

POSITIONSPAPIER

LUFT-FILTERTECHNIK GEGEN COVID-19 IN INNENRÄUMEN

Unabhängiges Expertenforum Reinraumtechnologien gegen COVID-19 – eine Initiative des Silicon Alps High-Tech Clusters

Graz/ Villach, 05 2021

Disclaimer

Die Inhalte des Positionspapiers wurden mit größtmöglicher Sorgfalt und nach bestem Gewissen erstellt. Dennoch übernehmen die Autoren dieses Papiers keine Gewähr für die Aktualität, Vollständigkeit und Richtigkeit der bereitgestellten Seiten und Inhalte.

Ein Auszug eines Textes oder Entfernung oder Sperrung mancher Inhalte kann zur unzulässigen Verfälschung der Aussage führen und ist nur mit Quellenangabe und mit ausdrücklicher Genehmigung gestattet.

Das Papier enthält Verweise zu anderen Dokumenten. Die Autoren können für diese Inhalte keine Gewähr übernehmen. Für die Inhalte und Richtigkeit der bereitgestellten Informationen ist der jeweilige Anbieter verantwortlich. Zum Zeitpunkt der Listung waren keine Rechtsverstöße erkennbar.

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Initiative seitens Silicon Alps Cluster und Cross-Cluster Kooperation – mit dem oberösterreichischen Medizintechnik-Cluster (MTC) und dem steirischen Humantechnologie-Cluster (HTS)

Für den Inhalt verantwortlich:

Roman Czech

Michael Ebner

Ortwin Ertl

Alexander Fian

Josef Hackl

Klaus Krüger

Susanna Molterer

Josef Ortner

Roland Pufitsch

Stefan Radl

Emanuel Rothmayr

INHALT

1	<u>POSITION UND ANLIEGEN</u>	5
2	<u>WISSENSCHAFTLICHE GRUNDLAGE</u>	6
3	<u>IST-ZUSTAND</u>	7
3.1	ERGEBNIS UMFRAGE	7
3.1.1	ERGEBNISSE DER UMFRAGE DES EXPERTENFORUMS REINRAUMTECHNOLOGIEN GEGEN COVID-19	7
3.1.2	ERGEBNIS AUS EINER ANDEREN UMFRAGE	8
3.2	USE CASES	8
3.2.1	SCHULEN, SCHULKLASSEN, LEHRERZIMMER	8
3.2.2	BESPRECHUNGSRÄUME, BÜROS, GROßRAUMBÜROS, EMPFANGSBEREICHE	9
3.2.3	KONFERENZRÄUME, MESSEHALLEN, VERANSTALTUNGSHALLEN SPEISESÄLE	9
3.2.4	KAUFHÄUSER, GESCHÄFTE, REZEPTIONEN	9
3.2.5	CAFETERIA, WOHNÄRÄUME, AUFENTHALTSRÄUME	9
3.3	ANWENDBARKEIT, NACHWEIS UND MESSERGEBNISSE	10
3.3.1	STUDIEN & SIMULATIONEN	10
3.3.2	MESSERGEBNISSE	11
3.3.3	ANWENDUNGSBEISPIELE	11
4	<u>TECHNISCHE PARAMETER</u>	12
4.1	KATEGORISIERUNG: UMLUFTGERÄT UND LÜFTUNGSANLAGE	12
4.2	LEISTUNGSFÄHIGKEIT: LUFTVOLUMENSTROM UND LUFTWECHSELRATE	12
4.3	ABSCHIEDEFFIZIENZ: FILTERKLASSE UND REAL VORHANDENE ABSCHIEDEFFIZIENZ	13
4.4	ENERGIEEFFIZIENZ: LUFTVOLUMENSTROM JE WATT	13
4.5	DIMENSIONIERUNG: NOTWENDIGER DURCHSATZ UND RISIKO	14
4.6	RÄUMLICHE GEGEBENHEITEN: LUFTVERTEILUNG IM RAUM	14
4.7	WELCHE ZUSÄTZLICHEN "FEATURES" BRAUCHT MAN?	14
4.8	WELCHE UNERWÜNSCHTEN PHÄNOMENE KÖNNEN AUFTRETEN?	15
5	<u>EMPFEHLUNGEN ZUR AUSWAHL UND BEURTEILUNG VON ANLAGEN</u>	15
6	<u>EINSCHULUNG UND SENSIBILISIERUNG FÜR DEN UMGANG</u>	18
7	<u>QUALIFIZIERUNG</u>	19
7.1	QUALIFIZIERUNG VON RLT-ANLAGEN	19
7.1.1	BESTIMMUNG DES GEFILTERTEN LUFTVOLUMENSTROMS IN EINEM TESTRAUM („CADR“-METHODE)	19
7.1.2	MESSTECHNISCHE ÜBERPRÜFUNG	19
7.2	BEWERTUNG VON INNENRÄUMEN	20
7.2.1	VEREINFACHTE BEWERTUNG AUFGRUND VON NORMEN, REGELN DER TECHNIK, UND ERKENNTNISSEN AUS DER LITERATUR	20
7.2.2	CORONA-RECHNER	20
7.2.3	COMPUTERSIMULATION DER STRÖMUNG (CFD-SIMULATIONEN)	21
7.2.4	LABORVERSUCHE (MOCK UP VERSUCHE)	22
7.2.5	REALVERSUCHE (BELASTUNGSTEST)	22

7.2.6	FELDVERSUCHE	23
7.3	BEWERTUNG DER ERGEBNISSE	23
LITERATURVERZEICHNIS		24

1 Position und Anliegen

Auf Initiative des Silicon Alps Cluster und der Cross-Cluster Kooperation mit dem steirischen Humantechnologie-Cluster (HTS) und dem oberösterreichischen Medizintechnik-Cluster (MTC) versteht sich das „Expertenforum Luft-Filtertechnik gegen COVID-19“ als interdisziplinäres und ehrenamtliches Team, das sich aufbauend auf der langjährigen Erfahrung mit Filtertechnik zum Ziel gesetzt hat, den Bekanntheitsgrad der Effektivität dieser Technologie auf breiter Ebene zu steigern.

Wir richten das Augenmerk auf Innenräume, also dem Ambiente, bei dem wir das höchste Risiko der Übertragung der Erreger orten.

Geeignete Luft- Filtertechnik ist die technische Maßnahme zur Reduktion von exhalieren, aerosolgetragenen und damit luftschwebenden Krankheitserregern (z.B. Viren, Bakterien).

Gemeinsam mit vorbeugenden Maßnahmen wie Raumlüftung, Masken und Abstandhalten sehen wir darin eine effektive Lösung mit einer für den Menschen risikolosen, langjährig bewährten und unmittelbar verfügbaren Technologie.

Wir betrachten den Aufbau einer Luftfilter-Infrastruktur zur nachhaltigen Prävention gegen bestehende, mutierende Erreger und solchen, die in den nächsten Jahren auf uns zukommen werden, wie auch gegen den negativen Einfluss von Feinstäuben, Pollen und Pilzsporen als schlagkräftige Alternative zu Lockdowns. Weitere Maßnahmen wie Lockdowns sind kaum finanzierbar und haben gesellschaftlich die Kraft verloren.

Alternativen Technologien (z.B. Plasma und UVC) werden in diesem Positionspapier auf Grund der Vorteile der Luftfilter- bewusst nicht gelistet oder gewertet.

Unterstützt durch einen Auszug der einschlägigen Literatur geben wir Hinweise, die bei der Einschätzung und Auswahl der situationsrichtigen Lufttechnik von entscheidender Bedeutung sind.

Wir fordern die öffentlichen Stellen auf, die Investition und Anwendung der Luftfilter-Technik mit entsprechender Information, Förderprogrammen und Regulatorien zu unterstützen und so der Gesundheit der BürgerInnen einen beträchtlichen Nutzen zu bringen und den enormen volkswirtschaftlichen Schaden von organisatorischen Einschränkungen wie Lockdowns abzuwehren.

2 Wissenschaftliche Grundlage

Wissenschaftliche Daten verdichten sich zu einem Bild, das Aerosolen eine Schlüsselrolle in der Übertragung von COVID-19 zuschreibt, wobei Feinstaub eine tragende Rolle in der Verbreitung zukommt (1). Der Aufbau des Virus im Elektronenmikroskop zeigt eine Virushülle mit Spikeproteinen, die neben einer hydrophilen Dekorierung durch Glycanketten auch hydrophobe Bereiche aufweisen, wovon eine an den menschlichen Rezeptor ACE2 bindet (2). Es ist wahrscheinlich, dass das Virus in Analogie an hydrophobe Oberflächen von Feinstaubpartikel bindet (und möglicher Weise über seine hydrophilen Regionen an hydrophile Oberflächen. Bei hydrophoben Oberflächen wie Kohlenstaubpartikel durch Van-der-Waals-Kräfte, bei hydrophilen Oberflächen durch Dipol-Dipol-Wechselwirkungen, Salz- und Wasserstoffbrücken). Diese Immobilisierung erlaubt die Ausbildung einer relativ stabilen Hydrathülle. (Flüssigkeitströpfchen zeigen im Gegensatz dazu eine hohe Dynamik mit sich stetig erneuernder Flüssigkeits-Luftgrenzfläche, was zur Virusdestabilisierung und Virusinaktivierung führt (3). Das Konzept der Proteinstabilisierung durch Immobilisierung ist aus der Proteintechnologie wohlbekannt). Das Resultat in diesem Szenario ist ein über längere Zeit stabiles Virus, welches als Feinstaub-Aerosol in der Atemluft verteilt ist, wodurch das Einatmen eines virulenten Quantums an infektiösem (funktionellem) Virus in kurzer Zeit ermöglicht wird.

Neben den Methoden zur physischen Entfernung kann auch, derzeit zu wenig beachtet, über das ‚Engineering‘ der Luftbedingungen Einfluss auf die Effizienz des Übertragungsweges durch Aerosol genommen werden. Die Virusstabilität ist stark abhängig von Temperatur, relativer Luftfeuchte, UV-Einstrahlung, pH, Ionenstärke (6-8), sowie die Interaktion mit Oberflächen (9, 10), wobei die Immobilisierung an Oberflächen (über Van der Waals Kräfte, Wasserstoffbrücken oder Ionische Bindungen) stabilisierend wirken kann (9). Plausibel erscheint, dass ein Trägerpartikel, an den sich der Virus anheftet, diesem ermöglicht, eine stabilisierende Hydrathülle aufzubauen, welche, anders als in einem dynamischen Flüssigkeitströpfchen, relativ geordnet und stabil bleibt. Dies vermeidet eine sich ständig austauschende Flüssigkeitsoberfläche, welche in Flüssigkeitströpfchen laut Studien zur Inaktivierung von Viren mit Lipidhülle führt (3). In diesem Zusammenhang bemerkenswert ist die wiederholt statistisch dokumentierte Korrelation zwischen Feinstaubbelastung und gesteigertem Infektionsgeschehen (11).

3 IST-ZUSTAND

3.1 Ergebnis Umfrage

Die COVID-19 Pandemie zeigt wie weit verzweigt und vernetzt die Einflüsse in unser Leben und unser tägliches Wirken sind und wie viele Expertenmeinungen und Studienergebnisse sich in kurzer Zeit ergeben haben. Viele dieser Studien sind sehr wertvoll und bilden eine gute Grundlage für wirkungsvolle Entscheidungen. Neben einer Reihe von notwendigen Vorgaben wie z.B. Mund-Nasenschutz oder Abstandsregeln etc. ist es unbestritten, dass die Lüftungstechnik und gute Luftfiltersysteme den besten Schutz gegen eine Infektion bieten. Diese schützende Wirkung entfaltet sich nicht nur bei Coronaviren sehr effektiv, sondern schafft generell eine viren- und erregerefreie Luft und schützt so in geschlossenen Räumen auch vor allen anderen luftgetragenen Krankheitserregern.

Neben technischen Einrichtungen oder Einweg-Schutzartikel darf der psychologische Effekt von Vorgaben und Bildsprachen nicht außer Acht gelassen werden. Das Verhalten der Menschen verändert sich auch durch den optischen Einfluss des Umfeldes.

3.1.1 Ergebnisse der Umfrage des Expertenforums Reinraumtechnologien gegen COVID-19

2/3 der Befragten haben bereits technische Einrichtungen zur Entfernung von Viren in Aerosolen in der Raumluft in Verwendung – und zwar ausschließlich Einrichtungen mit Luftfiltertechnik. (siehe Abb. 1) 84 % der Befragten denken, dass eine Investition in eine technische Einrichtung langfristig sinnvoll ist (Pollen, Grippeviren, etc.). (siehe Abb. 2)

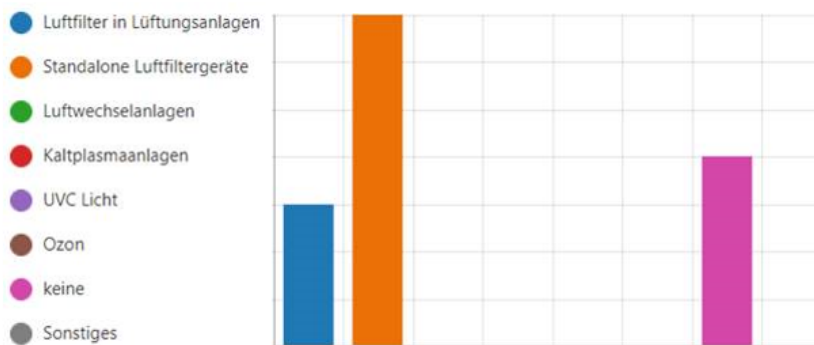


Abbildung 1: Technische Einrichtung bereits in Verwendung (Expertenforum Umfrage)



Abbildung 2: Langfristige Investition (Expertenforum Umfrage)



Abbildung 3: Informationsquellen zur Anschaffung einer technologischen Einrichtung (Expertenforum Umfrage)

3.1.2 Ergebnis aus einer anderen Umfrage

Ein erwähnenswertes Ergebnis aus einer internationalen Umfrage eines Filterherstellungsunternehmens ist, dass 85% der Befragten einerseits ein großes Vertrauen in die Luftfiltertechnik haben und diese auch wünschen, und andererseits fix installierte Geräte, idealerweise von der Decke abgehängt und die zu schützende Personen direkt beaufschlagt, bevorzugen.

3.2 Use Cases

Folgende Bereiche in Innenräumen unterliegen aufgrund größerer Personenanzahl auf engem Raum erhöhter Aufmerksamkeit:

3.2.1 Schulen, Schulklassen, Lehrerzimmer

Für entsprechende Luftfiltertechniken kann zwischen zwei grundsätzlichen technischen Varianten unterschieden werden, mit den jeweiligen Vor- und Nachteilen (siehe 7. 5 Empfehlungen zu Auswahl- und Beurteilung von Anlagen).

- a) Zentrale- oder Dezentrale RLT Anlagen „Raumluftechnische Anlagen“
- b) Mobile- oder Stationäre Umluftgeräte

Sind bei der Variante a) nur bedingt Feinpartikel und Virenfilter eingebaut, oder können dafür nachgerüstet werden, so ist das bei der Variante b) weitestgehend eine Standardausführung. Zudem kommt, dass zentrale oder dezentrale Lösungen einen Eingriff in die Gebäudetechnik und größeren Umbaumaßnahmen und längere Lieferzeiten bewirken, wobei mobile oder stationäre Geräte kurzfristig und variabel einsetzbar sind. Bei der Positionierung ist auf eine vernünftig gute und freie Ausströmung der Reinluft in den Raum zu achten. Während der Raumbelegung sollten die RLT Anlagen wie auch die Umluft Filtergeräte in Dauerbetrieb betrieben werden.

3.2.2 Besprechungsräume, Büros, Großraumbüros, Empfangsbereiche

Meist sind solche Räume nur mit Umluft Kühlanlagen, oder bei größeren Räumen bedingt mit Zu- und Abluftanlagen ausgestattet. Der Einsatz von mobilen Umluft- Filteranlagen ist meist die einfachste und wirkungsvollste Lösung und bietet schon aufgrund der Flexibilität einen großen Einsatzspielraum. Eine Alternative zu den mobilen Geräten sind fix an den Wänden oder an den Decken montierte stationäre Geräte. Solche Gerätelösungen sind am Markt schon erhältlich, bergen aber noch ein gutes Stück Innovations- Design- und Entwicklungspotential.

3.2.3 Konferenzräume, Messehallen, Veranstaltungshallen Speisesäle

Große Veranstaltungshallen sind in der Regel mit guten RLT Anlagen ausgestattet, die große Luftmengen umwälzen, aber für eine Reinluftfilterung nicht, oder nur sehr bedingt, geeignet sind. Zudem sind die Hallenhöhen meist weit über den üblichen Raumhöhen. Eine Gesamt-Luftfilterung kann deshalb als nicht sinnvoll bewertet oder empfohlen werden. Der Einsatz von lokalen mobilen Geräten im Umfeld der sich im Raum befindlichen Personen ist deshalb sinnvoll und ratsam und kann je nach Bedarf und Veranstaltungsart angepasst werden.

3.2.4 Kaufhäuser, Geschäfte, Rezeptionen

Einzelhandels- oder Großkaufhäuser, unabhängig der Zuordnung, unterliegen wegen der unterschiedlichen Besucherfrequenz und der nicht kontrollierbaren Kundenverhalten einem erhöhten Infektionsrisiko. Speziell die Angestellten an den Kassen, die zurzeit meist durch kleinflächige Glasscheiben verdeckt sind, sind den luftgetragenen Verunreinigungen am meisten ausgesetzt. Für solche Arbeitsbereiche haben sich unmittelbar über den Personen abgehängte FFU „Filter Fan Unit“ bestens bewährt.

3.2.5 Cafeteria, Wohnräume, Aufenthaltsräume

Das Infektionsrisiko in betrieblichen Aufenthaltsbereichen und privaten Wohnräumen ist schon aufgrund des Konsumverhalten und der erzwungenen Nähe hoch einzuschätzen. Ähnlich wie bei z.B. Luftbefeuchtern oder ähnlichen Kleingeräten können für solche Räume mobile oder stationäre Luftfilter- Kleingeräte mit den notwendigen technischen Ausstattungen empfohlen werden.

3.3 Anwendbarkeit, Nachweis und Messergebnisse

3.3.1 Studien & Simulationen

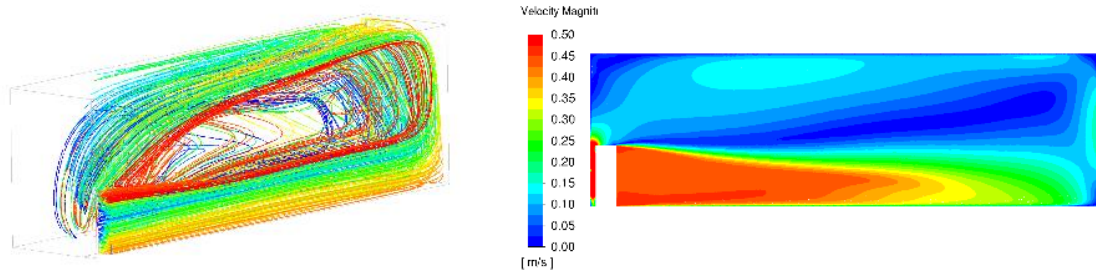


Abbildung 4: Simulationsergebnis der Luftverteilung und Raumfreispülung mit einer Luftfilteranlage in einem Raum L/B/H/ 10 x 5 x 3 m

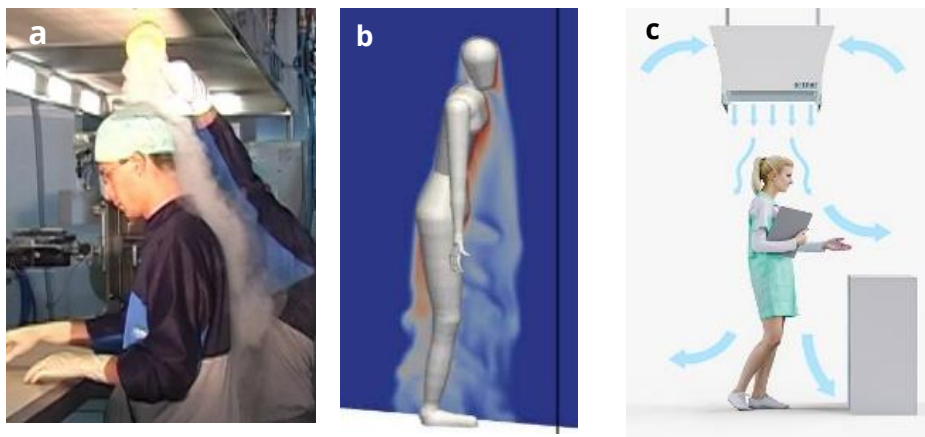


Abbildung 5: Strömungsvisualisierung und Simulation des Coanda Effektes – Strömungsschutzwirkung (Anhaftung der Reinluft im Nahbereich einer Person; a,c: Fa. Ortner, b: TU Graz & Ortner GmbH).

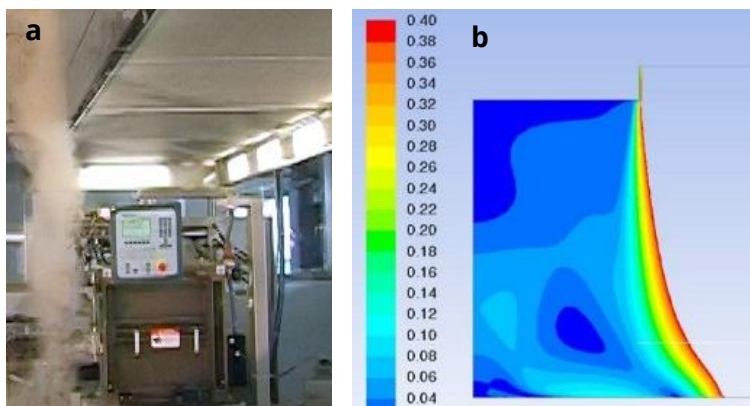


Abbildung 6: Strömungsvisualisierung (a) und Simulation (b) des Luftschleiereffektes bzw. Luftvorhangs – Schutzwirkung durch Verdrängungsströmung.

3.3.2 Messergebnisse

WEDL MESSE PARTIKELMESSUNG
12 Messpunkte, Jeweils 1cf/m

	Test 1 FFU - Ausgeschaltet Messe Aufbau Bewegung - LOW	Test 2 FFU - AN Seit 14h Messe Aufbau Bewegung - Medium	Test 3 FFU - AN Seit 18h Messe Spitzzeit Bewegung - Hoch	Differenz T2-T1	Prozent T2-T1 Partikel gereinigt	Differenz T3-T1	Prozent T3-T1 Partikel gereinigt
Messpunkt 1	433422	186560	327981	-246862	56,96 %	-105441,00	24,33 %
Messpunkt 2	498073	209383	295270	-288690	57,96 %	-202803,00	40,72 %
Messpunkt 3	614722	228155	63109	-386567	62,88 %	-551613,00	89,73 %
Messpunkt 4	630654	150288	23799	-480366	76,17 %	-606855,00	96,23 %
Messpunkt 5	571983	91803	63692	-480180	83,95 %	-508291,00	88,86 %
Messpunkt 6	618660	40799	76097	-577861	93,41 %	-542563,00	87,70 %
Messpunkt 7	958276	55363	25980	-902913	94,22 %	-932296,00	97,29 %
Messpunkt 8	430732	129474	152798	-301258	69,94 %	-277934,00	64,53 %
Messpunkt 9	233394	163684	247632	-69710	29,87 %	14238,00	-6,10 %
Messpunkt 10	481493	102495	160480	-378998	78,71 %	-321013,00	66,67 %
Messpunkt 11	407953	141469	99347	-266484	65,32 %	-308606,00	75,65 %
Messpunkt 12	380244	163285	195393	-216959	57,06 %	-184851,00	48,61 %
Durchschnittswert	521633,83	138563,17	144298,17	-383070,67	73,44 %	-377335,67	72,34 %

Abbildung 9: Messergebnis von einer Hausmesse eines Großhandels auf ca 800 m² Ausstellungsfläche und ca 300 Besucher mit 10 Luftfilteranlagen – Partikel / Viren Reinigungswirkung bei Vollbetrieb ca 72%

Uhrzeit Start	13:33	15:43	8:54 Nächster Tag
	FFU AUS	FFU AN Seit 70 Minuten	FFU AN Seit 17 Stunden
MP1	1375946	27648	22923
MP2	1391056	21109	19686
MP3	1382383	13325	12468
MP4	1375394	29706	15109
MP5	1365986	43231	21616
MP6	1355998	28018	29639
MP7	1352568	16331	13325
MP8	1344612	25764	16384
MP9	1352380	37573	16690
MP10	1352224	30680	17026
MP11	1371673	25543	18224
MP12	1351546	31097	21746
MP13	1356851	31135	19393
MP14	1348961	29506	22353
MP15	1349370	26942	23254
Durchschnitt	1361796,53	27840,53	19322,40
Prozent	100,00%	2,04%	1,42%

Abbildung 7: Messergebnis in einem Besprechungsraum Abm: L/B/H 8 x 4 x 3 m mit einer Luftfilteranlage und einer aktiven Besprechungsaktivität von 10 Personen - Partikel / Viren Reinigungswirkung bei ca 98%

3.3.3 Anwendungsbeispiele



Abbildung 8: Einige Anwendungsbeispiele

4 TECHNISCHE PARAMETER

Dieses Kapitel erläutert die wichtigsten Begriffe und technischen Parameter im Kontext von Raumluftechnischen (RLT) Anlagen. Weiters wird versucht akzeptable Bereiche der genannten Parameter in Kapitel 0 („Empfehlungen zur Auswahl und Beurteilung von Anlagen“) zu diskutieren.

4.1 Kategorisierung: Umluftgerät und Lüftungsanlage

Umluftgeräte bezeichnen in Räumen installierte RLT-Anlagen bei denen keine Luft von außen dem Raum zu- bzw. abgeführt werden kann. Die Luft wird von derartigen Geräten angesaugt, gereinigt, und wieder an den Raum abgegeben. Eine Lüftungsanlage hingegen ist ein in ein Gebäude stationär installiertes lufttechnisches System zumindest zum Teil mit Außenluftversorgung.

4.2 Leistungsfähigkeit: Luftvolumenstrom und Luftwechselrate

Der Luftvolumenstrom ist die Menge an Luft die je Zeiteinheit (d.h., m³ Luft je Stunde) beim Betrieb der RLT-Anlage mit einem neuwertigen Filter dem Raum zugeführt wird. Multipliziert man diesen Luftvolumenstrom mit der Abscheideeffizienz für eine bestimmte Gruppe an Partikeln (z.B. Viren mit einer bestimmten Größe), so kann der tatsächlich gereinigte Luftvolumenstrom berechnet werden, der dem Raum zugeführt wird. Dieser Luftstrom wird häufig auch als CADR-Wert (Clean Air Delivery Rate, d.h., „gefilterter Luftvolumenstrom“) bezeichnet, wobei auch die Lüftungswirksamkeit zu berücksichtigen ist (12, 13). Der gefilterte Luftvolumenstrom ist ein gutes Maß für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit eines Luftreinigers, da diese Größe direkt in die Dimensionierung einer RLT-Anlage einfließt. Nachdem die Abscheideeffizienz von der Partikelgröße abhängt, ist auch der gefilterte Luftvolumenstrom bzw. der CADR-Wert von der Partikelgröße abhängig.

Der Luftvolumenstrom sollte am Gerät einstellbar sein (zumindest in zwei Stufen: leiser Betrieb bei reduziertem Durchsatz, sowie Spülbetrieb bei maximalem Durchsatz), da er die Schallemission entscheidend beeinflusst.

Die Luftwechselrate (angegeben in [1/h]) gibt an wie oft das Luftvolumen in einem Raum ausgetauscht bzw. „ausgewechselt“ wird. Dabei sollte die Außenluft- und die Umluftwechselrate unterschieden werden, da nur Erstere maßgeblich für die lebensnotwendige Abfuhr von Kohlendioxid ist. Die Luftwechselrate ist nur ein relativ grobes Maß für die Dimensionierung einer RLT-Anlage, da sie die Belegung eines Raumes mit

Personen und die Belastung der Luft durch freigesetzte Partikel und Viren nicht vollständig erfasst.

4.3 Abscheideeffizienz: Filterklasse und real vorhandene Abscheideeffizienz

Die Filterklasse gibt an, welche Abscheideeffizienz für Partikel mit unterschiedlicher Größe unter genormten Bedingung erreicht wird, und erlaubt daher einen einfachen Vergleich zwischen unterschiedlichen Produkten. Die Abscheideeffizienz ist definiert als der Anteil an Partikel mit einer gewissen Größe der vom Filter zurückgehalten wird.

Die real vorhandene Abscheideeffizienz für eine bestimmte partikuläre Verunreinigung im Betrieb ergibt sich aus dem eingestellten Luftvolumenstrom, sowie zu einem geringeren Grad aus der Verschmutzung des Filters. Es ist deshalb sinnvoll die Abscheideeffizienz (alternativ zur Verwendung einer Norm) direkt im Betrieb für eine bestimmte Gruppe an Partikeln (z.B. Viren) zu messen. Dies gelingt z.B. durch einen Nachweis der Abscheidung von replikationsfähigen Viren, wie in Grün et al. (14) vorgeschlagen. Als Hauptfilter werden High Efficiency Particulate Air (HEPA) Filter mit einer Klassifizierung H13 oder höher (geprüft nach DIN 1822) empfohlen. Eine "Überfiltrierung" durch die Verwendung von Ultra Low Penetration Air (ULPA) Filter ist jedoch nicht notwendig und wissenschaftlich nicht rechtfertigbar. Weiters werden Filter, bei denen ein direkter Nachweis einer sehr hohen Abscheideeffizienz von Viren ("virale Abscheideeffizienz") durch eine unabhängige Zertifizierungsstelle erbracht wurde, empfohlen. Aufgrund der noch nicht standardisierten Bewertung der viralen Effizienz von Filtern sollte als „sehr hohe“ virale Effizienz eine tatsächlich gemessene Virenabscheidung (nicht Partikelabscheidung!) von zumindest 95% nachgewiesen werden.

Bei Hauptfiltern mit geringerer Abscheideeffizienz muss zum Erreichen eines bestimmten gefilterten Luftvolumenstroms mehr Luft durch die Anlage umgewälzt werden. Dies kann zu Komfortverlusten (z.B. Zugerscheinung) oder größeren Anlagen führen, sodass das Beiziehen eines Experten empfohlen wird der die Gesamtsituation beurteilt.

Bei allen RLT-Anlagen sollten die vom Hersteller verwendeten Filter verwendet werden, bzw. sorgfältig und absolut dicht eingesetzt werden. Beim Nach- oder Umrüsten von Lüftungsanlagen wird eine korrekte Dimensionierung durch eine Fachfirma stark empfohlen, da der Druckverlust des Filters zum verbauten Ventilator der Anlage passen muss. Auch hier sind ein dichter Einbau der Filter und das Verhindern einer möglichen Bypassströmung von höchster Wichtigkeit.

4.4 Energieeffizienz: Luftvolumenstrom je Watt

In Anlehnung an die Effizienzbeurteilung im angloamerikanischen Raum (15) wird eine Bewertung auf Basis des je Watt realisierten gefilterten Luftvolumenstromes (d.h., [m³/h/W]) empfohlen. Typische Werte reichen von 3.5 bis 13 [m³/h/W].

4.5 Dimensionierung: notwendiger Durchsatz und Risiko

Als Faustregeln sollte man von einem Luftvolumenstrom von 36 bis 60 m³/h/Person ausgehen, der in Summe einem Raum zugeführt wird (14, 16). Ist bereits eine Lüftungsanlage vorhanden, so sollte zumindestens die Differenz zwischen dieser Menge und der bereits vorhandenen Luftmenge (z.B. durch Lüften) durch eine RLT-Anlage als gefilterter Luftvolumenstrom zugeführt werden. Diese Faustregel liefert jedoch nur eine grobe Abschätzung, da Einflüsse wie (i) die Aktivität der Personen im Raum, (ii) das Alter, (iii) die räumlichen Gegebenheiten (z.B. die Form des Raumes, oder der Aufstellungsort eines mobilen Umluftgerätes), oder (iv) das Tragen einer Maske nicht berücksichtigt wird.

Vorzuziehen ist deshalb eine risikobasierte Dimensionierung (z.B. mit corona-rechner.at; eine Übersicht befindet sich in Müller et al. (13)), bei der viele der vorher genannten Einflüsse zumindest approximativ eingerechnet werden können.

4.6 Räumliche Gegebenheiten: Luftverteilung im Raum

In Bezug auf die Luftverteilung im Raum sollte es möglichst keine Unterschiede in der Partikelkonzentration an verschiedenen Orten im Raum geben. Der zugehörige technische Parameter wird als Lüftungswirksamkeit bezeichnet (13), und kann aus der Partikelkonzentration am Absaugungsort (d.h., dem Austrittsort der Luft aus dem Raum) und jener im Aufenthaltsbereich berechnet werden. Bei einer Kurzschlussströmung wäre die Lüftungswirksamkeit null, bei einem perfekt durchmischten Raum exakt eins.

Zur Sicherstellung einer hohen Lüftungswirksamkeit ist die Besichtigung durch einen Fachmann vor Ort entscheidend. Dieser stellt sicher, dass essentielle Grundregeln (z.B., der Abstände der RLT-Anlage zu Wänden und Hindernissen, Zugänglichkeit, Positionierung der Absaugung möglichst in der Nähe von potentiellen Emittlern) eingehalten werden. Der Betreiber muss in weiterer Folge die Einhaltung dieser Regeln sicherstellen. Für große Räume (z.B. Veranstaltungen mit erhöhtem Risiko), oder sehr verwinkelten Raumgeometrien können physikalische Tests, aber auch Computersimulationen eingesetzt werden um die Lüftungswirksamkeit zu maximieren.

4.7 Welche zusätzlichen "Features" braucht man?

Unbedingt ist der Einsatz eines Vorfilters zu empfehlen, da dieser die Lebensdauer des Hauptfilters (meist wesentlich teurer als der Vorfilter) erhöht. Einen Zusatznutzen in Bezug auf Gerüche bieten AktivkohlfILTER; diese spielen jedoch für die Partikelabscheidung keine Rolle. Eine Regelung der RLT-Anlage über digitale Kanäle (z.B. Webservices) kann helfen um den Energieverbrauch zu senken.

Eher nicht empfohlen wird der Einsatz von Partikelsensoren zur automatischen Luftmengenregelung einer RLT-Anlage. Der Grund hierfür ist dass die derzeit verfügbaren Sensoren keine Viren detektieren können, und die Konzentration aktiver Viren und inaktiver Partikel in der Raumluft zueinander nicht proportional ist.

4.8 Welche unerwünschten Phänomene können auftreten?

Die Schallemission ist die wesentlichste Nebenwirkung von RLT-Anlagen, und sollte daher bei unterschiedlichen Luftvolumenströmen angegeben werden. Eine Empfehlung für einen Schall-Schwellwert (in Dezibel, dB(A)) kann nicht gegeben werden, da hier das subjektive Empfinden besonders wichtig ist.

Zugerscheinungen treten bei Luftgeschwindigkeiten größer als 0.3 m/s auf (14), und können durch eine geschickte Positionierung und angepasstem Betrieb der RLT-Anlagen minimiert werden.

5 EMPFEHLUNGEN ZUR AUSWAHL UND BEURTEILUNG VON ANLAGEN

Unterscheidungsmerkmale von Raumlufotechnischen Anlagen (RLT) – Checkliste zu TCO

Tabelle 1: Auswahlkriterien für eine RLT-Anlage

<hr/> Anwendungsbereich	Welche Erwartungen werden an die RLT-Anlage gestellt? Welche Hauptfunktion der Abscheidung und zusätzliche mögliche Optionen soll sie übernehmen? <ul style="list-style-type: none">○ <i>Viren/Bakterien</i>○ <i>Pollen</i>○ <i>Feinstaub</i>○ <i>Schadstoffe</i>○ <i>Gerüche</i>○ <i>Frischlufversorgung</i>○ <i>Be-/Entfeuchten</i>○ <i>Kühlen/Heizen</i>○ <i>Duftstoffe verbreiten</i>
<hr/> Raumbelastung	Welche, wie viele und wie lange gibt es Kontaminationen im Raum?
<hr/>	Was für Einrichtungsgegenstände stehen im Raum?

Räumliche
Gegebenheiten







Wo wäre strömungstechnisch und platztechnisch der ideale Platz für die Zu- u. Abluft?

Tabelle 2: Beurteilungskriterien für eine RLТ-Anlage

Arbeitsprinzip	Was für ein Abscheideverfahren verwendet die Anlage? Mech. Filtration, Inaktivierung (UV-C, Plasma,...)
Luftvolumenstrom	Tatsächlich abgegebene Luftmenge mit eingebauten unbeladenen Filtern (m ³ /h). Mit dieser Luftleistungsangabe kann die Luftwechselzahl im Raum errechnet werden.
Lärmbelastung	Welche Lärmbelastung ist für die geplante Nutzung des Raumes zumutbar? (dB(A))
Anschaffungspreis	Preis der Anlage inklusiv Lieferung, Montage und Inbetriebnahme.
Betriebskosten	Betriebskosten inkludieren Ersatzfilter, Stromkosten, Reinigung und Wartung
Servicemöglichkeit	Verfügbarkeit von Ersatzteile (Ersatzfilter, Gebläse, Display) und Servicetechniker (Gewährleistungseinhaltung)
Ausführung des Gerätes	Passt die Größe, Mobilität und das Design des Gerätes zum geplanten Aufstellort?
Abscheideleistung	

SILICONALPS

Tabelle 3: Unterscheidungsmerkmale von Raumluftechnischen Anlagen (RLT)

		Umluftgeräte				Lüftungsanlagen	
		Tischgeräte	mobile Umluftgeräte	Stand-Umluftgeräte	Split/Monoblock u mobile Klimageräte	Dezentrale	Zentrale
Symbolbild							
Beschreibung		kleine handliche Geräte, teilweise akkubetrieben, verschieden Filterklassen möglich, typisch auch Geruchsabsorbierung und Duftpatronen	mobil (fahrbar) im Raum positionierbar, Strömungsprinzip auf gute Durchmischung ausgelegt, Industriefilter eingesetzt	fix im Raum positioniert, sehr hohe Luftmengen, Strömung auch im Deckenbereich, Industriefilter eingesetzt,	Raumkühlgeräte mit Aussenkühleinheit (Wärmepumpenprinzip). Ausgelegt zur Kühlung, heizen auch möglich. Luftfiltrierung zumeist mit G4 Filter	Lokale Lösung für Räume bzw Bereiche. System mit od ohne WR. Kann auch nachgerüstet werden.	Ein zentrales Lüftungsgerät in der Technizentrale für das ganze Gebäude, Lüftungskanäle geführt in die einzelnen Etagen bzw Räume
Positionierung		Am Tisch, nahe der Emissionsquelle oder des Nutzers	Am Boden, Strömungstechnisch auf die Personen und Raumgeometrien abgestimmt	Am Boden im Randbereich des Raumes, zumeist Ansaugung von unten und Ausblasung über die Oberseite	Oberer Wandbereich, hohe Wurfweite der Ausblasung	Luftein- u Auslässe verteilt im Raum, meißt an der Decke mit guter Durchströmung des gesamten Raumes	Luftein- u Auslässe verteilt im Raum, meißt an der Decke mit guter Durchströmung des gesamten Raumes
Funktionen	Aussenluftversorgung	NEIN	NEIN	NEIN	bedingt möglich	JA	JA
	Befeuchten	NEIN	NEIN	NEIN	NEIN	bedingt möglich	JA
	Entfeuchten	NEIN	NEIN	NEIN	bedingt möglich	bedingt möglich	JA
	Heizen	NEIN	NEIN	NEIN	JA	bedingt möglich	JA
	Kühlen	NEIN	NEIN	NEIN	JA	bedingt möglich	JA
Abscheidung von	Feinstaub	bedingt möglich	JA	JA	bedingt möglich	JA	JA
	Viren/Bakterien/Sporen	bedingt möglich	JA	JA	bedingt möglich	bedingt möglich	JA
	Gerüche	bedingt möglich	bedingt möglich	bedingt möglich	NEIN	bedingt möglich	JA
Technische Daten	max. Luftvolumenstrom (m3/h)	<150	150-1500	1500-3000	500-1000	500-5000	>5000
	Gewicht (kg)	<2	15-60	60-300	10	50-500	>1000
	Leistungsaufnahme (W)	<20	<200	<500	0,45W/(m3/h)	0,45W/(m3/h)	0,45W/(m3/h)
	Wirkungsbereich (Richtwerte in Meter im Umkreis)	0,5	0,5 bis 5	5 bis 15	ganzer Raum	ganzer Raum	ganzer Raum
Zusatzkosten Virenfiltration	Anschaffungskosten (€ inkl. Lieferung, Montage u. Inbetriebnahme)	sehr gering	gering	moderat	gering	hoch	Neuinvestition sehr hoch, Filternachrüstung moderat
	Betriebskosten (€ inkl. Strom)	sehr gering	gering	moderat	moderat	gering	moderat
	Wartungskosten (€ inkl. Ersatzfilter, Reinigung, Service)	gering	gering	moderat	-	moderat	moderat
Vorteile		Kostengünstig	punktuell positionierbar, mobil, hochwertige Filter, einfachst nachrüstbar	hohe Luftleistung (LW), nachrüstbar, hochwertige Filter		Aussenluftanteil, Wärmerückgewinnung	Leise, Wärmerückgewinnung, Aussenluft regulierbar
Sonstiges	Bauliche Maßnahmen erforderlich	NEIN	NEIN	NEIN	JA	JA	JA
	Genehmigungspflichtig	NEIN	NEIN	NEIN	bedingt	JA	JA
	Realisierungszeit	sehr schnell	sehr schnell	schnell	moderat	moderat	lange

6 EINSCHULUNG UND SENSIBILISIERUNG FÜR DEN UMGANG

Anleitung für Filteraustausch

Luftfilter Geräte werden uns in Zukunft öfters begegnen. Daher haben wir uns als Expertenforum um eine einfache Anleitung zum Filterwechsel bemüht.

SCHRITT	MASSNAME
Einführung	<ul style="list-style-type: none"> • Bitte halten Sie sich immer an die Bedienungsanleitung des Herstellers und verwenden das Luftfiltergerät nur für die in der Bedienungsanleitung genannten Einsatz-Bedingungen. • Lesen Sie dieses Handbuch sorgfältig durch und bewahren Sie es sicher auf. • HEPA Filter leisten einen wesentlichen Beitrag zur Gesundheit. Um die Leistungsfähigkeit Ihres Gerätes weiterhin sicherzustellen, empfehlen wir Ihnen den Wechsel desselben von einer qualifizierten Person durch führen zu lassen. • Stellen Sie sicher, dass der Luftreiniger richtig installiert und platziert ist (sicherer Stand, Abstand zur Wand und gute Durchlüftung des Raumes) (siehe Kapitel 7 Qualifizieren von Anlagen). • Vor der ersten Inbetriebnahme muss die Filterverpackung entfernt werden. • Vor dem Öffnen des Gerätes verwenden Sie geeignete PSA (Persönliche Schutzausrüstung). Dies sind Mund-Nasen-Schutz der Klasse FFP2 (oder höherwertig) und Einmal-Handschuhe. Legen Sie einen Abfallsack bereit, um den gebrauchten Filter aufzunehmen.
1	<ul style="list-style-type: none"> • Vor der Reinigung oder sonstigen Wartung muss das Gerät vom Versorgungsnetz getrennt werden. • Öffnen Sie die Filterabdeckung laut Bedienungsanleitung. Entnehmen Sie den Vorfilter, den HEPA Filter und falls vorhanden den Aktivkohlefilter. Die Filterwechselintervalle entnehmen Sie bitte der Bedienungsanleitung*. In der Regel ist der Vorfilter öfters zu wechseln und verlängert durch Aufnahme von Grobschmutz die Einsatzzeit des HEPA Filters. • Die gebrauchten Filter können im bereitgestellten Abfallsack abgelegt werden. Von gebrauchten Filtern geht in der Regel keine Gefahr aus, da im Filter gehaltene Partikel bei ordnungsgemäßem Umgang nicht mehr aus dem Filter gelöst werden können.
2	<ul style="list-style-type: none"> • Entnehmen Sie die neuen Filter vorsichtig aus der Verpackung und positionieren diese in den dafür vorgesehen Arretierungen (lt. Bedienungsanleitung). Filter haben meist eine Kennzeichnung der Luftströmungs-Richtung, bitte diese unbedingt beachten. • Schließen Sie die Filterabdeckung lt. der Bedienungsanleitung. • Führen Sie einen Probelauf durch. Sollten ungewöhnliche Geräusche auftreten, kontrollieren Sie den korrekten Sitz der Filterabdeckung und ob alle Verpackungen korrekt entfernt wurden. • Desinfizieren Sie Ihre Handschuhe bevor Sie die Mund-Nasen-Schutzmaske abnehmen, diese können Sie zu den gebrauchten Filtern in den Abfallsack geben. Danach ziehen Sie die Handschuhe aus und geben diese ebenfalls in den Abfallsack. Den Abfallsack verschließen Sie dicht und entsorgen diesen nach Angabe des Herstellers.
Entsorgung	<p>Bitte behandeln Sie die ersetzten Filter als nicht brennbaren Abfall, von den Filtern geht keine Gefahr der Infektion aus, da Viren auf der Filteroberfläche bei korrekter Anwendung inaktiviert wurden. Trotzdem empfehlen wir eine vorsichtige und umsichtige Handhabung.</p> <ul style="list-style-type: none"> • *Abhängig von der realen Nutzungsumgebung und den verschiedenen Nutzungsmethoden werden die Intervalle für den Filtertausch unterschiedlich ausfallen.
Allgemeines	<ul style="list-style-type: none"> • Geräte, die offensichtlich beschädigt sind, dürfen nicht betrieben werden. • Lassen Sie keine flüchtigen oder brennbaren Stoffe in das Gerät eindringen. (Es könnte sonst zu einem Brandunfall führen).

- *Betrifft Geräte mit **UV-C Bestrahlung***: Eine unbeabsichtigte Verwendung des Geräts oder eine Beschädigung des Gehäuses kann zum Austritt gefährlicher UV-C-Strahlung führen. UV-C-Strahlung kann, selbst in geringen Dosen, Augen und Haut schädigen.
- *Betrifft Geräte mit der Option **Ozon***: Ozon kann in Verbindung mit Zigarettenrauch schädliche Zerfallsprodukte erzeugen. Sie sollten sich dann keinesfalls zur gleichen Zeit im Raum aufhalten. Bitte warten sie mindestens eine halbe Stunde nach Benutzung des Ozons bis die Zerfallsprodukte sich endgültig aufgelöst haben.

7 QUALIFIZIERUNG

Um die Wirksamkeit von getroffenen Maßnahmen auch richtig beurteilen oder bewerten zu können, ist eine Qualifizierung einerseits von RLT-Anlagen, aber auch eine Bewertung von Innenräumen zu empfehlen.

7.1 Qualifizierung von RLT-Anlagen

Bei der Zertifizierung von RLT-Anlagen geht es darum, die Anlagenparameter zu bestimmen, unter anderem kann dabei die Wirksamkeit von Filtersystemen auf die Abscheidung von Aerosolen bzw. Viren geprüft werden. Hierfür gibt es mehrere Möglichkeiten:

7.1.1 Bestimmung des gefilterten Luftvolumenstroms in einem Testraum („CADR“-Methode)

Für die direkte Bestimmung des gefilterten Luftvolumenstroms („Clean Air Delivery Rate“, CADR) wird in der amerikanischen Norm AHAM AC-1-2013 (Association of Home Appliance Manufacturer, AHAM) ein Testraum mit ca. 28.5 m³ Volumen vorgeschlagen (siehe dazu 4. Techn. Parameter Pkt. Leistungsnachweis). Diese Norm wurde für mobile Umluftgeräte entwickelt, kann jedoch auch sinngemäß auf andere RLT-Anlagen angewandt werden. Dabei wird im Testraum eine definierte partikuläre Verunreinigung verursacht, und die natürliche Abnahme (ohne Einwirken der RLT-Anlage) dieser Verunreinigung über die Zeit gemessen („natural decay“). Anschließend wird die Abnahme der Verunreinigung während dem Einsatz einer RLT-Anlage (bei maximalem Luftdurchsatz) bestimmt. Unter Berücksichtigung der natürlichen Abnahme der Verunreinigung kann auf Basis dieser Daten die CADR berechnet werden. Die Bestimmung der CADR sollte in einem unabhängigen Labor durchgeführt werden. Weiters sollten idealer Weise mehrere Betriebspunkte (d.h., neben dem maximalen Luftdurchsatz auch bei reduzierten Luftdurchsätzen) berücksichtigt werden um die CADR mit der Schallemission der RLT-Anlage zu korrelieren.

7.1.2 Messtechnische Überprüfung

Jede RLT-Anlage kann nach den aktuellen Normen und Standards auch auf Wirksamkeit und Funktion geprüft werden. Folgende Messungen können dabei (ohne Anspruch auf Vollständigkeit) durchgeführt werden:

- Luftmengenmessung (tatsächlich ausgeblasenes Luftvolumen)
- Luftgeschwindigkeitsmessung (Behaglichkeitskriterien)
- Dichtsitz- u. Lecktestmessung der Filter (EN ISO 14644)
- Differenzdruckmessung des Filtersystems
- Abscheidegradbestimmung
- Strömungsvisualisierung
- Tracergasmessung
- Schallpegelmessung
- Partikelmessung

7.2 Bewertung von Innenräumen

7.2.1 Vereinfachte Bewertung aufgrund von Normen, Regeln der Technik, und Erkenntnissen aus der Literatur

Auf Basis bewährter Normen (z.B. der EN 16798-1) und Empfehlungen (14, 16) kann eine vereinfachte Bewertung durchgeführt werden. Hierzu wird die Berücksichtigung aktueller Berichte des deutschen Fachverbandes Gebäude-Klima e.V. in Bezug auf CoV-SARS2 empfohlen (17). Eine derartige vereinfachte Bewertung passiert meist auf einem notwendigen gereinigten Luftvolumenstrom pro Person und einer einfachen Berechnung. Die Berücksichtigung anrechenbarer Außenluftvolumenströme (z.B. durch Lüften) kann dabei z.B. durch Erfahrungswerte für den Zusammenhang zwischen Außenluftvolumenstrom und maximalem CO₂-Gehalt in Räumen erfolgen.

7.2.2 Corona-Rechner

So-genannte „Corona-Rechner“ basieren auf komplexeren Berechnungsverfahren als vereinfachte Bewertungen, und werden meist über eine Tabellenkalkulation oder eine Website durchgeführt. Im Vorfeld, bevor noch eine Verbesserungsmaßnahme in Angriff genommen wird, können derartige Rechner (z.B. der österreichische Corona-Rechner „Vir-SIM“ der auf www.corona-rechner.at verfügbar ist) Aufschluss darüber geben, wie sich die aktuelle Situation darstellt und welche Maßnahmen zu Verbesserungen (d.h., zu einer Risikoreduktion) führen könnten. Viele Faktoren, die im Rechner eingegeben werden müssen, sind unveränderbare Parameter (z.B. Raumgröße, Zustand der Fenster, usw). Jedoch können an mehreren anderen Parametern der Berechnung Veränderungen vorgenommen werden die das Ergebnis (sprich Risiko) maßgeblich zum Positiven verändern:

- Reduzierung der Anzahl der Personen
- Erhöhung der Luftvolumina an der Lüftungsanlage bei mechanischer Raumlüftung
- Verstärkte Fensterlüftung (z.B.in Intervallen geöffnet)
- Raumluftreiniger (zusätzliche Geräte im Raum positionieren)
- Mund-Nasen-Schutz
- Nutzen des Raumes

Eine vereinfachte Bewertung und Corona-Rechner haben den Vorteil dass diese mit sehr geringen Kosten verbunden sind und schnell durchgeführt werden können. Ein wesentlicher Nachteil ist jedoch, dass die Vermischung der Luft im Raum stark idealisiert wird, und somit die Lüftungseffizienz nicht beurteilt werden kann.

7.2.3 Computersimulation der Strömung (CFD-Simulationen)

CFD-Simulationen liefern Detailinformationen über die Strömungs-, Temperatur- und Partikelverteilung in Innenräumen, und eignen sich speziell für Untersuchungen im Vorfeld von Veranstaltung, und für die Entwicklung von RLT-Anlagen. Mit derartigen Simulationen kann die Ausbreitung der Aerosole im Raum sichtbar gemacht werden, und somit mögliche Übertragungswege visualisiert werden.

Der Vorteil von CFD-Simulationen sind vergleichsweise moderate Kosten, eine sehr gute Quantifizierung der Vermischung der Luft im Raum, sowie die Möglichkeit Extremsituationen (z.B. Maximalbelegung des Raumes mit Personen) zu untersuchen. Nachteile sind dass häufig geometrische Vereinfachungen getroffen werden müssen, und Annahmen über Randbedingungen (z.B. Ort der Freisetzung von Aerosolen, Wandtemperaturen, Wärmeeintrag durch Außenlicht etc.) notwendig sind. CFD-Simulationen bedingen dass ein geometrisches Modell der Räumlichkeiten digital vorliegt, und sind vergleichsweise rechenzeitaufwändig (mehrere Stunden bis ca. eine Woche Berechnungszeit je nach Detaillierungsgrad). CFD-Simulationen basieren weitergehend auf mit Experimenten abgeglichenen Berechnungsmodellen (d.h., sind experimentell validiert), jedoch ergibt sich für einige Details (z.B. die Ablagerung und Resuspendierung von größeren Partikeln) noch ein Bedarf an weiteren Validierungsstudien.

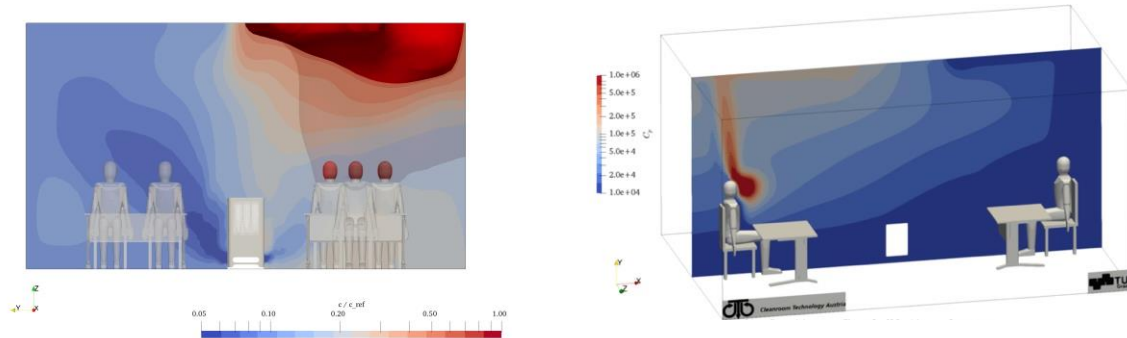


Abbildung 9: Beispiele für CFD-Simulationen der Partikel ausbreitung in einem Raum (TU Graz & Cleanroom Technology Austria (CTA)).

7.2.4 Laborversuche (Mock Up Versuche)

Laborversuche unter definierten Bedingungen (Temperaturen, Geometrie, Luftfeuchte) sind vergleichsweise aufwändige Unterfangen um die Ausbreitung von Aerosolen in Innenräumen zu untersuchen. Sie dienen deshalb primär der Entwicklung der Versuchsmethodik für Realversuche, sowie zur Validierung und Absicherung von Computersimulationen.

7.2.5 Realversuche (Belastungstest)

Es ist prinzipiell für jeden Innenraum möglich (zb. Schulklassen, Seminarräume, Messehallen, Züge, usw.) eine realitätsnahe Messung einer Virenausbreitung zu experimentell zu simulieren und zu messen. Dabei sollten im Raum mehrere beheizte Dummies möglichst realitätsnah positioniert werden um den Energieeintrag der Person nachzubilden. Über einen Dummie sollte in Mundhöhe eine Prüfsubstanz (d.h., ein Tracergas wie z.B. CO₂, oder ein spezielles Prüfaerosol) an den Raum abgegeben werden. Zeitgleich wird über mehrere Messstellen im Raum die ankommende Konzentration der Prüfsubstanz über die Zeit gemessen. Über das Verhältnis von abgegebener und gemessener Konzentration kann so ein Rückschluss des Risikos an einzelnen Positionen im Raum bestimmt werden.



Abbildung 10: Beispiele für Realversuche (IBO Innenraumanalytik/Cleanroom Technology Austria (CTA))

7.2.6 Feldversuche

Messungen einfach erfassbarer Substanzen in der Luft (z.B. die CO₂-Konzentration) sind meist auch während einer Veranstaltung mit Realpersonen möglich. Derartige Messungen liefern wertvolle Informationen für den Abgleich mit Realversuchen oder Strömungssimulationen, und können über dies auch für die teilnehmenden Personen sichtbar gemacht werden (z.B. über eine „CO₂-Ampel“).

7.3 Bewertung der Ergebnisse

Die oben genannten Methoden bedürfen einer korrekten Anwendung um valide Aussagen über die Luftqualität bzw. das Risiko in einem Innenraum ableiten zu können. Eine konkrete Bewertung sollte deshalb durch einen unabhängigen Sachverständigen durchgeführt werden, und ist für größere Innenräume (z.B. Einkaufszentren, etc.) durch derartige Personen meist unverzichtbar.

Die Möglichkeit dass Betreiber selbst im Rahmen eines Nachweisverfahrens, z.B. auf Basis einer vereinfachten Bewertung (siehe Methode in Kapitel 7.2.1) die Eignung eines Raumes selbst belegen ist denkbar, und wurde in Deutschland vorgeschlagen (17).

LITERATURVERZEICHNIS

- (1) Air pollution, SARS-CoV-2 transmission, and COVID-19 outcomes: A state-of-the-science review of a rapidly evolving research area; Bhaskar A, Chandra J, Braun, Cellini, Dominici Harvard Univ., 2020; www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.08.16.20175901v1
- (2) M. Sikora et al. Flexible and protected – new findings on SARS-CoV-2 protein shed light on virus's ability to infect cells, Press release of the EMBL, <https://www.embl.org/news/science/flexible-corona/>
- (2) J. Li et al, A Hydrophobic-Interaction-Based Mechanism Triggers Docking between the SARS-CoV-2 Spike and Angiotensin-Converting Enzyme 2 . 2020, 4, 1-8. <https://doi.org/10.1002/gch2.202000067>
- (3) M. H. Adams, Surface Inactivation of Bacterial Viruses and Proteins. *J. Gen. Physiol.* **1948**, 31, 417-432; doi: [10.1085/jgp.31.5.417](https://doi.org/10.1085/jgp.31.5.417)
- (4) Workshop-Proceedings der National Academies of Sciences, Engineering and Medicine (October **2020**); <https://doi.org/10.17226/25958>
- (5) Stellungnahme des Arbeitsausschusses Feinstäube (AAF) von DECHEMA/Process Net, GDCh und KRdL
- (6) R. Zhang et al., Identifying airborne transmission as the dominant route for the spread of COVID-19, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **2020**, 117, 14857-14863; <https://doi.org/10.1073/pnas.2009637117>
- (7) K. Lin et al., Humidity-Dependent Decay of Viruses, but Not Bacteria, in Aerosols and Droplets Follows Disinfection Kinetics, *Environ. Sci. Technol.* **2020**, 54, 1024–1032; <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b04959>
- (8) L. C. Marr et al., Mechanisms by which ambient humidity may affect viruses in aerosols, *Appl. Environ. Microbiol.* **2012**, 19, 6781-6788; <https://aem.asm.org/content/78/19/6781>
- (9) E. Joonaki et al., Surface Chemistry Can Unlock Drivers of Surface Stability of SARS-CoV-2 in Variety of Environmental Conditions, *Chem* **2020**, 6, 2135-2146; <https://doi.org/10.1016/j.chempr.2020.08.001>
- (10) V. J. Munster et al., Aerosol and surface stability of HCoV-19 (SARS-CoV-2) compared to SARS-CoV-1, *N. Engl. J. Med.* **2020**, 382, 1564-1567; <https://doi.org/10.1056/NEJMc2004973>
- (11) F. Dominici et al., Air pollution and COVID-19 mortality in the United States: Strengths and limitations of an ecological regression analysis, *Sci. Adv.* **2020**, 6; <https://doi.org/10.1126/sciadv.abd4049>

(12) P. Tappler, H. P. Hutter, F. Twrdik, C. Zutz, P. Schindler; Positionspapier zu Lüftungsunterstützenden Maßnahmen durch Einsatz von Luftreinigern zur Covid-19 Prävention und Einbringung von Wirkstoffen in die Innenraumluft. Positionspapier des Arbeitskreises Innenraumluft, Stand: 23. März 2021, Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Wien.

(13) D. Müller, K. Rewitz, D. Derwein, T. M. Burgholz, M. Schweiker, J. Bardey, P. Tappler; Abschätzung des Infektionsrisikos durch aerosolgebundene Viren in belüfteten Räumen, White Paper, RWTH-EBC 2020-005, Aachen, 2020, DOI: 10.18154/RWTH-2020-11340

(14) G. Grün, S. Johann, A. Burdack-Freitag, M. Buschhaus, P. Brandstät, J. Rohlfing; Reduktion des Infektionsrisikos in Räumlichkeiten mit Personenverkehr - Anforderungen an die Raumluftreinigung für Hygienekonzepte, Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP (https://www.ibp.fraunhofer.de/content/dam/ibp/ibp-neu/de/dokumente/publikationen/uhs/fraunhofer-ibp-hy4hoga_anforderungen-raumluftreinigung-hygienekonzepte_2021-03-12.pdf)

(15) N.N.; ENERGY STAR® Room Air Cleaners Version 2.0 Specification Discussion Guide, U.S. Environmental Protection Agency (EPA); <https://www.energystar.gov/sites/default/files/ENERGY%20STAR%20Version%202.0%20Room%20Air%20Cleaners%20Discussion%20Guide.pdf>

(16) N.N.; Roadmap to improve and ensure good indoor ventilation in the context of COVID-19, World Health Organization 2021 (<https://www.who.int/publications/i/item/9789240021280>).

(17) N.N.; Anforderungen an Lüftung und Luftreinigung zur Reduktion des Infektionsrisikos über den Luftweg, FGK-Status-Report 52 – RLT und Covid-19, Fachverband Gebäude-Klima e. V. | Nr. 372 – 01/2021.