

BEWERTUNG DER LUFTHYGIENE IN INNENRÄUMEN

**Aktuelle Herausforderung
für Sachverständige und Experten:**

- Aerosole als Vehikel von Infektionen
- Bewertung von Luftaustausch und Luftreinigung
- Nützliche Hilfsmittel: Aerosolgenerator und -spektrometer



Seit vielen Jahren konzentrieren sich öffentliche Diskussionen zum Thema „Luftqualität“ auf die Qualität der Außenluft. Mit dem Fortschreiten der Covid-19-Pandemie ist jedoch das Bewusstsein für die Bedeutung der Lufthygiene in Innenräumen gewachsen. Während die ersten Bemühungen zur Verhinderung einer Infektion zu Beginn der Krise insbesondere darauf abzielten, Tröpfchen- und Schmierinfektionen zu vermeiden, ist jetzt klar geworden, dass luftgetragene Infektionen eine wichtige Rolle bei der Verbreitung des Virus spielen. Es ist jetzt höchste Zeit, die Luftqualität in Innenräumen klar in den Griff zu bekommen. Dies ist die Grundlage für die Entwicklung geeigneter Lufthygienekonzepte.

1. AUSGANGSSITUATION

In der gegenwärtigen Gesundheitskrise – die vermutlich nicht die letzte ihrer Art sein wird – sind Experten für Raumluftqualität und Sachverständige der Raumlufttechnik aufgefordert, Innenräume im Hinblick auf die Gefahr luftgetragener Infektionen zu beurteilen. Neu an dieser Situation ist, dass die Gefährdung von den im Raum anwesenden Personen ausgeht.

Beim Atmen bzw. Sprechen gibt der Mensch mit der ausgeatmeten Luft Aerosoltröpfchen ab, die bei infizierten Personen Bakterien und Viren enthalten können. Die Tröpfchen sind überwiegend kleiner als 1 µm, und auch größere schrumpfen durch Verdunsten des Wassers in trockener Innenraumluft schnell in diesen Größenbereich. Sie sind damit so klein, dass sie dauerhaft in der Luft schweben und von anderen Personen eingeatmet werden können.

Aufgrund ihrer geringen Größe sind in der Luft schwebende, potentiell infektiöse Partikel nur mit speziellen Messgeräten nachweisbar

Neueste Forschungsergebnisse zeigen, dass ein Teil der Covid-19-Erkrankten eine vielfach erhöhte Zahl an Aerosolpartikeln ausatmet. Ein einzelner dieser sogenannten „Superemitter“ kann – bei subjektiv geringfügiger Beeinträchtigung durch die Krankheit auch unbemerkt – so viele Viren wie hundert Durchschnittspersonen abgeben. Ist die Person durch die Krankheit subjektiv wenig beeinträchtigt kann dies unbemerkt geschehen. Es ist anzunehmen, dass ein großer Anteil des Infektionsgeschehens von diesem Personenkreis ausgeht. Innenräume gegen diesen Fall abzusichern, stellt eine besondere Herausforderung dar. Drei Maßnahmen beeinflussen die Reduktion der Konzentration von potentiell infektiösen Aerosolpartikeln in der Raumluft und damit das Infektionsrisiko durch Aufnahme beim Einatmen:

1. Verdünnen der ausgeatmeten Aerosole mit Frischluft („Lüften“)
2. Entfernen von Partikeln durch ortsfeste oder mobile Filtergeräte („Filtern“)
3. Persönliche Schutzausrüstung (PSA), insbesondere Masken („Schützen“)

Zum dritten Punkt kann hier keine generelle Aussage gemacht werden, da die Wirkung sehr vielen material- und personenspezifischen Einflüssen unterliegt.

2. HERAUSFORDERUNG IN DER PRAXIS BEI DER ENTWICKLUNG UND UMSETZUNG VON LUFTHYGIENEKONZEPTEN

Aktuelle Herausforderung für
Sachverständige und Experten:
BEWERTUNG DER LUFTHYGIENE
IN INNENRÄUMEN

Angenommen, die Luft sei gut durchmischt, hier ein einfaches Beispiel zur Raumlufthereinigung: Eine im Raum befindliche infizierte Person atmet in einer Stunde etwa $0,5 \text{ m}^3$ Luft ein bzw. aus. Gleichzeitig arbeitet eine Filtervorrichtung, die stündlich etwa 500 m^3 Luft durchsetzt und von Aerosolpartikeln befreit. Die von der infizierten Person abgegebenen Aerosole würden in ihrer Konzentration etwa auf $1/1000$ reduziert. Die Durchmischung der Raumlufthereinigung verhindert, dass lokal eine hohe Konzentration infektiöser Aerosole entsteht.

Wollte man denselben Effekt mit Frischluft erzielen, würde ständiges Querlüften im Winter in vielen Fällen entweder arbeitsrechtlich unzumutbare Raumtemperaturen nahe der Außentemperatur oder Heizkosten verursachen, die die Kosten technischer Luftreinigung deutlich übersteigen.

Die für Schulen gegenwärtig vorgeschlagene Regel, alle 20 Minuten für 5 Minuten zu lüften,¹ bewirkt nur etwa zwei Luftwechsel pro Stunde. Sobald nicht mehr gelüftet wird, reichert sich die Raumlufthereinigung schnell wieder mit Aerosolen an. Die Schlussfolgerung ist, dass sich bei Stoß-

lüften kurze Phasen guter Luftqualität mit langen Phasen schlechter Luftqualität abwechseln. Das Infektionsrisiko wird

kaum verringert. Immerhin kann aber im Durchschnitt eine CO_2 -Konzentration eingehalten werden, die noch nicht zu verringerter Aufmerksamkeit bzw. Müdigkeit führt. Studien zeigen: CO_2 -Werte sind generell ein Hilfsmittel im Büro- oder Schulalltag, aber keine hinreichende Basis für wirksame Hygienekonzepte.²

In der Praxis wird sich ein Sachverständiger in vielen Fällen mit Räumen konfrontiert sehen, die nur sehr begrenzt gelüftet werden können, sei es aufgrund nicht zu öffnender

Fenster oder der Lage im Inneren eines Gebäudes. Hier bleibt nur, den Beitrag des gegebenen Luftaustauschs zu bewerten und in das Gesamtkonzept einzubeziehen.

Moderne Gebäude können mit Belüftungsanlagen ausgestattet sein, die einen hohen Luftaustausch ($> 5/h$) ermöglichen. Falls eine Wärmerückgewinnung realisiert ist, kann hier eine Lösung durch maximierte Frischluftzufuhr ausreichend und wirtschaftlich sein.

Lieber Lüften als Filtern?

Fünf Luftwechsel pro Stunde in einem Klassenraum von 200 m^3 Volumen bedeuten, stündlich 1300 kg Luft von Außen- auf Innenraumtemperatur zu erwärmen. Dies entspricht z.B. etwa dem Brennwert von 3 l Heizöl. Bei 6 Stunden täglich und 100 Heiztagen pro Jahr also 1800 l für einen einzigen Raum. Das ist teuer und umweltschädlich – es ist eben keine gute Idee, im Winter gegen offene Fenster anzuheizen.

Man beachte außerdem: *Manuelles Lüften (z.B. Öffnen von Fenstern) ist eine organisatorische Maßnahme, die schwer zu kontrollieren ist. Raumlufthereinigungstechnische Anlagen können gegen Fremdeingriff verriegelt und automatisch überwacht werden, sind aber zugleich mit hohen Kosten verbunden. Es kommt also darauf an ...*

¹<https://www.umweltbundesamt.de/richtig-lueften-in-schulen#konnen-mobile-luftreiniger-in-klassenraumen-helfen> (Abrufdatum: 11.01.2021)

² siehe u.a. Julia Szabadi, Jörg Meyer & Achim Dittler (2020) „Untersuchung der Minderung der Partikelkonzentration in geschlossenen Innenräumen durch einen hoch wirksamen Innenraumfilter“.

3. VORGEHENSWEISE UND BEITRAG VON EXPERTEN

Die Aufgabe eines Sachverständigen besteht darin, das Verhalten von Aerosolen in einem gegebenen Raum zu beurteilen und erforderlichenfalls eine Empfehlung für Verbesserungsmaßnahmen auszusprechen. Innenräume unterscheiden sich voneinander unter anderem hinsichtlich Geometrie, Einrichtung, Aufenthaltsbereichen von Personen, Ausstattung mit Fenstern und Belüftung. Ihre Bewertung ist daher eine komplexe Aufgabe; insbesondere muss der Sachverständige aufgrund von Erfahrung und mit geeigneten Hilfsmitteln Bereiche mit ungenügender Durchmischung identifizieren.

Im **ersten Schritt** ist zu untersuchen, wie sich die Konzentration von im Raum freigesetztem Aerosol – gemessen als Partikelanzahl pro Luftvolumen – unter dem Einfluss der gegenwärtigen technischen Eigenschaften des Raums verändert ("Ist-Zustand"). Abhängig von den oben genannten Raumeigenschaften kann sie schneller oder langsamer abnehmen.

Wichtig ist hierbei insbesondere die Beurteilung von Bereichen, die schlecht durchströmt sind, weil sie bspw. relativ zu Lüftungs- oder Luftumwälzeinrichtungen ungünstig angeordnet sind.

Aerosolgeneratoren ermöglichen die Simulation realistischer Belastungsszenarien

Mittels eines entsprechenden Generators werden harmlose Testpartikel zur Simulation des von Personen abgegebenen Aerosols erzeugt und im Raum verteilt. Die durchschnittliche Größe der vom Aerosolgenerator erzeugten Partikel soll im Bereich 0,2-0,3 µm liegen, um Ähnlichkeit zu von Personen ausgeatmeten Aerosolpartikeln

zu erreichen und Konzentrationsabbau aufgrund von Sedimentation zu vermeiden. Um unabhängig von zufällig in der Raumluft bzw. zuströmender Fremdluft vor handenen Partikeln zu messen, ist die Konzentration so hoch einzustellen, dass das Prüfaerosol dominiert (> 10x Raum-/Fremdluftkonzentration). Sobald die Zielkonzentration erreicht ist, wird nach einer kurzen Phase zur gleichmäßigen Verteilung im Raum die Aerosolkonzentration über einige Zeit gemessen. Der gegebene Luftaustausch zeigt sich in Form einer Abklingrate der Partikelkonzentration. Gegebenenfalls ist dieser Versuch für unterschiedliche Betriebsarten des Raums zu wiederholen.

Für diese Messung ist ein für den Partikelgrößenbereich des Prüfaerosols ausgelegtes, zählendes **AEROSOLSPEKTROMETER** erforderlich. Einfache PM-Sensoren eignen sich

Geeignete Messtechnik ist entscheidend:

Ein zählendes Aerosolspektrometer ist nicht mit einem Reinraumzähler zu verwechseln. Reinraumzähler sind für extrem niedrige Partikelkonzentrationen ausgelegt, doch bei Konzentrationen oberhalb von ca. 50 Partikeln/cm³ treten Fehler bei der Messung von Anzahl und Größe auf, da sich zwei oder mehr Partikel gleichzeitig im Detektionsbereich aufhalten können. Sowohl in Innenräumen als auch in der Außenluft liegt die Konzentration jedoch meist deutlich über diesem Wert. Das Partikelspektrum wird üblicherweise erst oberhalb von 0,3 µm erfasst und nur in wenigen Größenklassen dargestellt.

hierfür nicht, da sie Partikel unterhalb von 0,5 µm schlecht und unterhalb von ca. 0,35 µm meist überhaupt nicht mehr detektieren.

Nach Bewertung des Raums im Ist-Zustand kann **im zweiten Schritt** die Wirkung einer zusätzlichen raumluftechnischen Maßnahme untersucht werden, z.B. die Wirkung eines mobilen Luftfiltergeräts. In einer Studie der Universität der Bundeswehr konnte gezeigt werden, dass mobile Luftreiniger mit hochwertigen Filtern das indirekte Infektionsrisiko über Aerosole reduzieren können.³

Die Vorgehensweise ist grundsätzlich gleich, nur dass jetzt zusätzlich der Effekt unterschiedlicher Aufstellpositionen und Betriebsarten des

Einrichtung hat, so dass die korrekte Aufstellung nicht aufgrund von Erfahrung unmittelbar klar ist. Aufgrund der Messungen kann eine Empfehlung für Aufstellposition(en) und einzustellenden **LUFTMENGENSTROM** gegeben werden.

Überprüfung der Reinigungswirkung bei mobilen Luftreinigern und RLT-Anlagen sinnvoll

Die gleiche Methode bietet sich an, um einen Raum zu bewerten, der mit einer Luftreinigung im Umluftbetrieb nachgerüstet wurde (Abnahmeprüfung). Hier ist ggf. festzustellen, mit welcher Kapazität diese Einrichtung betrieben werden sollte, um überall im Raum eine gute Wirkung zu erzielen.

Die Durchmischung der Luft im Raum mit CO₂ kann sich vom Ausbreitungsverhalten von Aerosolen unterscheiden. Sie lässt sich aber in ähnlicher Weise untersuchen, indem der Verlauf der CO₂-Konzentration über der Zeit aufgezeichnet wird. Hierzu ist eine realistische Situation herzustellen, d.h. entweder sind während des Tests entsprechend viele Personen anwesend oder die Atemtätigkeit der für den Raum vorgesehenen Personenzahl wird durch Freisetzen von CO₂ simuliert. Es bietet sich an, ein Messgerät mit integrierter Aufzeichnung der CO₂-Konzentration zu verwenden; das Ablesen von Sensoren, die nur den aktuellen Wert anzeigen, ist unzureichend.

Integrierte Sensoren von Raumlufreinigern häufig nicht ideal:

Warum sollten Raumlufreiniger nicht im Automatikmodus betrieben werden? Ihre integrierten Sensoren, üblicherweise auf PM_{2,5} ausgelegt, sind für Messungen im Submikrometerbereich kaum geeignet, da sie Partikel unterhalb von 350 nm nicht erkennen können (meist erst ab 0,5 µm mit 100 % Effizienz) und nur pauschale Massekonzentrationen angeben. Ihr einfaches Messprinzip reagiert stets auf Signale einer undefinierten Zahl von Partikeln, die sich gleichzeitig im Erfassungsbereich befinden. Dass dies unzureichend ist wird klar, wenn man sich vor Augen führt, dass die gleiche PM_{2,5}-Belastung von einem einzelnen Partikel von 2 µm oder von 1000 Partikeln von 0,2 µm Größe hervorgerufen werden kann. Eine realistische Beurteilung erfordert zählende Aerosolspektrometer, die Partikel einzeln erkennen und ihre Größe messen.

Geräts (z.B. "Volllast") im Raum untersucht werden muss. Dies ist vor allem sinnvoll, wenn der Raum keine einfache Geometrie und zusätzlich strömungsverändernde

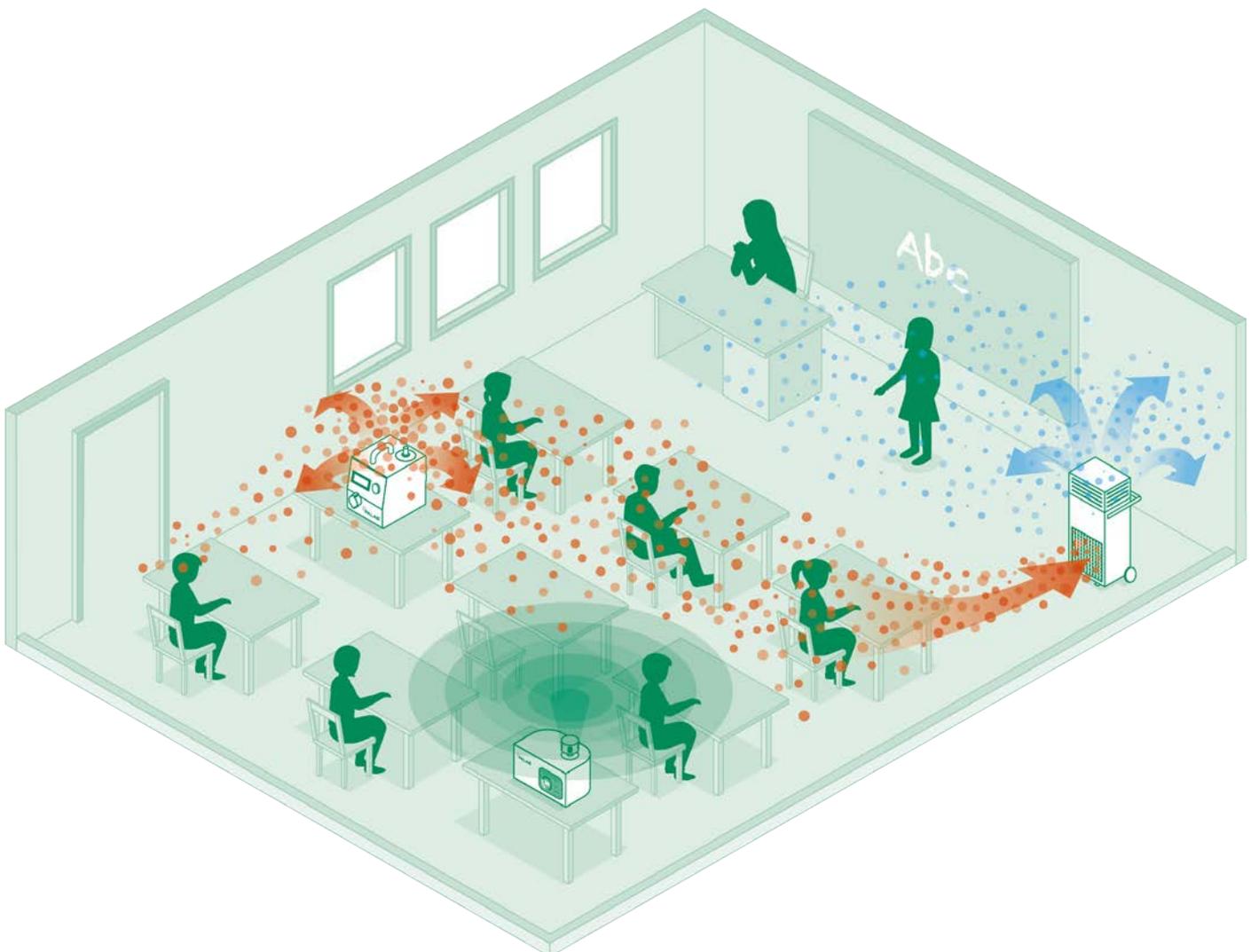
³ Christian J. Kähler, Thomas Fuchs, Rainer Hain (2020): „Können mobile Raumlufreiniger eine indirekte SARS-CoV-2 Infektionsgefahr durch Aerosole wirksam reduzieren?“.

Sinnvolle Verknüpfung der Messung von Partikel- und CO₂-Konzentration zur Abschätzung des Infektionsrisikos

Zur Bewertung de Risikograds von
Innenräumen auf Grundlage gleichzeitiger
Messung von CO₂ und Aerosolen ist der Palas
AQ Guard mit einem speziellen Softwarepaket
ausgestattet. Diese Software ermittelt auf
Grundlage wissenschaftlicher Erkenntnisse
über luftgetragene Infektionen für eine
gegebene Situation – Betrieb eines Raums unter
gegebenen technischen Randbedingungen

für eine vordefinierbare,
typische Nutzungszeit – den
Reproduktionswert R.

Mit diesem Werkzeug können Räume unter
Berücksichtigung ihrer typischen Nutzung
miteinander verglichen und hinsichtlich der
Raumluftqualität bewertet werden.



FAZIT

Ein Innenraum sollte grundsätzlich so mit Frischluft versorgt sein, dass Aufmerksamkeit und Wohlbefinden der Anwesenden nicht beeinträchtigt sind. Hierzu können CO₂-Gehalt, Temperatur und Feuchte der Raumlufte gemessen werden. Entscheidend für die hygienische Bewertung im Hinblick auf Aerosole als Infektionsträger sind jedoch aerosolspezifische Messungen.



Diese sollten von Experten und Sachverständigen durchgeführt und interpretiert werden. Auf diese Weise können vor dem Hintergrund der tatsächlichen Gebäudesituation wirksame Lüftungsmaßnahmen definiert werden. Der Beitrag von Experten zum Infektionsschutz geht damit weit über pauschale Empfehlungen hinaus – und hilft teure Fehlinvestitionen zu vermeiden.

go green
to breathe clean.



Palas® ist ein führender Entwickler und Hersteller von hochpräzisen Geräten zur Generierung, Messung und Charakterisierung von Partikeln in der Luft. Mit zahlreichen aktiven Patenten entwickelt Palas® technologisch führende und zertifizierte Feinstaub- und Nanopartikelmessgeräte, Aerosolspektrometer, -generatoren und -sensoren sowie dazugehörige Systeme und Softwarelösungen.

Palas GmbH

Siemensallee 84 | Building 7330 | 76229 Karlsruhe

Telefon: +49 721 96213-0

www.palas.de