

Telefon +49 89 6004-2145  
E-Mail christian.kaehler@unibw.de  
Datum 30. November 2020

## **Untersuchungen zur Effizienz von Raumlüftreinigern in einem Restaurant**

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

### **1. Motivation**

Der gastronomische Betrieb ist aufgrund des Lockdowns in Deutschland und anderen Ländern weitgehend zum Erliegen gekommen. Einerseits ist damit ein Stück Lebensqualität für die Gäste verloren gegangen und ein Stück Annehmlichkeit für die vielen berufstätigen Menschen, die ihre Mittagszeit in den Restaurants verbracht haben. Andererseits stellt der Lockdown aber auch die Betreiber und Mitarbeiter der Restaurants, Gaststätten und Cafés vor große, teilweise existenzgefährdende Probleme. Auch die vielen Zulieferer der Gastronomie sind von dem Lockdown massiv betroffen und leiden unter gigantischen Einnahmeausfällen. Teilweise werden die finanziellen Ausfälle durch den Staat aufgefangen, aber dadurch erhöht sich die Schuldenlast des Staates und das macht nicht nur abhängig von Gläubigern, sondern schränkt auch zukünftige Handlungsoptionen ein. Dieser sehr teure Weg belastet auch die nachfolgenden Generationen, da diese die immensen Schulden zum großen Teil abbezahlen müssen, obwohl sie überhaupt nicht von den aktuellen Ausgaben profitieren. Es stellt sich daher die Frage, ob es nicht Möglichkeiten gibt, die einen weitgehend sicheren Betrieb der Restaurants, Gaststätten und Cafés während der Pandemie ermöglichen.

Da eine Verhinderung von Infektionen durch richtiges Verhalten zwar teilweise möglich ist, aber in der Praxis meist schnell an seine Grenzen stößt, beruhen die Hoffnungen auf technologischen Lösungen. Gute FFP2/3 Masken sind z.B. eine bewährte Technologie, die weltweit ganz wesentlich zur Reduzierung der direkten und indirekten Infektionen beiträgt, ohne dass eine Beschränkung der Bewegungsfreiheit der Menschen durch Ausgangs- oder Kontaktsperre notwendig ist. Mund-Nasen-Bedeckungen und OP-Masken bieten immerhin noch einen ganz guten Schutz vor direkten Infektionen, wenn man sich von Angesicht zu Angesicht unterhält. Da diese Bedeckungen und Masken die Aerosolpartikel aber am Maskenrand seitlich austreten lassen, bieten sie keinen Schutz vor indirekten Infektionen und auch nicht vor direkten Infektionen, wenn man nebeneinander sitzt. Weitere wirksame Schutztechniken vor direkten Infektionen bieten transparente Schutzwände, die inzwischen in den Plenarsälen, Gerichten und vielen Geschäften längst etabliert und akzeptiert sind. Auch mobile Raumlüftreiniger sind seit Jahrzehnten im Einsatz, um insbesondere in mit Viren kontaminierten Bereichen in Krankenhäusern die

Sicherheit vor einer indirekten Infektion zu verbessern. Es stellt sich daher die Frage, ob eine Kombination dieser Schutzmechanismen auch in der Gastronomie einen weitgehend sicheren Betrieb während der Pandemie ermöglichen könnte.

Um diese Frage zu beantworten wurden in einem Restaurant wissenschaftliche Experimente durchgeführt, um insbesondere zu erforschen, ob sich auch in sehr komplexen Raumsituationen das indirekte Infektionsgeschehen mit Hilfe von Raumlüftreinigern signifikant reduzieren lässt. Zu diesem Zweck wurden Messungen in dem Restaurant „Salon Rouge by Tohru“, Burgstraße 5, 80331 München durchgeführt. Das Restaurant zeichnet sich durch eine sehr komplexe Raumsituation aus, wie in Abb. 1 zu erkennen ist. Sollte es gelingen in derartigen Räumlichkeiten Bedingungen herzustellen, die die Lüftungsempfehlungen des Umweltbundesamtes übertreffen, dann kann von einem sicheren Betrieb ausgegangen werden und es sollte daher auch eine Öffnung der Betriebe ermöglicht werden. Das würde der Gesellschaft, den Gastronomen, der Wirtschaft aber auch unseren Kindern helfen, die finanziellen Belastungen durch die Pandemie zu reduzieren.



*Abb. 1: Aufnahme zweier Gasträume, die durch einen Bogen und eine Öffnung in der Wand miteinander verbunden sind. Die Decke ist mehrfach gewölbt, was eine effiziente Luftreinigung erschwert.*

## **2. Durchführung der Messungen**

Aufgrund der komplexen Raumsituation und der hohen Anforderungen an die Geräuschemission wurden in dem Restaurant insgesamt drei Raumlüftreiniger TAC V+ der TROTEC GmbH integriert. Eine Skizze des Grundrisses mit den Positionen der Raumlüftreiniger sowie den Positionen der Messpunkte, an denen die Aerosolpartikelkonzentrationen erfasst wurde, ist in Abb. 2 dargestellt.

Um die Reinigungsleistung der Raumlüftreiniger zu beurteilen, wurden künstliche Aerosolpartikel aus Di-Ethyl-Hexyl-Sebacat (DEHS) verwendet, die einen mittleren Durchmesser von ca. 0,4  $\mu\text{m}$  aufweisen.

Diese Partikel zeichnen sich dadurch aus, dass deren Größenverteilung gut übereinstimmt mit ausgeatmeten Aerosolpartikeln beim Sprechen oder Husten. Darüber hinaus sind sie sehr langlebig, so dass eine systematische Verfälschung der Messergebnisse durch Verdunstungseffekte vermieden werden kann.

Die Partikel wurden vor Beginn der Messungen mittels des Flüssigkeitszerstäubers AGF 2.0 der Firma PALAS GmbH erzeugt und homogen im Raum verteilt. Während der Messungen wurden keine weiteren Partikel erzeugt. Anschließend wurden die Raumlufreiniger betrieben und es wurde der zeitliche Verlauf der Partikelkonzentration an der jeweiligen Messposition (siehe Abb. 2) mittels jeweils eines Promo 3000 der Firma PALAS GmbH mit dem Sensorkopf Welas 2300 gemessen. Aus den Messergebnissen ist die Abnahme der Partikelkonzentration über der Zeit ersichtlich. Aus den gewonnenen Daten lassen sich wichtige Kenngrößen wie die Luftwechselrate, die Halbwertszeit und die mittlere Verweildauer bestimmen. Diese Kenngrößen ermöglichen Aussagen über die Infektionswahrscheinlichkeiten in Räumen abzuschätzen.

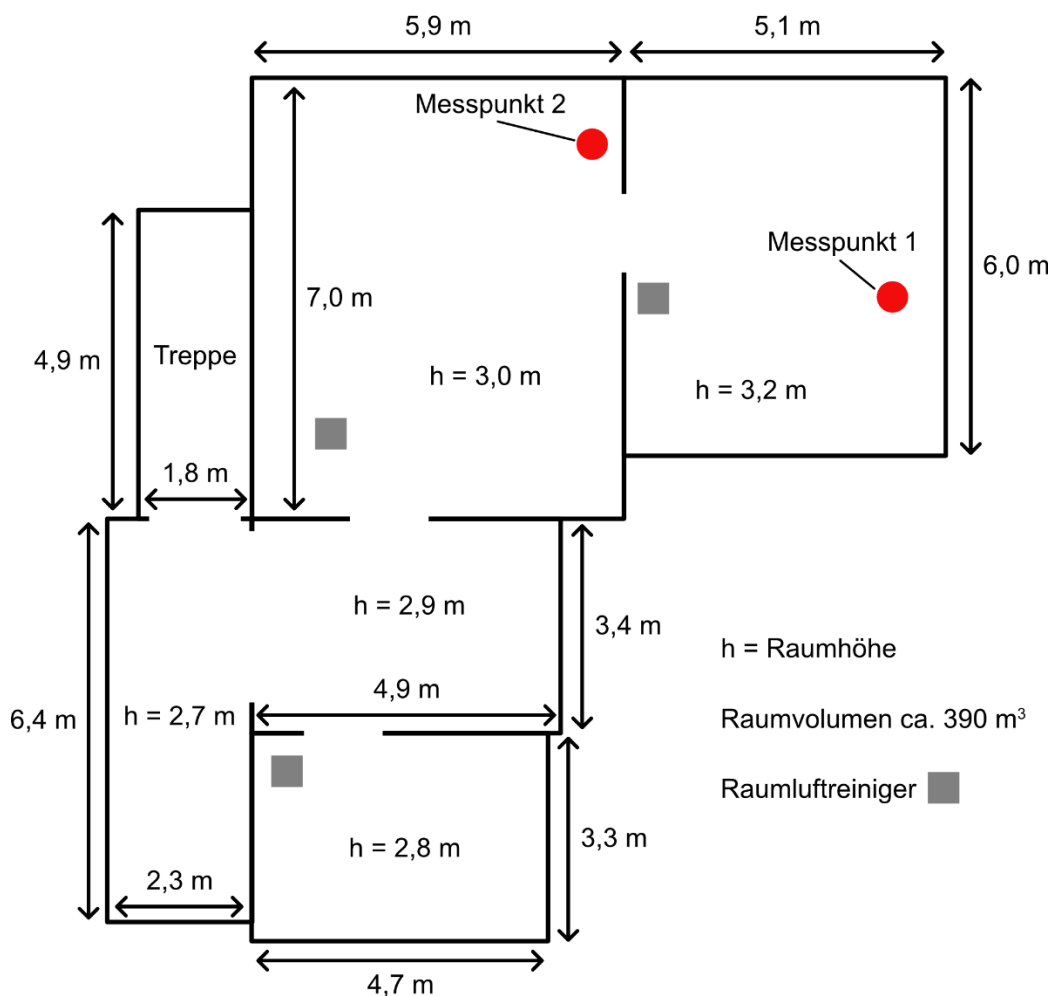


Abb. 2: Skizze des Restaurants mit den Positionen der Raumlufreiniger und den Positionen der Messpunkte der Aerosolpartikel-Konzentrationsbestimmung.

### 3. Ergebnisse

Die für die Messungen verwendete Partikelgrößenverteilung ist in Abb. 3 dargestellt. Die verwendeten Partikel weisen einen Durchmesser  $d_p$  im Bereich von ca.  $0,25 - 1,5 \mu\text{m}$  auf, wobei das Maximum der Partikelgrößenverteilung bei ca.  $0,4 \mu\text{m}$  liegt.

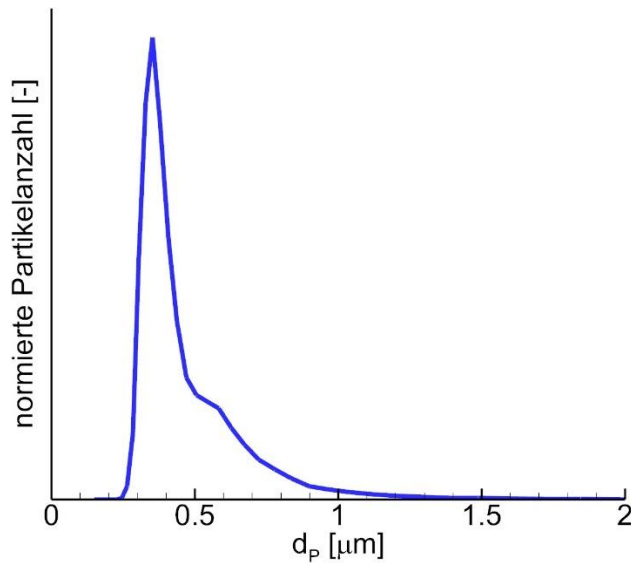


Abb. 3: Normierte Partikelgrößenverteilung der für die Untersuchungen verwendeten Aerosolpartikel.

Die Abnahme der Partikelkonzentrationen über der Zeit für die beiden Messpositionen und zwei Volumenstromereinstellungen der drei Raumlufreiniger ist in Abb. 4 dargestellt. Zusätzlich ist eine Referenzmessung eingetragen, die bei ausgeschalteten Raumlufreinigern gemessen wurde. Auch in diesem Fall nimmt die Partikelkonzentration aufgrund von Undichtigkeiten der Räume (Fenster und Türspalte) und durch Ablagerung von Partikeln an Oberflächen ab, wobei diese Abnahme in diesem mehrere hundert Jahre altem Gebäude untypisch hoch ist. Normalerweise geht man von Werten um 0,5 aus. Da weder abgelagerte noch durch Spalte entfernte Partikel zu einer Infektion führen können, ist eine große Undichtigkeit der Gebäude im Hinblick auf die Sicherheit vor einer SARS-CoV-2 Infektion grundsätzlich positiv zu werten.

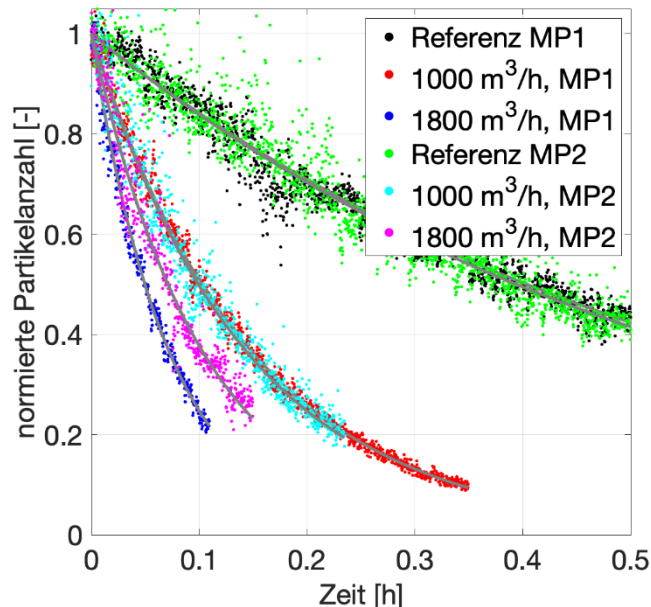


Abb. 4: Abnahme der Partikelkonzentration über der Zeit.

Referenz: Raumlufreiniger ausgeschaltet. MP1, 2: Messpunkt 1, bzw. 2. 1000 m<sup>3</sup>/h: Alle drei Raumlufreiniger wurden mit jeweils einem Volumenstrom von 1000 m<sup>3</sup>/h betrieben. 1800 m<sup>3</sup>/h: Alle drei Raumlufreiniger wurden mit jeweils einem Volumenstrom von 1800 m<sup>3</sup>/h betrieben.

Es ist aber deutlich zu erkennen, dass die Abnahme der Partikelkonzentrationen bei eingeschalteten Raumlufreinigern um ein Vielfaches höher liegt als ohne. Daher kann die Infektionswahrscheinlichkeit durch die Nutzung von mobilen Raumlufreinigern deutlich gesenkt werden. Wie stark die Infektionswahrscheinlichkeit abnimmt, hängt von dem gewählten Volumenstrom ab, der am Gerät in einem weiten Bereich frei eingestellt werden kann.

Für die Bewertung der Filterwirkung ist die Angabe der aus dem Lüftungsbereich bekannten Luftwechselrate die entscheidende Größe. Diese Größe ist für die unterschiedlichsten Räumlichkeiten vorgegeben, um eine gute Raumluf zu gewährleisten. Allerdings beziehen sich diese Angaben auf Räumlichkeiten, in denen keine potentiell tödlichen Viren vorhanden sind. Daher sind die Angaben deutlich zu erhöhen, um der zusätzlichen Gefahrenquelle Rechnung zu tragen. Die Autoren empfehlen mindestens das 6-fache des Raumvolumens pro Stunde zu filtern.

Zur Ermittlung des Luftwechsels werden die gemessenen Konzentrationsabnahmen jeweils durch die Funktion  $c = c_0 \cdot e^{-k \cdot t}$  approximiert. Hier ist  $c_0$  die Anfangskonzentration und  $c$  die Konzentration zur Zeit  $t$  (Einheit Stunde h). Die Abklingrate  $k$  (Einheit 1/h) ist identisch zu der Luftwechselrate. Je höher  $k$  desto schneller wird die Virenlast im Raum reduziert.

Die aus den Messungen ermittelten Abklingraten sind in Tabelle 1 dargestellt. Zusätzlich sind der Tabelle die Halbwertszeit sowie die mittlere Verweilzeit zu entnehmen. Die Halbwertszeit gibt an, wie lange es dauert bis die Aerosolpartikelkonzentration am Ort der Messung auf die Hälfte abgenommen hat. Die mittlere Verweilzeit charakterisiert, wie lange die an den jeweiligen Messpositionen emittierten Aerosole statistisch im Raum verweilen, bis sie vom Raumlufreiniger abgeschieden werden. Mithilfe der Abklingrate  $k$  lässt sich weiterhin die sich stationär einstellende Konzentration von infektiösen Partikeln berechnen:

$$c_{\text{stationär}} = \frac{S}{k \cdot V}$$

In dieser Formel ist  $S$  die Anzahl der ausgestoßenen infektiösen Partikel pro Zeiteinheit [Partikel/h] und  $V$  das Raumvolumen [m<sup>3</sup>].

Tabelle 1: Aus den in Abb. 4 dargestellten Kurven berechnete Kenngrößen zur Reinigungseffizienz.

Messung	Messpunkt 1	Messpunkt 2
Referenz	1,7   0,41   0,59	1,8   0,39   0,56
Volumenstrom (3 x 1000 m <sup>3</sup> /h)	6,8   0,10   0,15	7,0   0,10   0,15
Volumenstrom (3 x 1800 m <sup>3</sup> /h)	13,2   0,05   0,08	9,5   0,07   0,11
Abklingrate [1/h]   Halbwertszeit [h]   mittlere Verweilzeit [h]		

#### 4. Fazit

In dieser Studie wurde die Filterleistung von mobilen Luftreinigern für den Einsatz in einem Restaurant mit komplexer Raumstruktur untersucht. Dazu wurde die Partikelkonzentration des Testaerosols DEHS, welches vor der Messung in hoher Konzentration homogen in den Räumen verteilt wurde, über die Zeit aufgenommen. Während der Messung verunreinigte keine Aerosolquelle den Raum weiter, sodass die Partikelkonzentration kontinuierlich abnahm (Abb. 4). Mit dieser Methodik lässt sich aus den Messdaten die Abklingrate/Luftwechselrate  $k$  bestimmen, womit sich Aussagen über die Schadpartikelkonzentration bei Vorhandensein einer Kontaminationsquelle, z.B. einer infizierten Person, treffen lassen.

Aus den Ergebnissen ergibt sich durch die Raumlufffilterung in dieser Restaurantkonfiguration eine um 75% reduzierte stationäre Schadpartikelkonzentration im Vergleich zur Situation ohne aktive Raumluffreinigung. Die komplexe räumliche Situation im Restaurant verringert zwar die relative Reinigungseffizienz gegenüber der eines quadratischen Raums mit ebenen Wänden und Decken, aber dennoch werden auch hier ausreichend hohe Abklingraten/Luftwechselraten erreicht, die die Vorgabe des Umweltbundesamts ( $k = 3$ ), um mehr als das Doppelte übertreffen. Weiterhin werden für infektiöse Umgebungen, z.B. OP-Säle, Luftwechselraten von 12–15 empfohlen, um die Schadpartikelkonzentration gering zu halten. Aus Sicht der Autoren stellt der Wert von  $k = 6$  oder mehr einen Kompromiss zwischen Sicherheit und technischer Umsetzbarkeit dar. Der Kompromiss ist insofern berechtigt, als dass das Raumvolumen im Restaurant groß gegenüber beispielsweise eines OPs ist und entsprechend geringer ist die sich einstellende Schadpartikelkonzentration durch eine Quelle gleicher Stärke. Ferner ist das SARS-CoV-2 Virus nicht so infektiös wie andere Viren. D.h. es müssen 1000 oder mehr infektiöse Viren eingeatmet werden, um eine Infektion auszulösen.

Abschließend ist zu bemerken, dass das indirekte Infektionsrisiko in Restaurants, Gaststätten und Cafés nur einen möglichen Übertragungsweg darstellt. Damit eine direkte Übertragung des Virus von der Bedienung auf Gäste oder umgekehrt vermieden wird, ist es zwingend notwendig, dass das Personal sehr gute FFP2/3 Masken trägt. Einfache Mund-Nasen-Bedeckungen oder OP-Masken bieten nur einen ungenügenden Schutz, da durch diese Masken zwar die schnelle Aerosolausbreitung nach vorne verhindert wird, dafür aber die Aerosolpartikel seitlich am Maskenrand austreten. Gerade wenn das Personal beim Servieren den Gästen sehr nahe kommt, ist dieser Infektionsweg besonders bedeutend. Eine asymptomatisch infizierte Person des Personals könnte so über mehrere Tage hinweg zahlreiche Gäste infizieren. Mit einer FFP2/3 Maske ohne Ventil kann dieser Übertragungsweg nahezu ausgeschlossen werden.

Darüber hinaus ist es möglich, dass sich die Aerosolpartikel von einem Tisch zum nächsten ausbreiten und andere Gäste infiziert werden, wenn die Tische zu eng beieinander stehen. Um diesen Übertragungsweg zu unterbrechen, sind hinreichend große Abstände oder transparente Schutzwände zwischen benachbarten Tischen notwendig. Einen besonders guten Schutz bieten transparente Schutzwände mit umlaufender Kante. Die Kante sorgt dafür, dass die unmittelbare Ausbreitung der Aerosolpartikel über den Plattenrand hinaus wirksam verhindert wird. Werden diese besonderen Schutzwände verwendet, dann sind keine vergrößerten Sicherheitsabstände zwischen den Tischen erforderlich.

Auf der Basis dieser und vorhergehender Untersuchungen der Autoren kann davon ausgegangen werden, dass sich das Infektionsgeschehen in der Gastronomie grundsätzlich mit einer Kombination aus Masken, Schutzwänden und kontrollierte Raumluffreinigung durch mobile Raumluffreiniger oder raumlufftechnische Anlagen reduzieren lässt. Es wäre daher wünschenswert, wenn gastronomische Betriebe, die diese Schutzkonzepte etablieren, von einem Lockdown verschont blieben.

## **Anmerkung**

Die Untersuchungen wurden durch die Firma TROTEC GmbH, Heinsberg, finanziell unterstützt. Die Untersuchungen wurden unter Einhaltung der guten wissenschaftlichen Praxis durchgeführt. Die Unterstützung durch die Firma TROTEC hat keinerlei Auswirkung auf die dargestellten Ergebnisse.