TOP 7

Landratsamt München
1.4.3

München, 08.07.2021

Sitzungsvorlage für

Drucksache 15/0366

Ausschuss für Bauen und Schulen	15.07.2021	öffentlich
Kreisausschuss	19.07.2021	öffentlich
Kreistag	26.07.2021	öffentlich

Beschaffung zusätzlicher mobiler Luftreinigungsgeräte für kreiseigene Schulen, Zweckverbände weiterführender Schulen sowie Gemeinden mit Zweckvereinbarung; Neuauflage des Förderprogramms zur Unterstützung der Sachaufwandsträger

Anlagen

Gemeinsames Schreiben des StMAS und StMUK vom 09.07.2021	Anlage 1
Entwurf der neuen Förderrichtlinie FILS-R-N	Anlage 2
Umfrageergebnis Zweckverbandsbereich; Stand: 12.07.2021	Anlage 3
Beschluss des Ausschusses für Bauen und Schulen vom 19.04.2021	Anlage 4
Bedarfsermittlung kreiseigene Schulen; Stand: 12.07.2021	Anlage 5
Schreiben des StMI vom 11.07.2021	Anlage 6

1. Sachvortrag:

Der Ankündigung von Herrn Ministerpräsident Markus Söder folgend, hat das Bayerische Staatsministerium für Unterricht und Kultus (StMUK) eine Neuauflage der Richtlinie zur Förderung von Investitionskosten für technische Maßnahmen zum infektionsgerechten Lüften in Schulen (FILS-R-N) erarbeitet, die derzeit nur in Entwurfsform vorliegt und für die noch das Einvernehmen des Bayerischen Obersten Rechnungshofs sowie des Bayerischen Staatsministeriums der Finanzen und für Heimat eingeholt werden muss (vgl. hierzu Anlagen 1 und 2).

Wesentliche Neuerung der FILS-R-N ist, dass nicht mehr nur ausschließlich mobile Luftreinigungsgeräte mit Filtertechnologie gefördert werden, sondern auch UV-C sowie Ionisations- und Plasmatechnologie zur Verringerung der Aerosolkonzentration. Lediglich Klassen- und Fachräume sind zuwendungsfähig.

Die Zuwendung wird gewährt als nicht rückzahlbarer Zuschuss zur Projektförderung im Wege einer Anteilfinanzierung von bis zu 50 Prozent der zuwendungsfähigen Ausgaben, begrenzt auf höchstens 1.750 Euro je förderfähigem Raum (unabhängig davon, wie viele Geräte in einem Raum aufgestellt werden müssen).

Zuwendungsfähig ist ausschließlich die Beschaffung der Geräte. Personal-, Betriebs-, Wartungs- und Verwaltungskosten werden im Rahmen der FILS-R-N nicht gefördert. Diese haben die Sachaufwandsträger alleine zu tragen.

Die neue Förderrichtlinie trifft in der aktuellen Entwurfsfassung keine Aussage darüber, ob auch Räume förderfähig sind, die bereits mit einer stationären raumlufttechnischen Anlage ausgerüstet sind.
Aus Sicht der Landkreisverwaltung macht eine solche zusätzliche Ausstattung allerdings keinen Sinn, weshalb davon abgeraten wird.

Vor dem Hintergrund der neuen FILS-R-N ist zu klären, wie sich der Landkreis München hinsichtlich der Beschaffung weiterer Luftreinigungsgeräte positionieren möchte.
Dies betrifft sowohl den Zweckverbandsbereich mit den dortigen Realschulen und Gymnasien, als auch die kreiseigenen Schulen.

Anmerkung zur Kostenberechnung unter Nrn. 1.1 und 1.2:

Die genauen Gerätepreise sind derzeit nicht bekannt, zumal gemäß der neuen Förderrichtlinie zusätzliche Technologien zum Einsatz kommen und die Preise dadurch noch stärker variieren können.
Es wurde daher vom maximalen Förderbetrag in Höhe von 1.750 Euro ausgegangen und dieser entsprechend verdoppelt, da die Förderung maximal 50 % beträgt. Es ergibt sich somit ein kalkulierter Preis von 3.500 Euro pro Gerät.
Die im letzten Jahr beschafften Geräte lagen unter diesem Betrag und es wird derzeit davon ausgegangen, dass die Stückpreise eher sinken werden (günstigere Technologien und größerer Wettbewerb).

1.1. Zweckverbandsbereich

Zur Feststellung weiterer möglicher Bedarfe an Luftreinigungsgeräten bei den Realschulen und Gymnasien im Landkreis München wurde eine kurzfristige Umfrage (Ergebnis siehe Anlage 3) bei den Zweckverbänden und Gemeinden mit Zweckvereinbarung durchgeführt - wieviel Klassen-/Fachräume noch nicht ausgestattet sind – und hat ergeben, dass insgesamt **630 Klassen-/Fachräume** sowie sonstige Räume (beispielsweise Räumlichkeiten der Verwaltung, Mensa, OGS) ausgestattet und entsprechend Anschaffungen getätigt werden könnten. Räume mit entsprechenden stationären raumlufttechnischen Anlagen wurden nicht berücksichtigt.

Im Falle einer Ausstattung aller gemeldeten, noch nicht ausgestatteten Räume ergäbe dies **Gesamtanschaffungskosten i.H.v. 2.205.000 Euro**, wovon 50 % gefördert werden würden. Somit wären nach Abzug der Förderung Kosten i.H.v. **1.102.500 Euro** zu decken. Zudem werden - wie oben bereits beschrieben - Kosten wie **Personalkosten, Betriebs-, Wartungs- und Verwaltungskosten** im Rahmen der Richtlinie **nicht gefördert** und kommen somit zusätzlich auf die Sachaufwandsträger zu.

Mit Beschluss des Ausschusses für Bauen und Schulen am 19.04.2021 (DS 15/0266; Anlage 4) wurde u.a. beschlossen, dass aufgrund Gleichbehandlung aller Zweckverbände und Gemeinden mit Zweckvereinbarung die Kosten, die nicht durch die zweite Antragsrunde zur Förderung von Investitionskosten für technische Maßnahmen zum infektionsschutzgerechten Lüften in Schulen gedeckt sind, nicht vom Landkreis München getragen werden.

Da der Entwurf der Neuauflage der FILS-R-N im Grunde gleichlautende Rahmenbedingungen beinhaltet, wie dies bereits bei der zweiten Antragsrunde im Frühjahr 2021 der Fall war und um die Gleichbehandlung aller Zweckverbände und Gemeinden mit Zweckvereinbarung weiterhin zu gewährleisten, bedarf es erneut einer einheitlichen Regelung. Aus diesem Grund ist eine grundsätzliche Entscheidung herbeizuführen, ob die Kosten, die nicht durch Fördermittel oder andere Zuschüsse gedeckt werden, weiterhin nicht vom Landkreis München getragen werden sollen.

Unabhängig von der Kostentragung trifft die finale Entscheidung über Art und Umfang der Anschaffungen von Luftreinigungsgeräten bei Realschulen und Gymnasien im Landkreis München der jeweils zuständige Zweckverband bzw. die zuständige Gemeinde (bei Zweckvereinbarungen).

1.2. Kreiseigene Schulen

Für die kreiseigenen Schulen wurde eine aktuelle Bedarfsermittlung durchgeführt, bei der insbesondere die zusätzlichen Anmietungen für die FOS Haar (Interimslösung), die Berufsfachschule für Kinderpflege (Interimslösung Feldkirchen) und die Außenklassen der Förderzentren berücksichtigt wurden (siehe Anlage 5).

Die neue Förderrichtlinie gilt ausdrücklich nur für Klassen- und Fachräume, sodass dies bei der Bedarfsermittlung ebenfalls beachtet wurde.

Die bereits Ende 2020/Anfang 2021 beschafften Luftreinigungsgeräte wurden in Abzug gebracht.

Grundsätzlich sind zwei Varianten denkbar:

Variante 1: Es werden alle Klassen- und Fachräume ausgestattet, die **nur** über eine manuelle Lüftungsmöglichkeit verfügen.
In diesem Fall müssten ca. **86 Geräte** beschafft werden. Bei einem maximalen Anschaffungswert von 3.500 Euro pro Gerät betragen die **Gesamtkosten** insgesamt voraussichtlich **maximal 301.000 Euro**, wovon **50% vom Freistaat Bayern gefördert** werden, sodass ein "**Eigenanteil**" von **150.500 Euro** verbleibt.

Variante 2: Es werden alle Klassen- und Fachräume ausgestattet, auch wenn diese über eine manuelle Lüftungsmöglichkeit **und** eine stationäre raumlufttechnische Anlage verfügen.
In diesem Fall müssten ca. **241 Geräte** beschafft werden. Die **Gesamtkosten** betragen voraussichtlich **maximal 843.500 Euro**, wovon **50% vom Freistaat Bayern gefördert** werden, sodass hier ein "**Eigenanteil**" von **421.750 Euro** verbleibt.

Da eine doppelte Luftreinigung durch stationäre raumlufttechnische Anlagen **und** mobile Luftreinigungsgeräte nicht sinnvoll erscheint, wird seitens der Landkreisverwaltung die Variante 1 empfohlen.

1.3. Haushaltsmittel

Im Bereich der Zweckverbandsschulen werden die Ausgaben für mobile Luftreinigungsgeräte im Rahmen der Betriebskostenumlage (.7120/.7130) an die Zweckverbände und Gemeinden mit Zweckvereinbarung erstattet.
Alle Haushaltsstellen der Betriebskostenumlagen stehen im Landkreishaushalt im Zweckbindungsring 49 zueinander. Erfahrungsgemäß werden die Haushaltsmittel in diesem Zweckbindungsring nicht ausgeschöpft, sodass eine entsprechende Deckung gewährleistet sein sollte.

Im Bereich der kreiseigenen Schulen werden die Ausgaben für die mobilen Luftreinigungsgeräte zunächst auf einer zentralen Haushaltsstelle verbucht und anschließend mit den Fördermitteln des Freistaats Bayern verrechnet.

Der "Eigenanteil" wird dann auf die entsprechende Haushaltsstelle der jeweiligen Schule verbucht (.9350 - Erwerb von beweglichen Sachen des Anlagevermögens).

Zum jetzigen Zeitpunkt wird davon ausgegangen, dass auf den o.g. Haushaltsstellen bzw. den entsprechenden Deckungsringen ausreichend Mittel vorhanden sind.

In Abstimmung mit der Kämmerei wären hilfsweise überplanmäßige Ausgaben möglich, deren Genehmigung vorsorglich mit dieser Sitzungsvorlage beantragt wird.

1.4. Besondere Hinweise der Landkreisverwaltung

- Vergaberecht

  Das StMUK hatte zunächst mitgeteilt, dass die zuständigen Ressorts klären würden, inwieweit Erleichterungen in den Vergabevorschriften zur Anwendung kommen können.
  Insbesondere sollte geprüft werden, ob die starke Ausbreitung der Delta-Variante des Corona-Virus es nicht rechtfertigen würde, bei Beschaffungen, deren Wert den EU-Schwellenwert von 214.000 € (netto) erreicht oder überschreitet, wegen außerordentlicher Dringlichkeit an Stelle eines EU-weiten Ausschreibungsverfahren eine Verhandlungsvergabe ohne Teilnahmewettbewerb durchzuführen.

  Mit Schreiben des Bayerischen Staatministers des Innern, für Sport und Integration vom 11.07.2021 (Anlage 6) wurde nun aber mitgeteilt, dass aus den dort genannten Gründen im Ergebnis in den Fällen entsprechend hoher Auftragswerte die Beschaffung von Luftreinigungsgeräten im Wege eines Verhandlungsverfahrens ohne EU-weite Bekanntmachung mit erheblichen rechtlichen Risiken verbunden wäre, folglich eine EU-weites Ausschreibungsverfahren durchgeführt werden müsste.

  Im Zweckverbandsbereich könnten zumindest bei einzelnen Zweckverbänden bzw. Gemeinden die Beschaffungen unter dem EU-Schwellenwert liegen.
  Bei den kreiseigenen Schulen liegen beide Varianten voraussichtlich über dem EU-Schwellenwert.

  Aufgrund der komplexen Anforderung der neuen FILS-R-N sowie der nun einsetzbaren Technologien (Filter-, UV-C- oder Ionisations- und Plasmatechnologie) wird in der Förderrichtlinie empfohlen, sich durch eine lüftungstechnische Fachfirma beraten und unterstützen zu lassen. Diese sollte mit der Erstellung der erforderlichen Leistungsbeschreibung beauftragt werden.

  Nach Aussage der Kämmerei würde die Durchführung eines EU-weiten Ausschreibungsverfahrens ca. 40 Kalendertage in Anspruch nehmen. Bis zur Zuschlagserteilung werden sich die Lieferzeiten wahrscheinlich erheblich verlängert haben (vgl. hierzu nächsten Punkt "Verfügbarkeit"). Zum jetzigen Zeitpunkt wird davon ausgegangen, dass die **Aufträge frühestens Anfang September 2021 erteilt** werden können.

  Um das Vergabeverfahren nicht unnötig zu verzögern, wird vorsorglich ein ensprechender Beschlussvorschlag aufgenommen, der die Landkreisverwaltung bevollmächtigt, die Vergabe durchzuführen und den Zuschlag zu erteilen.

- Verfügbarkeit

  Aufgrund der nun vermutlich sehr hohen Nachfrage an mobilen Luftreinigungsgeräten muss von längeren Lieferzeiten ausgegangen werden.

Eine tagesaktuelle Abfrage von voraussichtlichen Lieferzeiten macht zum jetzigen Zeitpunkt keinen Sinn, weil die Erfahrung des letzten Jahres gezeigt hat, dass sich diese nahezu täglich verlängern.
Aus Sicht der Landkreisverwaltung kann **im besten Fall** mit einer Lieferung ab Mitte Oktober, eher Anfang November 2021 gerechnet werden.

- Wirksamkeit und Nutzen

  Zu Wirksamkeit und Nutzen gehen die Aussagen der Fachleute deutlich auseinander.

  Aktuell ist aber davon auszugehen, dass der Einsatz von mobilen Luftreinigungsgeräten weiterhin lediglich als **unterstützende Maßnahme** zu sehen ist und das regelmäßige Lüften der Räume nicht ersetzen kann.
  Inwieweit der flächendeckende Einsatz von Luftreinigungsgeräten Einfluss auf die Maskenpflicht für Schülerinnen und Schüler haben wird kann derzeit noch nicht beurteilt werden und bleibt der Entscheidung des StMUK vorbehalten.

2. Entscheidungszuständigkeit:

Ausschuss für Bauen und Schulen vorberatend	(§ 38 Abs. 4 GeschO-KT)
Kreisausschuss vorberatend	(§ 34 Abs. 3 GeschO-KT)
Kreistag beschließend	(§ 29 Abs. 2 Nr. 7 GeschO-KT)

3. Beschlussvorschlag:

1. Der Landkreis München beschließt aufgrund der Gleichbehandlung aller Zweckverbände und Gemeinden mit Zweckvereinbarung die Übernahme der Kosten, die nicht durch die Förderung gedeckt sind.

   Variante 1: Kostenübernahme für alle Klassen- und Fachräume, die **nur** über eine manuelle Lüftungsmöglichkeit verfügen.

   Variante 2: Kostenübernahme für alle Klassen- und Fachräume, auch wenn diese über eine manuelle Lüftungsmöglichkeit **und** eine stationäre raumlufttechnische Anlage verfügen.

   alternativ

   Der Landkreis München beschließt aufgrund der Gleichbehandlung aller Zweckverbände und Gemeinden mit Zweckvereinbarung, dass die Kosten, die nicht durch die Förderung gedeckt sind, nicht vom Landkreis München getragen werden.

2. Der Landkreis München beschließt grundsätzlich für sämtliche kreiseigenen Schulen, einschließlich Interimslösungen und Außenklassen die Beschaffung weiterer mobiler Luftreinigungsgeräte.

   Variante 1: Es werden alle Klassen- und Fachräume ausgestattet, die **nur** über eine manuelle Lüftungsmöglichkeit verfügen.

   Variante 2: Es werden alle Klassen- und Fachräume ausgestattet, auch wenn diese über eine manuelle Lüftungsmöglichkeit **und** eine stationäre raumlufttechnische Anlage verfügen.

alternativ

Der Landkreis München beschließt keine weiteren mobilen Luftreinigungsgeräte zu beschaffen.

3. Die Landkreisverwaltung wird beauftragt und bevollmächtigt das für die Beschaffung von mobilen Luftreinigungsgeräten für die kreiseigenen Schulen erforderliche Vergabeverfahren durchzuführen und dem wirtschaftlichsten Angebot den Zuschlag zu erteilen. Die Kreisgremien sind entsprechend zu informieren.

4. Sollten überplanmäßige Ausgaben erforderlich werden, werden diese hiermit genehmigt.

Christoph Göbel
Landrat

Bayerisches Staatsministerium für Familie, Arbeit und Soziales
80792 München
Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus
80327 München

Bayerisches Staatsministerium
Familie, Arbeit und Sozi
Bayerisches Staatsministerium für
Unterricht und Kultus

TOP 7

Abdruck
AMTSCHEF

Geschäftsführung der Kommunalen
Spitzenverbände

Ausschließlich per Mail

Ihr Zeichen, Ihre Nachricht vom	Unser Zeichen, Unsere Nachricht vom	DATUM
	II.6-BO4161.0/41	09.07.2021

Richtlinien zur Förderung von Investitionskosten für technische Maßnahmen zum infektionsschutzgerechten Lüften in Schulen, in der Kindertagesbetreuung und in den Heilpädagogischen Tagesstätten der Jugend- und Behindertenhilfe

Anlagen:
2 Richtlinien im Entwurf

Sehr geehrte Damen und Herren,

wir möchten uns nochmals für den konstruktiven Austausch mit Ihnen und Ihren Präsidenten am Montag, den 5. Juli 2021, bedanken. Im Rahmen der vertrauensvollen Zusammenarbeit übermitteln wir Ihnen anbei vorab die Entwürfe zu o. g. Förderrichtlinien zur Kenntnis.

Die Entwürfe basieren auf dem Ministerratsbeschluss „Förderung technischer Luftreinigungsgeräte in Schulen sowie im Kita-Bereich“ vom 6. Juli 2021. Darin hat die Staatsregierung beschlossen, Kommunen und Einrichtungsträger dabei zu unterstützen, für alle Klassen an den Schulen sowie in allen Gruppen- und Funktionsräumen in Kindertageseinrichtungen, Großtagespflegestellen und Heilpädagogischen Tagesstätten technisch adäquate Lüftungs-, Luftreinigungsanlagen bzw. -geräte zu beschaffen.

Zur Umsetzung dieses Beschlusses haben das Staatsministerium für Familie, Arbeit und Soziales (StMAS) sowie das Staatsministerium für Unterricht und Kultus (StMUK) für ihren jeweiligen Zuständigkeitsbereich die beigefügten Förderrichtlinien erarbeitet. Diese sind, abgesehen von Spezifikationen bei den Zuwendungsempfängern und dem Einsatzbereich der förderfähigen Geräte, weitestgehend harmonisiert. Insbesondere die technischen Anforderungen an die mobilen Luftreinigungsgeräte und die dezentralen Lüftungsanlagen sind identisch.

Telefon:
089 1261-0
089 2186-0

E-Mail:
poststelle@stmas.bayern.de
poststelle@stmuk.bayern.de

Internet:
www.stmas.bayern.de
www.stmuk.bayern.de

Adresse:
Winzererstraße 9, 80797 München
Salvatorstraße 2, 80333 München

Wir dürfen darauf hinweisen, dass die Umsetzung des Beschlusses unter dem Vorbehalt der Zustimmung durch den Haushaltsausschuss des Bayerischen Landtags erfolgt.

Derzeit wird das Einvernehmen des Bayerischen Obersten Rechnungshofs sowie des Bayerischen Staatsministeriums der Finanzen und für Heimat eingeholt.

Ungeachtet dessen kann auf kommunaler Ebene bereits mit erforderlichen Vorbereitungsarbeiten begonnen werden.

Für Rückfragen stehen Ihnen die Kolleginnen und Kollegen in den zuständigen Fachreferaten im StMAS (Referat-V1@stmas.bayern.de) und im StMUK (Eva-Maria.Wuestendoerfer@stmuk.bayern.de und Maria.Rouil@stmuk.bayern.de) jederzeit gerne zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen

gez. Dr. Markus Gruber
Ministerialdirektor

gez. Stefan Graf
Ministerialdirektor

Bayerisches Ministerialblatt

BayMBl. 2021 Nr. XX X. Monat 2021

2230.7-K

Richtlinie zur Förderung von Investitionskosten für technische Maßnahmen zum infektionsschutzgerechten Lüften in Schulen – Neuauflage 2021 (FILS-R-N)

Bekanntmachung des Bayerischen Staatsministeriums für Unterricht und Kultus

vom xx. Juli 2021, Az. II.6-BO4161.0/41

[1]Dem infektionsschutzgerechten Lüften kommt auch im Hinblick auf immer wieder neu auftretende Mutationen des Corona-Virus nach wie vor enorme Bedeutung zu, um die Virenlast und damit die Ansteckungsgefahr in Gebäudeinnenräumen durch regelmäßige Frischluftzufuhr zu verringern. [2]Als effektive Maßnahme im Kontext der Hygiene- und Infektionsschutzkonzepte mit dem Ziel der Sicherung des Präsenzunterrichts fördert der Freistaat Bayern Investitionskosten für technische Maßnahmen zum infektionsschutzgerechten Lüften in Schulen. [3]Für die Förderung der Maßnahmen an Schulen im Zuständigkeitsbereich des Staatsministeriums für Unterricht und Kultus sowie an Berufsfachschulen für Musik im Zuständigkeitsbereich des Staatsministeriums für Wissenschaft und Kunst und an Fachschulen im Zuständigkeitsbereich des Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten gelten die nachstehende Richtlinie und die allgemeinen haushaltsrechtlichen Bestimmungen (insbesondere Art. 23 und 44 der Bayerischen Haushaltsordnung (BayHO) und die dazu erlassenen Verwaltungsvorschriften sowie Art. 48, 49 und 49a des Bayerischen Verwaltungsverfahrensgesetzes (BayVwVfG)). [4]Die Förderung erfolgt ohne Rechtsanspruch im Rahmen der verfügbaren Haushaltsmittel. [5]Die Beschaffung für Schulen in Schulaufwandsträgerschaft des Freistaats erfolgt sinngemäß nach dieser Richtlinie.

1. Zweck der Förderung

Als effektive Maßnahme im Kontext der Hygiene- und Infektionsschutzkonzepte werden die kommunalen und privaten Schulaufwandsträger bei der Beschaffung technischer Instrumente zur Unterstützung des infektionsschutzgerechten Lüftens in den Schulen finanziell unterstützt.

2. Gegenstand der Förderung

[1]Zuwendungsfähig nach dieser Richtlinie ist die Beschaffung von

a) mobilen Luftreinigungsgeräten mit Filter-, UV-C- oder Ionisations- und Plasmatechnologie zur Verringerung der Aerosolkonzentration,

b) dezentralen Lüftungsanlagen, soweit sie nicht von der Bundesförderung „Corona-gerechte stationäre raumlufttechnische Anlagen“ umfasst sind,

für Klassen- und Fachräume. [2]Nicht zuwendungsfähig sind Maßnahmen betreffend fest installierter zentraler Raumlufttechnischer Anlagen (RLT-Anlagen) sowie Eigenbaumodelle.

3. Zuwendungsempfänger

[1]Zuwendungsempfänger sind kommunale Schulaufwandsträger öffentlicher Schulen sowie Träger staatlich genehmigter und anerkannter Ersatzschulen in Bayern (Schulaufwandsträger). [2]Schulvorbereitende Einrichtungen sind ebenfalls von der Förderung umfasst.

4. Zuwendungsvoraussetzungen

4.1 Technische Anforderungen für mobile Luftreinigungsgeräte

4.1.1 Allgemeine Anforderungen

[1]Die Geräte müssen mit Filtertechnologie, UV-C-Technologie, Ionisations- und Plasmatechnologie oder Kombinationen aus diesen Technologien arbeiten. [2]Andere Technologien sind nicht förderfähig. [3]Für alle Technologien ist unter Berücksichtigung der Raumgegebenheiten (Raumvolumen, Luftführung und Luftströmungen im Raum) der Aufstellungsort im Raum sorgfältig zu planen und umzusetzen. [4]Bei der Beschaffung wird generell empfohlen, eine Fachfirma beizuziehen, die die Eignung der Geräte für die konkreten Klassen- und Fachräume bzw. Gruppen- und Funktionsräume prüft und bestätigt. [5]Zu gewährleisten sind folgende technische Standards:

– [1]Der Luftdurchsatz muss in Abhängigkeit von der Raumgröße und der Anzahl der Personen im Raum einstellbar sein. [2]Effektive Geräte sollen einen sechsfachen Luftdurchsatz des Raumvolumens pro Stunde dauerhaft gewährleisten.

– Die Ansaug- und die Ausblasrichtung der durch das Luftreinigungsgerät hindurch geleiteten Luft sind so auszurichten, dass das Gerät einen wesentlichen Anteil der Mischluft im Raum ansaugt und als gereinigte Luft wieder in den Raum abgeben kann.

– [1]Der Schalldruckpegel muss im Normalbetrieb mit den Anforderungen an einen geordneten Unterrichts- bzw. Kitabetrieb vereinbar sein. [2]Die Geräuschentwicklung von 40 dB(A) darf nicht überschritten werden.

[6]Die betriebenen Geräte sind – in Abhängigkeit von den Anforderungen der verwendeten Technologie – regelmäßig und fachkundig zu warten.

4.1.2 Zusätzliche Anforderungen an Geräte mit Filtertechnologie

[1]Die verwendeten Filter müssen dem Stand der Technik entsprechen, d. h. es muss sich um HEPA-Filter der Klasse H 13 (Abscheidegrad von 99,95 Prozent) oder der Klasse H 14 (Abscheidegrad von 99,995 Prozent) nach der DIN EN 1822 handeln. [2]Sollen Filter anderer Klassifizierung zum Einsatz kommen, ist ein überprüfbarer Nachweis der Hersteller über die mindestens gleiche Effektivität wie HEPA-Filter der Klasse H 13 erforderlich. [3]Die Filter müssen entweder regelmäßig ausgetauscht werden oder werden automatisch selbst gereinigt. [4]Ein Filterwechsel muss durch fachkundiges, geschultes Personal nach Herstellerangaben durchgeführt werden.

4.1.3 Zusätzliche Anforderungen an Geräte mit UV-C-Technologie

[1]Die Bestrahlung muss abgeschirmt und innenliegend erfolgen. [2]Die Zuwendungsempfänger müssen sich von den Herstellern überprüfbare Nachweise zur Wirksamkeit geben lassen; dies gilt insbesondere für die notwendige Bestrahlungsintensität und die Verweildauer der virenbeladenen Partikel innerhalb der bestrahlten Zone. [3]Der Hersteller muss die Wirksamkeit (ausgestoßene Luft ist nahezu virenfrei) und Gerätesicherheit (u. a. darf keine UV-Strahlung nach außen dringen und es dürfen keine Nebenprodukte in solchen Mengen entstehen, dass sie für die Gesundheit bedenklich oder schädlich sind), möglichst auch beim Einsatz unter Realraumbedingungen wie in Klassenräumen, eindeutig und nachprüfbar belegen können.

4.1.4 Zusätzliche Anforderungen an Geräte mit Ionisations- und Plasmatechnologie

[1]Es muss sichergestellt sein, dass kein Ozon als unerwünschtes Nebenprodukt auch in den Innenraum gelangen kann. [2]Der Zuwendungsempfänger muss sich von den Herstellern neben der Wirksamkeitsprüfung (vgl. Nr. 4.1.3) auch den Nachweis erbringen lassen, dass keine gesundheitsschädigenden Emissionen erzeugt werden

4.2 Technische Anforderungen für dezentrale Lüftungsanlagen

[1]Aufgrund der baulichen Unterschiedlichkeit der Räume wird generell empfohlen, sich durch fachkundige Personen zu entsprechenden Anlagen und Lüftungskonzepten, welche speziell auf die Räume abgestimmt sind, beraten und diese dann entsprechend umsetzen zu lassen. [2]Die beauftragte lüftungstechnische Fachfirma muss in ihrem Angebot die nachfolgenden Mindestanforderungen garantieren:

– Die Anlage wird – im Hinblick auf eine lange Nutzungsdauer auch über die Corona-Pandemie hinaus – nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik geplant, gebaut und betrieben.

– [1]Geltende Lärmbelastungsobergrenzen werden eingehalten. [2]Die Geräuschentwicklung von 40 dB(A) darf nicht überschritten werden.

– Es muss mindestens ein dreifacher Luftwechsel pro Stunde (d. h. alle 20 Min. wird die komplette Raumluft ausgetauscht) und eine spezifische Luftmenge pro Person und Stunde von mindestens 25 m³ erreicht werden (Mindestluftwechselrate).

– Die Hygieneanforderungen (u. a. VDI 6022) werden eingehalten.

– [1]Bei einer einstufigen Filterung muss der Filter mindestens der Klasse ISO ePM1 50 Prozent entsprechen. [2]Empfohlen wird der Einsatz von zwei Filterstufen (die erste Filterstufe dient dem Schutz der Anlagenkomponenten, die zweite Filterstufe stellt die Zuluftqualität sicher). [3]Die Filterung der Luft vor dem Luftbehandlungsgerät (auch Ventilator) entspricht mindestens ISO ePM10 50 Prozent, die Filterung der Zuluft mindestens ISO ePM1 50 Prozent für die letzte Filterstufe.

[3]Die Anlagen sind regelmäßig von fachkundigem Personal zu warten (Reinigung, Filterwechsel).

4.3 Weitere Zuwendungsvoraussetzungen

[1]Der Zuwendungsempfänger hat im Zuwendungsantrag zu bestätigen, dass die technischen Anforderungen nach Nr. 4.1 bzw. 4.2 eingehalten sind. [2]Beim Einsatz von mobilen Luftreinigungsgeräten ist zudem darauf zu achten, dass die Geräte keine Fluchtwege verstellen.

5. Art und Umfang der Förderung, Zuwendungsfähige Ausgaben

5.1 Art und Umfang der Förderung

Die Zuwendung wird gewährt als nicht rückzahlbarer Zuschuss zur Projektförderung im Wege einer Anteilfinanzierung von bis zu 50 Prozent der zuwendungsfähigen Ausgaben, begrenzt auf höchstens 1 750 Euro je förderfähigem Raum im Sinn der Nr. 2.

5.2 Zuwendungsfähige Ausgaben

[1]Gefördert werden Beschaffungskosten. [2]Dazu zählen auch Kosten der Inbetriebnahme der Geräte bzw. Anlagen. [3]Miet- und Leasingkosten sind für den Nutzungszeitraum nach Nr.9 ebenfalls erfasst, sofern die entsprechenden Verträge nicht bereits vor dem 1. Mai 2021 geschlossen wurden; an der Förderung als Einmalzahlung ändert sich insoweit nichts. [4]Personalkosten, Betriebs-, Wartungs- und Verwaltungskosten werden im Rahmen dieser Richtlinie nicht gefördert.

5.3 Auszahlung

[1]Die Zuwendung darf nur insoweit und nicht eher ausbezahlt werden, als sie innerhalb von zwei Monaten nach der Auszahlung für fällige Zahlungen im Rahmen des Zuwendungszwecks benötigt wird (Nr. 1.3 ANBest-K, Nr. 1.4 ANBest-P). [2]Abweichend davon kann bei Miet- und Leasingmodellen die Auszahlung nach Prüfung des Verwendungsnachweises erfolgen.

6. Bewilligungsbehörden

[1]Bewilligungsbehörde sind die Regierungen. [2]Örtlich zuständig ist die Bezirksregierung, in deren Bezirk der Zuwendungsempfänger seinen Sitz hat.

7. Bewilligungszeitraum, vorzeitiger Maßnahmenbeginn

[1]Gefördert wird die Beschaffung von mobilen Luftreinigungsgeräten und dezentralen Lüftungsanlagen nach Nr. 4 im Zeitraum vom 1. Mai 2021 bis einschließlich 30. Juni 2022. [2]Als Beschaffung gilt der Abschluss eines rechtsverbindlichen Leistungs- und Lieferungsvertrages. [3]Abweichend von Nr. 1.3 VV zu Art. 44 BayHO wird der vorzeitige Maßnahmenbeginn ab dem 1. Mai 2021 zugelassen. [4]Planungs- und Beratungsleistungen gelten nicht als Maßnahmenbeginn.

8. Antragstellung

8.1 Antragsberechtigung und -inhalt

[1]Antragsberechtigt sind die Schulaufwandsträger nach Nr. 3. [2]Für die Förderung ist ein Antrag nach dem in elektronischer Form vom Staatsministerium für Unterricht und Kultus zur Verfügung

gestellten Muster mit den nachfolgenden Unterlagen oder Erklärungen bei der jeweils zuständigen Bewilligungsbehörde einzureichen:

a) Gegenstand der erfolgten bzw. erfolgenden Beschaffung mit aufgegliederter Darstellung der für das Vorhaben geltend gemachten Ausgaben

b) Bestätigung über die Einhaltung der technischen Anforderungen nach Nr. 4.1 bzw. 4.2, ggf. durch entsprechende Herstellernachweise.

c) Bezeichnung der Schule bzw. der Schulen im Zuständigkeitsbereich des Antragstellers unter Angabe der Schulnummern, in der bzw. denen die Anlage bzw. die Geräte eingesetzt werden sollen, sowie die Anzahl und die Art der Räume, für die die Förderung beantragt wird.

d) Erklärung des Zuwendungsempfängers, dass die vergaberechtlichen Vorgaben, soweit einschlägig, beim Ankauf der förderfähigen Anlagen bzw. Geräte eingehalten wurden bzw. werden.

e) Erklärung des Zuwendungsempfängers, dass für das Vorhaben keine weiteren öffentlichen Zuwendungen beantragt oder bewilligt wurden.

[3]Bereits geförderte Zuwendungsempfänger können für weitere, bislang noch nicht ausgestattete Räume erneut Fördermittel in Anspruch nehmen. [4]Zuwendungsempfänger mit mehreren Schulen können für einzelne Schulen getrennt Anträge stellen. [5]Einer Antragstellung für alle Einrichtungen im Zuständigkeitsbereich ist der Vorzug zu geben.

8.2 Antragsfrist

Förderanträge sind mit dem elektronisch bereitgestellten Antragsformular spätestens bis zum Ablauf des 31. Dezember 2021 (Ausschlussfrist) bei der örtlich zuständigen Regierung unter der dort für das Förderprogramm eingerichteten Funktionsadresse einzureichen.

8.3 Anwendung der Allgemeinen Nebenbestimmungen

[1]Gemäß VV Nr. 5.1 Satz 2 zu Art. 44 BayHO gelten für kommunale Antragsteller die ANBest-K und für sonstige Antragsteller die ANBest-P. [2]Die allgemeinen Rechtsvorschriften, insbesondere zur Rücknahme und Widerruf begünstigender Verwaltungsakte nach dem BayVwVfG, bleiben unberührt.

9. Zweckbindungsfrist

Die mobilen Luftreinigungsgeräte sind für einen Zeitraum von mindestens drei Jahren, die dezentralen Lüftungsanlagen sind für einen Zeitraum von mindestens fünf Jahren ab Inbetriebnahme dem Zuwendungszweck entsprechend zu verwenden (Zweckbindungsfrist).

10. Mehrfachförderung

[1]Eine Förderung nach dieser Richtlinie entfällt, wenn für die entstehenden zuwendungsfähigen Ausgaben anderweitige Mittel des Freistaates Bayern oder des Bundes, insbesondere aus der Bundesförderung „Corona-gerechte stationäre raumlufttechnische (RLT-)Anlagen“ in Anspruch genommen werden. [2]Ausgaben, die nach dieser Richtlinie gefördert werden, können nicht als notwendige Ausgaben im Rahmen der Leistungen nach dem Bayerischen Schulfinanzierungsgesetz (BaySchFG) und vergleichbaren Leistungen geltend gemacht werden; die Refinanzierung des Eigenanteils nach Art. 34 und Art. 34a BaySchFG bleibt hiervon unberührt [3]Budgetierte und (teil-)pauschalierte Leistungen für den Schulaufwand nach Maßgabe des BaySchFG stehen einer Förderung einer einzelnen Maßnahme nach dieser Richtlinie nicht entgegen. [4]Die Beschaffung von mobilen Luftreinigungsgeräten für Klassen- und Fachräume, für die bereits mobile Luftreinigungsgeräte unter Inanspruchnahme der Förderung nach der Richtlinie zur Förderung von Investitionskosten für technische Maßnahmen zum infektionsschutzgerechten Lüften in Schulen (FILS-R) vom 21. Oktober 2020 beschafft wurden, kann nicht (erneut) nach dieser Richtlinie gefördert werden.

11. Verwendungsnachweis, Belegaufbewahrung

[1]Die zweckentsprechende Verwendung der Mittel ist durch einen einfachen Verwendungsnachweis (ohne Vorlage von Belegen) nach Muster 4 zu Art. 44 BayHO zu dokumentieren. [2]Abweichend von Nr. 6.1 der ANBest-K ist die Verwendung der Zuwendung für

alle Schulaufwandsträger einheitlich innerhalb von sechs Monaten nach Erfüllung des Zuwendungszwecks, spätestens jedoch sechs Monate nach Ablauf des Bewilligungszeitraums nachzuweisen. [3]Die Belege sind von den Zuwendungsempfängern fünf Jahre nach ihrer Vorlage aufzubewahren (Nr. 6.3 ANBest-P, Nr. 6.4. ANBest-K).

12. Monitoring

Die Regierungen haben dem Staatsministerium für Unterricht und Kultus entsprechend der festgesetzten Fristen Aufstellungen über die beantragten und geförderten Projekte und für jedes Projekt einzeln die Höhe der Förderung zu übermitteln.

13. Prüfungsrecht

[1]Der Bayerische Oberste Rechnungshof ist berechtigt, bei den Empfängern Prüfungen gemäß Art. 91 BayHO durchzuführen. [2]Dem Staatsministerium für Unterricht und Kultus sowie der Bewilligungsstelle sind von den Empfängern auf Verlangen erforderliche Auskünfte zu erteilen, Einsicht in Bücher und Unterlagen sowie Prüfungen zu gestatten.

14. Datenschutz

[1]Bei der Verarbeitung personenbezogener Daten sind die datenschutzrechtlichen Bestimmungen, insbesondere die Verordnung (EU) 2016/679 (EU-Datenschutzgrundverordnung – DSGVO) einzuhalten. [2]Die Bewilligungsbehörde ist Verantwortliche im Sinne von Art. 4 Nr. 7 DSGVO. [3]Die Verpflichtungen aus der DSGVO (insbesondere die Betroffenenrechte und die Informationspflichten gemäß Art. 13 f. DSGVO) werden durch die Bewilligungsbehörde erfüllt.

15. Inkrafttreten; Außerkrafttreten

Diese Bekanntmachung tritt am XX.XX.2021 in Kraft; sie tritt mit Ablauf des 31. Dezember 2022 außer Kraft.

Stefan G r a f

Ministerialdirektor

TOP 7

Anlage 4
zur DS 15/0366

Bedarfsermittlung zusätzlicher mobiler Luftreinigungsgeräte
"Neuauflage des Förderprogramms zur Unterstützung der Sachaufwandsträger"
"Luftreinigungsgeräte für jedes bayerische Klassenzimmer bis Herbst"

Stand: 12.07.2021

Schule	Anschaffung 1. Antragsrunde	Anschaffung 2. Antragsrunde	Bedarf Klassenräume	Bedarf Kursräume	Anzahl Fachräume	Bedarf sonstige Räume	Gesamtbedarf	Anmerkungen
RS Neubiberg**	1	0	44	0	0	0	44	44 Klassen-/Fachräume
RS Taufkirchen****	0	0	83	0	0	0	0	83 Klassen-/Fachräume, Prüfung Nachrüstung der Lüftungsanlage mit UV-Filtern, seitens der Schule keine Austattung mit Luftreinigungsgeräten gewünscht
RS Unterschleißheim	0	0	0	0	0	0	0	Flächendeckende RLT-Anlage
RS Ismaning	0	0	40	0	0	0	40	40 Klassen-/Fachräume
RS Aschheim***	0	0	30	0	24	2	56	2 Lehrerzimmer
GY Gräfelfing	0	0	54	0	0	0	54	kleine Luftreiniger bereits über Leasing; nun soll am Förderprogramm teilgenommen werden; 1. Schritt: 7 Klassenräume (Schüler bis 11 Jahren) 2. Schritt: 47 weitere Klassen-/Fachräume sowie Räume mit Sondernutzung
GY Pullach	23	0	52	0	0	15	67	52 Klassen-/Fachräume (inkl. Turnhalle u. Mensa) nicht ausgestattet; zzgl. 15 Büroräume
GY Ottobrunn**	16	0	13	0	0	0	13	13 Klassen-/Fachräume in den Bauteilen C+M
GY Neubiberg**	0	0	58	0	0	0	58	58 Klassen-/Fachräume
GY Höhenkirchen-S.**	0	0	0	0	0	0	0	komplette Lüftungsanlage
GY Garching	0	0	0	0	0	0	0	komplette Lüftungsanlage; ggf. für die **Mensa** tel. Frau Muhr am 12.07.2021
GY Unterhaching*	4+1	10	30	10	0	0	40	30 Klassen-, 10 Kursräume
GY Haar	0	0	54	0	0	0	54	66 Klassen-/Fachräume; 12 Fachräume mit Lüftung
GY Oberhaching	7	0	57	0	0	0	57	Grobschätzung des ZV
GY Planegg	6	30	0	0	0	0	0	Aktuell Prüfung, ob weitere Räume ausgestattet werden sollen
GY Unterschleißheim	6	0	73	0	0	0	73	Altbau: 73 Klassen-/Fachräume nicht ausgestattet; Erweiterungsbau: Flächendeckende RLT-Anlage
GY Kirchheim***	0	0	29	0	45	0	74	2 Lehrerzimmer
GY Grünwald	**Alle** Klassenzimmer auf Kosten der Gemeinde mit damals nicht förderfähigen UV-Luftreinigungsgeräten ausgestattet!						0	
GY Ismaning	0	0	0	0	0	0	0	77 Klassen-/Fachräume **mit Lüftungsanlagen**
GY Unterföhrung	0	0	0	0	0	0	0	komplette Lüftungsanlage; tel. Herr Beckerbauer am 12.07.2021
						Insgesamt	**630**	

*GY Unterhaching: Mehrzweckraum (sonstige Räume) ➔ 2 Luftreinigungsgeräte
**ZV Südost: Wenn ALLE Räumlichkeiten der Schulen ausgestattet werden sollen, rechnet der ZV mit einem Bedarf von ca. 250 Luftreinigungsgeräten für alle Schulen (u.a. Räume mit Lüftung, LZ, Mensa, etc.)
***ZV Ost: ohne konkrete Empfehlung bzw. komplette Förderung sind keine Lüftungsgeräte angedacht, da Kosten/Nutzen in keinem Verhältnis stehen und Wirkung nicht nachgewiesen wurde

****seitens der Schule ist eine Ausstattung nicht gewünscht

Auszug aus der Niederschrift über die öffentliche Sitzung des Ausschusses für Bauen und Schulen vom 19.04.2021

4) Zweckverbände weiterführender Schulen und Gemeinden mit Zweckvereinbarung;
Zusätzliche Anschaffung von Luftreinigungsgeräten für weiterführende Schulen Im Landkreis München aufgrund der erweiterten Förderrichtlinie
- Drucksache 15/0266 -

Anträge/Änderungen:

Keine

Beschluss:

Aufgrund der Gleichbehandlung aller Zweckverbände und Gemeinden mit Zweckvereinbarung werden die Kosten, die nicht durch die zweite Antragsrunde zur Förderung von Investitionskosten für technische Maßnahmen zum infektionsschutzgerechten Lüften in Schulen gedeckt sind, nicht vom Landkreis München getragen.

Gleiches gilt für solche Betriebskosten, die unmittelbar den zusätzlich angeschafften Luftreinigungsgeräte zuzurechnen sind (wie z.B. Filterwechsel, Wartung, Ersatzteile, Unterhalt).

Allgemeine Betriebskosten, die nicht unmittelbar den zusätzlich angeschafften Luftreinigungsgeräte zurechenbar sind (wie z.B. Stromkosten, Hausmeister), werden aufgrund Unverhältnismäßigkeit nicht aufgeteilt, sondern vom Landkreis München im Rahmen der Betriebskostenumlage getragen.

Abstimmungsergebnis:
Anwesend: 17
Ja-Stimmen: 17
Nein-Stimmen: 0

Der Vorsitzende
Christoph Göbel
Landrat

Verteiler:
GB 1
RE 1.4
FB 1.4.3
SG 1.4.3.1
Frau Schuff

Die Übereinstimmung mit der Niederschrift wird beglaubigt.
München, 20.04.2021
Landratsamt

Die Schriftführerin:
Michaela Kanitz

TOP 7

Luftreinigungsgeräte für kreiseigene Schulen - Bedarfsermittlung

Anlage 5
zur Drucksache 15/0366

Nr.	Schule	Berufsschule München-Land	BIK Feldkirchen	Berufsfachschule für Kinderpflege Feldkirchen (Interimslösung)	FOSBOS Unterschleiß-heim	FOS Haar (Interimslösung)	SFZ Unterhaching (Hachinger Tal Schule)	Förderzentrum geistige Entwick-lung, Unterhaching (FÖZGE)	FÖZGE Unterhaching Außenklassen Sauerlach	SFZ Unterschleißheim (Rupert Egenberger Schule)	SFZ Unterschleißheim Außenklassen Feldkirchen	Gesamt
1.	Hinweise bzgl. raumlufttechnischer Anlagen (RLT-Anlage)				RLT Anlage mit Luftwechsel mind. ca. 5,5/h		RTL Anlage mit Luftwechsel mind. ca. 5,5/h			RTL Anlage im Neubau mit Luftwechsel von ca. 2 - 2,5/h		
2.	Klassen- und Fachunterrichtsräume (> 55 m²)	8	8	6	52	45	31	4	2	25	3	184
3.	Gruppen- und Nebenräume mit Unterricht (> 35 m²)				13	3	8	9		3	0	36
4.	Gruppen- und Nebenräume mit Unterricht (15 bis 35 m²)		8			5	30	9		46	2	100
8.	Werkstätten, Handarbeit, Lehrküche	7		2	12	0	6	2		4	0	33
11.	**Anzahl Räume gesamt**	**15**	**16**	**8**	**77**	**53**	**75**	**24**	**2**	**78**	**5**	**353**
12.	davon mit ausreichend manueller Lüftungsmöglichkeit	15	16	8	77	53	75	24	2	78	5	353
13.	davon mit ausreichender RLT für Luftwechsel von mind. ca. 5,5/h	8	0	0	77	0	75	0	0	0	0	160
14.	**Bedarfsermittlung**											
15.	Bedarf 1 (Räume mit ausschließlich manueller Lüftungsmöglichkeit, also ohne RLA)	7	16	8	0	53	0	24	2	78	5	193
16.	Bedarf 2 (Räume mit manueller Lüftungsmöglichkeit und RLA)	8	0	0	77	0	75	0	0	0	0	160
17.	**Bisher beschaffte Luftreinigungsgeräte**	**0**	**0**	**0**	**5**	**0**	**0**	**24**	**0**	**78**	**5**	112
18.	**Ungedeckter Bedarf gesamt**	**15**	**16**	**8**	**72**	**53**	**75**	**0**	**2**	**0**	**0**	**241**

Stand: 12.07.2021

TOP 7

Der Bayerische Staatsminister des
Innern, für Sport und Integration

Joachim Herrmann, MdL

Anlage 6
zur DS 15/0366

Per E-Mail (Michael.Piazolo@stmuk.bayern.de)
Bayerischen Staatsminister
für Unterricht und Kultus
Herrn Prof. Dr. Michael Piazolo
Mitglied des Landtags
Salvatorstraße 2
80333 München

München, 11. Juli 2021
B3-1512-36-124

Förderprogramm für mobile Luftreinigungsanlagen u. a. in Schulen und Kitas;
vergaberechtliche Aspekte

Sehr geehrter Herr Kollege,
lieber Herr Professor Piazolo,

in der Sitzung des Ministerrats am 6. Juli 2021 haben wir die Neuauflage der Förderung mobiler Luftreinigungsanlagen u. a. in Schulen und Kitas beschlossen. Ihrer Einladung folgend hatte hierzu am Tag zuvor unter Ihrer Leitung eine Videokonferenz mit den Präsidenten der Kommunalen Spitzenverbände stattgefunden. Die Spitzenverbände haben ihre Befürchtung zum Ausdruck gebracht, die Beschaffung der Geräte könne bis zum Ende der Sommerferien nicht abgeschlossen werden und dies auch mit dem Zeitaufwand für eine möglicherweise erforderliche europaweite Ausschreibung begründet.

Das Innenministerium hat dazu, wie in dem Gespräch mit den Spitzenverbänden zugesagt, gemeinsam mit dem Wirtschaftsministerium nochmals geprüft, ob die starke Ausbreitung der Delta-Variante des Corona-Virus es nicht rechtfertigen würde, bei den Beschaffungen, deren Wert den EU-Schwellenwert von 214.000 € (netto) erreicht oder überschreitet, wegen außerordentlicher Dringlichkeit an Stelle

Telefon: 089 2192-01
Telefax: 089 2192-12100
E-Mail: minister@stmi.bayern.de
Internet: www.innenministerium.bayern.de
Odeonsplatz 3
80539 München

eines EU-weiten Ausschreibungsverfahrens eine Verhandlungsvergabe ohne Teilnahmewettbewerb durchzuführen.

Im Ergebnis ist aus den nachfolgend näher dargelegten Gründen festzustellen, dass in den Fällen entsprechend hoher Auftragswerte die Beschaffung von Luftfiltern im Wege eines Verhandlungsverfahrens ohne EU-weite Bekanntmachung mit erheblichen rechtlichen Risiken verbunden wäre – so auch das für Oberschwellenvergaben zuständige Wirtschaftsministerium. Sollte in einem konkreten Fall ein solches Verfahren von einem Unternehmen gerügt werden und die Vergabekammer im Nachprüfungsverfahren zu dem Ergebnis kommen, dass die Voraussetzungen für das Verhandlungsverfahren ohne Teilnahmewettbewerb nicht vorliegen, so würde dies dazu führen, dass der entsprechende Liefervertrag von Anfang an unwirksam wäre (§ 135 des Gesetzes gegen Wettbewerbsbeschränkungen – GWB).

Ein öffentlicher Auftraggeber kann Aufträge nur in besonders gelagerten Ausnahmefällen im Verhandlungsverfahren ohne Teilnahmewettbewerb vergeben (§ 14 Abs. 4 Nr. 3 der Vergabeverordnung - VgV). Dies setzt äußerst dringliche, zwingende Gründe im Zusammenhang mit Ereignissen voraus, die der betreffende öffentliche Auftraggeber nicht voraussehen konnte, und die es nicht zulassen, die Mindestfristen einzuhalten, die für das offene und das nicht offene Verfahren sowie für das Verhandlungsverfahren mit Teilnahmewettbewerb vorgeschrieben sind. Die Umstände zur Begründung der äußersten Dringlichkeit dürfen dem öffentlichen Auftraggeber nicht zuzurechnen sein. Bei § 14 Abs. 4 Nr. 3 VgV handelt es sich um eine Ausnahmevorschrift, die eng auszulegen ist und in der Spruchpraxis der Vergabekammern und ordentlichen Gerichte auch entsprechend angewandt wird. Dringliche und zwingende Gründe kommen nur bei akuten Gefahrensituationen und höherer Gewalt in Betracht, die zur Vermeidung von Gefahren und Schäden für Leib und Leben ein sofortiges, die Einhaltung von Fristen ausschließendes Handeln erfordern (vgl. OLG Düsseldorf, Beschluss vom 20.12.2019 – Verg 18/19 m.w.N.). Die Vergabekammer Südbayern hat in einem von ihr zu entscheidenden Verfahren auch Ereignisse anerkannt, bei denen eine gravierende Beeinträchtigung für die Allgemeinheit und die staatliche Aufgabenerfüllung droht, etwa durch einen schweren, nicht wieder gut zu machenden Schaden (Vergabekammer Südbayern, Beschluss vom 21.10.2020 – 3194.Z3-3-01-20-31). Unvorhersehbar sind Ereignisse, mit denen auch bei Anlegung eines hohen objektiven

Sorgfaltsmaßstabs nicht gerechnet werden konnte (Ziekow/Völlink/Völlink, 4. Aufl. 2020, VgV § 14 Rn. 60). Der Ausbruch der Corona-Pandemie im Frühjahr 2020 stellt zwar nach allgemeiner Ansicht ein solch unvorhersehbares Ereignis dar (vgl. OLG Rostock, Beschluss vom 09.12.2020 – 17 Verg 4/20; Ziekow/Völlink/Völlink, 4. Aufl. 2020, VgV § 14 Rn. 62; Leitlinien der Europäischen Kommission vom 01.04.2020 (2020/C 1081/01), Ziffer 2.3.1). Der Verlauf der Pandemie unterliegt seither einer dynamischen Entwicklung und ist insbesondere im Hinblick auf die damit verbundenen Gefahren für Leib und Leben nach wie vor nicht sicher zu prognostizieren. Somit kann sich grundsätzlich auch über ein Jahr nach Beginn der Pandemie ein unvorhersehbarer dringlicher Beschaffungsbedarf ergeben, insbesondere in Bezug auf neu zur Verfügung stehende Instrumente zur Bekämpfung der Pandemie. Allerdings führt auch die Delta-Variante ebenso wie weitere seit längerem existierende Varianten nicht zwingend zu einem neuen, unvorhersehbaren Beschaffungsbedarf. Auch die Beschaffung von Luftreinigungsanlagen ist eine seit längerer Zeit politisch diskutierte Maßnahme zur Bekämpfung der Corona-Pandemie: So wurden Luftreiniger zur Eindämmung der Pandemie bereits mit der Erstauflage des Förderprogramms für mobile Luftreinigungsgeräte in Schulen und im Kita-Bereich gefördert.

Im Ergebnis ist zweifelhaft, ob in einem Nachprüfungsverfahren für die Beschaffung der Luftfiltergeräte zum jetzigen Zeitpunkt eine unvorhersehbare, äußerste Dringlichkeit anerkannt würde. Daher dürfte die Durchführung eines offenen Verfahrens nach § 15 Abs. 3 VgV im Oberschwellenbereich das rechtlich sicherere Verfahren sein, um die rechtlichen Risiken zu begrenzen. Dabei können die Kommunen die Beschleunigungsmöglichkeiten in Anspruch nehmen, die das Vergaberecht für Fälle hinreichend begründeter (aber eben nicht äußerster) Dringlichkeit vorsieht. Diese Voraussetzung kann mit Blick auf die sich rasant ausbreitende Delta-Variante und dem in der Ministerratsvorlage festgehaltenen Ziel, nach den Sommerferien weiterhin uneingeschränkten Präsenzunterricht zu ermöglichen, als erfüllt angesehen werden. Im Übrigen hat das Innenministerium mit Schreiben vom 24. November 2020 darauf hingewiesen, dass angesichts der drohenden konjunkturellen Lage befristet bis zum 31. Dezember 2021 in der Regel eine hinreichende Dringlichkeit aller investiven Maßnahmen angenommen werden kann. Somit kann die in der VgV festgelegte Mindestfrist für die Einreichung von Angeboten von 30 Tagen auf 15 Tage halbiert werden. Hinzu kommt eine in § 134

GWB festgelegte Wartefrist bis zur Erteilung des Zuschlags von weiteren 10 Tagen, die den nicht berücksichtigten Bietern die Möglichkeit einer Rüge geben soll. Insgesamt belaufen sich die Fristen in einem beschleunigten offenen Verfahren somit auf 25 Tage. Nach Einschätzung des Wirtschaftsministeriums sind die vergaberechtlich vorgegebenen Stadien des beschleunigten offenen Verfahrens oberhalb des Schwellenwerts innerhalb von bis zu fünf Wochen ab Bekanntmachung durchführbar.

Ich gehe allerdings davon aus, dass ein Großteil der Beschaffungen nicht nach den bundes- und europarechtlichen Vergabevorschriften abgewickelt werden muss, der erst ab Erreichen der Schwellenwerte verbindlich ist und auf den der Freistaat Bayern mangels Gesetzgebungskompetenz keinen Einfluss hat. Geht man von Kosten für ein Gerät in Höhe von 3.500 € netto aus, wäre der Schwellenwert erst ab 62 Geräten überschritten. In diesem Zusammenhang könnte den Kommunen eine Bestimmung in § 3 Abs. 2 Satz 2 VgV helfen, wonach bei eigenverantwortlichen Beschaffungen durch eigenständige Organisationseinheiten (z. B. einzelne Schulen) die Auftragswerte je Organisationseinheit gesondert betrachtet werden können. Voraussetzung ist, dass die einzelne Schule über ein eigenes Budget zur Mittelbewirtschaftung verfügt. Liegt eine organisatorische Verselbständigung (noch) nicht vor, könnte diese möglicherweise noch kurzfristig im Wege einer dringlichen Anordnung nach Art. 37 Abs. 3 GO geschaffen werden. Die dringliche Anordnung eines Budgets ist möglich, soweit nicht eine Sitzung des zur Entscheidung berufenen Gremiums nach der Geschäftsordnung rechtzeitig einberufen werden kann. Dies entscheidet die Kommune in eigener Verantwortung.

Unterhalb der EU-Schwellenwerte gelten die Vergabegrundsätze in der Bekanntmachung des Innenministeriums über die Vergabe von Aufträgen im kommunalen Bereich, die zur Bewältigung der Corona-Pandemie bereits erhebliche Erleichterungen vorsehen. So kann (befristet bis zum 31. Dezember 2021) bis zum Schwellenwert von 214.000 € ohne weitere Begründung eine Verhandlungsvergabe ohne Teilnahmewettbewerb gewählt werden, d.h. es genügt, mehrere (in der Regel mindestens drei) Vergleichsangebote einzuholen. Mindestfristen sind in den Vergabegrundsätzen nicht vorgesehen.

Zusammenfassend bin ich der Meinung, dass die vergaberechtlichen Vorschriften nicht daran hindern, eine Beschaffung der Luftfiltergeräte bis zum Ende der Sommerferien durchzuführen. Ich bitte Sie, die oben geschilderten Prüfungsergebnisse zu den vergaberechtlichen Verfahren den Präsidenten der Kommunalen Spitzenverbände so rasch wie möglich mitzuteilen, um sicherzustellen, dass unverzüglich mit den Beschaffungen begonnen werden kann. Sollten im Einzelfall noch Fragen zum Vergabeverfahren, beispielsweise zu den Voraussetzungen einer gesonderten Betrachtung der Auftragswerte einzelner Schulen, bestehen, stehen die Vergabeberatungsstellen bei den Regierungen gerne beratend zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen

Ihr Joachim Herrmann

Mobile Luftreiniger: Nur als Ergänzung zum Lüften sinnvoll

In Klassenzimmern sind viele Menschen auf engem Raum.
Quelle: Photo by NeONBRAND on Unsplash

Mobile Luftreinigungsgeräte versprechen, virushaltige Partikel in Innenräumen zu reduzieren. Ob die Minderungen ausreichen, eine Infektionsgefahr in dicht belegten Klassenräumen abzuwenden, ist nach jetzigem Wissensstand unsicher. Da die Geräte weder CO2 noch Wasserdampf aus der Raumluft entfernen, empfiehlt das UBA weiter auch in der kalten Jahreszeit die Fensterlüftung als prioritäre Maßnahme.

11.02.2021

> Dieser Text bildet den Stand am 11.02.2021 ab. Hier finden Sie die aktuelle Einschätzung des UBA zur Thematik.

Vor dem Hintergrund einer möglichen Übertragung des SARS-CoV-2-Virus über Aerosole in Klassenräumen werden mobile Luftreinigungsgeräte (d. h. frei im Raum aufstellbare Geräte) als Maßnahme diskutiert, um virushaltige Aerosolpartikel aus der Luft zu entfernen. Mobile Luftreinigungsgeräte sind je nach technischer Auslegung (Prinzip; Dimensionierung) in der Lage, Viren aus der angesaugten Luft zu entfernen bzw. zu inaktivieren. Allerdings hängt ihre Wirksamkeit in realen Räumen neben den technischen Spezifikationen auch von den Aufstellbedingungen vor Ort und von der Luftausbreitung im Raum ab.
Da mobile Luftreinigungsgeräte nicht das in Klassenräumen anfallende Kohlendioxid (CO_2) und den Wasserdampf aus der Raumluft entfernen, können sie nicht als vollständigen Ersatz für Lüftungsmaßnahmen eingesetzt werden, sondern allenfalls als Ergänzung (Kommission Innenraumlufthygiene (IRK), Stellungnahme vom 16.11.2020 [1]).

Priorisierung der Lüftungsmaßnahmen an Schulen aus Sicht des UBA

Das Umweltbundesamt empfiehlt, Lüftungsmaßnahmen an Schulen in folgender Rangfolge zu betrachten:

1. In **Schulen mit raumlufttechnischen (RLT-)Anlagen** sollen für die Dauer der Pande[illegible] Frischluftzufuhr erhöht werden, und die Betriebszeiten der Anlagen verlängert werden. Arbeitet die Anlage mit Umluft, ist der Einbau zusätzlicher Partikelfilter (Hochleistungsschwebstofffilter H 13 oder H 14) zu erwägen.
2. In **Schulen ohne RLT-Anlagen** (schätzungsweise 90 % der Schulen) soll intervallartig über **weit geöffnete Fenster** gelüftet werden, wie in der gemeinsam mit der Kultusministerkonferenz (KMK) verfassten UBA-Handreichung zum Lüften in Schulen vom 15.10.2020 beschrieben. Diese Maßnahmen sind rasch und einfach umsetzbar und bieten einen wirksamen Schutz, weil die Außenluft nahezu virenfrei ist. Die im Winter unvermeidliche Abkühlung der Raumluft durch Stoßlüften hält nur für wenige Minuten an und ist aus medizinischer Sicht unbedenklich. CO2-Sensoren können als Orientierung dienen, ob und wie rasch die Frischluftzufuhr von außen gelingt.
3. **Sofern sich Fenster in Klassenräumen nicht genügend öffnen lassen**, sollte geprüft werden, ob durch den **Einbau einfacher ventilatorgestützter Zu- und Abluftsysteme** (z.B. in Fensteröffnungen) eine ausreichende Außenluftzufuhr erreicht werden kann.

Sind die Maßnahmen unter 1 bis 3 nicht anwendbar, ist ein Raum aus innenraumhygienischer Sicht nicht für den Unterricht geeignet. Sollen solche Räume dennoch zum Unterricht genutzt werden, kann der Einsatz mobiler Luftreinigungsgeräte erwogen werden (Ausnahmefall).
Um die Wahrscheinlichkeit einer Infektion über Aerosole wirksam zu vermindern, wird eine Luftförderleistung an keimfreier Luft gefordert, die mindestens das sechsfache des Raumvolumens pro Stunde entspricht. Bei einem Klassenraumvolumen von zum Beispiel 200 m³ entspricht dies einer Förderleistung von mindestens 1.200 m³ an keimfreier Luft pro Stunde.

Technische Optionen bei mobilen Luftreinigungsgeräten

Im Grundsatz sind vier Technologien bei Luftreinigern zu unterscheiden:

- Filtertechnologien
- UV-C Technologien
- Ionisations- und Plasmatechnologien
- Ozontechnologien

Hierzu ist im Einzelnen anzumerken:

1. Filtertechnologie

Mobile Filtergeräte sollten möglichst mit hocheffizienten Gewebefiltern (Filterklassen H 13 oder H 14)) ausgestattet sein, da nur diese eine vollständige Entfernung von Viren aus der durch das Gerät gesaugten Luft gewährleisten. Feinfilter der Klassen F7 bis F9 (alte Bezeichnung) bzw. ISO ePM2,5 65% bis ISO ePM1 80% (neue Bezeichnung), wie sie z.B. in herkömmlichen raumlufttechnischen Anlagen (RLT-Anlagen) mit zwei Filterstufen zum Einsatz kommen, lassen einen Anteil der Aerosolpartikel in der behandelten Luft übrig. Filtergeräte mit hocheffizienten Filtern sind in der Lage, die Zahl der die Aerosolpartikel in einem Raum zu senken. Um die bestmögliche Wirkung mit Filtergeräten zu erzielen und über die Dauer der Betriebszeit zu erhalten, müssen die Filter in der Regel nach einer gewissen Betriebszeit gewechselt werden. Je nach Staub- und Partikelbelastung kann das nach einem halben bis einem Jahr der Fall sein. Hierzu sind Fachkenntnisse oder geschultes Personal erforderlich. Um keinen störenden Geräuschpegel im Raum entstehen zu lassen, sollten vor Beschaffungen entsprechende Kenndaten zur Geräuschentwicklung vom Hersteller eingeholt werden.

2. UV-C Technologie

UV-C Strahlung ist vom Grundsatz her in der Lage, Mikroorganismen wie Bakterien und Viren zu inaktivieren. Geräte mit UV-C Strahlungsquellen werden schon seit langem zur Entkeimung von Oberflächen

z. B. in Laboren oder zur Raumluftdesinfektion in lebensmittelverarbeitenden Betrieben eing
Wirksamkeit gegen infektiöse Aerosole in einem Innenraum ist entscheidend, ob ein Gerät einen ausreichend großes Luftvolumen desinfizieren und die gereinigte Luft gut im Raum zirkulieren kann. Die Wirksamkeit ist abhängig von der Bestrahlungsintensität und von der Bestrahlungszeit der Luft im Gerät. Für Augen und Haut stellt UV-C Strahlung ein gesundheitliches Risiko dar. Deshalb wird der Einsatz dieser Strahlungsquellen als offene UV-C Lampe und auch in mobilen Luftreinigern vom UBA für den nicht gewerblichen Einsatz als kritisch betrachtet. Geräte sollten in öffentlichen Bereichen wie Schulen nur eingesetzt werden, wenn gesichert ist, dass kein UV-Licht in den Raum freigesetzt werden kann. Die IRK empfiehlt in ihrer Stellungnahme vom 16.11.2020 daher a) den Nachweis der Gerätesicherheit und b) den Nachweis der Wirksamkeit – als Prüfung des eingesetzten mobilen Geräts. In privaten Wohnungen sieht das UBA den Einsatz solcher Geräte aus Sicherheitsgründen weiterhin kritisch, denn hier bestehen meist wenig Kontrollmöglichkeiten, was die sachgerechte Verwendung, Wartung und den bestimmungsgemäßen Gebrauch angeht. Mobile Geräte mit UV-C-Technik haben gegenüber solchen mit Filtration den Vorteil der meist geringeren Geräuschentwicklung im Betrieb.

3. Ionisations- und Plasmatechnologie

Auch Ionisation und Plasma sind in der Lage, Mikroorganismen wie Bakterien und Viren zu inaktivieren. Im Rahmen von Luftreinigungsanlagen findet diese Technologie seit vielen Jahren Anwendung. Tendenziell sind auch die Geräte wartungsärmer als solche mit Filtration, weil keine Filter zu ersetzen sind. Auch die Geräuschentwicklung ist im Allgemeinen geringer als bei filtrierenden Geräten. Dem UBA liegen derzeit jedoch keine Daten vor, ob der Luftdurchsatz und die Effizienz der im Handel befindlichen Geräte ausreichen, um einen ausreichenden Schutz gegen eine Infektion mit SARS-CoV-2 in großen und dicht belegten Innenräumen wie Klassenräumen zu gewährleisten. Generell sollte vor Beschaffung entsprechender Geräte eine Wirksamkeitsprüfung vom Hersteller eingeholt werden. Bei Ionisations- und Plasmatechnologie kann aufgrund des physikalischen Prinzips im Gerät Ozon entstehen. Es wird empfohlen, Herstellerinformationen einzuholen, inwieweit Ozon als unerwünschtes Nebenprodukt bei einem bestimmten Gerät auch in den Innenraum gelangen kann.

4. Ozontechnologie

Eine gezielte Behandlung von Raumluft mit Ozon (auch während der Durchleitung der Luft durch einen mobilen Luftreiniger) lehnt das UBA grundsätzlich ab. Ozon ist ein Reizgas und kann mit anderen Stoffen, allen voran mit flüchtigen organischen Verbindungen (VOC), chemisch reagieren und dabei unbekannte Folgeprodukte bilden. Diese Kategorie von Luftreinigern ist ungeeignet für eine Anwendung in Räumen, in denen sich Personen befinden.
Für eine größtmögliche Wirksamkeit von mobilen Luftreinigungsgeräten (egal mit welcher Technologie sie arbeiten) ist die sorgfältige Planung und Realisation des Aufstellungsortes im Raum und die Berücksichtigung der Raumgegebenheiten (Raumvolumen, Luftführung und Luftströmungen im Raum) von entscheidender Bedeutung. Der Luftdurchsatz muss in Abhängigkeit der Raumgröße und der Anzahl der Personen im Raum einstellbar sein. Auch die Ansaug- und Abblasrichtung der durch das Lufteinigungsgerät hindurch geleiteten Luft sind entscheidend dafür, dass der Luftreiniger wirklich einen wesentlichen Anteil der Mischluft im Raum ansaugen und als gereinigte Luft wieder in den Raum abgeben kann.
In der Produktliteratur finden sich häufig Prüfberichte zu Luftreinigungsgeräten, wo zu Beginn des Experiments ein Raum einmalig mit Partikeln gefüllt wird, und anschließend Abklingkurven infolge der Luftreinigung ausgewertet werden. Solche Prüfberichte erwecken den Eindruck, man könne die Konzentration von Aerosolen in einem Realraum beliebig reduzieren. Die reale Situation ist jedoch verschieden, insofern eine infektiöse Person kontinuierlich virushaltige Aerosole in die Raumluft emittiert. Ein mobiles Gerät kann die Konzentration von Aerosolen in einer realen Situation somit reduzieren, aber zu keinem Zeitpunkt auf null bringen. Sind mehrere infektiöse Personen anwesend, würde die Reinigungswirkung mobiler Geräte in Bezug auf virushaltige Aerosole entsprechend weiter sinken. Mobile Luftreinigungsgeräte dürfen daher nicht als absoluter Schutz vor infektiösen Aerosolen angesehen werden.

Fazit

Zur Einschätzung der Leistungsfähigkeit mobiler Luftreinigungsgeräte benötigt man Prüfnachweise, dass ein Gerät die geforderte Menge an keimfreier Luft (sechsfaches Raumvolumen pro Stunde) breitstellen kann. Im Fall von Techniken, welche ihre Wirkung durch Inaktivierung der Erreger entfalten, erfordern diese Prüfungen Versuche mit echten Erregern (Bakterien, Viren) unter den geplanten Betriebsbedingungen und nicht nur den grundsätzlichen Nachweis des Effekts unter Laborbedingungen. Vor Beschaffungen wird empfohlen, entsprechende Prüfnachweise der Geräte unter Realbedingungen von den Herstellern einzuholen. Da mobile Luftreinigungsgeräte nicht das in Klassenräumen anfallende Kohlendioxid und den Wasserdampf aus der Raumluft entfernen, können sie nicht als vollständigen Ersatz für Lüftungsmaßnahmen eingesetzt werden, sondern allenfalls als Ergänzung Das Umweltbundesamt empfiehlt daher weiter auch in der kalten Jahreszeit die Fensterlüftung als prioritäre Maßnahme. Die Kommission für Innenraumhygiene (IRK) ist in Ihrer Stellungnahme vom 16.11.2020 zum selben Schluss gekommen und hat die hier beschriebenen Empfehlungen weiter detailliert [1].

Langfristige und nachhaltige Ziele

Aus gesundheitlichen und Nachhaltigkeits-Gründen sollten perspektivisch alle dicht belegten Veranstaltungsräume in Schulen und Bildungseinrichtungen mit raumluft-technischen (RLT)-Anlagen ausgerüstet bzw. nachgerüstet werden [7]. Solche Anlagen beseitigen die Vielzahl innenraumhygienischer Probleme in dicht belegten Räumen (Luftgetragene Erreger, Kohlendioxid, Wasserdampf, Gerüche) in einem Gang. Stand der Technik sind Anlagen mit Wärmerückgewinnung, welche die Außenluft energiesparend mittels der Abluft anwärmen. Als „Komfortlüftung" werden Systeme bezeichnet, die eine kontrollierte Erwärmung oder auch Abkühlung (Sommer) erlauben. Solche Systeme sind auch als dezentrale Anlagen verfügbar, mit denen Räume einzeln ausgestattet werden können.

Quellen

[1] IRK (2020): Einsatz mobiler Luftreiniger als lüftungsunterstützende Maßnahme in Schulen während der SARS-CoV-2 Pandemie. Stellungnahme der Kommission Innenraumlufthygiene (IRK) am Umweltbundesamt. https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/corona-in-schul...
[2] Kähler, C. J., T. Fuchs, B. Mutsch, R. Hain (2020): Schulunterricht während der SARS-CoV-2 Pandemie – Welches Konzept ist sicher, realisierbar und ökologisch vertretbar? doi: 10.13140/RG.2.2.11661.56802
[3] Curtius, J., M. Granzin, J. Schrod (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
[4] Exner, M. et al. (2020): Zum Einsatz von dezentralen mobilen Luftreinigungsgeräten im Rahmen der Prävention von COVID-19. Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Krankenhaushygiene (DGKH), Stand 25.9.2020.
[5] Gunschera, J., Markewitz, D., Bansen, B., Salthammer, T., Ding, H., 2016. Portable photocatalytic air cleaners: efficiencies and by-product generation. Environ Sci Pollut Res 23, 7482–7493. https://doi.org/10.1007/s11356-015-5992-3
[6] Siegel, J.A., 2016. Primary and secondary consequences of indoor air cleaners. Indoor Air 26, 88-96. https://doi.org/10.1111/ina.12194
[7] IRK (2015): Stellungnahme der Innenraumlufthygiene-Kommission zu Luftreinigern, Bundesgesundheitsblatt 58, S. 1192
[8] UBA (2017): Anforderungen an Lüftungskonzeptionen in Gebäuden. Teil I: Bildungseinrichtungen https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/anforderungen-an-lueftungsk...

Version vom 05.08.2020

Können mobile Raumluftreiniger eine indirekte SARS-CoV-2 Infektionsgefahr durch Aerosole wirksam reduzieren?

Christian J. Kähler, Thomas Fuchs, Rainer Hain

Universität der Bundeswehr München
Institut für Strömungsmechanik und Aerodynamik
Werner-Heisenberg-Weg 39
85577 Neubiberg

Übersicht

Die weltweite Entwicklung der SARS-CoV-2 Infektion verdeutlicht, dass die Pandemie erst am Anfang steht und nicht aufzuhalten ist. Selbst wenn ein wirksamer und gut verträglicher Impfstoff zur Verfügung stände, wäre eine umfangreiche Impfung der Weltbevölkerung zur Bekämpfung der Virusausbreitung nicht realisierbar. Es ist daher notwendig, technische Lösungen zur Eindämmung der Pandemie zu etablieren. Mund-Nasen-Bedeckungen sind inzwischen allgemein anerkannte technische Hilfsmittel, um die direkte Infektionsgefahr beim Atmen, Sprechen, Singen, Husten und Niesen zu verringern. Die indirekte Infektion über infektiöse Aerosolpartikel, die sich mit der Zeit im Raum anreichern, lässt sich mit Mund-Nasen-Bedeckungen nicht verhindern [5]. Dafür sind festsitzende partikelfiltrierende Atemschutzmasken erforderlich. Alternativ besteht die Möglichkeit die Aerosolpartikel im Raum mittels Filterung abzuscheiden oder über die Fensterlüftung abzuführen. Raumlufttechnische Anlagen, die Aerosolpartikel mit einem Durchmesser kleiner 1 µm verlässlich abscheiden, sind selten. Das freie Lüften mittels Fenster ist oft nicht effizient und spätestens im Winter nicht mehr möglich ohne Energie zu verschwenden und die Gesundheit sowie das Wohlbefinden der Menschen zu gefährden. Die Frage ist daher, ob mobile Raumluftreiniger grundsätzlich geeignet sind, einen sinnvollen Beitrag zur Reduzierung der Infektionsgefahr zu leisten? Um die Frage zu beantworten, wurde ein TROTEC TAC V+ Raumluftreiniger mit einem Volumenstrom von bis zu 1500 m^3/h systematisch analysiert. Das Gerät verfügt über eine Filterkombination, die gewährleistet, dass Aerosolpartikel mit einem Durchmesser von 0,1 bis 0,3 µm zu 99,995% aus der Raumluft abgeschieden werden. Die Ergebnisse zeigen, dass die Aerosolkonzentration in einem Raum mit einer Größe von 80 m^2 innerhalb kurzer Zeit überall auf ein geringes Maß reduziert werden kann. Damit stellen Raumluftreiniger mit großem Volumenstrom und hochwertigen Filtern der Klasse H14 aus unserer Sicht eine sehr sinnvolle technische Lösung dar, um in Schulen, Büros, Geschäften, Wartezimmern, Gemeinde- und Vereinshäusern, Aufenthalts- und Essensräumen etc. die indirekte Infektionsgefahr durch Aerosole stark zu verringern. Sie können aber auch in Gebäuden mit raumlufttechnischen Anlagen unterstützend eingesetzt werden, in denen Menschen zusammenstehen (Wartebereich) und gemeinsam arbeiten oder in denen aufgrund der Arbeitslast viel Aerosol ausgestoßen wird (Fitnessstudio).

1. Einleitung

Nach gegenwärtigem Stand der Forschung wird SARS-CoV-2 hauptsächlich über Tröpfchen übertragen, die beim Atmen, Sprechen, Singen, Husten oder Niesen entstehen und über die Atemluft aus- und eingeatmet werden [1, 2, 3, 4]. Eine *direkte* Infizierung, bei der viele emittierte Tröpfchen über kurze Distanz (kleiner 1,5 m) von einer nicht infizierten Person eingeatmet werden, kann mit Hilfe von partikelfiltrierenden Atemschutzmasken (FFP2/3 oder besser) wirksam verhindert werden, da diese Atemschutzmasken Tröpfchen beim Ein- und Ausatmen bis zu einer festgelegten Größenklasse zuverlässig abscheiden [5]. Diese Atemschutzmasken bieten daher auch ohne Sicherheitsabstand einen sehr guten Selbst- oder Eigenschutz. Sie bewirken aber auch, dass die von infizierten Personen emittierten Viren kaum in die Raumluft gelangen. Daher bieten sie neben dem Eigenschutz auch einen Fremdschutz bzgl. einer direkten und indirekten Infizierung, sofern kein Auslassventil integriert ist.

Größere Tröpfchen werden auch durch einfache Mund-Nasen-Bedeckungen wirksam abgeschieden. Da größere Tröpfchen statistisch mehr Viren transportieren können als kleine Tröpfchen, ist dieser Effekt bei Vorgängen, die primär große Tröpfchen produzieren (Husten, Niesen) bedeutsam. Die kleinen Tröpfchen gelangen jedoch durch Spalte am Rand der Mund-Nasen-Bedeckungen in die Außenluft, weil diese Bedeckungen einerseits nicht fest genug mit dem Gesicht abschließen und andererseits die Strömung zum großen Teil dem Weg des geringsten Strömungswiderstands folgt [5]. Aufgrund des Strömungswiderstands der Mund-Nasen-Bedeckung und der Umlenkungsverluste verbleiben die kleinen Tröpfchen aber zunächst in der Umgebung des Kopfes. Dadurch wird die kurzfristige Ausbreitung der Tröpfchen beim Sprechen, Singen, Husten oder Niesen stark begrenzt und damit wird das direkte Infektionsrisiko enorm reduziert [5, 6, 7, 8, 9]. Diese Bedeckungen schützen aber nur dann wirkungsvoll, wenn zusätzlich ein Sicherheitsabstand (mindestens 1,5 m) eingehalten werden kann. Da bei diesen Mund-Nasen-Bedeckungen die kleinen Tröpfchen freigesetzt werden, können sie sich mit der Zeit im Raum anreichern und selbst dann zu einer *indirekten* Infektion führen, wenn die infizierte Person nicht mehr im Raum ist [8, 10].

Kleine Tröpfchen, die in der Luft über Stunden schweben und mit der Luftströmung über große Entfernungen transportiert werden können, werden Aerosolpartikel oder Schwebeteilchen genannt und das Gemisch aus Luft und Aerosolpartikel wird als Aerosol bezeichnet. Es ist wissenschaftlich erwiesen, dass ein mit infektiösen Viren beladenes Aerosol zu einer COVID-19 Infektion führen kann, solange die flüssige Phase der Aerosolpartikel nicht vollständig verdunstet ist [11, 12]. Die Verdunstungszeit wässriger Aerosolpartikel mit einem Durchmesser von einigen Mikrometern beträgt bei moderater Luftfeuchtigkeit weniger als eine Sekunde [6]. Bei hoher relativer Luftfeuchtigkeit (ca. 85%) kann jedoch die Verdunstungsrate mit der Kondensationsrate ins Gleichgewicht kommen und dann bleibt der Flüssigkeitsanteil dauerhaft erhalten. Die Infektionswahrscheinlichkeit wird dann nur durch die Halbwertzeit der Viren limitiert. Die SARS-CoV-2 Halbwertzeit beträgt 1,1 – 1,2 Stunden, d.h. nach einer guten Stunde geht von der Hälfte der Viren in einem Tropfen statistisch gesehen keine Infektionsgefahr mehr aus [11]. Ob auch Aerosolpartikel nach dem Verdunsten der flüssigen Phase noch infektiös sind, wird gegenwärtig kontrovers diskutiert [13, 14, 15]. Diese aus Salzen, Virenmaterial und getrocknetem Schleim bestehenden festen Partikel werden als Tröpfchenkerne bezeichnet. Je nach Feststoffanteil sind die Tröpfchenkerne sehr viel kleiner als die ursprünglichen Tröpfchen, aus denen sie hervorgegangen sind. In Kapitel 9 werden wir darauf näher eingehen. Aufgrund ihrer geringen Größe schweben die Tröpfchenkerne ebenfalls in der Luft und daher bilden sie selbst bei geringer Luftfeuchtigkeit ein langlebiges Aerosol, das sich im Raum mit der Zeit anreichern kann, sofern Quellen vorhanden sind und es nicht gefiltert oder abgeführt wird.

Da die indirekte Infektionswahrscheinlichkeit in einem Raum mit der Anzahl der infizierten Personen und der Aufenthaltsdauer zunimmt, müssen Maßnahmen ergriffen werden, um die Virenlast in der Raumluft zu begrenzen. Welcher Grenzwert dabei angestrebt werden sollte ist derzeit nicht festgelegt und es ist auch nicht klar, wie die SARS-CoV-2 Konzentration im Raum überhaupt gemessen werden soll. Viele Gebäude verfügen über raumlufttechnische (RLT) Anlagen, die dafür sorgen, dass die kontaminierte Luft kontrolliert abgeführt und gefilterte bzw. frische Luft von außen hinzugefügt wird. In Regionen mit moderaten klimatischen Bedingungen erfolgt die Lüftung aber in der Regel über die freie Lüftung mittels Fenster und Türen. Empfohlene Luftwechselraten orientieren sich am CO_2 Ausstoß und anderen Ausdünstungen der Menschen (z.B. Wasserdampf), sowie der Schadstoffanreicherung im Raum (z.B. Radon) und der Vorbeugung von Gebäudeschädigungen (z.B. Schimmelbildung) [16]. Bereits 1858 hat Max von Pettenkofer erkannt, dass im Innenraum CO_2 Werte von maximal 1000 ppm angestrebt werden sollten [17]. Bei einer CO_2 Umgebungsbelastung von 450 ppm in Städten ist dieser Wert aber oft schwierig zu realisieren [18]. Für viele Bereiche wird daher unabhängig von der CO_2 Konzentration empfohlen pro Stunde eine bestimmte Frischluftmenge zuzuführen, die je nach Raumnutzung variiert. In Büros, Gaststätten und Verkaufsräumen sollte pro Stunde bis zum 4 – 8 fachen des Raumvolumens zugeführt werden, um die Menschen und die Gebäude vor Schadstoffen zu schützen und die Leistungsfähigkeit der Personen sicherzustellen [18, 19]. Wenn allerdings Schadstoffe in den Raum emittiert werden, von denen ein erhebliches Gesundheitsrisiko ausgeht, wie z.B. Viren, dann sind je nach Gefährdungsstufe deutlich größere Luftwechselraten von 12 – 15 notwendig [20, 21, 22].

Der wesentliche Vorteil der RLT Anlagen gegenüber der freien Lüftung besteht darin, dass sie kontinuierlich für eine angemessene Raumluftqualität sorgen und ein regelmäßiges manuelles Regulieren mittels Fenstern entfällt, siehe Abbildung 1 (links). Sie müssen aber regelmäßig gewartet und richtig betrieben werden. Oft werden sie aus energetischen Gründen nur mit geringer Frischluftzufuhr und einfachen Filtern betrieben. Zur Verhinderung von indirekten Infektionen ist aber eine ausreichende Frischluftzufuhr oder eine sehr gute Filterung der Raumluft erforderlich [23]. In Deutschland wird aufgrund der klimatischen Bedingungen vielfach mit Hilfe der freien Lüftung durch Fenster Frischluft zugeführt. Bei der Stoßlüftung kann bei geeigneten Windbedingungen oder Temperaturunterschieden die vorhandene Schadstoffkonzentration im Raum innerhalb kurzer Zeit stark verringert werden, aber nach dem Schließen der Fenster steigt die Schadstoffkonzentration wieder allmählich an, wie in Abbildung 1 (rechts) schematisch dargestellt.

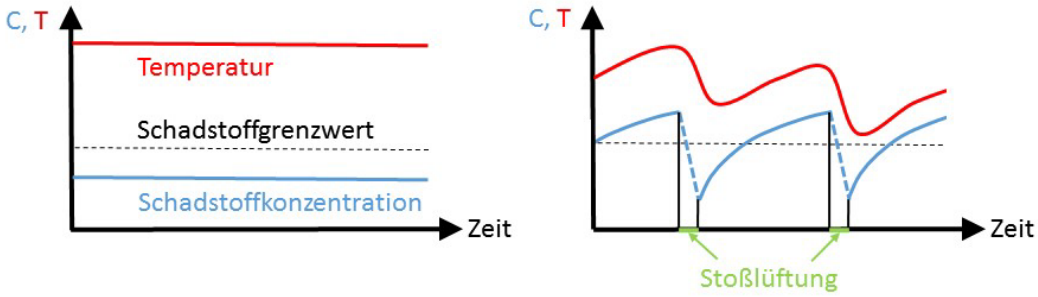

Abbildung 1: Schematische Darstellung der Schadstoffkonzentration und des Temperaturverlaufes in einem Raum mit RLT Anlage (links) und Stoßlüftung (rechts)

Um die Schadstoffkonzentration auf einem niedrigen Niveau zu halten, muss daher häufig stoßgelüftet oder besser dauergelüftet werden. Die Querlüftung ist bei geeigneten Witterungsbedingungen am effektivsten, aber diese kann auch schnell als unangenehm

empfunden werden. Ein gekipptes Fenster führt hingegen meist zu keinem nennenswerten Luftaustausch im Raum [16]. Unter diesen Bedingungen ist es empfehlenswert, zwei Fenster zu öffnen und vor ein Fenster einen Ventilator zu stellen, der von außen frische Luft in den Raum führt. Aufgrund der Druckerhöhung wird die verbrauchte oder kontaminierte Luft dann durch das andere Fenster abgeführt. Mit dieser Methode werden alle Bereiche des Raumes mit Frischluft versorgt und die Verweilzeit des Aerosols im Raum kann kurzgehalten werden, so dass eine indirekte Infektion sehr unwahrscheinlich wird. In der kalten Jahreszeit ist die freie Lüftung aber nicht nur ungemütlich, sondern sie gefährdet auch die Gesundheit. Ferner ist eine freie Lüftung energetisch schlecht und in fensterlosen Räumen nicht möglich. Darüber hinaus ist die Effizienz des Luftaustausches bei der freien Lüftung abhängig von nicht beeinflussbaren Parametern wie der Position und Größe der Fenster, der Geschwindigkeit und Richtung des Windes vor den Fenstern, dem Temperaturunterschied zwischen innen und außen und der Bereitschaft der Menschen zu lüften [24, 25].

Welche Lüftungsart den besten Schutz vor einer indirekten SARS-CoV-2 Infektion bietet lässt sich schwer feststellen, da die Anzahl der emittierten Viren oder die Virenkonzentration und damit die Infektionswahrscheinlichkeit in einem Raum nicht bekannt ist. Da auch keine Korrelation zwischen Virenkonzentration und anderen Größen wie z.B. der CO_2 Konzentration besteht, kann die Virenlast auch nicht indirekt über den CO_2 Gehalt gemessen werden. Aus diesem Grund sind möglichst hohe Luftwechselraten anzustreben, um die Infektionswahrscheinlichkeit zu minimieren. Aufgrund der tödlichen Gefahr, die von einer SARS-CoV-2 Infektion ausgeht, ist es sicherlich vernünftig, die bereits ohne Infektionsrisiko empfohlenen Luftwechselraten nicht zu unterschreiten, sondern zu übertreffen.

Es ist abzusehen, dass in der aktuellen Pandemie spätestens im Winter zusätzliche Herausforderungen auftreten werden, um das Infektionsrisiko in geschlossenen Räumen zu minimieren. Aber schon die aktuell diskutierte Schulöffnung ohne Einhaltung von Sicherheitsabständen und ohne Nutzung von Mund-Nasen-Bedeckungen oder partikelfiltrierenden Atemschutzmasken wird von vielen Menschen mit Sorge betrachtet, da die Möglichkeit besteht, dass sich die Kinder untereinander infizieren und die Infektionskette dann über die Eltern und Großeltern verläuft. Da die Sterblichkeit mit dem Alter zunimmt, ist diese Sorge vieler Eltern gut begründet und berechtigt. Es ist daher die Frage, ob sich auch in Gebäuden ohne RLT Anlagen mit Filtern der Klasse H13/H14 oder 100% Frischluftzufuhr die Virenlast effektiv minimieren lässt, ohne den Komfort zu reduzieren oder akute Schädigungen der Gesundheit in Kauf zu nehmen.

Es ist erforderlich eine Lösung zu suchen, die einerseits im Raum weder schnelle Luftbewegungen, noch große Temperatur- oder Luftfeuchteschwankungen hervorruft, die zur Beeinträchtigung der Behaglichkeit führen [26], andererseits aber mit infektiösem Virenmaterial kontaminierte Aerosolpartikel (Tröpfchen und Tröpfchenkerne) effizient herausfiltert und sie nicht wie eine „Virenschleuder“ unkontrolliert verteilt [4]. Damit dies gewährleistet werden kann, ist eine ausreichende Luftwechselrate wichtig und die Verweilzeit der emittierten Aerosolpartikel muss möglichst gering sein. Die Luftwechselrate bezeichnet dabei nicht, dass die Luft komplett ausgetauscht wird wie in einer Luftpumpe, sondere den Anteil an frischer oder gereinigter Luft, der bezogen auf das Raumvolumen pro Stunde zugeführt wird [24]. Auf der anderen Seite dürfen die Luftgeschwindigkeit und die turbulente Schwankungsbewegung der Luft nicht zu groß sein, da es ansonsten für die Personen im Raum je nach Bekleidung und Tätigkeit unangenehm werden kann. Abbildung 2 illustriert die Abhängigkeit der Behaglichkeit von der mittleren Strömungsgeschwindigkeit, der turbulenten Luftschwankungen und der Temperatur gemäß [26]. Die Bereiche unterhalb des jeweiligen

Kurvenverlaufes können als angenehm betrachtet werden. Als Richtwert wird üblicherweise gefordert, dass bei moderaten Raumtemperaturen die Luftgeschwindigkeit im Mittel über lange Zeiträume kleiner als 0,3 m/s sein sollte.

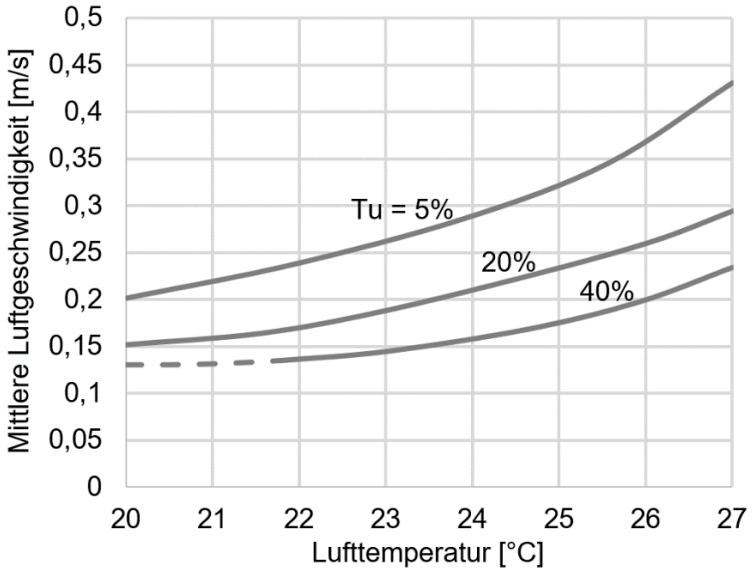

Abbildung 2: Bereiche mit nicht störender Luftgeschwindigkeit nach [26]

Die Strömungsbewegung im Raum ist daher sehr wichtig zu betrachten und sie können durch Einbauten (Lampen) oder großen Objekten im Raum, aber auch durch Öffnungen in den Wänden (Zug) oder die Bewegung von Personen (Vermischung, thermische Konvektion) stark beeinflusst werden [24, 25]. Im Hinblick auf eine effiziente Filterung des Aerosols im Raum mit mobilen Geräten ist daher die richtige Positionierung eines Raumluftreinigers wichtig. Aber auch die Position, an der die Aerosolpartikel lokal emittiert werden, spielt eine große Rolle. Weitere Einflussparameter sind die von der Aktivität abhängige emittierte Aerosolkonzentration sowie die Verweildauer im Raum.

Aufgrund der Komplexität des Strömungsproblems wird im Rahmen dieser Untersuchungen ein experimenteller Ansatz genutzt, da nur so die vielen Einflussfaktoren physikalisch richtig erfasst werden können.

Für die experimentellen Untersuchungen wurde ein TROTEC TAC V+ Raumluftreiniger genutzt, der die folgenden Merkmale aufweist [27]:

1. Maximaler Volumenstrom von etwa 1500 m^3/h.
2. Filter der Klasse F7 und H14. H14 bedeutet, dass Aerosolpartikel mit einem Durchmesser von 0,1 bis 0,3 µm zu 99,995% abgeschieden werden. Größere Partikel werden zu 100% abgeschieden.
3. Der Filter kann nach dem Einsatz auf über 100°C aufgeheizt werden, um die Viren im Filter zu zerstören und der Entstehung von Biofilmen, Bakterien und Pilzen ohne gesundheitsschädliche chemische Zusatzstoffe oder UV-C Strahlung entgegenzuwirken.
4. Das Gerät kann trotz seines Gewichts leicht bewegt werden, so dass es in diversen Bereichen problemlos eingesetzt werden kann.

2. Versuchsaufbau und Durchführung der PIV Experimente

Das Ziel der ersten Versuchsreihe bestand darin die Ansaug- und Ausblascharakteristik des Raumluftreinigers bei verschiedenen Leistungsstufen / Volumenströmen zu quantifizieren. Gemäß Abbildung 2 muss dazu die mittlere Luftgeschwindigkeit und die turbulenten Luftschwankungen in der Umgebung des Raumluftreinigers quantitativ erfasst werden. Diese Größen sind wichtig, um festzustellen, ob die Luftbewegung von Personen in der Nähe als störend empfunden werden. Strömungsgeschwindigkeiten im Bereich kleiner 0,3 m/s werden bei ruhiger Tätigkeit in der Regel nicht als störend empfunden. Da sich die gefühlte Luftbewegung additiv aus der mittleren und der turbulenten Strömungsbewegung zusammensetzt, muss die Summe aus beiden Anteilen im Mittel kleiner als 0,3 m/s sein. Um diese beiden Größen in Abhängigkeit vom Abstand zum Gerät ortsaufgelöst bestimmen zu können, wurde die Particle Image Velocimetry (PIV) eingesetzt [28]. Bei dieser Messtechnik wird die Bewegung künstlich erzeugter Aerosolpartikel, die der Luftbewegung exakt folgen, in einem Laserlichtschnitt mit digitalen Kameras zu zwei Zeitpunkten registriert und anschließend wird mit digitalen Bildverarbeitungsmethoden die Verschiebung der Partikelbilder bestimmt. Aus der Verschiebung der Partikelbilder kann dann unter Berücksichtigung des Zeitintervalls zwischen den Messungen und einer Kalibrierung die ortsaufgelöste Geschwindigkeitsverteilung in der Messebene berührungslos bestimmt werden. Abbildung 3 zeigt zur Illustration Aufnahmen des Versuchsaufbaus und während einer Messung.

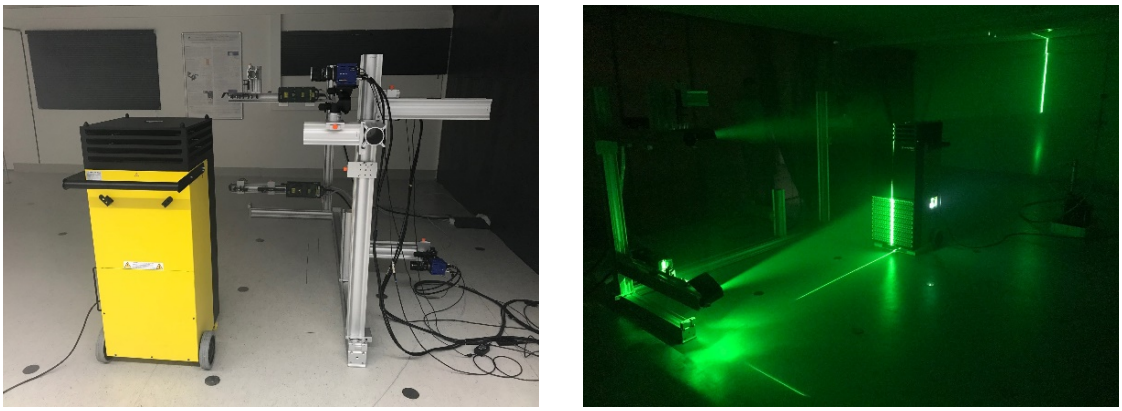

Abbildung 3: Experimenteller Aufbau mit Raumluftreiniger, zwei Doppelpulslasern und 4 sCMOS Kameras (links) und Aufnahme während der Messung mit PIV (rechts)

Für die Experimente wurden 4 PCO.edge 5.5 sCMOS Kameras mit Zeiss Makro-Objektiven mit Brennweiten von 35 mm und 50 mm verwendet. Das Aerosol wurde mit einem Seedinggenerator der Firma PIVTEC aus Di-2-ethylhexyl-sebacat (DEHS) erzeugt. Der mittlere Durchmesser de Aerosolpartikel beträgt 1 µm und die Größenverteilung liegt zwischen 0,1 – 2 µm [29]. Für die PIV Strömungsexperimente in Kapitel 6 wurden mit Helium gefüllte Seifenblasen mit einem mittleren Durchmesser von ca. 350 µm verwendet, die mit einem HFSB Generator der Firma LaVision erzeugt wurden. Zwei Quantel Evergreen 200 Laser wurden für die Beleuchtung der Partikel eingesetzt, deren Strahlen mithilfe verschiedener Linsen zu Lichtschnitten aufgespannt wurden [28]. Das Messsystem wurde mit der Software DaVis von LaVision GmbH gesteuert, welche auch zur Datenauswertung verwendet wurde.

3. Charakterisierung des Strömungsfeldes in der Umgebung des Raumluftreinigers

In den Abbildungen 4 – 9 sind die Ergebnisse der Messungen bei Volumenströmen von 600 m^3/h, 1000 m^3/h und 1500 m^3/h dargestellt. In der oberen Abbildung sind jeweils der Geschwindigkeitsbetrag farbkodiert und die Richtung der mittleren Strömungsgeschwindigkeit als Vektoren gezeigt, in der unteren ist der Betrag der turbulenten Luftbewegung dargestellt.

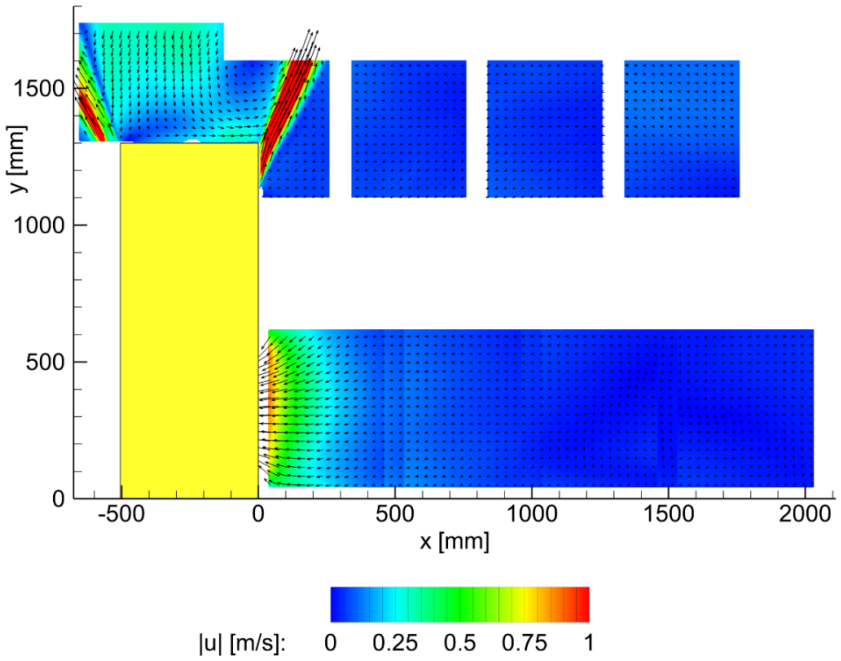

Abbildung 4: Mittleres Strömungsfeld gemessen bei 600 m^3/h.

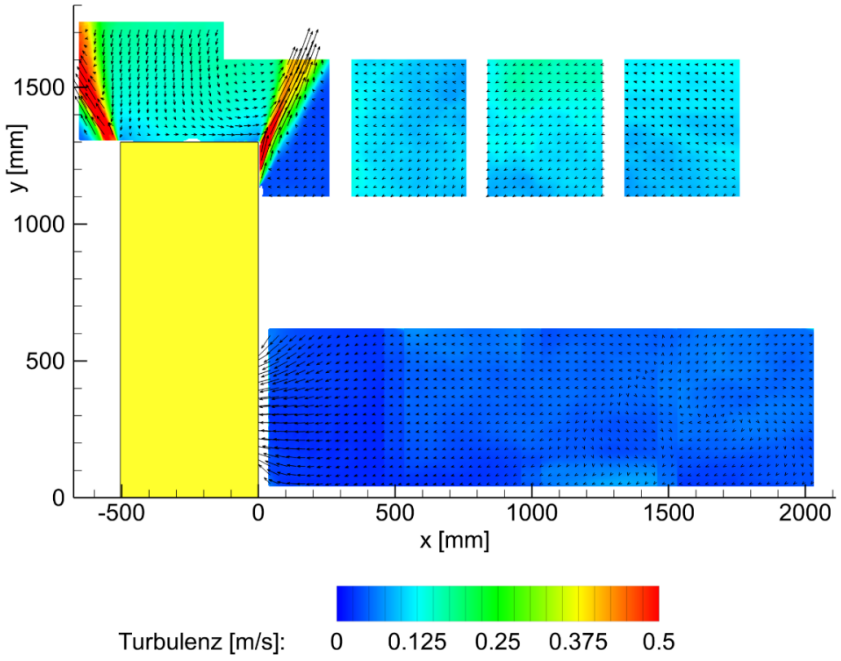

Abbildung 5: Turbulente Strömungsbewegung zeitlich gemittelt bei 600 m^3/h.

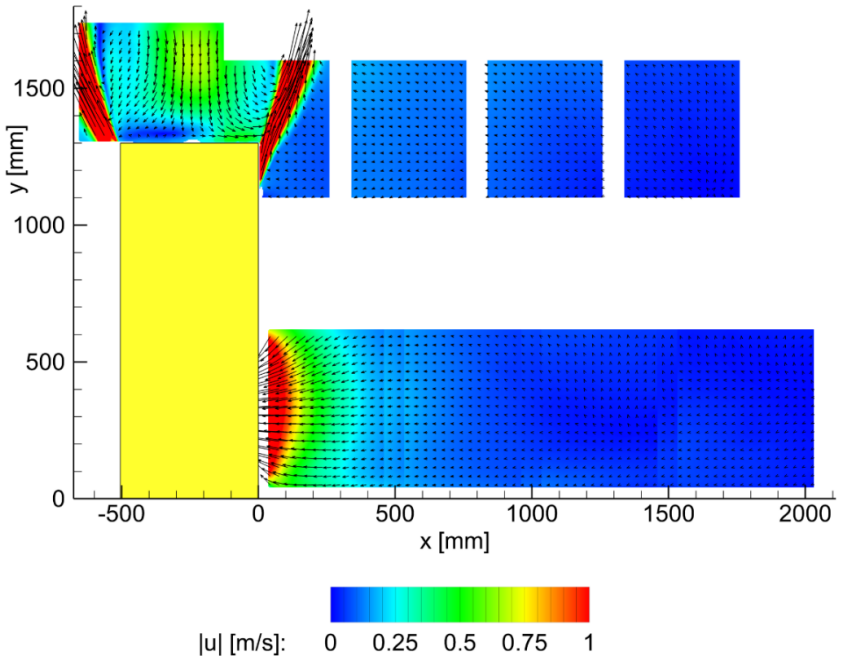

Abbildung 6: Mittleres Strömungsfeld gemessen bei 1000 m³/h.

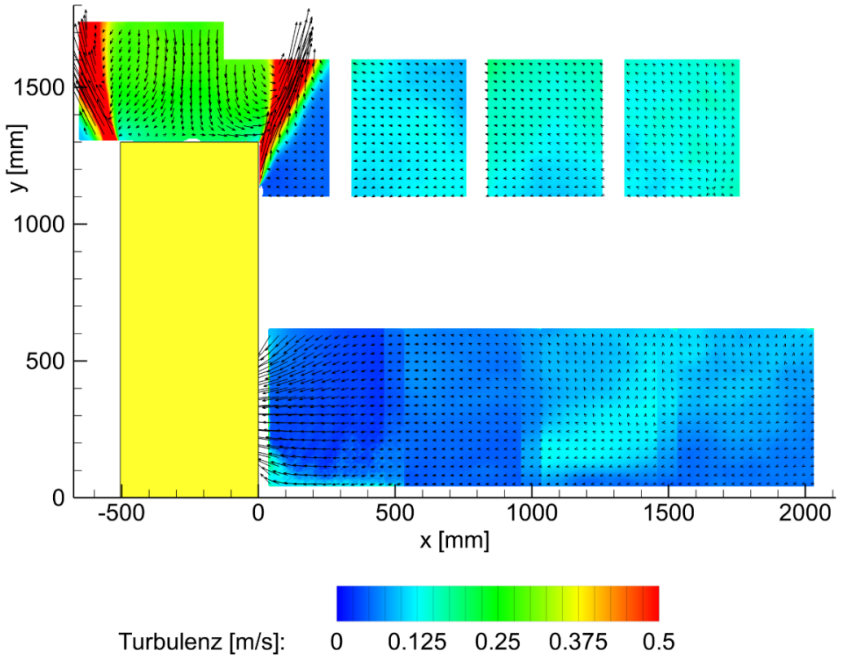

Abbildung 7: Turbulente Strömungsbewegung zeitlich gemittelt bei 1000 m³/h.

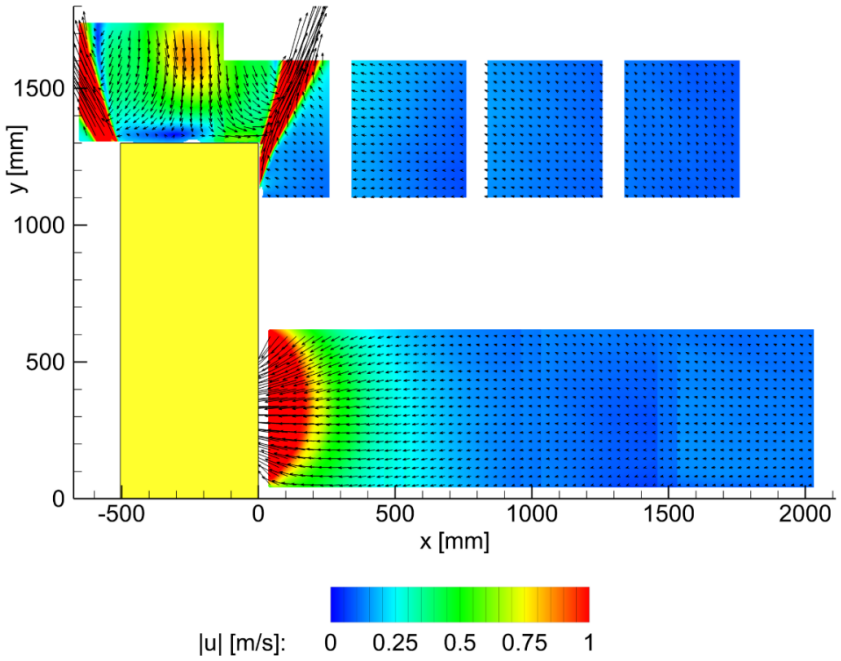

Abbildung 8: Mittleres Strömungsfeld gemessen bei 1500 m³/h.

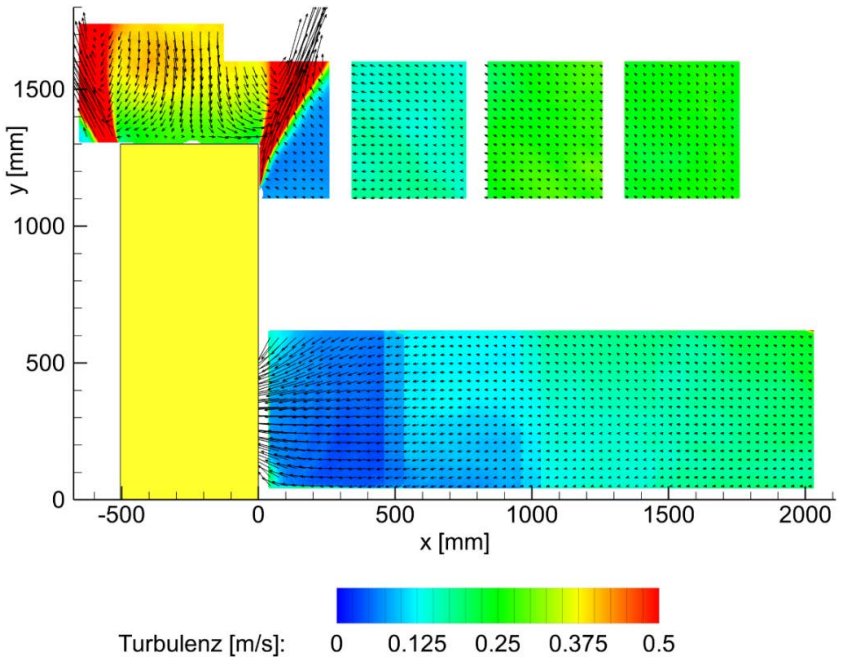

Abbildung 9: Turbulente Strömungsbewegung zeitlich gemittelt bei 1500 m³/h.

Die quantitativen Messergebnisse verdeutlichen, dass die mittlere Strömungsgeschwindigkeit und die turbulente Bewegung in der Umgebung des Gerätes die kritischen Werte gemäß Abbildung 2 nicht übertreffen. Daher ist selbst bei einem Aufenthalt in der unmittelbaren Nähe

des Raumluftreinigers keine Beeinträchtigung des Wohlbefindens durch Luftbewegungen zu erwarten. Bei einem Volumenstrom von 1500 m^3/h werden vor dem Ansaugbereich etwas größere Strömungsgeschwindigkeiten erreicht, allerdings nur im Beinbereich und nur bis ca. 0,5 m Entfernung vor dem Gerät. Im empfindlichen Kopf- und Körperbereich sind die mittleren Strömungsgeschwindigkeiten und die turbulente Luftbewegung deutlich kleiner als 0,3 m/s. Direkt im Bereich der Ausströmung und oberhalb des Gerätekopfes werden deutlich größere Strömungsgeschwindigkeiten erreicht. Bei einem Abstand von 0,5 m zum Gerät sind diese aber selbst im Stehen nicht spürbar, da der austretende Freistrahl durch Leitbleche stark nach oben gerichtet ist. Es ist daher auch kaum möglich den Auslassstrahl zu verblocken, was zu einer Beeinträchtigung der Filterwirkung im Raum führen könnte. Als Ergebnis lässt sich feststellen, dass durch den Betrieb des Raumluftreinigers die Luftgeschwindigkeiten den Richtlinien entsprechen.

4. Strömungseffekte durch Objekte

In einer unabhängigen Studie wurde bereits gezeigt, dass die Filterwirkung vom Standort des Gerätes und Objekten im Raum abhängen kann [30]. Um zu ermitteln, inwieweit eine Positionierung des Raumluftreinigers dicht an der Wand und lange Deckenlampen die Strömungsbewegung im Raum nachteilig beeinflussen und damit ggf. die Zeit für die Filterung der Raumluft verzögern können, wurde der Raumluftreiniger dicht an einer Wand positioniert und der Auslassstrahl durch raumteilende Deckenlampen blockiert. Die in Abbildung 10 dargestellte Geschwindigkeitsverteilung verdeutlicht, dass die ausgeblasene Luft zunächst an die Decke steigt und dann an der Decke umgelenkt wird. Aufgrund des Coandă Effektes liegt der Auslassstrahl an der Decke an und breitet sich als sogenannter Wandstrahl aus. Bedingt durch die hervorstehenden Deckenlampen, die über die gesamte Raumlänge verlaufen, kommt es erneut zu einer Strömungsumlenkung und folglich bildet sich ein großer Wirbel aus. Diese Wirbelströmungen sind tendenziell schlecht, da die gefilterte Luft teilweise wieder zum Gerät geführt wird und erneut gefiltert wird, bevor eine hinreichende Aufnahme von Viren im Raum durch Entrainment erfolgen kann [24]. Derartige Konstellationen sollten daher durch geeignete Aufstellung des Gerätes im Raum möglichst vermieden werden.

Um eine effektive Filterung der Raumluft zu ermöglichen, ist zu empfehlen, den Raumluftreiniger möglichst in der Mitte der längsten Raumseite zu positionieren und es ist darauf zu achten, dass die auf die Decke treffenden Luftstrahlen möglichst lange ungestört an der Decke entlangströmen können. Wenn die Decke glatt ist und der Raum nicht zu groß, dann kann der Strahl bis zur anderen Seitenwand strömen. Dort wird er dann nach unten umgelenkt und strömt entlang des Bodens zurück zum Ansaugbereich des Raumluftreinigers, wie in Abbildung 11 (links) schematisch dargestellt. Auf diese Weise wird ein bestmöglicher Luftaustausch sichergestellt, da die kontaminierten Luftbereiche im Raum kontinuierlich über wenige groß Wirbelströmungen zum Gerät befördert werden. Wenn die Luftausbreitung an der Decke z.B. durch eine Lampenreihe unterbrochen wird, dann ist eine Strömungsbewegung wie in Abbildung 11 (rechts) gezeigt zu erwarten, sofern der Raum hinreichend groß ist.

Die Behinderung der Luftausbreitung an der Decke kann auch durch eine stake Wärmequelle (Heizung, Herd, Menschengruppe) im Raum verursacht werden. Wärmequellen bewirken, dass die Dichte der Luft abnimmt und aufgrund der verringerten Dichte wird sie leichter als die Umgebungsluft und daher wird sie durch die schwereren Luftmassen im unteren Bereich verdrängt und steigt auf. Diese thermische Konvektionsströmung gelangt dann zur Decke, wo sie in alle Richtungen umgelenkt wird. Diese Strömung kann daher der durch den Lüfter erzeugten Strömungsbewegung entgegenwirken und zur Strömungsablösung an der Decke

führen. In diesem Fall kann sich wieder eine Wirbelströmung ausbilden, die nicht den gesamten Raum erfasst, und dadurch kann die Filterleistung reduziert werden, analog zu der schematischen Darstellung in Abbildung 11 (rechts). Es ist aber zu beachten, dass die turbulente Luftbewegung im Raum immer dafür sorgen wird, dass die gesamte Raumluft nach einer gewissen Zeit in den Einflussbereich des Lüfters kommt und die Aerosolpartikel dann abgeschieden werden. Das Ziel sollte es aber sein, die Zeit für die Filterung der Raumluft möglichst gering zu halten.

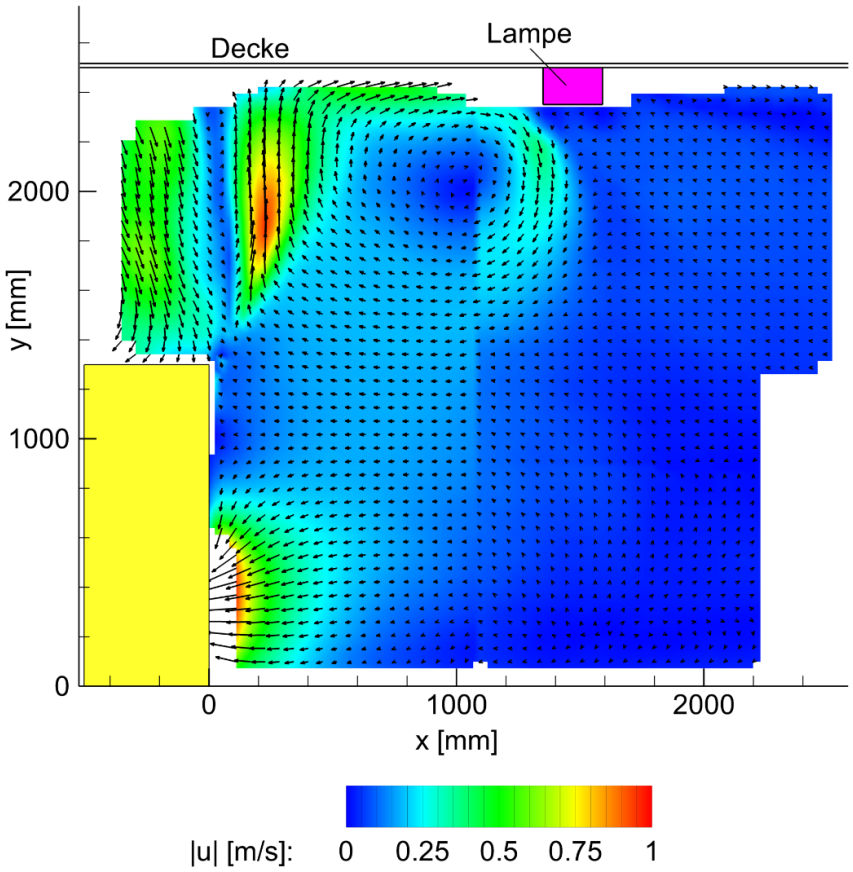

Abbildung 10: Gemessene Raumluftströmung vor dem Gerät mit unterbrochener Decke

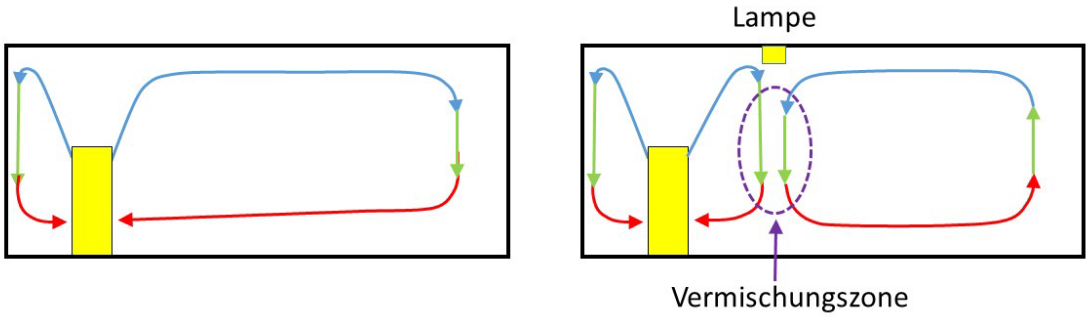

Abbildung 11: Vereinfachte schematische Darstellung der Raumluftströmung in einem leeren Raum (links) und bei Vorhandensein einer Lampenreihe an der Decke (rechts). In der Realität sind die Strömungsphänomene dreidimensional.

5. Versuchsaufbau und Durchführung der Konzentrationsmessungen

Mit dem Ziel, die Filterleistung des Raumluftreinigers quantitativ zu bestimmen, wurden Konzentrationsmessungen an sechs Positionen in dem 80 m^2 großen Raum simultan durchgeführt. Zur Ermittlung der Abklingraten der Aerosolkonzentration in der Raumluft wurde das Particle Imaging Verfahren angewendet. Dazu wird der Raum zunächst mit sehr langlebigen Aerosolpartikel, deren Größenverteilung dem beim Atmen, Sprechen und Singen emittierten Aerosolpartikeln entspricht, homogen und mit hoher Konzentration vernebelt. Die Langlebigkeit des Aerosols ist sehr wichtig, da sonst eine Verfälschung der Messergebnisse durch Verdunstung auftreten würde. Ferner ist die geringe Größe wichtig, da sich die Aerosolpartikel sonst im Laufe der Zeit absetzten würden, was ebenfalls systematische Messfehler bewirken würde. Das Aerosol wird mit einem gepulsten Laser beleuchtet und mit einer Kamera mit geeignetem Objektiv abgebildet und für die Weiterverarbeitung gespeichert. Die Anzahl der Partikelbilder auf dem Sensor entspricht der Anzahl der Aerosolpartikel im beleuchteten Volumen. Die Anzahl auf dem Sensor darf nicht zu hoch sein, da überlappende Partikelbilder die Zählung systematisch verfälschen würde. Aus diesem Grund muss der Abbildungsmaßstab des optischen Systems an die Anfangskonzentration des Aerosols angepasst werden. Zur Detektion der Partikelbilder werden digitale Filter angewendet, welche das Rauschen unterdrücken, und anschließend wird mittels eines Intensitätsschwellwerts der Hintergrund entfernt. Als Ergebnis dieser Bildvorbearbeitung verbleiben auf dem Bild lediglich die Partikelbilder, die dann gezählt werden. Ohne diese Bildvorbearbeitung könnten stochastisches Bildrauschen fälschlich als Signal interpretiert werden, was zu systematischen Messfehlern führen würde. Durch Aufnahmen mit einer festen Frequenz über einen ausreichend langen Zeitraum können die einzelnen Partikelbilder in jeder einzelnen Aufnahme zuverlässig gezählt werden. Als Ergebnis der Messungen ergibt sich die Anzahl im Messvolumen über der Zeit, woraus Kenngrößen wie z.B. die Abklingrate, Halbwertszeit etc. ermittelt werden können.

Um die Funktionalität des TROTEC TAC V+ Raumluftreinigers in einem 80 Quadratmeter großen Raum zu analysieren, wurde die Aerosolkonzentration an 6 unabhängigen Orten im Raum simultan gemessen. Aus Symmetriegründen wurde nur auf der Symmetrieachse des Raumes und in einer Raumhälfte die Konzentration bestimmt. Mit einem PIVTEC Seedinggenerator wurde aus Di-2-ethylhexyl-sebacat (DEHS) das Aerosol mit einer Partikelgrößenverteilung zwischen 0,1 – 2 µm und einem mittleren Durchmesser von ca. 1 µm erzeugt [19]. Zur Aufnahme der Aerosolpartikel wurden 6 PCO.edge 5.5 sCMOS Kameras mit Zeiss Makro-Objektiven mit einer Brennweite von 50 mm verwendet. Für die Beleuchtung des Aerosols im Messvolumen wurden 2 Quantel Evergreen 200 Laser genutzt, wobei die Laser so aufgestellt wurden, dass sich jeweils 3 Messpunkte (Kameras) einen Laserstrahl zur Beleuchtung des lokalen Messvolumens teilen (MP1 – MP3 und MP4 – MP6). Die einzelnen Kameras und Laser wurden mit der Software DAVIS von LaVision zentral angesteuert, sodass die Aufnahmen aller 6 Kameras synchron durchgeführt wurden. Die Aufnahmerate betrug 1 Hz.

Abbildung 12 zeigt die optisch verzerrte Panoramaaufnahme der Versuchsanordnung in dem Raum und Abbildung 13 verdeutlicht in der Draufsicht die Geometrie und Abmessung des Raumes sowie die Positionen des Gerätes und der sechs Messstellen. Es wurden zwei Gerätepositionen gewählt. Position A kann als quasi optimale Position angesehen werden. Eine Positionierung in der Raummitte wäre noch vorteilhafter im Hinblick auf die Filtereffizienz gemäß Abbildung 11, aber eine zentrale Aufstellungsposition wird in den seltensten Fällen in der Praxis realisiert werden. Position B verdeutlicht die ungünstigste Position im Raum, da die

Aufstellung in der Ecke des Raumes und die Lampen an der Decke eine optimale Raumluftströmung verhindern werden, gemäß Abbildung 10.

Abbildung 12: Optisch verzerrte Panoramaaufnahme des Versuchsraumes mit den Komponenten für die Konzentrationsmessungen

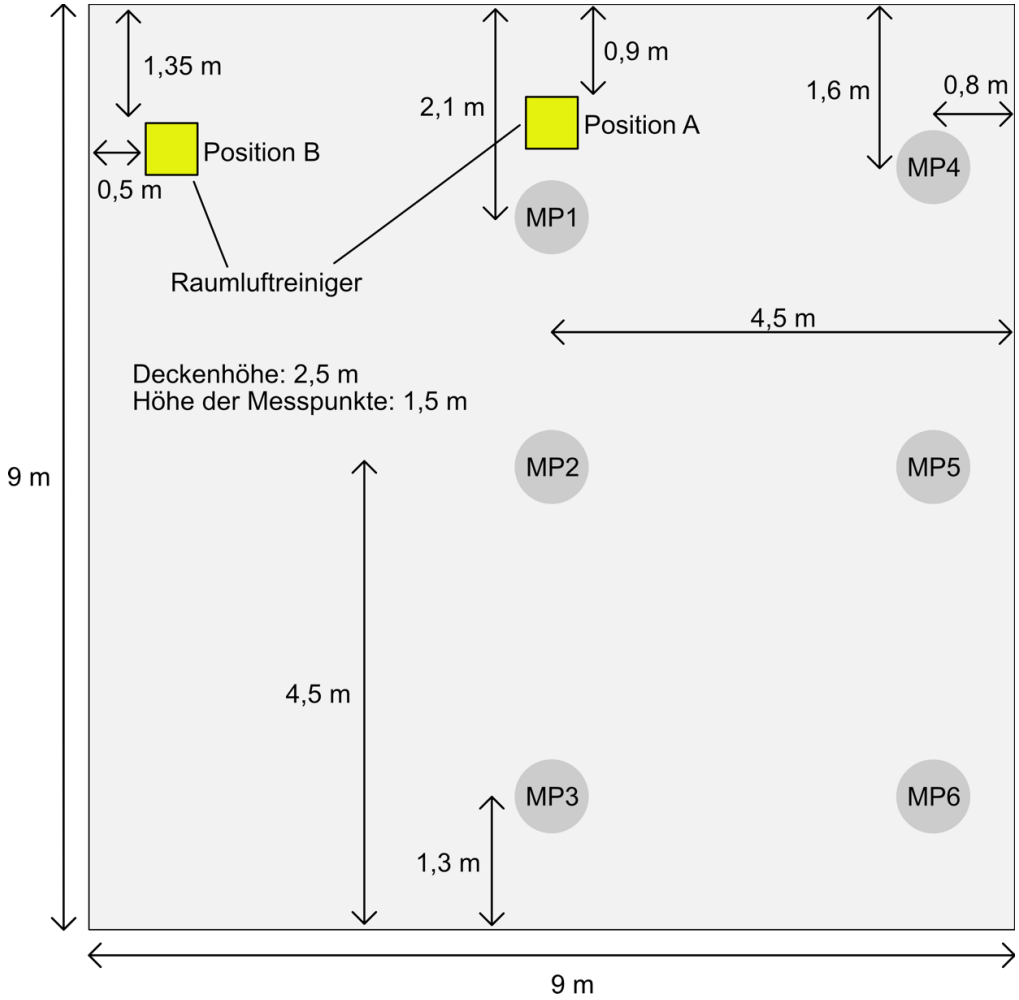

Abbildung 13: Anordnung der Komponenten im Raum für die Konzentrationsmessungen

6. Ergebnisse der Konzentrationsmessungen

Mit Hilfe des in Abschnitt 2 verwendeten Versuchsaufbaus wurde zunächst visuell der Abscheidegrad am Austritt des Gerätes verifiziert. Dazu wurde der gesamte Raum mit einem DEHS Aerosol mit einem Durchmesser von 0,1 – 2 µm und einem mittleren Durchmesser von ca. 1 µm [19] homogen vernebelt. Mit Hilfe eines Laserlichtschnittes im Bereich der Ausströmung wurde gemessen, ob noch Aerosol aus dem Auslassbereich des Gerätes herauskommt. Abbildung 14 zeigt, dass der an der oberen Ecke des Raumluftreinigers austretende Freistrahl bei den verschiedenen Volumenströmen frei von Aerosol ist (schwarzer Bereich). Die Umgebung des Freistrahles ist hingegen vollständig mit Aerosol kontaminiert (weiße Bereiche). Damit ist die Leistungsfähigkeit des Filters der Klasse H14 selbst bei hohen Volumenströmen optisch klar erkennbar. Gut zu sehen ist auch die turbulente Struktur des Freistrahles und das Entrainment, d.h. die Einmischung von mit Aerosol belasteten Strömungsbereichen in den sauberen Freistrahl [24]. Dieser Entrainment- bzw. Vermischungseffekt ist sehr wichtig für einen effizienten Transport des Aerosols zum Ansaugbereich des Raumluftreinigers.

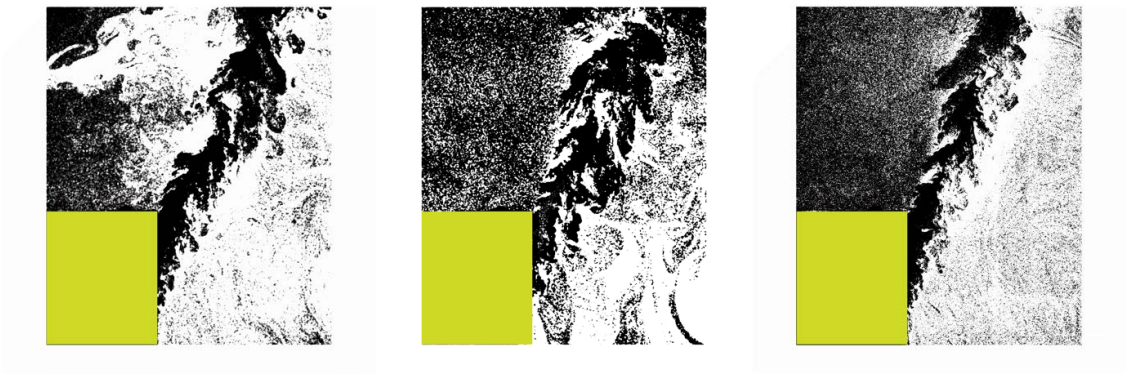

Abbildung 14: Darstellung der Aerosolverteilung im Bereich der Ausströmung bei einem Volumenstrom von 1000 m^3/h

Abbildung 15 zeigt beispielhaft den Verlauf der Aerosolkonzentration über der Zeit. In der linken Abbildung ist die Aerosolkonzentration bei ausgeschaltetem Raumluftreiniger als Referenz dargestellt. Da alle Öffnungen in dem Raum dicht abgeklebt wurden und die Aerosolpartikel sich kaum absetzen, ist die Konzentration weitgehend konstant über die betrachtete Messzeit, so dass eine Beeinflussung der Konzentrationsmessungen bei den Messungen mit eingeschaltetem Gerät durch natürliche Abscheidungsprozesse nicht beeinflusst wird. Darüber hinaus wurden Tests bei laufendem Gerät ohne F7 und H14 Filter durchgeführt. Dass der Abfall der Partikelkonzentration geringfügig stärker ist als im Fall ohne Betrieb des Raumluftreinigers ist darauf zurückzuführen, dass einige wenige Aerosolpartikel aufgrund der Zentrifugalkräfte im Gebläse abgeschieden werden. Ein Flüssigkeitsfilm konnte aber weder auf dem Lüfter noch im Gehäuse des Gebläses festgestellt werden.

Die Ergebnisse verdeutlichen klar, dass kleine langlebige Tröpfchenkerne oder Tröpfchen unter Bedingungen, bei denen sich die Verdunstungsrate mit der Kondensationsrate im Gleichgewicht befindet, quasi dauerhaft in der Luft verbleiben. Die angegebenen Werte für die Abklingzeiten in Abbildung 15 (links) ermöglichen abzuschätzen, wie lange es dauert bis die Aerosolkonzentration aufgrund von Absetzungsphänomenen mit den Wänden einen gewünschten Wert erreicht. Aufgrund der sehr kleinen Abklingkonstante ist klar, dass das

Aerosol über viele Stunden Infektionen hervorrufen kann, wenn es nicht herausgefiltert wird oder die zeitliche Deaktivierung der Viren eine Infektion unwahrscheinlich macht.

Es ist auch offensichtlich, dass das Aerosol, da es nicht vollständig verdunstet, durch die Luftströmung über sehr große Strecken (im Prinzip viele Kilometer) transportiert werden kann. Es ist allerdings zu berücksichtigen, dass bei diesem Transport die Konzentration und damit die Infektionswahrscheinlichkeit aufgrund von zwei Prozessen enorm abnimmt. Einerseits sorgt die turbulente Diffusion für eine räumliche Verbreitung des Aerosols, die auch dann stattfindet, wenn die mittlere Strömungsgeschwindigkeit Null ist. Andererseits wird das über einen Zeitraum freigesetzte Aerosol räumlich stark gestreckt und daher verdünnt, wenn die mittlere Strömungsgeschwindigkeit nicht Null ist. Wird z.B. bei leichter körperlicher Belastung über einen Zeitraum von 2 Sekunden 1 Liter Luft ausgeatmet und die umgebende Luft hat eine Geschwindigkeit von 1 m/s, dann wird die ausgeatmete Luft aufgrund der Strömung über einen Bereich von 2 m gestreckt. Die Konzentration wird daher rechnerisch um den Faktor 20 abnehmen und damit die Virenlast im Nachlauf der Person, von der das Aerosol ausgeatmet wird. Werden Viren z.B. von einem Radfahrer ausgeatmet, der mit einer Geschwindigkeit von 10 m/s fährt, dann wird die Virenlast im Nachlauf rechnerisch allein aufgrund der Geschwindigkeit um den Faktor 200 verdünnt. Wird noch die turbulente Diffusion berücksichtigt, dann nimmt die Konzentration nochmal um mindestens 1 – 2 Größenordnungen ab. Hinzu kommt noch, dass nicht alle Aerosolpartikel Viren tragen, siehe Kapitel 8. In der freien Natur ist daher bei ausreichender Windgeschwindigkeit eine Aerosolinfektion extrem unwahrscheinlich.

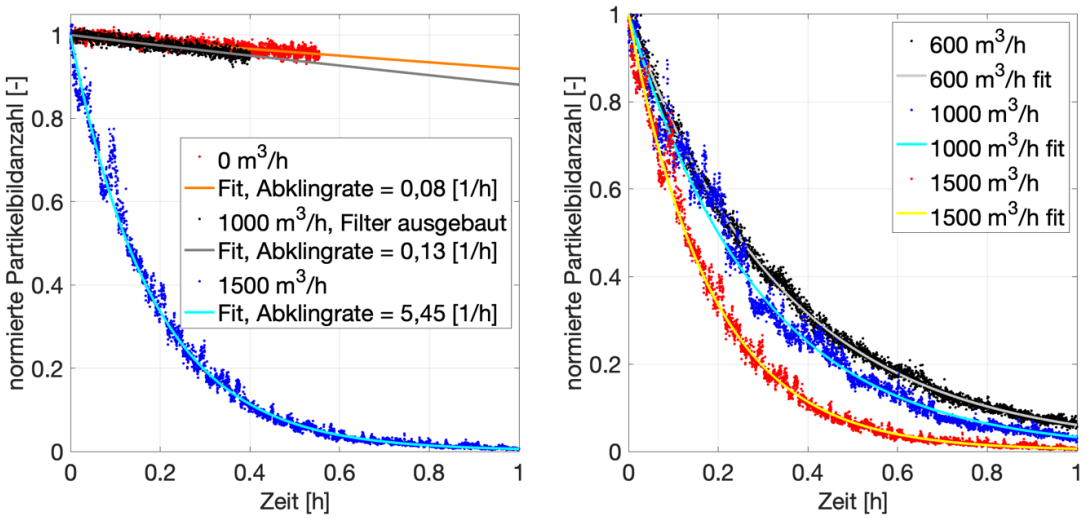

Abbildung 15: Abnahme der Aerosolkonzentration mit der Zeit für verschiedene Volumenströme und zugehörige exponentielle Fitfunktionen

In Abbildung 15 (rechts) ist die Abnahme der Aerosolkonzentration in dem 80 m² großen Raum in Abhängigkeit von der Zeit und dem Volumenstrom des Raumluftreinigers dargestellt. Die sehr effiziente Abnahme der Konzentration innerhalb weniger Minuten zeigt die Leistungsfähigkeit der F7 / H14 Filterkombination in Verbindung mit dem Volumenstrom des Raumluftreinigers. Der exponentiell abnehmende Verlauf der Aerosolkonzentration ermöglicht es, charakteristische Größen quantitativ zu bestimmen, die für die Bewertung der Filterleistung ganz wesentlich sind. Die Abklingkonstante ist ein Maß für die Effizienz der Filterung. Je größer der Wert, desto besser die Filterwirkung und desto kürzer die Zeit, die zur Filterung der Raumluft benötigt wird. Die Halbwertzeit gibt an, wie lange es dauert bis die

Aerosolkonzentration 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 Raumluftreiniger abgeschieden werden.

Tabelle 1: Abnahme der Aerosolkonzentration mit der Zeit für verschiedene Volumenströme. Abklingrate (schwarz), Halbwertszeit (grün) und mittlere Verweilzeit (blau).

Messposition	600 m³/h (Position A)	1000 m³/h (Position A)	1500 m³/h (Position A)	1000 m³/h (Position B)
MP1	3,30 | 0,21 | 0,30	4,13 | 0,17 | 0,24	6,06 | 0,11 | 0,17	3,35 | 0,21 | 0,30
MP2	3,04 | 0,23 | 0,33	3,86 | 0,18 | 0,26	5,95 | 0,12 | 0,17	3,04 | 0,23 | 0,33
MP3	2,90 | 0,24 | 0,34	3,48 | 0,20 | 0,29	5,48 | 0,13 | 0,18	3,22 | 0,22 | 0,33
MP4	3,11 | 0,22 | 0,32	4,03 | 0,17 | 0,25	6,16 | 0,11 | 0,16	3,47 | 0,20 | 0,29
MP5	3,05 | 0,23 | 0,33	3,82 | 0,18 | 0,26	6,05 | 0,11 | 0,17	3,25 | 0,21 | 0,31
MP6	2,86 | 0,24 | 0,35	3,65 | 0,19 | 0,27	5,62 | 0,12 | 0,18	2,95 | 0,24 | 0,34
Abklingrate [1/h] | Halbwertszeit [h] | mittlere Verweilzeit [h]				

Die Filterleistung ist stark vom Volumenstrom des Raumluftreinigers abhängt, aber trotz der Raumgröße nur wenig vom Abstand zum Gerät. Bei 600 m³/h ist bei Position 1 nach rund 12 Minuten die Aerosolkonzentration halbiert und an der am weitesten entfernten Position 6 nach ca. 14 Minuten. Bei einem Volumenstrom von 1500 m³/h dauert eine Halbierung der Aerosolkonzentration bei Position 1 rund 6 Minuten und 7 Minuten an der Position 6.

In der rechten Spalte sind zum Vergleich die Werte für einen Volumenstrom von 1000 m³/h für die Position B des Raumes angegeben. Im Vergleich mit den Ergebnissen an der Position A bei gleichem Volumenstrom ergibt sich eine Beeinträchtigung der Filterleistung von rund 20%. Eine schlechte Position kann folglich durch einen größeren Volumenstrom kompensiert werden, allerdings ist dann bei gleicher Filterleistung der Energiebedarf größer und die Geräuschentwicklung höher. Daher ist die Auswahl der Position durchaus ein wichtiger Punkt.

In der Tabelle 2 wurde ein belasteter und ein neuer Filter der Klasse H14 vergleichend vermessen. Unter Berücksichtigung der Messunsicherheit von 2σ=0,14 [1/h] lässt sich kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Filtern feststellen. Es ist daher zu erwarten, dass die Filter je nach Belastung eine Lebensdauer von mehreren Jahren aufweisen können.

Tabelle 2: Vergleich zwischen einem belasteten und einem unbelasteten Filter

Messposition	1000 m³/h (Position A), belasteter Filter	1000 m³/h (Position A), neuer Filter
MP1	4,13 | 0,17 | 0,24	4,22 | 0,16 | 0,24
MP2	3,86 | 0,18 | 0,26	3,75 | 0,18 | 0,27
MP3	3,48 | 0,20 | 0,29	3,50 | 0,20 | 0,29
MP4	4,03 | 0,17 | 0,25	4,09 | 0,17 | 0,24
MP5	3,82 | 0,18 | 0,26	3,82 | 0,18 | 0,26
MP6	3,65 | 0,19 | 0,27	3,60 | 0,19 | 0,28
Abklingrate [1/h] | Halbwertszeit [h] | mittlere Verweilzeit [h]		

7. Abhängigkeit der Filterleistung von der Raumgeometrie

Die Filterleistung ist nicht nur abhängig von dem Gerät und dem Aufstellungsort, sondern auch von der Geometrie des Raumes. Insbesondere lang gestreckte Räume lassen sich schlechter filtern, da der Strahl an der Decke irgendwann ablöst und sich dann ein Rezirkulationsgebiet ausbildet, das nicht bis zur gegenüberliegenden Wand reicht. Diese Situation ist vergleichbar mit der Situation in Abbildung 11 (rechts) wobei die Ablösung der Strömung von der Decke nicht durch ein Objekt, sondern durch die Reduzierung des Impulses des Wandstrahles mit zunehmender Entfernung, bedingt ist. Die Reduzierung des Impulses wird durch die Wandreibung, die turbulente Luftbewegung und das in Abbildung 14 sehr schön zu sehende Entrainment verursacht. Gerade durch das Entrainment werden langsame Strömungsbereiche mit Aerosol durch den gefilterten Wandstrahl beschleunigt und die dafür erforderliche Arbeit führt zur Verringerung des Wandstrahlimpulses. Die Turbulenz führt primär zu einer Strahlverbreiterung, was ebenfalls zu einer lokalen Impulsabnahme führt und daher die Ablöseposition des Wandstrahles näher zum Gerät verlagert. Aufgrund dieser Effekte ist es möglich, dass der vordere Raumbereich sehr gut gefiltert wird, aber der hintere Bereich nicht. Um diese Situation generisch zu untersuchen, wurden Messungen in einem langgestreckten Raum durchgeführt, der eine Querschnittsfläche von ca. 4 m^2 aufweist. Es wurden zwei verschiedene Raumlängen untersucht: 22,4 m (Versuchsaufbau siehe Abbildung 16) und 11,8 m (Abbildung 17).

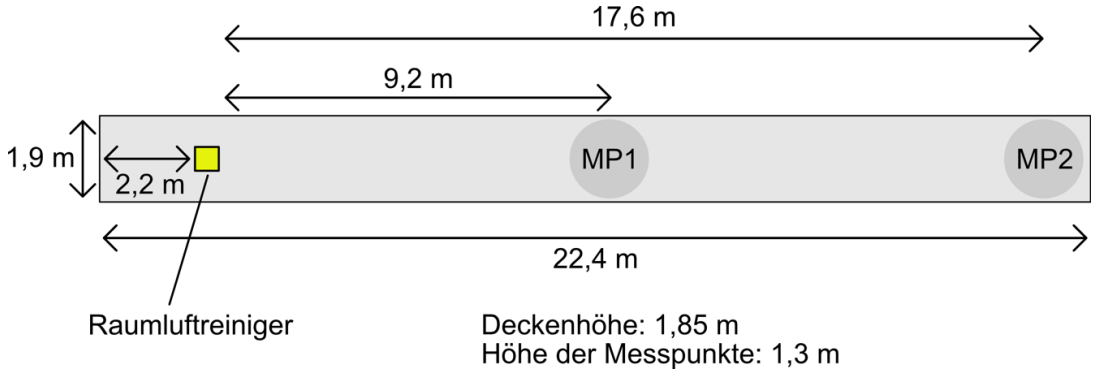

Abbildung 16: Anordnung der Komponenten in der Konfiguration langer Flur für die Konzentrationsmessungen

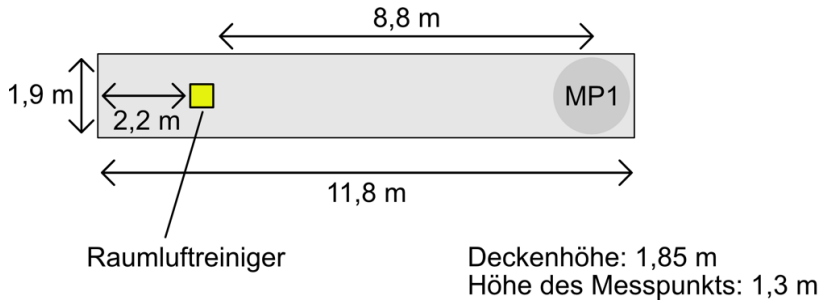

Abbildung 17: Anordnung der Komponenten in der Konfiguration kurzer Flur für die Konzentrationsmessungen

Die aus den Konzentrationsmessungen ermittelten Größen sind in den Tabellen 3 und 4 dargestellt. Es ist klar zu erkennen, dass auch in diesen lang gestreckten Räumen eine recht schnelle Abscheidung der Aerosolpartikel erzielt wird. Auch an dem weit entfernten Messpunkt MP2 in der langen Konfiguration ist eine deutliche Abnahme der Aerosolkonzentration festzustellen, die in etwa der Abnahme an der Position MP1 entspricht. Erwartungsgemäß werden die Aerosolpartikel in der Konfiguration kurzer Flur schneller abgeschieden. Aus dieser Analyse folgt, dass bei sehr langgestreckten Räumen die Verwendung von zwei Raumluftreinigern an den jeweiligen Enden empfehlenswert sein kann.

Tabelle 3: Abnahme der Aerosolkonzentration in der Konfiguration langer Flur mit der Zeit für verschiedene Volumenströme. Abklingrate (schwarz), Halbwertszeit (grün) und mittlere Verweilzeit (blau).

Volumenstrom	**MP1**	**MP2**
600 m³/h	4,21 | 0,16 | 0,24	3,98 | 0,17 | 0,25
1000 m³/h	4,83 | 0,14 | 0,21	4,49 | 0,15 | 0,22
1585 m³/h	6,98 | 0,10 | 0,14	7,33 | 0,09 | 0,14
Abklingrate [1/h] | Halbwertszeit [h] | mittlere Verweilzeit [h]		

Tabelle 4: Abnahme der Aerosolkonzentration in der Konfiguration kurzer Flur mit der Zeit für verschiedene Volumenströme. Abklingrate (schwarz), Halbwertszeit (grün) und mittlere Verweilzeit (blau).

Volumenstrom	**MP1**
600 m³/h	7,37 | 0,09 | 0,14
1000 m³/h	9,91 | 0,07 | 0,10
1585 m³/h	14,57 | 0,05 | 0,07
Abklingrate [1/h] | Halbwertszeit [h] | mittlere Verweilzeit [h]	

8. Vergleich der Abscheiderate des F7 und H14 Filters

RLT Anlagen zur Feinstaubabscheidung mit hoher Luftreinheit sind in der Regel nicht mit Filtern der Klasse H14 ausgerüstet, sondern oft nur mit Filtern der Klasse F7. Es stellt sich daher die Frage, ob ein Filter der Klasse F7 ausreicht, um beim Atmen, Sprechen, Singen, Husten und Niesen erzeugte Aerosolpartikel zuverlässig und effizient abzuscheiden. In [23] wird behauptet, dass mit einer doppelten Filterung der Raumluft mit einem Filter der Klasse F7 insgesamt 99 % der luftgetragenen Bakterien und Viren aus einem Luftstrom entfernt werden. SARS-CoV-2 ist etwas 0,15 µm groß, aber da es entweder über Tröpfchen oder Tröpfchenkerne übertragen wird, sind eher Abscheidegrade im Bereich 0,3 – 1 µm zu betrachten. Der Abscheidegrad eines Filters der Klasse H14 beträgt 99,995 % für Partikel mit einem Durchmesser im Bereich kleiner 0,3 µm und nahezu 100% für alle größeren Durchmesser. Für einen Filter der Klasse F7 beträgt er 40 – 65% im Bereich 0,3 – 1 µm und noch deutlich weniger im Bereich kleiner 0,3 µm. Selbst eine zehnfache Filterung des Aerosols mit einem Filter der Klasse F7 liefert ein schlechteres Abscheideergebnis als die einfache Filterung mit einem Filter der Klasse H14. Die Annahme, dass ein großer Volumenstrom mit

einem F7 Filter zu vergleichbaren Ergebnissen führt wie ein H14 Filter bei kleinem Volumenstrom ist daher nicht plausibel für die betrachtete Größenklasse. Es ist auch zu berücksichtigen, dass die Abscheidung kleiner Partikel auf physikalischen Mechanismen beruht, die nur dann effizient arbeiten, wenn die Strömungsgeschwindigkeit im Filter klein ist. Daher ist eine deutliche Steigerung des Volumenstromes nur dann ratsam, wenn auch die Gesamtfläche des Filters vergrößert wird. Ein hoher Volumenstrom führt zwangsläufig auch zu einer großen Luftgeschwindigkeit im Raum und das kann nach Abbildung 2 unangenehm sein. Ferner nimmt mit der Luftgeschwindigkeit auch der Lärm zu. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass eine große Luftgeschwindigkeit in den Lüftungskanälen zu einer Zunahme der Verluste führt und damit der Energiebedarf steigt. Auf der anderen Seite ist der Strömungswiderstand eines Filters der Klasse F7 deutlich kleiner als einer der Klasse H14 was für den Filter der Klasse F7 spricht. Um die Filterleistung der beiden Filter vergleichend bewerten zu können, wurden Versuche bei einem Volumenstrom von 1000 m^3/h in dem in Abbildung 17 dargestellten Raum durchgeführt.

Tabelle 5: Abnahme der Aerosolkonzentration in der Konfiguration kurzer Flur mit der Zeit für verschiedene Filterkonfigurationen. F7 + H14, nur F7, keine Filter, Gerät ausgeschaltet. Abklingrate (schwarz), Halbwertszeit (grün) und mittlere Verweilzeit (blau).

Volumenstrom	**MP1**
1000 m³/h (F7 + H14)	9,91 | 0,07 | 0,10
1000 m³/h (nur F7)	4,15 | 0,17 | 0,24
1000 m³/h (ohne Filter)	0,65 | 1,07 | 1,54
0 m³/h	0,66 | 1,05 | 1,52
Abklingrate [1/h] | Halbwertszeit [h] | mittlere Verweilzeit [h]	

Die Ergebnisse der Untersuchung verdeutlichen, dass die Halbwertzeit für die F7 + H14 Konfiguration 4,2 Minuten beträgt, für den F7 Filter alleine 10,2 Minuten und 64 Minuten ohne Filter. Die Analyse zeigt, dass eine RLT Anlage mit Filtern der Klasse F7 bei mehrfacher Filterung durchaus zu guten Abscheidegraden kommt und daher sollte eine vorhandene RLT Anlage mit Filtern der Klasse F7 oder besser auch unbedingt betrieben werden. Trotzdem sollte der Frischluftanteil möglichst groß sein, um den Nachteil zum Filter der Klasse H14 bei der Abscheidung der kleinen Aerosole zu kompensieren.

Wenn eine schnelle und hoch effiziente Filterung erforderlich ist, die auch die kleinsten Aerosolpartikel zuverlässig herausfiltert, dann ist eine Filterkombination der Klasse F7 + H14 zu empfehlen. In Bereichen, die über keine RLT Anlagen verfügen und die nicht zu voluminös sind, bieten mobile Raumluftfilter eine sehr gute Möglichkeit die Aerosole in der Raumluft ohne die Nachteile der freien Lüftung zu entfernen.

9. Betrachtung von Partikeln und deren Infektiosität

Im Rahmen dieser Studie wurde primär die Abscheidung von Aerosolpartikeln mit einem Durchmesser im Bereich 0,3 – 2 µm betrachtet, da diese Größe einerseits physikalisch schwer abzuscheiden ist und weil andererseits diese Größe für SARS-CoV-2 Infektionen aus unserer Sicht besonders relevant sind. Bei Betrachtung der potentiell als gefährlich betrachteten Aerosole müssen 2 Punkte beachtet werden. Wie eingangs erläutert muss zum einen bei der

Größe der Aerosolpartikel zwischen dem nassen Zustand und dem trockenen Zustand unterschieden werden. Werden die Partikel in der Lunge oder dem Atemtrakt erzeugt, so sind sie zunächst nass, d.h. die Feststoffe (Salze, Eiweiße, …) und eventuell vorhandene Viren befinden sich in einer wässrigen Umgebung. Verlassen diese nassen Aerosolpartikel den Körper, verdunstet die wässrige Phase in kurzer Zeit, wenn die Luftfeuchtigkeit moderate Werte aufweist. Für kleine Partikel mit Durchmessern im Bereich weniger Mikrometer geschieht dies bei geringer umgebender Luftfeuchtigkeit innerhalb von Sekundenbruchteilen [6]. Übrig bleiben feste Tröpfchenkerne, die nur noch einen sehr geringen Wasseranteil aufweisen. Geht man vereinfachend davon aus, dass das gesamte Wasser verdunstet, so ergeben sich die in Abbildung 18 dargestellten Durchmesser der trockenen Aerosolpartikel ausgehend von den nassen Aerosolpartikel. Dargestellt sind 3 Kurven für verschiedene typische Feststoffmassenanteile von 1, 3 und 5% [31]. Die Dichte von Wasser wurde mit 1000 kg/m³, die Dichte der Feststoffe mit 1300 kg/m³ angenommen.

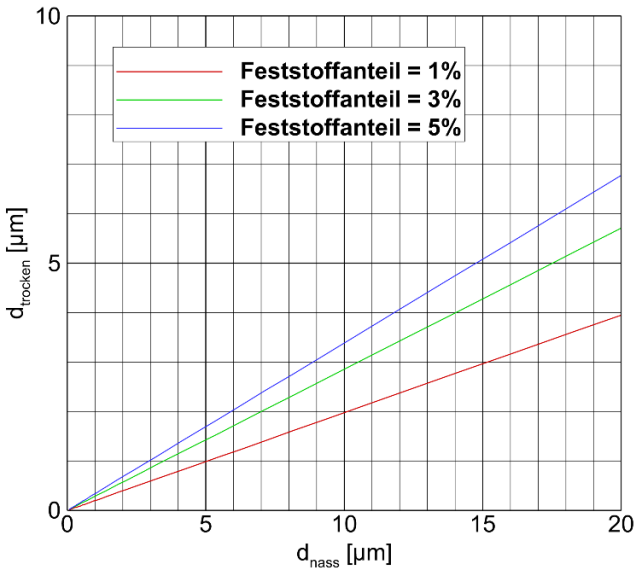

Abb. 18: Durchmesser der getrockneten Aerosolpartikel in Abhängigkeit des anfänglichen Durchmessers der nassen Aerosolpartikel für 3 verschiedene Feststoffmassenanteile

Der Durchmesser der freigesetzten Aerosolpartikel liegt in der Regel im Bereich kleiner 10 µm, wobei das Maximum der Größenverteilung näherungsweise bei 1 µm liegt [32, 33]. Für eine direkte Infektion sind Durchmesser in diesem Bereich maßgeblich, aber für die indirekte Infektion sind die aus Abbildung 18 ablesbaren Durchmesser für die jeweiligen Feststoffanteile zu berücksichtigen. Für die Filterung sind bei moderater Luftfeuchtigkeit ebenfalls letztere relevant. Die Größe der Aerosolpartikel, die abgeschieden werden müssen, liegt daher nach Abbildung 18 im Bereich 0,3 – 3 µm, wobei nach dieser Rechnung Größen um 0,3 µm den überwiegenden Teil der Aerosolpartikel ausmachen. Gemäß dieser Überlegung ist die von uns in dieser Studie primär betrachtete Aerosolgrößenverteilung höchst relevant im Hinblick auf eine SARS-CoV-2 Infektion.

Des Weiteren stellt sich die Frage, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass ein Aerosolpartikel überhaupt ein infektiöses Virus beinhaltet. Hierfür wurde eine einfache Abschätzung durchgeführt, wobei die Virenkonzentration [Viren/ml] auf die Anzahl von Aerosolpartikel pro Volumen [Tröpfchen/ml] bei einem gewissen Partikeldurchmesser bezogen wurde. Das Ergebnis dieser Betrachtung ist in Abbildung 19 dargestellt. Die Wahrscheinlichkeiten sind für

4 verschiedene Virenkonzentrationen angegeben, die sich aus [34] ergeben. Nach diesen Untersuchungen waren 7 × 10^6 Viren/ml eine durchschnittliche Virenkonzentration und 2,35 × 10^9 Viren/ml die maximale Virenkonzentration in der Atemwegsschleimhaut. Es ist ersichtlich, dass gerade kleine Aerosolpartikel nur eine geringe Wahrscheinlichkeit haben, ein Virus zu transportieren. Nicht jedes von einem infizierten Menschen abgegebene Aerosolteilchen ist somit infektiös.

Wird weiter angenommen, dass ein trockenes Aerosolpartikel einen Durchmesser von 1 µm hat, so ergibt sich aus Abbildung 18 bei einem Feststoffanteil von 1% ein Durchmesser des nassen Partikels von 5 µm. Bei einer Virenkonzentration in der Atemwegsschleimhaut von rund 1 × 10^9 Viren/ml folgt hieraus eine Wahrscheinlichkeit, dass dieses Aerosolpartikel ein Virus enthält von ca. 7%. Somit ist nur etwa jedes 14. Aerosolpartikel infektiös. Auf der anderen Seite überwiegen bei weitem gerade die kleinen Aerosolpartikel in der Raumluft, so dass diese nicht vernachlässigt werden können, insbesondere, wenn man sich lange in einem mit infektiösem Aerosol kontaminierten Raum aufhält. Daher ist eine sehr gute und effiziente Abscheidung der Aerosolpartikel mit kleinem Durchmesser oder eine gute Frischluftzufuhr zur Verdünnung der Virenlast im Raum sehr wichtig, um das indirekte Infektionsrisiko zu minimieren.

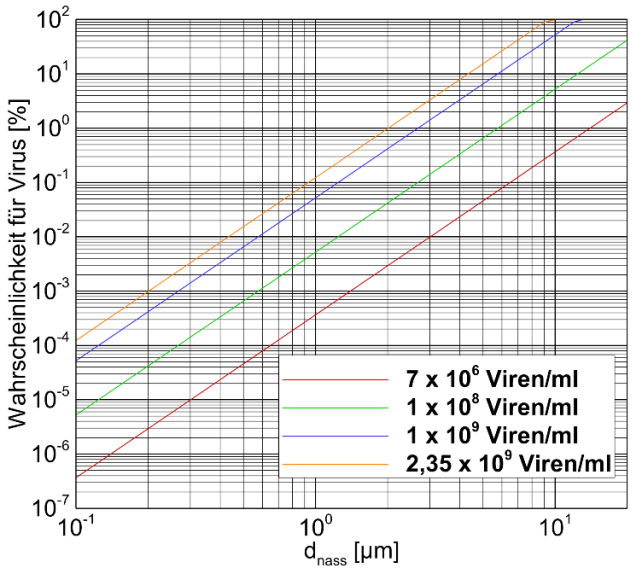

Abb. 19: Ergebnis einer einfachen Abschätzung für die Wahrscheinlichkeit, dass ein nasses Aerosolpartikel ein Virus enthält

Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Die quantitativen Messergebnisse zeigen, dass sich mit dem getesteten TROTEC TAC V+ Raumluftreiniger, aufgrund des großen Volumenstromes und der Filterkombination der Klasse F7 + H14, die Aerosolkonzentrationen selbst in Räumen mit einer Fläche von 80 m^2 je nach Volumenstrom in 6 – 15 Minuten halbieren lässt. Bei Räumen mit 20 m^2 wird eine Halbierung je nach Volumenstrom in 3 – 5 Minuten realisiert. Es ist daher mit Raumluftreinigern möglich, die Aerosolkonzentration in Räumen kleiner und mittlerer Größe problemlos auf einem niedrigen Niveau zu halten.

Selbst in einen 22m langen, flurartigen Raum mit über 40 m^2 konnte bei maximalem Volumenstrom eine Halbierung der Aerosolkonzentration innerhalb von rund 5 Minuten realisiert werden. Bei größeren Räumen, Räumen mit vielen Objekten oder sehr ungünstigen Geometrien sollten ggf. mehrere Raumluftreiniger eingesetzt werden, um alle Bereiche des Raumes zügig zu filtern. Aufgrund der Gefährlichkeit der SARS-CoV-2 Infektion sollte die Luftwechselrate aus unserer Sicht mindestens Werte im Bereich 4 – 8 erreichen.

Um eine möglichst effektive Filterung der Raumluft zu ermöglichen, sollte der Raumluftreiniger möglichst an der längsten Raumseite in der Mitte positioniert sein. Ferner sollte der Deckenbereich in Richtung der Ausströmungen möglichst nicht von Objekten unterbrochen werden, da sonst die Ausbreitung der Wandstrahlen gestört wird und sich ungünstige Wirbelströmungen im Raum etablieren können. Bei ungünstigen Betriebsbedingungen sollte der Volumenstrom erhöht werden, um eine angemessene Filterleistung zu gewährleisten. Es ist auch zu empfehlen, das Gerät im Dauerbetrieb zu betreiben und nicht stoßartig, damit sich keine erhöhte Virenkonzentration im Raum ausbilden kann.

Leistungsstarke Raumluftreiniger mit F7 + H14 Filterkombination können die Aerosolkonzentration in Räumen kleiner und mittlerer Größe auf einem niedrigen Niveau halten und daher kann das indirekte Infektionsrisiko auch bei geschlossenen Fenstern und ohne geeignete RLT Anlage durch diese Geräte stark reduziert werden. Sie sind daher sehr gut geeignet, um z.B. in Klassenzimmern, Geschäften, Warte- oder Behandlungszimmern, dauerhaft für eine geringe Virenlast zu sorgen, ohne sich um das Öffnen von Fenstern kümmern zu müssen und das Wohlbefinden im Raum zu beeinträchtigen. Ferner sorgen sie im Gegensatz zur freien Lüftung mit Fenstern auch dafür, dass eine wirkliche Reduzierung der Virenlast erfolgt, was bei der freien Lüftung oft nicht gewährleistet werden kann. Sie bieten auch gegenüber RLT Anlagen, die ohne oder mit einem geringen Frischluftanteil betrieben werden, den Vorteil, dass die Viren wirklich abgeschieden werden und nicht über andere Kanäle im Gebäude verteilt werden.

Damit der Raumluftreiniger nicht zur Virenschleuder wird, sollte der H14 Filter von dem Gerät einmal täglich für ca. 30 Minuten auf etwa 100°C aufgeheizt werden, um die Viren im Filter zu zerstören und der Entstehung von Biofilmen, Bakterien und Pilzen ohne gesundheitsschädliche chemische Zusatzstoffe oder UV-C Strahlung entgegenzuwirken.

Abschließend ist zu betonen, dass Raumluftreiniger, geöffnete Fenster und leistungsstarke RLT Anlagen zwar geeignete Werkzeuge sind, um dem indirekten Infektionsrisiko zu begegnen, aber das direkte Infektionsrisiko, das durch direktes Anhusten oder beim langen Unterhalten über kurze Distanz erfolgen kann, können sie nicht verringern. Es ist daher wichtig, weiterhin ausreichend große Abstände zu anderen Personen einzuhalten und Mund-Nasen-Bedeckungen oder partikelfiltrierende Atemschutzmasken zu tragen, damit eine direkte Infektion vermieden wird.

Anmerkung

Die Untersuchungen wurden durch die Firma TROTEC GmbH, Heinsberg, finanziell unterstützt. Der Raumluftreiniger TAC V+ wurde für die Untersuchungen von TROTEC bereitgestellt. Die Untersuchungen wurden unter Einhaltung der guten wissenschaftlichen Praxis durchgeführt. Die Unterstützung durch die Firma TROTEC hat keinerlei Auswirkung auf die dargestellten Ergebnisse.

Literatur

[1] Jayaweera M, Perera H, Gunawardana B, Manatunge J (2020) Transmission of COVID-19 virus by droplets and aerosols: A critical review on the unresolved dichotomy. Environ Res. 2020 Sep; 188: 109819. https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109819

[2] Morawska L, Cao J (2020) Airborne transmission of SARS-CoV-2: The world should face the reality. Environment International, Volume 139, 105730

[3] Zhang R, Lib Y, Zhang AL, Wang Y, Molina MY (2020) Identifying airborne transmission as the dominant route for the spread of COVID-19. PNAS (2020), 10.1073/pnas.2009637117, first published June 11

[4] Lu J et al. (2020) COVID-19 Outbreak associated with air conditioning in restaurant, Guangzhou, China, 2020. Emerging Infectious Diseases, www.cdc.gov/eid, Vol. 26, No. 7, DOI: https://doi.org/10.3201/eid2607.200764

[5] Kähler CJ, Hain R (2020) Fundamental protective mechanisms of face masks against droplet infections. Journal of Aerosol Science 148:105617, https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2020.105617

[6] Kähler CJ, Hain R (2020) Strömungsanalysen zur SARS-CoV-2 Schutzmaskendebatte. https://www.unibw.de/lrt7/stroemungsanalysen-zur-sars-cov-2-schutzmaskendebatte https://youtu.be/SM2QrPFC3MY

[7] Kähler CJ, Hain R (2020) Musizieren während der Pandemie - was rät die Wissenschaft? https://www.unibw.de/lrt7/musizieren-waehrend-der-pandemie https://youtu.be/0JmcjRhV-rs

[8] Wells WF, M.W. Wells MW (1936) Air-bone infection. Journal A. M. A., Cambridge, pp. 1698–1703

[9] Soper GA (1919) The lessons of the pandemic. Science, 49, pp. 501–506

[10] Fernstrom A, Goldblatt M (2013) Aerobiology and its role in the transmission of infectious diseases. Journal of Pathogens, Volume 2013, article ID 493960, http://dx.doi.org/10.1155/2013/493960

[11] Doremalen van N, Bushmaker T, Morris DH, Holbrook MG, Gamble A, Williamson BN, Tamin A, Harcourt JL, Thornburg NJ, Gerber SI, Lloyd-Smith JO, de Wit E, Munster VJ (2020) Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1. New England Journal of Medicine 382:1564–1567, https://doi.org/10.1056/NEJMc2004973

[12] Pyankov OV, Bodnev SA, Pyankova OG, Agranovski IE (2018) Survival of aerosolized coronavirus in the ambient air. Journal of Aerosol Science 115:158–163, https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2017.09.009

[13] Morawska L, Milton DK (2020) It is Time to Address Airborne Transmission of COVID-19. Clinical Infectious Diseases, ciaa939, https://doi.org/10.1093/cid/ciaa939

[14] Klompas M, Baker MA, Rhee C (2020) Airborne Transmission of SARS-CoV-2 - Theoretical Considerations and Available Evidence. JAMA. Published online July 13, doi:10.1001/jama.2020.12458

[15] McKie R (2020) Did singing together spread coronavirus to four choirs? 17. May, The Guardian / The Observer, https://www.theguardian.com/world/2020/may/17/did-singing-together-spread-coronavirus-to-four-choirs

[16] Heinz E (2016) Wohnraumlüftung – frei und ventilatorgestützt. Beuth Verlag GmbH, Berlin, Wien, Zürich

[17] von Pettenkofer M (1858) Besprechung allgemeiner auf die Ventilation bezüglicher Fragen. Über den Luftwechsel in Wohngebäuden. J.G. Cottaische Buchhandlung, München

[18] DIN EN 16798 – Gebäude-Energieeffizienz mit LüKK-Systemen

[19] VDI 2082 – Raumlufttechnik Verkaufsstätten (VDI-Lüftungsregeln)

[20] DIN 1946-4 – Raumlufttechnik im Gesundheitswesen

[21] Deutsche Gesellschaft für Krankenhaushygiene (2002) Leitlinienentwurf: Ausführung und Betrieb von raumlufttechnischen Anlagen (RLT-Anlagen) in Krankenhäusern. Hyg Med 27. Jahrgang 2002 – Heft 3

[22] Deutsche Gesellschaft für Krankenhaushygiene (2015) Krankenhaushygienische Leitlinie für die Planung, Ausführung und den Betrieb von Raumlufttechnischen Anlagen in Räumen des Gesundheitswesens. Hyg Med 2015; 40 – 12

[23] Fachverband Gebäude-Klima e. V. (2020) Betrieb Raumlufttechnischer 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

[24] Etheridge D, Sandberg M (1996) Building Ventilation: Theory and Measurement. Wiley ISBN: 978-0-471-96087-4

[25] Etheridge D (2011) Natural Ventilation of Buildings: Theory, Measurement and Design. Wiley ISBN: 978-0-470-66035-5

[26] DIN 1946 Teil 2 (1994) Raumlufttechnik: Gesundheitstechnische Anforderungen (VDI-Lüftungsregeln)

[27] https://de.trotec.com/produkte-services/maschinen-highperformance/luftreinigung/raumluftreiniger-tac-v/

[28] Raffel M, Willert CE, Scarano F, Kähler CJ, Wereley ST, Kompenhans J (2018) Particle Image Velocimetry: a practical guide. Springer, 3. Auflage, ISBN-10: 9783319688510

[29] Kähler CJ, Sammler B, Kompenhans J (2002) Generation and control of tracer particles for optical flow investigations in air. Experiments in Fluids 33:736–742

[30] 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

[31] Stadnytskyi V, et al. (2020) The airborne lifetime of small speech droplets and their potential importance in SARS-CoV-2 transmission. PNAS 117:11875–11877

[32] Lee J, Yoo D, Ryu S, Ham S, Lee K, Yeo M, Min K, Yoon C (2019) Quantity, size distribution, and characteristics of cough generated aerosol produced by patients with an upper respiratory tract infection. Aerosol and Air Quality Research, 19, pp. 840–853

[33] Johnson GR, Morawska L, Ristovski, ZD, et al. (2011) Modality of human exposed aerosol size distributions. Journal of Aerosol Science 42:839–851

[34] Wölfel R, et al. (2020) Virological assessment of hospitalized patients with COVID-2019. Nature 581:465–469

TOP 7

Landeshauptstadt Stuttgart

STUTTGART

09.07.2021 / Corona-Pandemie

Studie: Mobile Luftreiniger sind keine Universallösung im Unterricht

Was ist zu tun, um den Präsenzunterricht auch in Zeiten einer Pandemie abzusichern? Die Landeshauptstadt hat wissenschaftlich untersuchen lassen, welche Maßnahmen einen wichtigen Beitrag leisten.

Mobile Luftreinigungsgeräte können das regelmäßige Stoßlüften nicht ersetzen (Symbolbild).

Dabei haben Fachleute der Universität Stuttgart insbesondere die Wirkung von mobilen und stationären Geräten zur Luftreinigung in den Blick genommen.

Die Bürgermeisterin für Jugend und Bildung, Isabel Fezer, sagte am Freitag, 9. Juli: „Die letzten Monate waren entbehrungsreich. Damit wir den Unterricht an den Schulen ermöglichen können, wollten wir wissen, was zu tun ist. Gerade, weil mobile Luftreinigungsgeräte als Allheilmittel zur Reduzierung des Infektionsrisikos angepriesen werden, haben wir uns eine fundierte Entscheidungsgrundlage erarbeiten lassen." Fezer unterstrich: „Vorneweg: Wer eine Lobby für Kinder sein will, wer möchte, dass seine Kinder auch im Herbst zur Schule gehen können, der sich lässt sich jetzt impfen. Dies ist der beste individuelle und gesellschaftliche Schutz vor einer Infektion. An Schulen schützt das regelmäßige Lüften und das Tragen von Masken. Nachhaltige Verbesserungen können zudem mit dem Einbau von Raumlufttechnischen Anlagen bei Schulneubauten und größeren Schulsanierungen erreicht werden. Das ist allerdings sehr kosten- und zeitaufwendig und nicht kurzfristig

umsetzbar." In denjenigen Unterrichtsräumen, wo das Lüften nicht ausreichend möglich ist, beabsichtigt die Stadt als Ergänzung zum Lüften kurzfristig ab Herbst mobile Luftreinigungsgeräte aufzustellen. Darüber hinaus prüft die Stadt auch weiterhin regelmäßig im Vorfeld aller größeren Schulbau- und Schulsanierungsmaßnahmen, ob in diesem Zuge auch der Einbau einer Raumlufttechnischen Anlage Sinn macht.

Prof. Konstantinos Stergiaropoulos, Leiter des Instituts für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung, hat sich der Frage angenommen, was Luftreinigungsgeräte zusätzlich leisten können. Er hat dabei Wirksamkeit, Lärm und Betriebssicherheit untersucht. Er sagte: „Die Geräte können ein Baustein zur Senkung von Infektionsrisiken sein. Sie ersetzen aber nicht die Basishygiene. Ein flächendeckender Einsatz erscheint mir nicht sinnvoll."

Zentrale Erkenntnisse

Zentrale Erkenntnisse der „Experimentellen Untersuchung zum Infektionsrisiko in Klassenräumen in Stuttgarter Schulen" sind:

- Der Einsatz von Masken im Unterricht reduziert deutlich das Infektionsrisiko und ist eine sehr wirksame Maßnahme zum präventiven Schutz.
- Das Lüften in den Pausen ist zwingend erforderlich. Grundsätzlich ist der Luftaustausch über Fensterlüftung eine sehr gute, einfach umzusetzende und kostengünstige Maßnahme, um Aerosolkonzentrationen im Raum zu verringern. Eine Dauerkipplüftung trägt in geringerem Maße als die Stoßlüftungsvariante zur Verringerung der Wahrscheinlichkeit einer Infektion bei.
- Luftreinigungsgeräte sind keine Alternative zu einem Außenluftwechsel, sie dienen lediglich als Unterstützung zur Partikel- und potentiellen Virenreduktion im Raum.
- die gemessenen Luftreiniger sind bei der notwendigen Abscheidungsleistung und den damit verbundenen hohen Luftströmen zu laut und führen zu hohen Luftgeschwindigkeiten und Zugerscheinungen im Aufenthaltsbereich der Schülerinnen und Schüler sowie Lehrkräfte.
- Als langfristige und dauerhafte Lösung wird der Einbau von Raumlufttechnischen Anlagen in Schulen empfohlen. Bei der Dimensionierung von RLT-Anlagen für Schulgebäude sollte auf möglichst hohe Luftströme geachtet werden, um die beste Raumluftqualität erreichen zu können.

Die Verwaltung wird mit dem Schulbeirat am 13. Juli über die Studie sprechen.

Historie

Anfang Dezember 2020 hat der Verwaltungsausschuss des Gemeinderats der LHS Stuttgart einen Test von mobilen Luftreinigungsgeräten für den möglichen Einsatz an schulischen Liegenschaften beschlossen. Es wurde festgelegt, dass dieses Pilotprojekt unter wissenschaftlicher Begleitung durch die Universität Stuttgart erfolgt. Dabei war neben einem zu erbringenden Wirkungsnachweis auch wichtig, die Messungen unter Realbedingungen, also in Anwesenheit von Schülerinnen und Schülern, durchzuführen. Ebenfalls erfolgt die Testung im Hinblick auf die Betriebssicherheit im Dauerbetrieb mit Wartung.

Hierzu wurden noch im Dezember 2020 bis Anfang Januar 2021 neun der zehn ausgewählten Testräume an den Stuttgarter Schulen mit mobilen Luftreinigungsgeräten von drei verschiedenen Herstellern ausgestattet. Einer der untersuchten Klassenräume war mit einer Raumlufttechnischen Anlage ausgestattet, in welchem daher kein zusätzliches Luftreinigungsgerät aufgestellt wurde. Dieser Raum diente als Referenzraum, der die sanierten bzw. neugebauten Schulen mit maschineller Be- und Entlüftung repräsentiert.

Ende Dezember 2020 wurden die Räume durch die Universität Stuttgart begangen. Gleichzeitig trat man mit den Schulleitungen und Schulhausmeistern in den Dialog. Hierbei konnten Fragen zu den Geräten und Messungen gegenüber den Experten der Universität Stuttgart und des Schulverwaltungsamts gestellt und beantwortet werden. Parallel wurden auch die

TOP 7

Unfallkasse Baden-Württemberg, das Gesundheitsamt, der Personalrat und der Arbeitssicherheitstechnische Dienst der LHS Stuttgart informiert und beteiligt.

Das Projekt wurde auch trotz des Lockdowns Ende 2020 weiter vorangetrieben. Soweit unter Lockdownbedingungen möglich, wurden auch die geplanten Messdaten in Anwesenheit von Schülerinnen und Schülern erhoben.

Download der Studie

Abschlussbericht Pilotprojekt Luftreiniger an Stuttgarter Schulen (PDF-Datei / 12,81 MB) (/service/aktuelle-meldungen/juli-2021/studie-mobile-luftreiniger-sind-keine-universalloesung-im-unterricht-stadt-plant-anschaffung-nur-fuer-schlecht-belueftbare-unterrichtsraeume.php.media/229720/2021-07-06-Abschlussbericht_Pilotprojekt_Luftreiniger_Klassenraum_Stuttgart_Finale-Version_06.07.2021.pdf)

Zusammenfassung Pilotprojekt Luftreiniger an Stuttgarter Schulen (PDF-Datei / 449,14 kB) (/service/aktuelle-meldungen/juli-2021/studie-mobile-luftreiniger-sind-keine-universalloesung-im-unterricht-stadt-plant-anschaffung-nur-fuer-schlecht-belueftbare-unterrichtsraeume.php.media/229721/Zusammenfassung-des-Pilotprojekts-Luftreiniger-an-Stuttgarter-Schulen.pdf)

Sie befinden sich hier:

Startseite > Service > Informationen > Aktuelle Meldungen > Studie: Mobile Luftreiniger sind keine Universallösung im Unterricht

© Landeshauptstadt Stuttgart

Universität Stuttgart

IGTE

Zusammenfassung der Ergebnisse des Pilotprojekts „Experimentelle Untersuchung zum Infektionsrisiko in Klassenräumen in Stuttgarter Schulen“

Auftraggeber: Schulverwaltungsamt der Landeshauptstadt Stuttgart
Auftragnehmer: Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung, Universität Stuttgart

Ziel des Pilotprojekts

Aufgrund der anhaltenden SARS-CoV-2-Pandemie wurden von Januar bis Juni 2021 jeweils ein oder zwei Klassenräume in zehn exemplarisch ausgewählten Schulen der Landeshauptstadt Stuttgart hinsichtlich des Infektionsrisikos vermessen. Hintergrund ist die als überwiegend luftgetragen eingestufte Infektionsausbreitung über von infizierten Personen respiratorisch abgegebenen Aerosolpartikel, an denen ein Virus anhaftet. Ziel hierbei ist die Identifikation der Infektionswahrscheinlichkeiten in Klassenräumen bei verschiedenen lüftungstechnischen Maßnahmen. Neben der Fensterlüftung sollen die Wirkweisen von Luftreinigungsgeräten und raumlufttechnischen Anlagen (RLT-Anlagen) analysiert werden. Dabei werden sowohl die Abfuhr der Aerosole als auch der Aspekt der Behaglichkeit dieser Maßnahmen beleuchtet. Hierzu werden u.a. luftgetragene Stoffkonzentrationen, die Raumlufttemperatur, die Luftgeschwindigkeiten und Turbulenzgrade sowie der Schalldruckpegel in den Klassenräumen gemessen und bewertet. Basierend auf den erlangten Erkenntnissen soll am Ende ein Leitfaden entwickelt werden, welcher es erlaubt, Klassenräume hinsichtlich der Infektionswahrscheinlichkeit zu bewerten und geeignete Maßnahmen abhängig von der jeweiligen Raumsituation zu identifizieren. Mit einer Umfrage soll zudem das Empfinden der SchülerInnen und LehrerInnen bezüglich verschiedener Maßnahmen erfasst werden.

Vorgehen

In den untersuchten Klassenräumen wird die luftgetragene Ausbreitung ausgeatmeter Aerosole anhand der stichprobenartigen Freisetzung von Spurengas und Testpartikeln an thermischen Personendummies nachgestellt. Diese Dummies bilden die Wärmeabgabe der SchülerInnen und LehrerInnen nach, wodurch die Auftriebsströmungen an Menschen und deren Einfluss auf die Raumluftströmung berücksichtigt werden. Die Messung der zeitlichen Verläufe der Konzentrationen der oben genannten Stoffe ermöglicht eine Abschätzung der Infektionswahrscheinlichkeiten an den Sitzplätzen der SchülerInnen. Anhand der Betrachtung dieser Messstellen kann so die jeweilige Maßnahme bewertet werden. Neben der Abschätzung des Infektionsrisikos wird gemessen, ob die Maßnahmen die Behaglichkeitskriterien (Lufttemperatur, Zugluftrisiko und Schalldruckpegel) erfüllen. Aufgrund fehlender belastbarer Daten zu Infekitonsausbrüchen bei Virus-Mutationen, werden bei der Bewertung des Infektionsrisikos die Daten zur Basisvariante des Virus herangezogen.
Dazu werden verschiedene Strategien der Fensterlüftung wie abwechselnd 20 Minuten geschlossene Fenster dann 5 Minuten Stoßlüftung (20/5/20), analog dazu die Stoßlüftungs-Strategie 10/2,5/10 sowie eine Dauerkipplüftung betrachtet. Der Fensterlüftung werden die Wirkweisen von Luftreinigungsgeräten bzw. in zwei Klassenräumen von RLT-Anlagen gegenübergestellt.
Da während der Studie keine belastbaren Wirksamkeitsnachweise zur Inaktivierung von SARS-CoV-2-Viren durch UV-C-Technologie verfügbar sind und ferner unklar ist, ob dabei schädliche Sekundärprodukte entstehen, wird im Pilotprojekt nur die Wirksamkeit von Hochleistungsschwebstofffiltern in Luftreinigungsgeräten untersucht.

Ergebnisse

Zur Bestimmung des Infektionsrisikos ist die sogenannte Menge an Quanta, die eine Person über einen bestimmten Zeitraum inhaliert, ausschlaggebend. Ein Quantum beschreibt hierbei die Menge an Viren, die mit einer Wahrscheinlichkeit von 63% zu einer Infektion führen. Bei einer angenommenen Basisreproduktionszahl (R-Wert) von 3,35 resultiert eine Quanta-Emissionsrate von 139 1/h. Dieser Wert entspricht einer Bewertung der Infektiosität der Basis-Variante des SARS-CoV-2-Viruses. Das Infektionsrisiko wird PIRA (Predicted infection risk via aerosols) bezeichnet. PIRA steigt in Abhängigkeit der inhalierten Quanta an.

a) Infektionswahrscheinlichkeiten

Um die verschiedenen Maßnahmen zur Verringerung der Infektionswahrscheinlichkeit vergleichen zu können, werden alle Ergebnisse jeder Maßnahme (V0-V6) zusammengefasst und in einem vereinfachten Boxplot-Diagramm (siehe Bild 1) dargestellt. Für jeden Klassenraum werden hierzu die Infektionswahrscheinlichkeiten der einzelnen Messstellen gemittelt. Das Diagramm zeigt für jede Maßnahme die durchschnittliche sowie die minimale und maximale Infektionswahrscheinlichkeit der je Klassenraum gemittelten Werte (Betrachtungszeitraum: 90 Minuten). Außerdem werden der Einfluss des Tragens einer FFP2-Maske sowie der Betrieb von Luftreinigungsgeräten und RLT-Anlagen bei verschiedenen Stufen bzw. Volumenströmen berücksichtigt.

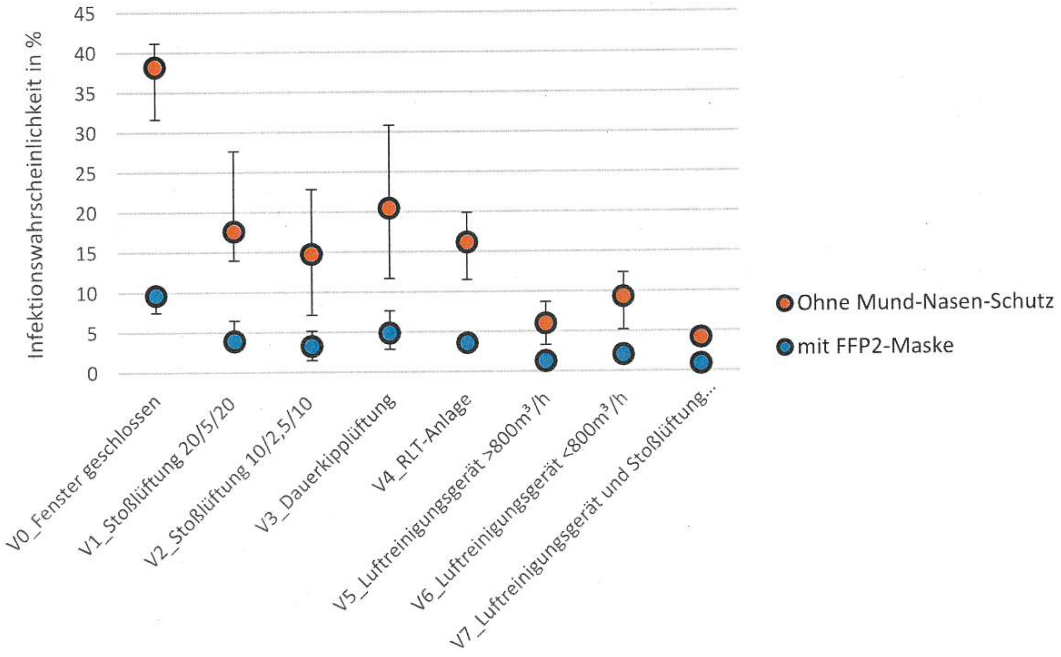

Bild 1: Infektionswahrscheinlichkeit bei verschiedenen Maßnahmen mit und ohne FFP2-Maske (V0-V6)

- Grundsätzlich zeigt sich, dass jede Maßnahme prinzipiell die Infektionswahrscheinlichkeit gegenüber der Referenz („Fenster geschlossen") senkt.
- Bei der Fensterlüftung ist die Strategie 10/2,5/10 bzgl. des Infektionsschutzes geringfügig wirksamer als 20/5/20 oder dauerhaft gekippte Fenster.
- Luftreinigungsgeräte schneiden im Pilotprojekt im Hinblick auf den Infektionsschutz zwar besser ab, verfügen im Mittel aber auch über wesentlich höhere Volumenströme als die untersuchten RLT-Anlagen.
- Das Tragen einer FFP 2-Maske trägt **wesentlich** zur **Verringerung der Infektionswahrscheinlichkeit** bei, da Aerosole sowohl beim Ausatmen infizierter Personen als auch beim Einatmen gesunder Personen gefiltert und dabei Viren abgeschieden werden.
- Bei der Stoßlüftungsstrategie 20/5/20 und parallelem Betrieb der Luftreinigungsgeräte zeigt sich anhand zweier Schulen, dass eine zusätzliche Reduzierung des Infektionsrisikos erreicht wird.

Sowohl bei Fensterlüftung als auch bei maschineller Lüftung gilt, dass der Volumenstrom der Lüftungsmaßnahme mit der Infektionswahrscheinlichkeit korreliert. Der genaue Zusammenhang für die Fensterlüftung wird in Bild 2 verdeutlicht. Es ist zu erkennen, dass die Messwerte der Stoßlüftungen 20/5/20 und 10/2,5/10 nahe am theoretischen Verlauf liegen. Die Volumenströme stellen die bei geöffneten Fenstern auftretenden Volumenströme dar. Je höher der Volumenstrom bzw. Außenluftwechsel, desto geringer fällt die Infektionswahrscheinlichkeit aus.

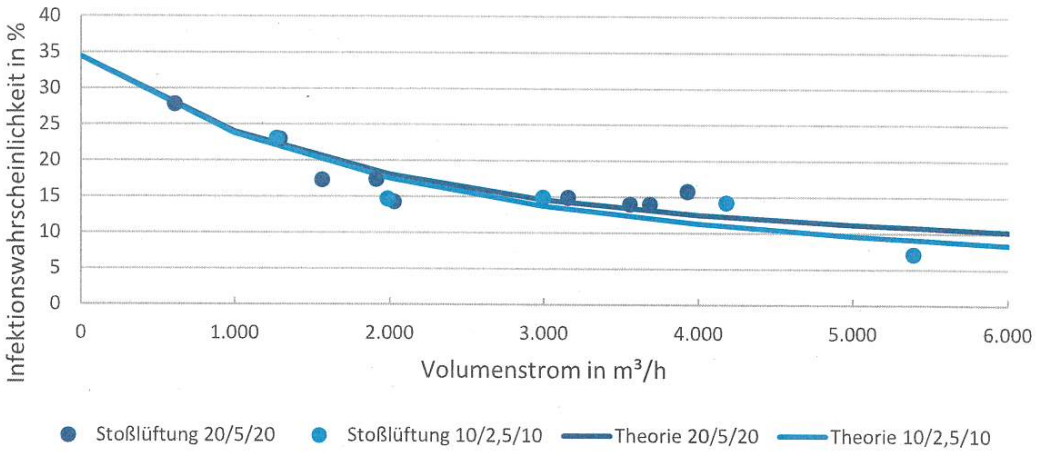

Bild 2: Infektionswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit des Volumenstroms bei Stoßlüftung, **ohne** FFP2-Maske

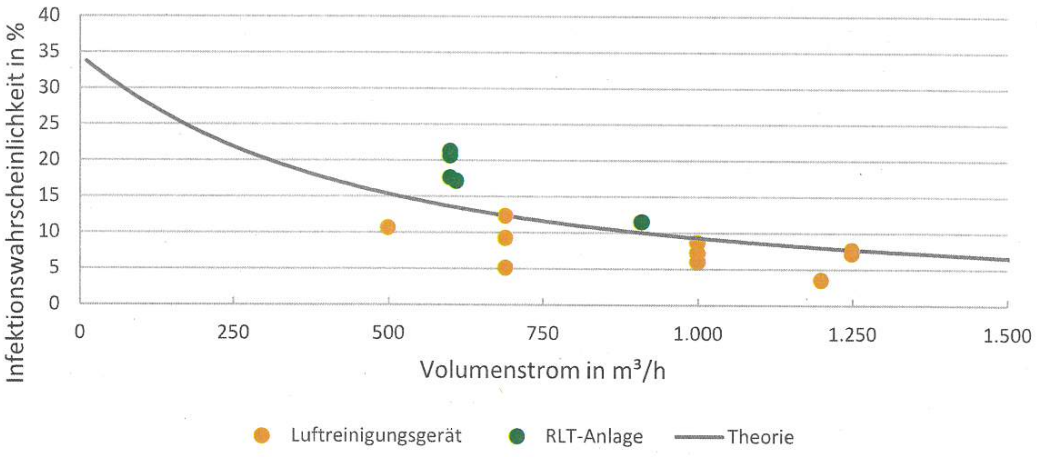

Bild 3: Infektionswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit des maschinell geförderten Volumenstroms bei RLT-Anlagen und Luftreinigungsgeräten, **ohne** FFP2-Maske

Auch bei Maßnahmen maschinell geförderter Luft (Luftreinigungsgerät und RLT-Anlage) ist zu beobachten, dass mit steigendem Volumenstrom das Infektionsrisiko sinkt (siehe Bild 3). Die aus der Messung resultierenden Infektionswahrscheinlichkeiten der RLT-Anlagen liegen im Gegensatz zu den Werten der Luftreinigungsgeräte oberhalb der theoretisch ermittelten. Dadurch wird nicht das gesamte Potential des Infektionsschutzes durch die im Projekt untersuchten RLT-Anlage ausgeschöpft. Eine mögliche Ursache könnte in einem zusätzlichen Fort-/Außenluftübertrag aufgrund der Einbausituation (geringer Abstand zwischen Fort- und Außenluft) der gemessenen RLT-Anlagen liegen.

b) Behaglichkeit (Raumtemperaturen)

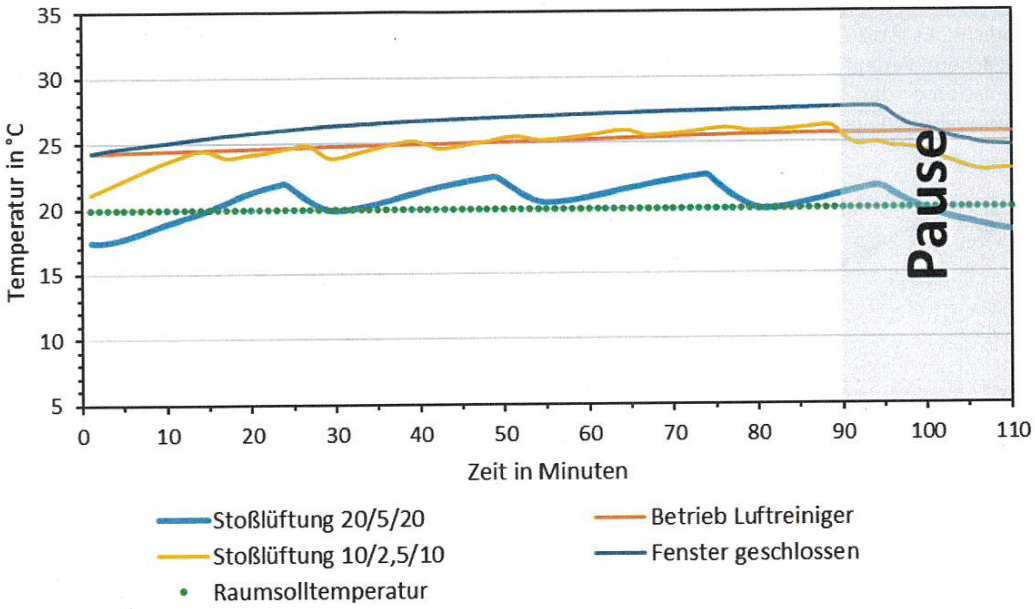

Bild 4: Örtlich gemittelter Raumlufttemperaturverlauf über eine Doppelstunde in der Steigschule Bau 1

Die Raumsolltemperaturen können bei den verschiedenen Fensterlüftungsstrategien über den gesamten Betrachtungszeitraum überwiegend eingehalten werden. Die Wärmefreisetzung der Personendummies bzw. der SchülerInnen in Kombination mit dem Regelverhalten der Heizkörper-Thermostatventile sorgt dabei für die Deckung der erhöhten Heizlast aufgrund der Lüftungswärmeverluste. Anhand der nachfolgenden exemplarischen zeitlichen Auftragung der gemittelten Raumlufttemperaturen des Klassenraums in der Steigschule bei einer Außentemperatur von ca. 8°C wird dies verdeutlicht (siehe Bild 4). Lediglich nach der längeren Lüftungspause zwischen den Doppelstunden liegt die gemittelte Raumlufttemperatur zu Beginn der darauffolgenden Stunde für einige Minuten unterhalb des Sollwertes von 20°C.

c) Behaglichkeit (Zugluftrisiko)

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Luftreinigungsgeräte sowohl bei **hohen als auch bei geringeren Volumenströmen Zugluftерscheinungen** an den jeweiligen Messpositionen hervorrufen. Es liegt nahe, dass diese Betriebsweise im normalen Unterricht von SchülerInnen und LehrerInnen nicht akzeptiert wird. Die Messungen bei Betrieb der RLT-Anlagen weisen ein ähnliches Zugluftrisiko auf wie bei den Luftreinigungsgeräten. Dies ist jedoch wesentlich darauf zurückzuführen, dass der Zuluftquerschnitt der RLT-Anlagen in diesen Räumen sehr klein ist. Bei der zukünftigen Planung von RLT-Anlagen sollte darauf geachtet werden, dass der durchströmte Querschnitt der Zuluftdurchlässe groß genug ist, um die Luftgeschwindigkeiten im Aufenthaltsbereich auf Werte unter 0,2 m/s zu begrenzen.

d) Behaglichkeit (Schalldruckpegel)

Die untersuchten Luftreinigungsgeräte führen bei hohen Luftvolumenströmen (siehe Bild 5: gelbe Balken) zu wesentlich **zu hohen Schalldruckpegeln im Raum**. Vereinzelt können die Geräte in der Wilhelmschule, Steigschule und Steinbeisschule zumindest bei geringem Volumenstrom (blaue Balken), die akzeptable Grenze von 35 dB(A) (rote Linie) unterschreiten. Bei diesen reduzierten Volumenströmen steigt allerdings das Infektionsrisiko an. Die RLT-Geräte (im Solitude-Gymnasium und in der Filderschule) sind deutlich „leiser" und liegen nahe des genannten Grenzwertes (nach VDI 2081-1). Bild 5 zeigt die Ergebnisse der Schalldruckpegelmessung in allen Schulen.

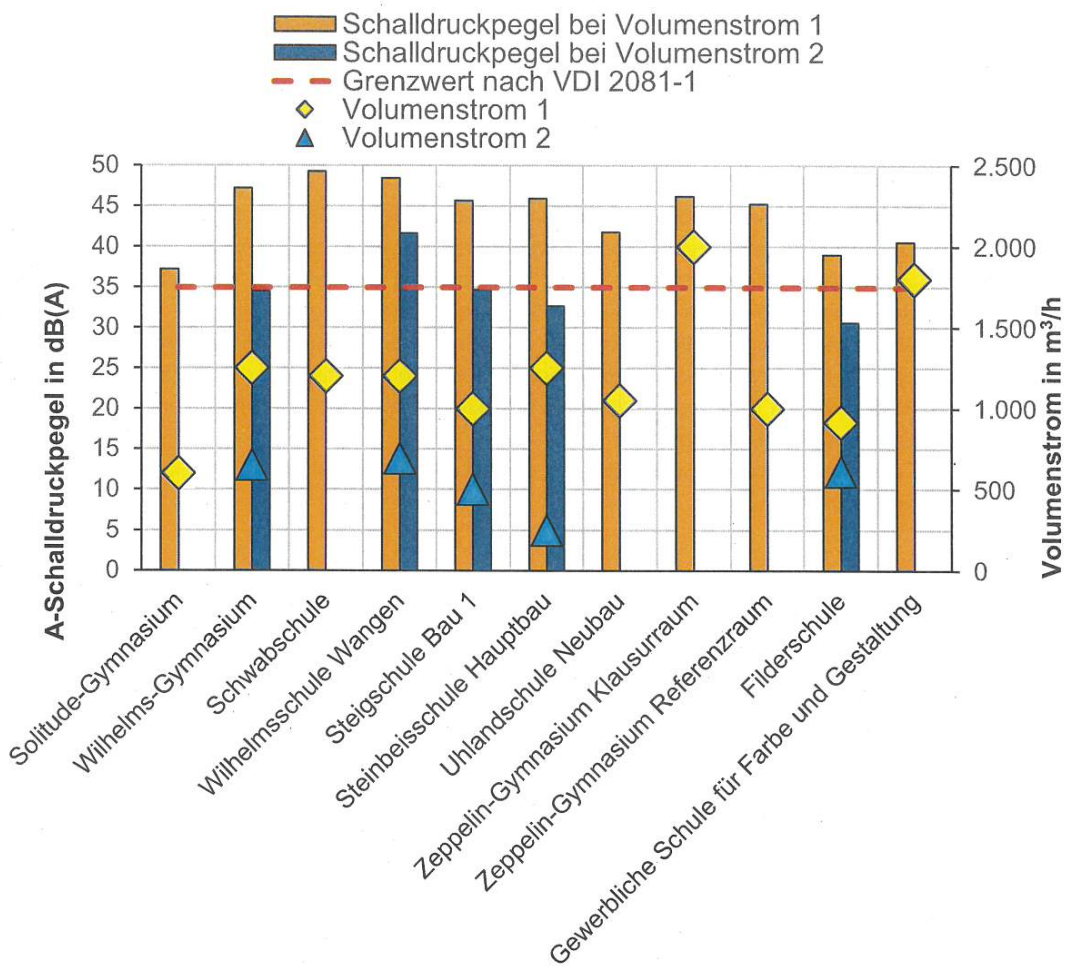

Bild 5: Schalldruckpegel in den Klassenräumen aufgrund der Schallemission der Luftreinigungsgeräte und RLT-Anlagen.

e) Zusammenfassung relevanter Erkenntnisse

- Die Ergebnisse zeigen, dass die Aerosolkonzentration und letztlich die Infektionswahrscheinlichkeit mit der Höhe des Luftstroms, der entweder als Außenluft in den Raum über Fenster oder RLT-Anlagen geführt wird oder über ein Luftreinigungsgerät als Umluft im Raum gefiltert wird, korreliert.
- Eine **Reduzierung der Personenanzahl** in einem Klassenraum ermöglicht selbst bei gleichbleibender mittlerer Infektionswahrscheinlichkeit einen proportional **verringerten Erwartungswert an Neuinfektionen**. Der **Einsatz von FFP2-Masken** im Unterricht **reduziert deutlich das Infektionsrisiko** und ist eine sehr wirksame Maßnahme zum präventiven Schutz.
- **Das Lüften in den Pausen ist zwingend erforderlich**, um die Aerosolkonzentration für den darauffolgenden Unterricht weitestgehend gegen null zu senken.
- Das Stoßlüften hat einen großen Einfluss auf die Infektionswahrscheinlichkeit. Hierbei ist die **Stoßlüftungsstrategie 10/2,5/10 am wirksamsten**, auch wenn die Abweichungen gegenüber 20/5/20 nur geringfügig sind. Die Dauerkipplüftung trägt zwar zur Verringerung der Wahrscheinlichkeit einer Infektion bei, jedoch im geringeren Maße als die Stoßlüftungsvarianten und ist daher (sowie aus energetischer Sicht) nicht empfehlenswert. Die Raumsolltemperatur kann bei verschiedenen Fensterlüftungsstrategien über den gesamten Betrachtungszeitraum überwiegend eingehalten werden.
- In Klassenräumen mit unzureichender Gesamtöffnungsfläche der Fenster ist entweder eine Vergrößerung dieser (Reaktivierung von Fenstern) erforderlich oder eine raumlufttechnische Maßnahme (Lüftungsanlage oder mobiles Luftreinigungsgerät) in Betracht zu ziehen.

- Beim Einsatz von Luftreinigungsgeräten sollte generell beachtet werden, dass diese **keine Alternative zu einem Außenluftwechsel** darstellen, sondern **lediglich als Unterstützung** zur Partikel- und potentiellen Virenreduktion im Raum eingesetzt werden sollten.
- In der Studie erzielten die Luftreinigungsgeräte beim Betrieb mit den **höchsten Volumenströmen** die niedrigsten Aerosolkonzentrationen. Wie bereits erläutert, sind dabei die Luftreinigungsgeräte jedoch **zu laut** und die Luftgeschwindigkeiten der Raumluftströmung sind zu hoch und werden somit aller Voraussicht nach nicht langfristig von den NutzerInnen akzeptiert werden.
- Die Infektionswahrscheinlichkeit in den Klassenräumen mit RLT-Anlagen ist aufgrund der gegenüber den eingesetzten Luftreinigungsgeräten geringeren Luftvolumenströme etwas höher. Für die zukünftige Planung von **RLT-Anlagen sollten die Luftströme höher dimensioniert** werden, um die Kategorie höchster Raumluftqualität (nach DIN EN 16798-1: Kategorie 1) in Klassenräumen zu erreichen.
- Die Behaglichkeitsmessungen beim Betrieb der RLT-Anlagen weisen ein ähnliches Zugluftrisiko auf wie die Luftreinigungsgeräte. Dies ist jedoch wesentlich darauf zurückzuführen, dass der durchströmte **Querschnitt der Zuluftdurchlässe** in den untersuchten Räumen **sehr klein gewählt** ist. Hier könnte eine **nachträgliche Querschnittsvergrößerung** Abhilfe schaffen.
- Mithilfe eines Leitfadens können erforderliche und sinnvolle Maßnahmen individueller Klassenräume zum Infektionsschutz identifiziert werden.

f) Leitfaden

Um die Infektionswahrscheinlichkeit durch das Stoßlüften weiter zu senken, sollte eine **Vergrößerung der maximal möglichen Fensteröffnungsfläche** angestrebt werden. Bei schlecht belüftbaren Räumen bieten sich **Luftreinigungsgeräte** als **kurzfristige unterstützende Maßnahme** an. Die Geräte sind aber nicht in der Lage, CO_2 und Feuchte aus dem Raum abzuführen, weswegen sie keine Lüftung ersetzen können. Als **mittelfristiges Ideal** werden **RLT-Anlagen** aufgrund der Sicherstellung der Raumluftqualität (auch hinsichtlich der CO_2- und Feuchte-Belastung) sowie der Reduzierung der Lüftungswärmeverluste (aufgrund der Wärmerückgewinnung) gesehen.

Neben dieser mittel- bis langfristigen Empfehlung werden Klassenräume kurzfristig hinsichtlich des jeweiligen Infektionsrisikos bewertet und individuell geeignete Maßnahmen abgeleitet.

Auf Grundlage der relevanten physikalischen Gleichungen der Stoffbilanzierung kann ermittelt werden, welche Fensteröffnungsfläche für ein spezifisches Infektionsrisiko erforderlich wäre und mit dem Ist-Zustand und der potentiell zur Verfügung stehenden Flächen (bspw. durch demontierte Fenstergriffe) abzugleichen. Bei ungenügender Fensteröffnungsfläche ist daraufhin der erforderliche Volumenstrom eines Luftreinigungsgeräts zu berechnen.

g) Empfehlung

Basierend auf den Erkenntnissen aus dem Pilotprojekt ist der flächendeckende Einsatz von Luftreinigungsgeräten nicht indiziert. Bei ungenügender Fensteröffnungsfläche in einzelnen Klassenräumen sollte der Einbau von Luftreinigungsgeräten oder RLT-Anlagen geplant werden. Der Einsatz von Luftreinigungsgeräten kann nicht andere Maßnahmen (AHA+L, Maske, Testen, Impfen) zur Eindämmung der Infektionsausbreitung ersetzen oder gar negieren. Die resultierende Infektionswahrscheinlichkeit beim Tragen einer FFP2-Maske bewegt sich unabhängig von den untersuchten Lüftungskonzepten (Luftreinigungsgerät, Fensterstoßlüftung und RLT-Anlage) im selben Größenbereich. Es wird vielmehr empfohlen, den Eintritt des Falls, dass sich eine infektiöse Person im Klassenraum befindet, auf ein rechnerisches Mindestmaß zu reduzieren. Dies wird durch bereits praktizierte und etablierte, organisatorische Maßnahmen wie regelmäßige Tests sowie ggf. bei hohen Inzidenzen die Belegung der Klassenräume zu halbieren, erreicht. Als mittelfristiges Ideal werden RLT-Anlagen aufgrund der Sicherstellung der Raumluftqualität (auch hinsichtlich der CO_2- und Feuchte-Belastung) sowie der Reduzierung der Lüftungswärmeverluste (aufgrund der Wärmerückgewinnung) gesehen. Deren Einsatz wird auch durch die Bundesregierung gefördert.