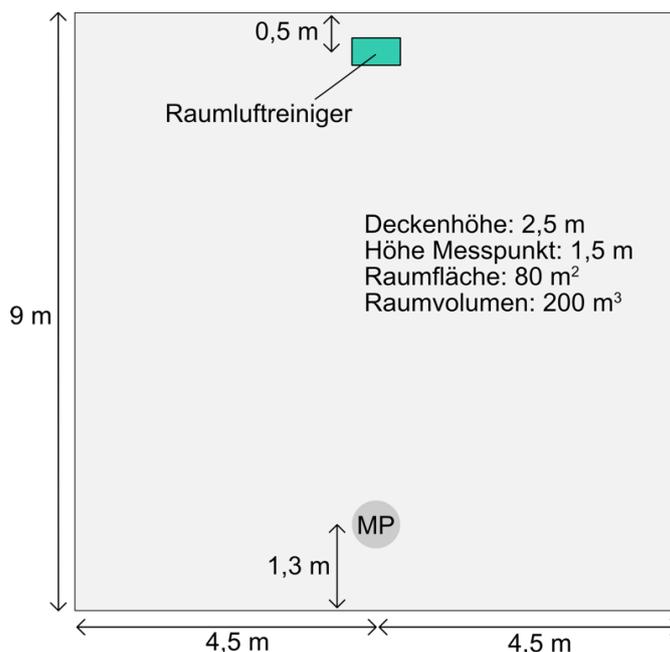


Abbildung 2: Abmessungen und Position des Raumluftreinigers und der Messposition (MP) im Raum.

In der unteren Ecke an der linken Seitenwand befindet sich eine Tür mit einer Fläche von 890^B mm \times 2050^H mm. Diese wurde in einem Teil der Experimente für die kontrollierte Beseitigung der Aerosolpartikel aus dem Raum geöffnet und war sonst verschlossen. Der Temperaturunterschied zwischen drinnen und draußen war nahe Null und es gab draußen keinen Wind. Der Abstand zwischen Raumlufreiniger und Öffnung wurde hinreichend groß gewählt, damit die Zu- und Abführung der Luft eine effiziente Raumlufströmung befördert.

Für die Bestimmung der Reinigungseffizienz wurden vor Beginn der Messung künstlich erzeugte DEHS Aerosolpartikel mit einem mittleren Durchmesser von ca. $0,4 \mu\text{m}$ in den Raum eingebracht und homogen verteilt. Die Größe dieser Partikel liegt in dem Bereich der von infizierten Menschen emittierten und mit Viren belasteten Partikel nach dem Verdunsten der flüssigen Phase [20]. Ferner lassen sich Partikel dieser Größe nur mit sehr guten Filtern effizient herausfiltern [1, 2]. Die Partikel folgen der Strömung im Raum nahezu ideal und sie verdunsten nicht im Rahmen der Messzeit, so dass systematische Messfehler durch Ablagerung und Verdunstung der Partikel ausgeschlossen werden können. Ferner wurde der Raum abgedichtet, so dass kein nennenswerter Anteil der Aerosolpartikel unkontrolliert durch Schlitz und Türspalte aus dem Raum austritt und die Messergebnisse verfälscht. Ferner wurden Referenzmessungen bei ausgeschaltetem Raumlufreiniger durchgeführt, um alle Restleckagen zu quantifizieren. Die Durchführung einer solchen Referenzmessung ist zwingend erforderlich, da sonst die Effizienz der Geräte überschätzt werden kann und eine Bewertung der Filterleistung nicht verlässlich möglich ist.

Der zeitliche Verlauf der Partikelkonzentration wurde mithilfe eines *Promo 3000* Partikelzählers der Firma Palas mit einem *Welas 2300* Sensorkopf erfasst. Für die Messungen wurde jeweils der maximale Volumenstrom (*max. Stufe*) gewählt und die Hälfte des maximalen Volumenstromes (*max. Stufe/2*). Aus den gemessenen Partikelkonzentrationen über der Zeit wurde die Abklingrate k mit der Einheit [1/h] und die Halbwertszeit $T_{1/2}$ in der Einheit Stunden [h] bestimmt. k ist in der Lüftungstechnik auch als Luftwechsel, Luftwechselzahl oder Luftwechselrate bekannt. Mithilfe von k kann die zeitliche Entwicklung der Partikelkonzentration C bestimmt werden, sofern das Raumvolumen V [m^3] und die Stärke S [Partikel/h] der Verunreinigungsquelle bekannt sind. Die sich nach längerer Zeit stationär einstellende Konzentration $c_{\text{stationär}}$ kann folgendermaßen berechnen werden:

$$c_{\text{stationär}} = \frac{S}{k \cdot V} \quad (1)$$

Je höher k ist, desto schneller werden potentiell gefährliche Aerosolpartikel entfernt, bzw. desto geringer wird die sich nach längerer Zeit einstellende Konzentration und damit die indirekte Infektionswahrscheinlichkeit sein.

3. Messergebnisse

Die gemessenen, normierten Partikelkonzentrationen über der Zeit sind in Abb. 3 bis 5 dargestellt. Die mit schwarzen Punkten visualisierte Referenzmessung zeigt, dass die zeitliche Abnahme der Aerosolpartikel ohne Betrieb des Raumlufreinigers sehr gering ist. Die Abnahme entspricht gemäß Tabelle 1 einem Luftwechsel von 0,1 bzw. einer Halbwertszeit von knapp 7 Stunden.

Wird der Raumlufreiniger eingeschaltet, dann ergeben sich für die beiden Volumenströme *max. Stufe* und *max. Stufe/2* gemäß Abbildung 3 der rote und blaue Verlauf in Abhängigkeit von der Zeit. Die Abnahme folgt jeweils einem exponentiellen Verlauf und die Abklingkonstanten sind der Tabelle 1 zu entnehmen. Die gemessene Abklingkonstante k entspricht der tatsächlichen Luftwechselrate pro Stunde. D.h. bei maximalem Volumenstrom können im reinen

Umluftbetrieb ohne zusätzlicher Zuführung von Außenluft 8,1 Luftwechsel pro Stunde mit dem Gerät in dem Raum realisiert werden und 5,1 bei einer Halbierung des maximalen Volumenstromes. Das entspricht einer Halbwertszeit von 0,14 und 0,09 Stunden oder 8,4 bzw. 5,4 Minuten. Dass eine Verdoppelung des Volumenstromes nicht zu einer Verdoppelung der Filterleistung führt hängt damit zusammen, dass mit zunehmendem Volumenstrom die Durchmischung der Raumluft nicht schnell genug erfolgt, um eine ideale Durchmischung zu realisieren. D.h. mit zunehmendem Volumenstrom werden bereits gefilterte Luftmassen erneut gefiltert, bevor sie hinreichend mit Aerosolpartikeln durch Mischung versetzt wurden. Dieser Effekt ist typisch für die Mischlüftung. Damit ist die Antwort auf die erste wissenschaftliche Fragestellung gefunden.

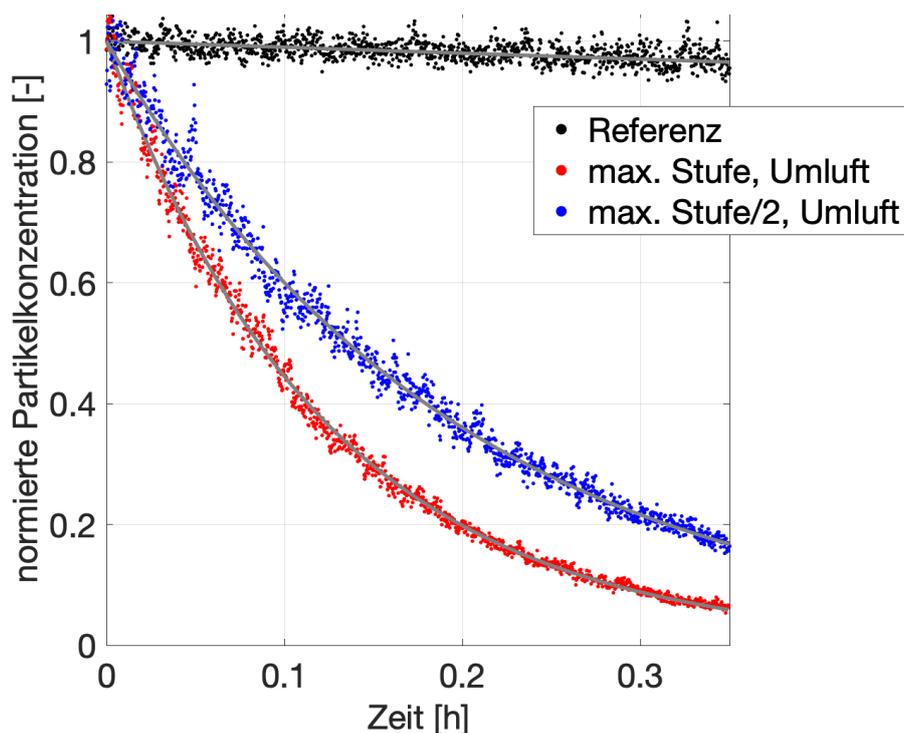


Abbildung 3: Normierte Partikelkonzentrationen über der Zeit für die Referenzmessung und den Raumluftreiniger bei zwei verschiedenen Volumenströmen im reinen Umluftbetrieb.

Die gemessenen Werte zeigen klar, dass sich auch große Luftwechselraten mit dem mobilen Raumluftreiniger technisch problemlos realisieren lassen. Daher lässt sich das indirekte Infektionsrisiko mit dem analysierten Gerät stark vermindern. Ferner ist das Infektionsrisiko nicht von den Wind- und Temperaturbedingungen abhängig, wie bei der Fensterlüftung und auch nicht vom menschlichen Verhalten. Welche Luftwechselrate erforderlich ist, hängt von der Gefährlichkeit des Virus, der Anzahl der infizierten Personen im Raum und deren Aktivität, sowie dem Sicherheitsbedürfnis ab. Luftwechselraten um die 6 werden als guter Richtwert angenommen [12, 16]. Wenn aufgrund von Mutationen sich das Virus schneller verbreitet und die Anzahl der infizierten Personen zunimmt, dann sind höhere Werte empfehlenswert [15].

Zur Beantwortung der zweiten Frage zeigt Abbildung 4 zeigt die Messergebnisse mit Zuführung von Außenluft bei geschlossener Tür. Bei den Experimenten wurden zwei Fälle systematisch untersucht. Einerseits wurde die Außenluft mithilfe eines Zusatzgebläses in das Gerät geleitet und dann gefiltert und in den Raum geführt. Dieses Zusatzgebläse leistet gemäß Herstellerangaben 800 m³/h und gehört zum Lieferumfang des Gerätes [19]. Andererseits wurde das Zusatzgebläse ausgeschaltet und alleine mit dem Unterdruck im Gerät Außenluft angesaugt, ge-

filtert und in den Raum geleitet. Ein Vorteil dieses Konzepts besteht darin, dass auch die Außenluft stets gefiltert wird, so dass alle Schadstoffe in der Außenluft (Pollen, Feinstaub) aus der Luft entfernt werden und somit nicht in die Raumluft gelangen. Die Versuche wurden jeweils bei maximalem Volumenstrom durchgeführt, da eine Übertragung der Ergebnisse auf andere Volumenströme mittels der Ergebnisse aus Abbildung 3 näherungsweise möglich ist.

Zunächst ist festzustellen, dass im passiven Fall (ohne Zusatzlüfter) die Abscheiderate geringfügig kleiner ist als im Fall ohne Bypass. Der Grund dafür ist der etwas vergrößerte Strömungswiderstand, der durch die Strömung in dem Bypass und innerhalb der Luftführung im Gerät entsteht. Die Reduzierung der Luftwechselzahl von 8,1 auf 7,7 ist aber sehr gering und die Halbwertszeit wird dadurch gemäß Tabelle 1 nicht beeinflusst. Die Verhinderung des CO₂ Anstiegs im Raum kann daher mit dem System sehr effizient und bequem realisiert werden. Wird der Zusatzlüfter eingeschaltet, dann steigt die gemessene Luftwechselzahl auf 9,6 und die Halbwertszeit beträgt nur noch 4,2 Minuten. Damit ist gezeigt, dass der Zusatzlüfter einen signifikanten Effekt auf die Menge der gereinigten Luftmenge hat, die dem Raum in einer Zeiteinheit zugeführt wird. Es ist auch gezeigt, dass sich mit diesem Raumlufreiniger Luftwechselzahlen erreichen lassen, die ein sehr hohes Maß an Sicherheit vor einer indirekten Infektion bieten. Aufgrund der Leistungsfähigkeit des getesteten Gerätes ist dieses sehr gut für große Räume geeignet oder wenn aufgrund der Gefährdungslage große Luftwechselzahlen erforderlich sind.

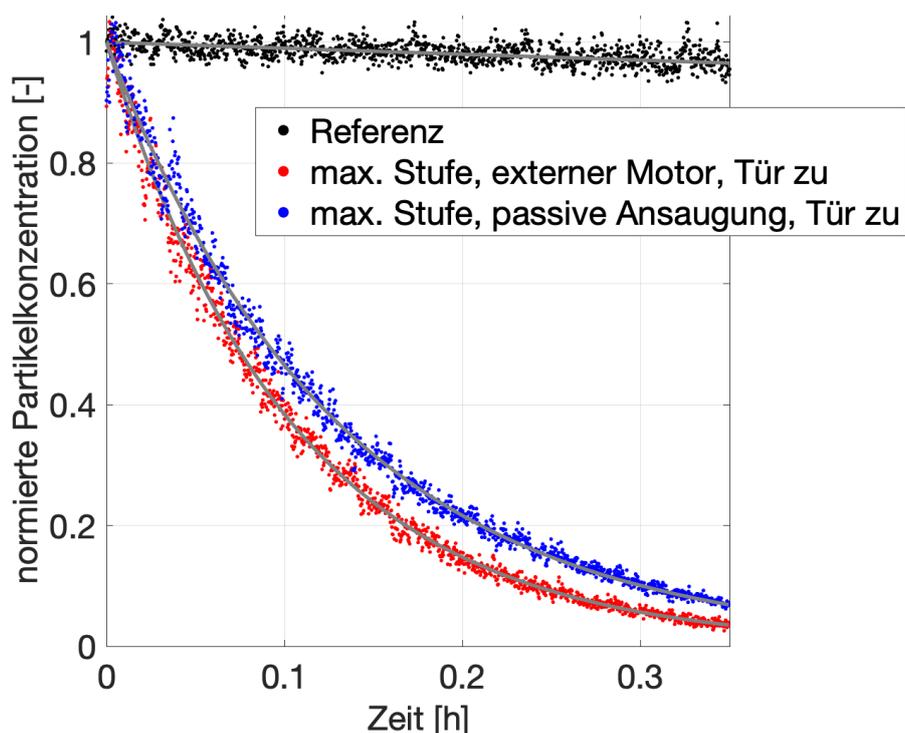


Abbildung 4: Normierte Partikelkonzentrationen über der Zeit für die Referenzmessung sowie den Bypass-Betrieb mit und ohne externen Lüfter bei geschlossener Tür.

Da die durch den Bypass von außen zugeführte Luftmasse durch Tür- oder Fensterschlitze entweichen muss und auf diese Weise auch unkontrolliert in andere Gebäudeteile gelangen kann, stellt sich die Frage, ob eine kontrollierte Abführung der von außen zugeführten Luftmasse, z.B. durch ein dauerhaft gekipptes Fenster, vorteilhaft ist. Abbildung 5 zeigt die entsprechenden Verläufe für diese Situation, wobei wieder der passive und aktive Bypassbetrieb analysiert wurde. Die Verläufe nähern sich in diesem Fall stark an und es werden Luftwechselzahlen von 9,0 und 9,6 erreicht und die Halbwertszeit beträgt lediglich 4,8 bzw. 4,2 Minuten. Die

Öffnung bewirkt, dass der Druck in dem Raum nicht nennenswert ansteigen kann und damit ist der Gegendruck, der am Lüfter im Gerät herrscht, entsprechend niedrig. Der Volumenstrom ist daher gegenüber dem Fall eines vollständig geschlossenen und weitgehend dichten Raumes vergrößert. Bei dem großen Volumenstrom tritt der Effekt in dem Experiment nicht auf, weil die Druckerhöhung aufgrund der einströmenden Luftmasse offenbar ausreicht, um bei geschlossener Tür die kontaminierte Raumluft durch Undichtigkeiten an der Tür und den Fenstern herauszudrücken. Darüber hinaus bewirkt die Öffnung, dass auch Aerosolpartikel direkt nach draußen gelangen können, was ebenfalls einen positiven Beitrag im Hinblick auf die Abnahmerate der Aerosolkonzentration im Raum liefert. Die zusätzliche Öffnung eines Fensters in gekippter Stellung ist daher empfehlenswert, wenn das Gerät mit Außenluftzufuhr betrieben wird und eine Kontamination anderer Gebäudeteile vermieden werden soll. Damit wird auch teilweise eine Verdrängungslüftung realisiert, die gerade bei großen Volumenströmen effektiver ist als die Mischlüftung.

Wird der Raumluftreiniger ohne Bypass im reinen Umluftbetrieb genutzt, dann sollten die Fenster gelegentlich zum Lüften geöffnet werden, um die CO_2 Konzentration zu begrenzen. Das massive Lüften alle paar Minuten wie in [18] empfohlen ist aber nicht erforderlich und daher kommt es auch zu keinem Auskühlen der Räume und der damit verbundenen Energieverschwendung. Schließlich verdeutlichen die Ergebnisse, dass eine kombinierte Nutzung von verschiedenen Konzepten zur Reinhaltung der Luft nicht nachteilig ist. Daher können mobile Raumluftreiniger zur Verbesserung der Fensterlüftung oder Ergänzung bei mangelnden Leistungen von RLT Anlagen genutzt werden. Bei entsprechender Leistungsfähigkeit können mobile Raumluftreiniger aber auch alleine das indirekte Infektionsrisiko deutlich reduzieren. Das Öffnen von Fenstern kann in diesem Fall als Ergänzung genutzt werden, die Fensterlüftung ist aber aufgrund der eingangs aufgeführten Defizite klar als zweitrangig anzusehen gegenüber dem Raumluftreiniger, solange der Infektionsschutz im Vordergrund steht [14, 15].

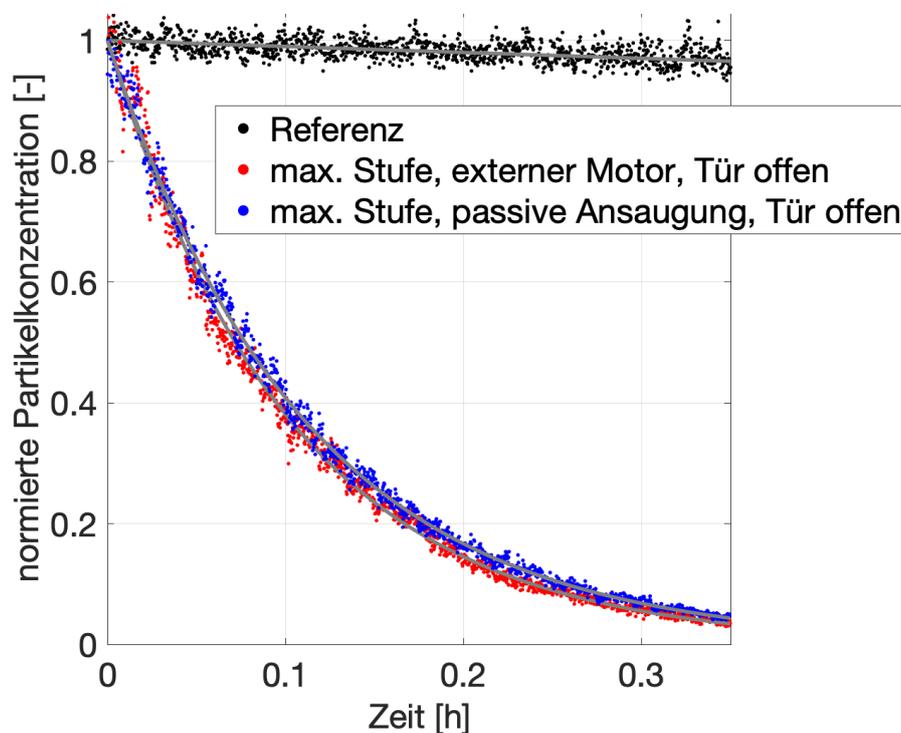


Abbildung 5: Normierte Partikelkonzentrationen über der Zeit für die Referenzmessung sowie den Bypass-Betrieb mit und ohne externen Lüfter bei geöffneter Tür.

Tabelle 1: Für verschiedene Konfigurationen ermittelte Abklingraten.

Konfiguration	Abklingrate k [1/h]	Halbwertszeit $T_{1/2}$ [h]
Referenz (Luftreiniger ist ausgeschaltet)	0,1	6,9
max. Stufe/2, Umluft	5,1	0,14
max. Stufe, Umluft	8,1	0,09
max. Stufe + passive Ansaugung (Tür zu)	7,7	0,09
max. Stufe + externer Zusatzlüfter (Tür zu)	9,6	0,07
max. Stufe + passive Ansaugung (Tür offen)	9,0	0,08
max. Stufe + externer Zusatzlüfter (Tür offen)	9,6	0,07

4. Fazit

Die Analyse verdeutlicht, dass sich mit dem analysierten VIROSAFE 2000/F800 Raumluftreiniger der Firma Viomed die Konzentration der Aerosolpartikel im Raum sehr effizient reduzieren lässt. In einem Raum mit einem Volumen von 200 m³ konnten im reinen Umluftbetrieb bei maximalem Volumenstrom über 8 Luftwechsel pro Stunde erreicht werden. Das bedeutet, dass die Virenlast in dem Raum innerhalb von 5,4 Minuten halbiert wird. Da Geräte dieser Größe bei maximalem Volumenstrom recht laut sind, eignet sich dieser Volumenstrom für lautere Arbeitsbereiche z.B. in Werkstätten. Aber auch in kleineren Klassen- oder Sitzungsräumen, in denen normalerweise deutlich geringere Volumenströme ausreichend sind, ist es sinnvoll ein derart leistungsstarkes Gerät zu nutzen, damit bei Bedarf die Virenlast sehr schnell reduziert werden kann. Z.B. könnte in den Pausen oder vor der Nutzung eines Besprechungsraumes das Gerät für ein paar Minuten auf dem maximalen Volumenstrom betrieben werden, um eine mögliche Virenlast schnell abzubauen. Während des Unterrichts oder der Sitzung kann der Volumenstrom dann reduziert werden, so dass noch das 6-fache des Raumvolumens pro Stunde gefiltert oder mit Außenluft versetzt wird. Bei entsprechender Raumgröße ist die Geräuschemission dann entsprechend niedrig oder sogar nicht wahrnehmbar, da das sehr gleichmäßige, niederfrequente und leise Geräusch des Gerätes vom Gehirn in der Regel automatisch unterdrückt wird, so dass es nicht wahrgenommen wird.

Wird der Bypass genutzt, um neben dem Umluftbetrieb kontrolliert Außenluft in den Raum zu führen, dann kann der CO₂ Anstieg im Raum verzögert oder je nach Personenzahl und Aktivität sogar ganz verhindert werden. Wird der Bypass über den Lüfter im Gerät betrieben, so verringert sich der Volumenstrom gegenüber dem Fall ohne Bypass geringfügig, da der Lüfter zusätzliche Strömungswiderstände durch die Zuleitung von draußen erfährt. Wird der zusätzliche Lüfter am Geräteaufsatz für den Bypass zugeschaltet, dann können in dem 80 m² großen Raum auch Luftwechselraten nahe 10 erreicht werden. Eine Halbierung der Schadstoff- oder Virenlast kann in dem Raum folglich innerhalb von 4,2 Minuten realisiert werden. Dem oft hervorgebrachte Kritikpunkt, dass mobilen Raumluftreiniger nicht in der Lage seien dem Raum Außenluft zuzuführen, muss somit ausdrücklich widersprochen werden. Diese Studie zeigt,

dass die Zuführung von Außenluft mit dem mobilen Raumlufreiniger VIROSAFE 2000/F800 technisch zuverlässig realisiert werden kann ohne die vielen Nachteile der Fensterlüftung.

Wird zusätzlich ein Fenster oder eine Tür leicht geöffnet, die sich möglichst weit entfernt von Raumlüfter befinden sollte, dann lassen sich auch ohne zusätzlichen Lüfter im Bypassbetrieb sehr hohe Luftwechselraten zwischen 9 und 10 erreichen, weil der Mischlüftung eine Querlüftung überlagert wird und somit durch die Öffnung zusätzlich Aerosolpartikel entweichen können. Der große Nutzen des VIROSAFE 2000/F800 besteht somit darin, dass er einen großen Volumenstrom von 2800 m³/h realisieren kann, aufgrund einer kombinierten Misch- und Querlüftung sehr effizient die Virenlast reduziert und gleichzeitig die CO₂ Problematik löst.

Die Ergebnisse zeigen, dass eine gewünschte Reduktion der Viren im Raum auch durch die Kombination verschiedener Methoden realisiert werden kann, wenn sie gleichzeitig genutzt werden. Es ist daher immer möglich, eine ungenügende Lüftung durch Fenster oder RLT Anlagen durch mobile Raumlufreiniger zu unterstützen. Aufgrund der Leistungsfähigkeit der Raumlufreiniger können diese aber auch ohne zusätzliche Fensterlüftung und RLT Anlagen für eine deutliche Reduzierung der Gefahr vor einer indirekten Infektion sorgen, da sie in der Regel viel effizienter arbeiten als die intermittente Fensterlüftung. Der Grund dafür ist, dass die mobilen Raumlufreiniger kontinuierlich für eine verlässliche Abscheidung der Viren sorgen, unabhängig davon ob der Wind draußen weht, der Temperaturunterschied zwischen drinnen und draußen ausreichend groß ist, oder ob die Menschen bereit sind zu lüften oder es überhaupt können, weil dazu ausreichend viele und hinreichend große Fenster vorhanden und zum Lüften nutzbar sein müssen.

Abschließend ist zu bemerken, dass mobile Raumlufreiniger, RLT Anlagen und auch die Lüftung über Fenster das indirekte Infektionsrisiko aufgrund einer hohen Konzentration der Aerosolpartikel im Raum reduzieren können. Zur Reduzierung der direkten Infektionen, die z.B. bei längere Gesprächen von Angesicht zu Angesicht über kurze Distanz auftreten oder wenn ein sehr enger Personenkontakt erforderlich ist, wie im Pflegebereich oder in der Gastronomie, müssen zusätzlich ausreichend große Abstände eingehalten, gute Atemschutzmasken getragen oder transparente Schutzwände genutzt werden.

Anmerkung

Die Untersuchungen wurden durch die Firma Viromed GmbH, Rellingen, finanziell unterstützt. Der VIROSAFE 2000/F800 Raumlufreiniger wurde für die Untersuchungen von der Firma Viromed GmbH bereitgestellt. Die Untersuchungen wurden unter Einhaltung der guten wissenschaftlichen Praxis der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) durchgeführt. Die Unterstützung durch die Firma Viromed GmbH hat keinerlei Auswirkung auf die dargestellten Ergebnisse.

Literatur

- [1] Biologische Arbeitsstoffe (2010) Technischer Bericht/Stellungnahme zum Thema „Einsatz von HEPA-Filtern in Raumluftechnischen Anlagen in Schutz-/Sicherheitsstufe 3 und 4 – Laboratorien und Tierhaltungsbereiche“. Beschluss 16/2010
- [2] DIN EN 1822-1:2019-10 Schwebstofffilter (EPA, HEPA und ULPA) - Teil 1: Klassifikation, Leistungsprüfung, Kennzeichnung; Deutsche Fassung EN 1822-1:2019
- [3] <https://www.erinbromage.com/post/the-risks-know-them-avoid-them>
- [4] Pringle JC, Leikauskas J, Ransom-Kelley S, et al. COVID-19 in a Correctional Facility Employee Following Multiple Brief Exposures to Persons with COVID-19 — Vermont,

- July–August 2020, MMWR Morb Mortal Wkly Rep 2020;69:1569–1570. DOI: <http://dx.doi.org/10.15585/mmwr.mm6943e1>
- [5] Heinz E (2016) Wohnungslüftung – frei und ventilatorgestützt. Herausgeber DIN, Beuth Verlag, ISBN 978-410-25270-2
- [6] Etheridge D, Sandberg M (1996) Building Ventilation: Theory and Measurement. Wiley, ISBN 978-0-471-96087-4
- [7] Fachverband Gebäude-Klima e. V. (2020) Betrieb Raumlufthechnischer Anlagen unter den Randbedingungen der aktuellen Covid-19-Pandemie. 03.08.2020, Version 3, www.fgk.de/images/Aktuelles/2020/08-20/RLT_Covid19_V3_200803.pdf
- [8] Kähler CJ, Hain R (2020) Vergleichende Bewertung zwischen mobilem Raumluftreiniger, RLT Anlage, freier Lüftung und Querlüftung, Forschungsbericht des Instituts für Strömungsmechanik und Aerodynamik der UniBw vom 21.12.2020
- [9] 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
- [10] Bluysen PM, Ortiz M, Zhang D (2020) The effect of a mobile HEPA filter system on ‘infectious’ aerosols, sound and air velocity in the SenseLab. Building and Environment, Volume 188, 15 January 2021, 107475 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132320308428?via%3Dihub>
- [11] Curtius J, Granzin M, Schrod J (2020) Testing mobile air purifiers in a school classroom: Reducing the airborne transmission risk for SARS-CoV-2. medRxiv 2020.10.02.20205633; doi: <https://doi.org/10.1101/2020.10.02.20205633>
- [12] Kähler C, Fuchs T, Hain R (2020) Quantification of a Viomed Klinik Akut V 500 disinfection device to reduce the indirect risk of SARS-CoV-2 infection by aerosol particles. medRxiv 2020.10.23.20218099; doi: <https://doi.org/10.1101/2020.10.23.20218099>
- [13] Kähler C, Fuchs T, Mutsch B, Hain R (2020) School education during the SARS-CoV-2 pandemic – Which concept is safe, feasible and environmentally sound? medRxiv 2020.10.12.20211219; doi: <https://doi.org/10.1101/2020.10.12.20211219>
- [14] Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V. (2021) Klassenräume besser belüften – Ein Vorschlag. 18.01.2020 <https://www.dpg-physik.de/veroeffentlichungen/aktuell/2021/offer-brief-klassenraeume-besser-belueften-ein-vorschlag>
- [15] Bodenschatz E (2021) Analyse der Raumluftreinigung und deren Einfluss auf das Ansteckungsrisiko durch SARS-CoV-2 in Klassenräumen. 21.01.2021
- [16] Kähler CJ, Fuchs T, Hain R (2020) Können mobile Raumluftreiniger eine indirekte SARS-CoV-2 Infektionsgefahr durch Aerosole wirksam reduzieren? <https://www.unibw.de/lrt7/raumluftreiniger.pdf> und <https://youtu.be/3Y3KEIUdFFU>
- [17] Technische Regeln für Arbeitsstätten Raumtemperatur (ASR A3.5) Bundesrecht <https://www.arbeitssicherheit.de/schriften/dokument/0%3A3994748%2C1.html>
- [18] Umweltbundesamt (2020) Lüften in Schulen: Empfehlungen des Umweltbundesamtes zu Luftaustausch und effizientem Lüften zur Reduzierung des Infektionsrisikos durch virushaltige Aerosole in Schulen vom 15.10.2020 https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2546/dokumente/umweltbundesamt_lueften_in_schulen_0.pdf
- [19] <https://www.viomed.de/wp-content/uploads/2020/11/Prospekt-VIROSAFE2000-F800.pdf> abgerufen am 29.01.2021
- [20] Kähler CJ, Hain R (2020) Strömungsanalysen zur SARS-CoV-2 Schutzmaskendebatte https://www.unibw.de/lrt7/bericht_atemschutzmaske_unibw_lrt7_06_04_2020.pdf