

REDUKTION DES INFEKTIONSRIKOS IN RÄUMLICHKEITEN MIT PERSONENVERKEHR: ANFORDERUNGEN AN DIE RAUMLUFTREINIGUNG FÜR HYGIENEKONZEPTE

Gunnar Grün, Sabine Johann, Andrea Burdack-Freitag, Michael Buschhaus, Peter Brandstät, Jens Rohlfing

12. März 2021

Einleitung

Die Übertragung von Covid-19 über die Luft stellt nach aktuellem Wissensstand einen wichtigen Übertragungsweg der Infektion dar. Die Corona-Viren (SarS-CoV-2 Virus) werden dabei vor allem in Form von Aerosolen verbreitet, die sich wie Luft verhalten und mit der Raumluftrömung verteilt werden^{1 2 3 4 5 6}. Um das Infektionsrisiko in Aufenthaltsräumen zu senken, muss also die Konzentration an Aerosolen mit infektiösen Viren verringert werden. Dies geschieht zum einen durch weniger Personen in den Räumen und die Anwendung von persönlichen Schutzmaßnahmen – damit werden die Aerosolquellen reduziert. Andererseits muss die belastete Luft verdünnt werden: durch Austausch mit unbelasteter Luft, also durch Lüften, und durch Entfernung von Belastungen, also durch Reinigung.

Unabhängig von der Verdünnung der potentiell infektiösen Aerosole muss eine für die Nutzung adäquate Luftqualität bereitgestellt werden – also ausreichend Sauerstoff aus der Außenluft verfügbar sein und Schadstoffe sowie Belastungen abgeführt werden (z.B.

FÖRDERGEBER

BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, LANDESENTWICKLUNG UND ENERGIE PROJEKTPARTNER
BAYERISCHER HOTEL- UND GASTSTÄTTENVERBAND DEHOGA BAYERN E.V.
VEREINIGUNG DER BAYERISCHEN WIRTSCHAFT E.V. (VBW)

Verbrennungsprodukte, Dampf, Gerüche, etc.). In Falle der im Projekt »Hy4HoGa« betrachteten Gasträume werden daher typischerweise Luftwechselraten von 4-8 h⁻¹ bzw. Luftvolumenströme von 40-60 m³/h pro Person angesetzt.

Um eine zur Lüftung mit Außenluft zusätzliche Verdünnung der potentiell infektiösen Aerosolkonzentration zu erreichen, werden derzeit sogenannte Luftreinigungsgeräte (mobil, zur Decken-/Wandmontage oder zum Einbau in Lüftungsanlagen) diskutiert. Diese basieren prinzipiell auf zwei grundsätzlichen Funktionsweisen:

- a) der Abscheidung von Partikeln (und damit potentiell auch von Viren),
- b) der Inaktivierung des infektiösen Materials (also einer Zerstörung der Viren bzw. ihrer Mechanismen, Desinfektionstechnologien).

Da das Angebot solcher Luftreinigungstechnologien groß und Aussagen hinsichtlich ihrer Wirksamkeit bezüglich der Reduktion bzw. Inaktivierung von Corona-Viren vielfältig sind, wurden in diesem Projekt verschiedene Technologien experimentell untersucht, um Anforderungen an Raumlufthereiniger und ihre Aufstellorte abzuleiten.

Vorgehensweise

Es wurde im Filterprüfstand und Modellraum des »Indoor Air Test Center« (IATC) bzw. des »High Performance Indoor Environment« Labors (HiPIE) am Fraunhofer IBP anhand von luftgetragenen Corona-Surrogat-Viren bzw. Liposom-Suspensionen die Wirksamkeit von ausgewählten Luftreinigungstechnologien getestet, wobei auch eventuell entstehende Beiprodukte analysiert wurden.

Inaktivierende Technologien, bzw. Desinfektionstechnologien

Der temperatur- und feuchtekontrollierte Testraum des IATC (Volumen 127 m³) wurde hierfür mit Tischen und Stühlen möbliert und mit Dummies ausgerüstet, die eine zu sitzenden Menschen analoge Wärmeabgabe nachstellen und dadurch die sich einstellende Luftströmung beeinflussen. Folgende Parameter wurden als Randbedingungen eingestellt: Oberflächentemperatur der Wandflächen 19°C, der Fensterflächen 15 °C, Raumlufthtemperatur ≈ 19°C, Raumluftfeuchte ≈ 40 %, Dummy-Temperatur 36 °C, Luftwechsel 0 h⁻¹ (statisch). In dieses Setup wurden die Raumlufthereinigungstechnologien platziert und luftgetragene Corona-Surrogat-Viren (behüllte Phi6-Bakteriophage mit vergleichbarer Struktur, Partikelgröße und Umweltstabilität zu SARS-CoV-2 ^{7 8 9 10 11}) mittels eines Aerosolgenerators eingebracht. Der Aufbau erfolgte in Anlehnung an die DIN ISO 16000-36¹² für die Untersuchung luftgetragener Bakterien, realitätsnah angepasst an die spezifischen Anforderungen von Viren. Die Viren wurden aus der Raumluft analog zu DIN-ISO 16000-16¹³ gesammelt, die Filter in Anlehnung an DIN ISO 16000-17¹⁴ aufgearbeitet. Die Anzahl aktiver Viren („Virulenz“) wurde im Labor mittels der Methode des Plaque Assays bestimmt^{15 16}.

Anmerkungen:

- *Die Untersuchungen bezogen sich ausschließlich auf Aerosole in der Luft. Die natürliche Halbwertszeit der Viren (Phi6-Bakteriophage) muss bei der Berechnung der Effizienz des Gerätes mitberücksichtigt werden.*
- *Untersuchungen der Virenaktivität auf Oberflächen bedürfen einer anderen Methode, da hier die Stabilität von Viren in Flüssigkeiten („Schmierinfektion“) betrachtet werden muss.*
- *Literatur bzw. Daten zur Inaktivierung von Viren in flüssigen Medien und auf Oberflächen sind zahlreich, eine Übertragung der Ergebnisse auf luftgetragene Mikroorganismen ist jedoch nicht zulässig, da die Einflüsse der Medien auf die*

Mikroorganismen unterschiedlich sind bzw. sein können, und diese Effekte noch nicht quantifiziert werden können.

Das jeweils betrachtete Luftreinigungsgerät wurde zwischen dem Aerosolgenerator und dem Luftkeimsammler platziert. Der Aerosolgenerator, die zugehörige Messsensorik und der biologische Probenehmer wurden an zuvor anhand von Referenzmessungen ermittelten festen Plätzen um den mittig platzierten Raumluftreiniger installiert. Die Viren wurden im Abstand von etwa 0,5 m vor dem Einlass des Gerätes in den Raum eingebracht. Die Dosierung erfolgte zunächst ohne Einschalten des Gerätes, um eine hohe Virenlast im Raum zu erreichen. Danach wurden die Dosierung und das Luftreinigungsgerät simultan betrieben, bevor die Dosierung inaktiviert wurde, um die Virenreduktion zu bestimmen. Dieser zweiteilige Versuchsaufbau wurde über eine Gesamtlaufzeit von etwa 2 Stunden betrieben. Über die gesamte Laufzeit wurden die Partikelverteilung im Raum, die Temperatur und Feuchte sowie der Ozongehalt kontinuierlich gemessen. Entsprechend den Vorgaben des Umweltbundesamtes wird beim Einsatz von ozonproduzierenden Luftreinigungsverfahren (UV-C, Plasmatechnologie, Ozon-Direktinjektion) die Bestimmung von entstehenden Beiprodukten im Betrieb gefordert¹⁷. Diese Probenahmen erfolgten auf entsprechenden Adsorptionsröhrchen zur Detektion von VVOC und VOC, analysiert mittels Gaschromatographie-Massenspektrometrie¹⁸, sowie auf DNPH-Kartuschen zur Bestimmung ausgewählter Ketone und Aldehyde, analysiert mittels Hochleistungsflüssigchromatographie-Diodenarray-Verfahren¹⁹. Zu bestimmten Zeitpunkten wurden die Viren auf einen Luftkeimsammler (MBASS30 Version 3 adaptiert für Filterbetrieb von Firma Umweltanalytik Holbach GmbH, Wadern, Deutschland) gezogen und zur mikrobiellen Analyse im Labor einem Plaque-Assay Test unterzogen. Die beaufschlagten Luftkeimsammler wurden binnen einer Stunde aufgearbeitet und nach 24 Stunden ausgewertet. Es erfolgten drei Probenahmen nach Beginn der Virendosierung:

- P1: ca. 30-60min unter Virendosierung, Luftreiniger inaktiv (Referenzmessung)
- P2: ca. 70-100min im simultanen Betrieb von Virendosierung und Luftreiniger
- P3: ca. 100-130min im simultanen Betrieb von Virendosierung und Luftreiniger

Basierend hierauf wurde die Reduktion der Wiederfindung aktiver Viren bestimmt, wodurch die Wirksamkeiten bzw. Effizienzen der Luftreinigungsgeräte ermittelt wurden und schließlich Anforderungen formuliert werden können.

Abscheidende Technologien

Die Versuche fanden im luftstrom-, temperatur- und feuchtegeregelten HiPIE-Labors (Volumen 211 m³) ohne zusätzlichen Luftaustausch statt. Der Raumluftreiniger wurde in einem speziell entwickelten geschlossenen Teststand auf die Reduktion von Liposomen geprüft. Dieser Teststand besteht Upstream aus einer Einlaufstrecke (Rohrlänge ca. 3 m; Rohrdurchmesser 0,2 m) mit Einlassöffnung für den Aerosolgenerator sowie die Partikelmesstechnik. Nach folgender Reihung wurde die Messtechnik ausgehend vom Teststandeinlass bis zum Raumluftreiniger in Metern platziert:

1. Aerosolgenerator (0,3 m): Atomizer betrieben bei 2 bar (Fa. TSI GmbH)
2. Partikelmessgerät 1 (2,3 m): P-Track (Fa. TSI GmbH)
3. Partikelmessgerät 2 (2,3 m): WCPC 3788 (Fa. TSI GmbH)

Downstream (Rohrlänge ca. 1,2 m; Rohrdurchmesser 0,2 m) wurde im Zeitfenster von 15 bis 375 min nur die Partikelmessgeräte angeschlossen, um die verbliebene Partikelkonzentrationen in der Abluft zu bestimmen, die durch den Raumluftreiniger nicht entfernt werden konnten. Um eine verlustfreie Liposomen Aerosolierung im Teststande sicherzustellen, wurden für den Zuluftkanal der Upstreamseite des Raumluftreinigers eine jeweils spezielle Abdichtung (Herstellung via 3D-Druck) angefertigt und bündig mit dem

Rohsystem angeschlossen. Dies wurde analog für den Abluftkanal der Downstreamseite umgesetzt. Alternierend wurde Upstream und Downstream die Partikelmesstechnik zur Bestimmung der Wirksamkeit des Raumlufthereinigers bestimmt. Das Luftreinigungsgerät zog die aerosolisierten Liposomen über das Rohrsystem in die eingesetzte Luftfiltertechnologie. Innerhalb des Gerätes wurden die Liposomen durch den jeweils installierten Filter zurückgehalten. Die dafür verwendete Liposom-Suspension ist nicht pathogen und nicht virulent und liegt in einer Konzentration von 10^{10} Liposomen/mL in einer 25 mM Natriumchlorid Lösung für den Versuch vor. Der Versuchsablauf ab dem Zeitpunkt der Liposomendosierung (bei 0 min) und der kontinuierlichen Partikelmessung erfolgte nach folgendem Schema:

- -15 – 0 min: Start der Partikelmesstechnik und des Raumlufthereinigers; Liposomendosierung inaktiv
- 0 – 390 min: Start der Liposomendosierung mittels des Aerosolgenerators, Raumlufthereiniger aktiv
 - o 0 – 15 min: Partikelmessung Upstream;
 - o 15 – 375 min: Partikelmessung Downstream;
 - o 375 – 390 min: Partikelmessung Upstream;

Basierend hierauf wurde die Reduktion der Liposomen Downstream vs. Upstream bestimmt, wodurch die Effizienzen der Luftreinigungsgeräte ermittelt wurden und schließlich Anforderungen formuliert werden können.

Anforderungen an Raumlufthereiniger

Werden Raumlufthereiniger als Alternative zu regelmäßigem Lüften oder zu einer Lüftungsanlage mit ausreichend Außenluftzufuhr vorgesehen, sollte folgendes berücksichtigt werden:

Raumlufthereiniger führen die Raumluft mittels eines für den Raum und die Belegungsdichte passend einzustellenden Luftvolumenstroms einer Reinigung zu. Entsprechend kann der Luftvolumenstrom - teils in Stufen, teils stufenlos - an den Geräten eingestellt werden. Für die jeweilige Anwendung wird ein bestimmter Volumenstrom definiert, mit dem die Geräte mindestens betrieben werden müssen – unabhängig davon, ob sie potentiell auch einen größeren Volumenstrom fördern können. Im Folgenden wird diese Einstellung als Betriebspunkt bezeichnet. Um ein Ansteckungsrisiko zu reduzieren, darf der Betriebspunkt in der praktischen Anwendung nicht unterschritten werden.

Erforderlicher Luftvolumenstrom

Für Räumlichkeiten in Nichtwohngebäuden mit Publikumsverkehr werden Lüftungsraten typischerweise nach DIN EN 15251²⁰ in Abhängigkeit der Personenbelegung und der Qualität der verwendeten Bauprodukte ausgelegt. Zur Erreichung einer Raumlufthequalität (InDoor Air) entsprechend der Stufe IDA1 ist ein **personenbezogener Volumenstrom** von $\dot{V}_{IDA,p} = 54 \text{ m}^3/\text{h}/\text{Person}$ an unkontaminierter Luft erforderlich. Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass dieser für eine ausreichend zügige Abfuhr von luftgetragenen Viren zur Senkung des Infektionsrisikos sorgt. Unter der konservativen Annahme, dass in der ursprünglichen Planung der Räumlichkeiten lediglich ein moderates Maß an Erwartungen an die Raumlufthequalität gewählt wurde, kann man von einer personenbezogenen Lüftungsrate von $\dot{V}_{bau,p} = 4 \text{ l/s}/\text{Person} = 14,4 \text{ m}^3/\text{h}/\text{Person}$ ausgehen. Damit verbliebe eine maximale Differenz von $\dot{V}_{zus,p} = 39,6 \text{ m}^3/\text{h}/\text{Person}$ unkontaminierter Luft, die beispielsweise auch über Luftreinigungsgeräte bereitgestellt werden kann.

$$\dot{V}_{zus,p} = \dot{V}_{IDA,p} - \dot{V}_{bau,p} \quad (1)$$

In Anlehnung an das Konzept der „Clean Air Delivery Rate“ (CADR)²¹ kann der benötigte Luftvolumenstrom eines Gerätes $\dot{V}_{gerät,p}$ aus dem Volumenstrom unkontaminierter Luft aus dem vorliegenden Luftvolumenstrom dividiert durch die Effizienz $\eta_{gerät}$ des Gerätes die geförderte Luft von der Belastung – hier mit SARS-CoV-2-Viren - zu reinigen berechnet werden.

$$\dot{V}_{gerät,p} = \dot{V}_{zus,p} / \eta_{gerät} \quad (2)$$

Dieser Luftvolumenstrom gereinigter Luft muss **im Betriebspunkt** des Gerätes bereitgestellt werden können. Anmerkung: Dieser ist nicht identisch mit dem sehr strikt definierten CADR-Wert ermittelt z.B. nach ANSI/AHAM AC-1-2020²².

Beispiel: Ein Gerät mit einer Reinigungseffizienz von 95% gegenüber SARS-CoV-2-Viren müsste entsprechend einen Volumenstrom von mindestens $39,6 \text{ m}^3/\text{h}/\text{Person} / 0,95 = 41,7 \text{ m}^3/\text{h}/\text{Person}$ bereitstellen.

Wichtig: Einige Geräte können den Luftvolumenstrom automatisch anhand von Messwerten (z.B. CO₂- und/oder Partikelanzahl) einstellen. Eine solche Automatik muss vor dem Hintergrund der Anwendung für die Reinigung gegenüber SarS-COV-2-Viren ausgestellt sein, da nicht die Viren detektiert werden, sondern andere mit diesen nicht in Zusammenhang stehende. Entsprechend müssen die Geräte stets mindestens am Betriebspunkt (oder darüber) betrieben werden.

Damit kann basierend auf dem bauseits vorliegender Volumenstrom unkontaminierter Luft \dot{V}_{bau} in m³/h und dem geforderten Luftvolumenstrom pro Person $\dot{V}_{IDA,p}$ die geeignete Belegungsdichte $n_{p,Luft}$ ermittelt werden, welche mit dem parallelen Hygiene- und Abstandskonzept (HAK) abgeglichen werden muss.

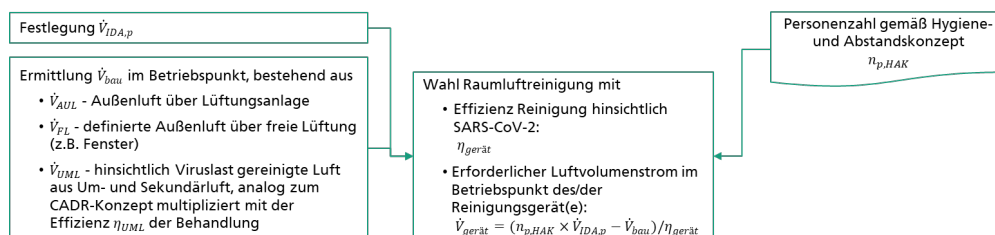
$$n_{p,Luft} = \dot{V}_{bau} / \dot{V}_{IDA,p} \leq n_{p,HAK} \quad (3)$$

Alternativ kann basierend auf dem bauseits vorliegender Volumenstrom unkontaminierter Luft \dot{V}_{bau} in m³/h und dem geforderten Luftvolumenstrom pro Person $\dot{V}_{IDA,p}$ für eine mit dem Hygiene- und Abstandskonzept abgeglichene, definierte Personenzahl $n_{p,HAK}$ die erforderliche Bereitstellung an unkontaminierter Luft ermittelt werden und damit die Größe eines Raumluftreinigers gewählt werden.

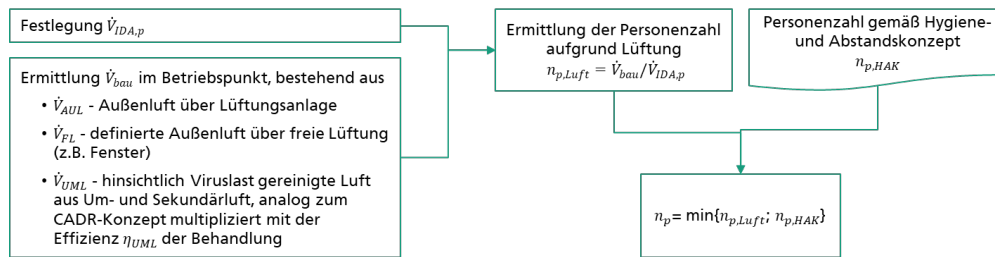
$$\dot{V}_{gerät} = (n_{p,HAK} \times \dot{V}_{IDA,p} - \dot{V}_{bau}) / \eta_{gerät} \quad (4)$$

Ein mögliches Schema der Anforderungsermittlung könnte wie folgt aussehen:

a) Ermittlung Raumluftreiniger



b) Ermittlung Personenzahl



Effizienz der Reinigung

Bei der Luftreinigung können zwei Prinzipien unterschieden werden: durch Abscheidung von Partikeln sowie durch Inaktivierung der Erreger. Beide Prinzipien können allein oder auch in Kombination wirksam sein und das Infektionsrisiko senken. Bei der Bewertung der Effizienz muss deutlich unterschieden werden, ob die angegebene Effizienz mit einer abscheidenden Wirkung oder eine Reduktion der Virulenz (potentiell infektiös) einhergeht. Die abscheidende Wirkung lässt keinerlei Rückschlüsse auf die potentielle Infektiosität der verbleibenden, bzw. abgeschiedenen Partikel zu. Das kann nur durch entsprechende mikrobielle Analyse im Labor erfolgen. Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass die Wirkung von Desinfektionstechnologien und Filtertechnologien eine getrennte Betrachtung benötigen.

Reinigung durch Abscheidung

Die Abscheidung von Partikeln – darunter auch Viren - geschieht typischerweise über Filter, zuweilen auch (teils unterstützend) durch elektrische Felder. Für die Effizienz dieser Filter bestehen einschlägige Regelwerke, die Effizienz wird typischerweise für die sogenannte „most penetrating particle size“ angegeben, die unter Zugabe von standardisierten Prüfstäuben den Filter passiert. Hier wird ein Wirkungsgrad bzw. **Abscheidegrad** ermittelt, der die Anzahl der abgeschiedenen Partikel im Verhältnis zu den beaufschlagten Partikeln setzt. Typischerweise liegt die am schwierigsten abzuschneidende Partikelgröße mit 100-300 nm etwas oberhalb der Größe von SARS-CoV-2-Viren (ca. 80 – 140 nm). Für Schwebstoffe werden nach EN 1822²³ sowie nach ISO 29463²⁴ u.a. folgende Filterklassen/-gruppen unterschieden:

Filterklasse gemäß EN 1822	Filtergruppe gemäß ISO 29463	Fraktionsabscheidegrad im MPPS
E10	-	≥ 85%
E11	ISO 15 E	≥ 95%
	ISO 20 E	≥ 99%
E12	ISO 25 E	≥ 99,5%
	ISO 30 E	≥ 99,90%
H13	ISO 35 H	≥ 99,95%
	ISO 40 H	≥ 99,99%
H14	ISO 45 H	≥ 99,995%
	ISO 50 U	≥ 99,999%

Ab der Filterklasse H13 werden die Filter im Rahmen der Qualitätssicherung individuell getestet.

Die Effizienz / der Abscheidegrad ist bezüglich der Senkung der Virenbelastung letztlich in Kombination mit dem behandelten Luftvolumenstrom zu betrachten. Höhere Filterklassen sind offensichtlich effizienter, bewirken jedoch gleichzeitig durch höhere Druckverluste eine höhere notwendige Ventilatorleistung und damit potentiell höhere Geräuschpegel sowie einen größeren Energieverbrauch. Letztlich muss zwischen diesen Kriterien bei der Auswahl abgewogen werden.

Reinigung durch Inaktivierung

Durch Behandlung des Luftstromes mit Technologien wie UVC-Bestrahlung, Ionisation/Plasma oder Ozon-Zugabe kann die Virenhülle zerstört werden oder es können die darin enthaltenen Viren bezüglich ihrer Replikation inaktiviert werden. Nach Durchströmen der Inaktivierungsstrecke sind die Virenpartikel noch vorhanden, jedoch nicht mehr vermehrungsfähig. Im Gegensatz zu Filtern existiert aktuell keine etablierte Normung für die Bestimmung der Effizienz solcher Geräte. In ersten Untersuchungen anhand von Corona-Surrogat-Viren konnte jedoch die Wirksamkeit einzelner Geräte bereits gezeigt werden. Letztlich muss ein Nachweis auf die Wirksamkeit der Inaktivierung und deren Effizienz im Betriebsbereich durch den Hersteller vorgelegt werden. Dieser Wirksamkeitsnachweis und Effizienztest muss an luftgetragenen Surrogat-Viren erfolgen und eine Aussage über die Replikationsfähigkeit der Viren nach der Luftbehandlung erlauben. Nachweisverfahren der Oberflächendesinfektion (z.B. nach DIN EN 14476²⁵) sowie hinsichtlich Vorhandensein von Virusmaterial (z.B. PCR-Tests) sind hierfür nicht ausreichend.

Beiprodukte

Bei Technologien der Inaktivierung entstehen typischerweise chemische Beiprodukte – sei es gezielt, z.B. durch die Erzeugung von Ozon (O₃), oder als Sekundärprodukt, z.B. durch die Weiterreaktion mit anderen Luftbestandteilen, insbesondere flüchtigen organischen Stoffen.

Es muss daher bei Reinigungstechnologien zu Inaktivierung (wie UVC-Bestrahlung, Ionisation, Plasma, Ozon) ein Nachweis erbracht werden, dass keine gesundheitsschädlichen Reaktionsprodukte entstehen.

Es empfiehlt sich dies im realen Umfeld nach der folgenden Vorgehensweise nachzuweisen:

- Festlegung eines typischen Szenarios in dem das Luftreinigungsgerät in der spezifizierten Raumdimension betrieben wird (z.B. Schule, Gastronomie, Büro)
- Auswahl eines Musterraumes gemäß des Szenarios mit typischen Einrichtungen und Bauprodukten, wie Mobiliar, Wand- und Deckenverkleidung, Bodenbelägen usw.. Es sollte darauf geachtet werden, dass dieser Raum mit modernen, aktuell gängigen Baumaterialien und Mobiliar ausgestattet ist, um Fehlinterpretation durch potentielle Schadstoffeinträge früherer Zeiten, wie z.B. Holzschutzmittel, Asbest, Biozidanstriche, zu vermeiden.
- Durchführung einer Emissionsmessung im Musterraum auf die Bildung von VOCs (flüchtige organische Verbindungen, inklusive Aldehyde und Ketone) in Anlehnung an die DIN EN ISO 16000-1²⁶, DIN ISO 16000-3²⁷, DIN EN ISO 16000-5²⁸ und DIN ISO 16000-6²⁹ nach folgendem Schema: (1) Blindwertprobenahme der Innenraumemissionen vor Einschalten des Gerätes. (2) Probenahme nach

Einschalten des Gerätes gemäß den Gerätespezifikationen, d.h. frühester Probenahmezeitraum nachdem das rechnerische Raumluftvolumen mindestens einmal komplett durch das Gerät gezogen wurde. (3) Laboranalyse der Raumluftproben auf VOC mittels GC/MS-Methode und Aldehyde/Ketone mittels HPLC-Methode.

- Messung der Bildung von Ozon während der gesamten Beprobungszeit von der Blindwertprobenahme bis zum Ende der zweiten Probenahme.
- Erstellung eines Prüfberichts gemäß den Kriterien des DIN EN 16516³⁰ mit Konformitätsbewertung gemäß den Innenraumrichtwerten des Umweltbundesamtes³¹ und den Orientierungswerten der AGÖF³², Bewertung der Bildung von Ozon anhand des maximalen Zielwertes des Bundes-Immissionsschutzgesetzes von 120 µg/m³

Die Untersuchungen sollten durch ein Prüflaboratorium durchgeführt werden, welches gemäß der DIN EN ISO/IEC 17025³³ für die oben genannten Prüfnormen akkreditiert wurde.

Geräuschemissionen

Bei der Förderung von Luft durch Ventilatoren entstehen Geräusche. Typischerweise umso lauter, je größer der zu überwindende Widerstand im Gerät ist (der sogenannte Druckverlust) und je dichter der Betriebspunkt an der maximalen Förderleistung der Ventilatoren liegt. Diese Geräuschentwicklung (Schallemission) durch Geräte wird durch den A-bewerteten Schalleistungspegel charakterisiert. Für die Lärmbelastung für Personen im Raum bestehen Grenzwerte an den Hintergrund-Schalldruckpegel, u.a. aus den ASR A3.7 Technische Regeln für Arbeitsstätten – Lärm. Eine konkrete Berechnung für die Immissionswerte kann nicht im Allgemeinen vorgenommen werden, da sie von der spezifischen Einsatzumgebung abhängt. Zur Orientierung sollten jedoch folgende Anforderungen an den **bewerteten Schalleistungspegel** des Gerätes im Betriebspunkt (oder darüber) angelegt werden, um die Anforderungen an das Grundgeräusch nach ASR A3.7 durch einen Luftreiniger nicht zu überschreiten.

Raumgröße	bewerteter Schalleistungspegel
für kleine Räume (< ca. 50 m ³)	L _w < 38 dB(A)
für mittlere Räume (< ca. 200 m ³)	L _w < 45 dB(A)
für große Räume (> ca. 200 m ³)	L _w < 55 dB(A) bei einem Gerät, L _w < 50 dB(A) bei mehreren Geräten

Die Luftschallemissionen von mobilen Luftreinigern sind nach DIN EN IEC 60704³⁴ zu ermitteln. Diese Messungen sind bei allen elektrischen Geräten (einschließlich ihres Zubehörs oder ihrer Einzelteile) für den Hausgebrauch und ähnliche Verwendung für Netzbetrieb oder Batteriebetrieb üblich. Dort werden besondere Prüfbedingungen festgelegt, die für maschinenspezifische Messungen wichtig sind. Die akustisch zugelassenen Verfahren sind: ISO 3743-1 (Hallraum Klasse 2)³⁵, ISO 3743-2 (Sonderhallraum)³⁶, ISO 3744 (Hüllfläche im Freifeldraum Klasse 2)³⁷. Um Normenkonform messen zu können, müssen Einflussparameter wie Temperatur, elektrische Spannung, und ggf. Drehzahl mitgemessen werden. Neben dem Schallpegel in dB(A) ist die psychoakustische Charakteristik der Geräusche ein wichtiges Kriterium:

Bei der Beurteilung der Geräusche sollten Korrekturen nach DIN 45645-2³⁸ berücksichtigt werden, insbesondere wenn die Geräusche wahrnehmbare tonale Anteile aufweisen. Dies führt zu Beurteilungspegeln.

Produktsicherheit

Für die Geräte muss eine **Konformitätserklärung (CE-Kennzeichnung)** vorliegen, idealerweise ein GS-Zeichen für geprüfte Sicherheit von Konsumgütern. Insbesondere bei der Anwendung von UV-Strahlung muss sichergestellt sein, dass keine UV-Strahlung in den Raum abgegeben wird und eine Abschaltung auch bei Öffnung des Gerätes, (z.B. für Wartungs- oder Reinigungsarbeiten) sichergestellt ist.

Betrieb und Wartung

Es sollte vom Hersteller eine Installations- und Betriebsanweisung, Aussagen über Betriebsdauern und -zyklen (z.B. Filter, UV-Röhren) sowie Anweisungen zur Wartung und Instandhaltung, inkl. des Umgangs mit potentiell virenbelasteten Bauteilen (z.B. Entsorgung von Filtern), und eine Liste über den möglichen Bezug von Ersatzteilen und Verbrauchsmaterialien vorgelegt werden.

Anforderungen an den Aufstellort

Der Aufstellort für die Geräte muss so gewählt werden, dass das Gerät frei angeströmt wird und ungestört die gereinigte Luft wieder bestimmungsgemäß in den Raum einbringen kann.

Zur **Vermeidung von Zugluftbeschwerden** sollte im Aufenthaltsbereich vor den Geräten eine Luftgeschwindigkeit von 0,3 m/s nicht überschreiten (nach DIN EN ISO 7730³⁹ gemessen in 1,1 m Höhe für sitzende bzw. 1,7 m Höhe für stehende Tätigkeiten).

Am Aufstellort muss insbesondere auch ein **elektrisch sicherer Betrieb** des Gerätes erfolgen, hierbei ist auch auf die ausreichende elektrische Sicherung / Schutzvorrichtung zu achten.

Ebenfalls muss das Gerät **zugänglich** für Wartung und Instandhaltung sein.

Kontakt

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
Fraunhoferstraße 10
83626 Valley

Ansprechpartner / Projektleitung

Prof. Dr. Gunnar Grün
Telefon +49 8024 643-228
gunnar.gruen@ibp.fraunhofer.de

Projektmanagement

K2K GmbH | Kornelia Kneissl
Telefon +49 89 98247938
k.kneissl@k2k-services.de

www.ibp.fraunhofer.de

Literatur

- ¹ Bouriba, L. (2020): Turbulent Gas Clouds and Respiratory Pathogen Emissions. Potential Implications for Reducing Transmission of COVID-19. In: JAMA. 26. März 2020, doi:10.1001/jama.2020.4756.
- ² Doremalen, N. van, Bushmaker, T., Morris, D.H., Holbrook, M.G., Gamble, A., Williamson, B.N., Tamin, A., Harcourt, J.L., Thornburg, N.J., Gerber, S.I., Lloyd-Smith, J.O., Wit, E. de, Munster, V.J.. (2020): Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1. *N. Engl. J. Med.* 382: 1564–1567. <https://doi.org/10.1056/NEJMc2004973>.
- ³ Meselson M. (2020). Droplets and Aerosols in the Transmission of SARS-CoV-2. *The New England journal of medicine*, 382(21), 2063. <https://doi.org/10.1056/NEJMc2009324>.
- ⁴ Morawska, Lidia, and Junji Cao. "Airborne transmission of SARS-CoV-2: The world should face the reality." *Environment international* vol. 139 (2020): 105730. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105730>.
- ⁵ Scheuch, G. (2020): Breathing Is Enough: For the Spread of Influenza Virus and SARS-CoV-2 by Breathing Only. *Journal of Aerosol Medicine and Pulmonary Drug Delivery* 33(4): 230-234.
- ⁶ Tang, S., Mao, Y., Jones, R. M., Tan, Q., Ji, J. S., Li, N., Shen, J., Lv, Y., Pan, L., Ding, P., Wang, X., Wang, Y., MacIntyre, C. R., & Shi, X. (2020). Aerosol transmission of SARS-CoV-2? Evidence, prevention and control. *Environment international*, 144, 106039. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106039>.
- ⁷ Carvallo, N.A. de, Stachler, E.N., Cimabue, N., Bibby, K. (2017): Evaluation of Phi6 Persistence and Suitability as an Enveloped Virus Surrogate. *Environmental Science & Technology* 51: 8692-8700.
- ⁸ Prussin, A.J., Schwake, D.O., Lin, K., Gallagher, D.L., Buttling, L., Marr, L.C. (2018): Survival of the Enveloped Virus Phi6 in Droplets as a Function of Relative Humidity, Absolute Humidity, and Temperature. *Applied and Environmental Microbiology* 84(12).
- ⁹ Whitworth, C., Mu, Y., Houston, H., Martinez-Smith, M., Noble-Wang, J., Coulliette-Salmond, A., Rose, L. (2020): Persistence of bacteriophage Phi 6 on Porous and Nonporous Surfaces and the Potential for Its Use as an Ebola Virus or Coronavirus Surrogate. *Applied and Environmental Microbiology* 86(17): 1-11.
- ¹⁰ Casanova, L.M. & Waka, B. (2013): Survival of a Surrogate Virus on N95 Respirator Material. *Infection Control and Hospital Epidemiology* 34(12): 1334-1335.
- ¹¹ Turgeon, N., Toulouse, M.-J., Martel, B., Molneau, S., Duchaine, C. (2014): Comparison of Five Bacteriophages as Models for Viral Aerosol Studies. *Applied and Environmental Microbiology* 80(14): 4242-4250.
- ¹² DIN ISO 16000-36:2019-07, Innenraumluftverunreinigungen – Teil 36: Prüfkammer-Verfahren zur Bestimmung der Minderungsrate luftgetragener, kultivierbarer Bakterien durch Luftreiniger mit einer Prüfkammer.
- ¹³ DIN ISO 16000-16:2009-12, Innenraumluftverunreinigungen - Teil 16: Nachweis und Zählung von Schimmelpilzen - Probenahme durch Filtration.
- ¹⁴ DIN ISO 16000-17:2010-06 Innenraumluftverunreinigungen - Teil 17: Nachweis und Zählung von Schimmelpilzen – Kultivierungsverfahren.
- ¹⁵ Baer, A. & Kehn-Hall, K. (2014): Viral Concentration Determination Through Plaque Assay: Using Traditional and Novel Overlay Systems. *Journal of Visualized Experiments* 93: 1-10.
- ¹⁶ Dulbecco, R. 1952. Production of plaques in monolayer tissue cultures by single particles of an animal virus. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 38:747–752.
- ¹⁷ Umweltbundesamt, Stellungnahme der Kommission Innenraumluftthygiene (IRK), Einsatz mobiler Luftreiniger als Lüftungsunterstützende Maßnahme in Schulen während der SARS-CoV-2 Pandemie (Stand: 16. November 2020)
- ¹⁸ DIN ISO 16000-6:2012-11 Innenraumluftverunreinigungen – Teil 6: Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammern, Probenahme auf Tenax TA®, thermische Desorption und Gaschromatographie mit MS oder MSFID.

- ¹⁹ DIN ISO 16000-3:2013-01 Innenraumluftverunreinigungen – Teil 3: Messen von Formaldehyd und anderen Carbonylverbindungen in der Innenraumluft und in Prüfkammern – Probenahme mit einer Pumpe.
- ²⁰ DIN EN 15251:2012-12: Eingangsparmeter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik
- ²¹ 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.
- ²² ANSI/AHAM AC-1-2020 (Portable Electric Room Air Cleaners): Method for Measuring Performance of Portable Household Electric Room Air Cleaners.
- ²³ DIN EN 1822-1:2019-10 Schwebstofffilter (EPA, HEPA und ULPA) - Teil 1: Klassifikation, Leistungsprüfung, Kennzeichnung
- ²⁴ ISO 29463-1:2017-09 Schwebstofffilter und Filtermedien zur Abscheidung von Partikeln aus der Luft - Teil 1: Klassifizierung, Leistungsprüfung, Kennzeichnung
- ²⁵ DIN EN 14476:2019-10 Chemische Desinfektionsmittel und Antiseptika - Quantitativer Suspensionsversuch zur Bestimmung der viruziden Wirkung im humanmedizinischen Bereich - Prüfverfahren und Anforderungen (Phase 2, Stufe 1)
- ²⁶ DIN EN ISO 16000-1:2006-06. Innenraumluftverunreinigungen – Teil 1: Allgemeine Aspekte der Probenahmestrategie
- ²⁷ DIN ISO 16000-3: 2002-08. Innenraumluftverunreinigungen - Teil 3: Messen von Formaldehyd und anderen Carbonylverbindungen Probenahme mit einer Pumpe
- ²⁸ DIN EN ISO 16000-5:2007-05. Innenraumluftverunreinigungen – Teil 5: Probenahmestrategie für flüchtige organische Verbindungen (VOC)
- ²⁹ DIN ISO 16000-6: 2012-11. Innenraumluftverunreinigungen – Teil 6: Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammern, Probenahme auf Tenax TA[®], thermische Desorption und Gaschromatographie mit MS oder MS-FID
- ³⁰ DIN EN 16516:2018-01 Bauprodukte - Bewertung der Freisetzung von gefährlichen Stoffen - Bestimmung von Emissionen in die Innenraumluft
- ³¹ Umweltbundesamt:
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/kommissionen-arbeitsgruppen/ausschuss-fuer-innenraumrichtwerte-vormals-ad-hoc#die-richtwerte-i-und-ii> (abgerufen am 11.3.2021).
- ³² AGÖF: <https://www.agoef.de/orientierungswerte/agoef-voc-orientierungswerte.html#c545> (abgerufen am 11.3.2021).
- ³³ DIN EN ISO/IEC 17025:2018-03 Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien
- ³⁴ DIN EN 60704-1:2010-12: Elektrische Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke - Prüfvorschrift für die Bestimmung der Luftschallemission - Teil 1: Allgemeine Anforderungen (IEC 60704-1:2010)
- ³⁵ DIN EN ISO 3743-1:2011-01 Akustik - Bestimmung der Schalleistungs- und Schallenergiepegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen - Verfahren der Genauigkeitsklasse 2 für kleine, transportable Quellen in Hallfeldern - Teil 1: Vergleichsverfahren in einem Prüfraum mit schallharten Wänden
- ³⁶ ISO 3743-2:2018-02 Akustik - Bestimmung der Schalleistungspegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen - Verfahren der Genauigkeitsklasse 2 für kleine, transportable Quellen in Hallfeldern - Teil 2: Verfahren für Sonder-Hallräume
- ³⁷ DIN EN ISO 3744:2011-02 Akustik - Bestimmung der Schalleistungs- und Schallenergiepegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen - Hüllflächenverfahren der Genauigkeitsklasse 2 für ein im Wesentlichen freies Schallfeld über einer reflektierenden Ebene
- ³⁸ DIN 45645-2:2012-09: Ermittlung von Beurteilungspegeln aus Messungen - Teil 2: Ermittlung des Beurteilungspegels am Arbeitsplatz bei Tätigkeiten unterhalb des Pegelbereiches der Gehörgefährdung

³⁹ DIN EN ISO 7730:2006-05: Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit