

Keim- und Staubpartikelreduktion im Atmereich an Arbeitsplätzen durch Luftschleier-Zuluftelemente der Schulz & Berger GmbH

Gutachten Nr. 0720/11

Erstellt im Auftrag der
Schulz & Berger
Luft- und Verfahrenstechnik GmbH
Zschernitscher Straße 74
D-04600 Altenburg

10. Juli 2020



Labor für Arbeits- und Umwelthygiene
Dr. rer. nat. Thomas Missel
Tiefe Trift 6
D-30916 Isernhagen / Hannover
Telefon 05139 / 959 9259
und 0172 / 515 00 42
Fax 05139 / 982 4506

INHALTSVERZEICHNIS

1	ANLASS UND AUFGABENSTELLUNG	1
2	GRUNDLAGEN	3
2.1	Hintergrund der Entwicklung	3
2.2	Wissenschaftliche Aspekte der Prüfungen	4
2.3	Physikalische Eckpunkte der Austestung	6
2.4	Erwartete Ergebnisse des Versuchs	7
3	DURCHFÜHRUNG DER UNTERSUCHUNGEN	8
3.1	Luftkeimmessungen mit dem Impaktor MBASS30	8
3.2	Kultivierung der Mikroorganismen	9
3.3	Optische Staubmessung mit Partikelzählgeräten	9
3.3.1	Geräteeigenschaften	9
3.3.2	Messprinzip	9
3.3.3	Grundlegendes zur Kalibration der Staubpartikelzählgeräte	10
3.3.4	Messgeräteabgleich	10
3.3.5	Grenzen der Einsetzbarkeit / Luftfeuchtigkeit	11
3.4	Beschreibung und technische Details der Lüftungsanlage	11
3.5	Untersucher	12
4	MESSERGEBNISSE	13
4.1	Ausstoßgeschwindigkeit Querstrahl: 0,0 m/s	13
4.2	Ausstoßgeschwindigkeit Querstrahl: 5,0 m/s	14
4.3	Ausstoßgeschwindigkeit Querstrahl: 7,3 m/s	16
4.4	Ausstoßgeschwindigkeit Querstrahl: 9,8 m/s	17
4.5	Ausstoßgeschwindigkeit Querstrahl: 12,0 m/s	19
4.6	verringerte Anströmstrecke bei 12,0 m/s	20
4.7	verringerte Anströmstrecke bei 10,1 m/s	22
5	BESPRECHUNG DER MESSERGEBNISSE	24
6	ZUSAMMENFASSUNG	28

1 Anlass und Aufgabenstellung

Der Schulz & Berger Luft- und Verfahrenstechnik GmbH hat ein Belüftungssystem für ständige Arbeitsplätze zum Schutz der Beschäftigten gegen luftgetragene Viren, Bakterien und Schimmelpilze entwickelt. Das Belüftungssystem basiert auf den bewährten „Luftduschen“ der Schulz & Berger GmbH für Arbeitsplätze, die bekanntermaßen auch bei Vorherrschen einigermaßen komplizierter Luftströmungsverhältnisse, wie sie z.B. in Arbeitskabinen im Bereich der Abfallwirtschaft gegeben sind, außerordentlich stabile, verwirbelungsarme bis -freie (Laminar-) Luftströmungen generieren können. Die Schutzmaßnahmenentwicklung erfolgte vor dem Hintergrund der derzeitigen CORONA-Viruspandemie, in der von der Politik zur Verhinderung einer massenhaften Virusverbreitung u.a. das Tragen von Atemschutzmasken bei Zusammenkünften mehrerer Personen im öffentlichen Raum angeordnet wurde. Diese persönliche Schutzmaßnahme zielt eher weniger auf eine Reduzierung des Infektionsdrucks auf den Maskenträger ab, sondern ist eher als Schutzmaßnahme gegen eine Freisetzung virenkontaminierter Tröpfchen über Mund und Nase durch ggf. mit dem Virus infizierte Trägerpersonen gedacht. Als wirksamer Schutz gegen eine Virusinfektion über den Luftweg und die Aufnahme über die Lunge werden filtrierende Halbmasken mindestens der Filterklasse P2 empfohlen.

Auch Beschäftigten im Handel wurde zur Abminderung des Infektionsrisikos durch das Virus und zur Sicherstellung eines angemessenen Schutzes der Verbraucherklientel durch ggf. infektiöse Tröpfchen das konsequente Tragen von Atemschutzmasken am Arbeitsplatz auferlegt. Permanentes Tragen von Atemschutzmasken ist in hohem Maße physisch belastend für die Mitarbeiter und erschwert die wichtige Sozialkommunikation in dem sensiblen Gesellschaftsbereich der Nahrungsmittelversorgung in erheblichem Maße. Es besteht insofern ein dringender Bedarf an technischen Schutzmaßnahmen gegen Luftschadstoffe im allgemeinen und hoch infektiöse Mikroorganismen wie das CORONA-Virus im Besonderen, das persönliche Atemschutzausrüstung an Dauerarbeitsplätzen entbehrlich und körperliche und soziale Arbeiterschwernisse, die durch andauerndes Tragen von Atemschutzmasken entstehen, vermeidbar macht.

Durch die effektive Filterung der Zuluft mit heute zur Verfügung stehenden engporigen HEPA-Filtern kann ein Eintrag von Keimen über die Belüftung an den Arbeitsplatz schon jetzt weitgehend eliminiert werden. Luftturbulenzen und Verwirbelungen der keimfreien Zuluft mit ggf. mikrobiell belasteter Arbeitsplatzumgebungsluft lassen sich mit den „Luftduschen“-Belüftungssystemen der Schulz & Berger GmbH ebenfalls weitestgehend vermeiden. Allerdings kann mit den derzeit im Einsatz befindlichen Systemen nicht mit ausreichender Sicherheit verhindert werden, dass von nahe stehenden, sprechenden und ausatmenden oder hustenden oder niesenden Personen freigesetzte Mikroorganismen und kontaminierte Tröpfchen in den Luftraum am Arbeitsplatz vordringen und bei dem Mitarbeiter eine Infektion auslösen können. Zur Vermeidung des Eindringens von Mikroorganismenpartikeln und infektiösen Tröpfchen in die Arbeitsplatzatmosphäre von der Seite her und die unmittelbare Virenübertragung

von Mensch zu Mensch am Dauerarbeitsplatz dadurch wurde die „Luftdusche“ durch einen Luftschleier, der ein Vordringen luftgetragener Mikroorganismen in den Reinluftstrom im horizontalen Verlagerungsgeschehen unterbindet, erweitert.

Das Labor für Arbeits- und Umwelthygiene wurde von der Schulz & Berger GmbH beauftragt, lufthygienische Untersuchungen an einem Vorläufer des Serienprodukts durchzuführen und das Luftreinhalteverfahren hinsichtlich seiner Effizienz zu prüfen. Hierzu waren Staubpartikel- und Luftkeimmessungen zur Effizienzbeurteilung an einem Versuchsstand zu konzipieren und durchzuführen. Als Referenzgrößen wurden der Partikel- und Keimgehalt in dem atmosphärischen Milieu, das den Versuchsstand unmittelbar umgibt, bestimmt. Anhand einer Kanalvorrichtung zur Beschleunigung luftgetragener Partikel aus der Umgebung, der in rechtem Winkel zu dem Luftschleier unmittelbar vor diesem positioniert wurde, wurde u.a. das Ausstoßen schwebfähiger Partikel und Tröpfchen durch das Atmen und das Husten / Niesen einer nahe am Mitarbeiter stehenden Person simuliert. Der Versuchskonzeption zu Grunde gelegt wurden dabei die bei diesen Vorgängen zu erwarteten Luftausströmungsgeschwindigkeiten und Luftmengen (Atemzugvolumen, Vitalkapazitäten) an der Mundöffnung. Die von der Schulz & Berger GmbH bestellten Messungen, denen in diesem ersten Schritt der Nachweisführung insgesamt vororientierender Charakter beigemessen wurde, wurden am 02.07.2020 durchgeführt.

2 Grundlagen

2.1 Hintergrund der Entwicklung

In vielen Betrieben des Einzelhandels werden keine gesonderten Lufthygienemaßnahmen vorgenommen, obwohl die Problematik sowohl der Infektion von Mensch zu Mensch als auch der Verkaufsproduktkontamination über den Luftweg hinreichend bekannt ist. Wenn z.B. Frischfleischabteilungen mit raumluftechnischen Anlagen belüftet werden, wird die Zuluft gefiltert, um einen Eintrag von Mikroorganismen über die Außenluft zu verringern. Diese Maßnahme verhindert allerdings nicht die Freisetzung von Mikroorganismen durch Kunden und Mitarbeiter, die eine direkte Übertragung von Erregern zur Folge haben kann. Um dem potenziellen Risiko einer Mensch-zu-Mensch-Infektion und vermeidbaren Verkaufsprodukt- und Oberflächenkontaminationen durch Mikroorganismen entgegenzuwirken, werden in einigen Betrieben die zur Kühlung der Raumluft eingesetzten Verdampfer mit UV-C-Strahlern ausgestattet. Wird die Luft in Betriebsräumen mehrfach pro Stunde umgewälzt und an den UV-C-Strahlern vorbeigeführt, kann somit die Luftkeimzahl in der Raumluft verringert werden. Da in größeren Hallen i.d.R. eine ganze Reihe von Verdampfern eingesetzt wird, summieren sich hier die Kosten bei größeren Anlagen erheblich. Zudem kann mit dieser Technik nicht zwingend vermieden werden, dass Keime, die von Menschen ausgeatmet oder mit bakterienbesetzten Hautpartikeln an die Luft abgegeben werden, an ständige Arbeitsplätze, wie z.B. Kassen gelangen. Ein wirkungsvollerer Präventivansatz scheint diesbezüglich der Einsatz von Reinraumtechnologie zu sein.

Das technische Konzept sieht vor, mit verdichtenden keimfreien Luftwänden und sterilen Luftschleiern die Arbeitsplatzatmosphäre an ständigen Arbeitsplätzen, wie z.B. der Kasse im Handel, vor Kontamination durch Mikroorganismen aus der Raumluft und von u.U. infizierten Kunden zu schützen. Generelles Ziel des Vorhabens ist es ein Lufthygienesystem zu entwickeln, das einen möglichst keimfreien Luftraum und sterile Luftwände zwischen dem Mitarbeiter im Handel und dem Kunden bildet ohne dabei das Handling der Ware durch das Arbeitspersonal während des Einlesens der Ware auf dem Band und dem anschließenden Bezahlen zu beeinträchtigen. Dies soll durch ein spezielles Düsensystem, das in einer Halte- und Gehäuse-Vorrichtung integriert ist, erreicht werden. Das Lufthygienesystem soll somit einen möglichst gering mikrobiellen belasteten oder keimfreien Luftraum am Arbeitsplatz erzeugen und einen Partikeleintrag aus der umgebenden Raumluft in den Arbeitsbereich vermeiden und gleichzeitig den Zugriff von Mitarbeitern (Handling der Ware) erlauben. Mit einem HEPA-Luftfilter gereinigte und weitestgehend von Mikroorganismen befreite Luft wird dabei in ein Luftkanalsystem gespeist, in dem die Luft beschleunigt wird und als „Luftschleier“ austritt. Damit kann eine Luftwand erzeugt werden, die die Raumluft durchschneidet. In ersten Experimenten konnte gezeigt werden, dass das Prinzip funktioniert. Allerdings sind vor der Entwicklung des Systems im industriellen und praxistauglichen Maßstab zunächst noch ergänzende labor- und halbtechnische

Versuche notwendig, in denen die Gegebenheiten und Anforderungen der Praxis einbezogen werden. Die Marktreife der Entwicklung soll durch einen späteren Feldtest möglichst im Einzelhandel belegt werden.

2.2 Wissenschaftliche Aspekte der Prüfungen

Geprüft werden soll die Abschirmleistung eines Schulz & Berger-Zuluftelements mit Luftschleier für sitzende oder stehende Arbeitsplätze gegen u.U. bakterien- und virenkontaminierte Nies- und Hustenaerosole nahe stehender Menschen. Zur Konzeption der messtechnischen Prüfung der Schutzmaßnahme, die die erwarteten strömungs- und ausbreitungsrelevanten Bedingungen in der Praxis möglichst realitätsnah nachstellen muss, werden Informationen

1. zur Größe der vom Menschen ausgestoßenen (potenziell mikrobiell kontaminierten) Tröpfchen und festen Partikel und
2. zur Höhe der Ausstoßgeschwindigkeit der Tröpfchen und Mikroorganismenpartikel benötigt

Im Internet sind Ergebnisse von Versuchen mit einer Hustenpuppe abrufbar, bei der ein Partikelzähler direkt unter dem Mund der Puppe zeigte, dass die optischen **Durchmesser der Hustenpartikel** weitgehend im Bereich der lungengängigen Größe lagen. Der größte Teil des Virus wurde in der 1–4 µm-Aerosolfraktion (74,6% ± Standardfehler 1,99%) und der < 1 µm-Fraktion (18,5% ± Standardfehler 2,17%) gewonnen. Der Rest wurde in der Fraktion > 4 µm (7,5% ± Standardfehler 0,70%) nachgewiesen (<https://www.condair.de/medizinische-studien/uebertragung-von-grippe-viren-durch-die-luft>). Diese Ergebnisse stimmen mit den Angaben anderer Autoren überein: Nach [4] sollen infektiöse Partikel in Virus-Aerosolen durchschnittliche Durchmesser von 3 µm aufweisen.

In der Literaturquelle [2] findet sich die Angabe, dass es zur Virenübertragung durch Inhalation relativ kleiner infizierter Tröpfchen oder ihrer pathogenhaltigen festen Rückstände mit Größen von < 5–10 µm, die als Tröpfchenkerne bezeichnet werden und sich aus den kleinen Tröpfchen durch Verdunstung bilden, kommen kann. Ein Beispiel für die Tröpfchengrößenverteilung für Husten wird in der betreffenden Studie genannt. Diese zeigt eine maximale Tropfengröße von ~ 15 µm an. Die damit verbundene Absetzgeschwindigkeit beträgt 6,5 mm/ s in der für den Winter in Innenräumen typischen Umgebungsluft. Der Wolkenradius r nimmt linear mit dem Abstand s zu.

Im Hinblick auf die Ausbreitung von Husten- und Niesaerosolen ergab sich aus früheren Untersuchungen die Schlussfolgerung, dass größere Tröpfchen weiter fliegen sollten als kleinere, da sie mehr Masse und damit bei gleicher Geschwindigkeit auch mehr Impuls haben. Es sollte also länger dauern, bis sie abgebremst werden und absinken. Dabei ergaben genauere Prüfungen mit Hochleistungskameras in jüngerer Zeit ein genau umgekehrtes Bild zu bisherigen Forschungsergebnissen: Die gasförmigen Strömungen wirbeln die Tröpfchen strudelförmig umher und halten sie in

der Luft. Die schwereren Tröpfchen sinken in diesen Wirbeln schneller nach unten, die kleineren fliegen eine viel weitere Strecke. Erst wenn sich die wirbelnde Wolke so stark mit der Umgebungsluft vermischt hat, dass sie sich auflöst, endet auch der Flug für die aller kleinsten Tröpfchen (<https://www.scinexx.de/news/medizin/niesen-reicht-weiter-als-gedacht/>).

In Sachen **Ausbreitungsgeschwindigkeit** von menschlichen Nies- und Hustenwolken gibt es eine aufschlussreiche Publikation zu Versuchen mit simulierten Nies- und Hustenereignissen, die mit Hochleistungskameras zeitlich hoch aufgelöst aufgezeichnet wurden [2]. Die Ausmessung der in dieser Publikation fotografisch sichtbar gemachten Nies- und Hustenwolken im zeitlichen Verlauf ergab ungefähre Ausbreitungsgeschwindigkeiten zwischen 2 und 10 m/s, allerdings mit einer starken Tendenz zur Normalverteilung der Einzelwerte und einem mittleren Wert um 5 m/s. Unter dem Link <https://link.springer.com/article/10.1007/s00348-015-2078-4#Fig1> finden sich weitere zeitlich hoch aufgelöste Fotodokumentationen von Nies- und Hustenereignissen, die diese überschlägig visuell ermittelten Wolkenausbreitungsgeschwindigkeiten bestätigen. Die Gas-Ausstoßgeschwindigkeit soll dieser Publikation zufolge bei ungefähr 2,2 m/s und die Geschwindigkeit von Tröpfchen der Größe 160 µm bis 1.000 µm bei maximal 14 m/s liegen. Bei der tiefergehenden Internetrecherche fand sich eine weitere aussagekräftige Publikation aus jüngerer Zeit, in der eine maximale Ausbreitungsgeschwindigkeit bei einer Nieswolke von 4,5 m/s genannt wird [1]. Die maximale *sichtbare* Ausbreitungsreichweite der Nieswolke soll den Autoren zufolge 0,6 m betragen und die maximale zweidimensionale Größe der ausgestoßenen Wolke bei 0,2 m² liegen. Wesentliche Unterschiede der Luftströmungsgeschwindigkeiten beim Niesen und Husten konnten von diesen Autoren nicht festgestellt werden.

Literatur zu diesem Kapitel:

- [1] JULIAN W. TANG, ANDRE D. NICOLLE, CHRISTIAN A. KLETTNER, JOVAN PANTELIC, LIANGDE WANG, AMIN BIN SUHAIMI, ASHLYNN Y. L. TAN, GARRETT W. X. ONG, RUIKUN SU, CHANDRA SEKHAR, DAVID D. W. CHEONG, KWOK WAI THAM (2013). Airflow Dynamics of Human Jets: Sneezing and Breathing - Potential Sources of Infectious Aerosols. In: PLOS ONE, www.plosone.org, 1 April 2013, Volume 8 Issue 4 e59970
- [2] LYDIA BOUROUIBA, ELINE DEHANDSCHOEWERCKER AND JOHN W. M. BUSH (2014). Violent expiratory events: on coughing and sneezing. J. Fluid Mech. (2014), vol. 745, pp. 537–563. © Cambridge University Press 2014 doi:10.1017/jfm.2014.88
- [3] J. P. DUGUID, M.B. THE SIZE AND THE DURATION OF AIR-CARRIAGE OF RESPIRATORY DROPLETS AND DROPLET-NUCLEI. Downloaded from <https://www.cambridge.org/core>. IP address: 46.83.148.101, on 01 May 2020 at 11:31:35, subject to the Cambridge Core terms of use, available at <https://www.cambridge.org/core/terms>. <https://doi.org/10.1017/S0022172400019288>
- [4] ANALYSE DER VERBREITUNG AEROGENER VIREN ÜBER RAUMLUFTTECHNISCHE ANLAGEN UND ENTWICKLUNG VON DESINFEKTIONSMAßNAHME. Forschungsvorhaben S 770. Gefördert durch die Stiftung Industrieforschung (2009). Hrsg.: Institut für Laboratoriums- und Transfusionsmedizin, Herz- und Diabeteszentrum Nordrhein-Westfalen an der Universitätsklinik der Ruhr-Universität Bochum, Georgstraße 11, 32545 Bad Oeynhausen

2.3 Physikalische Eckpunkte der Austestung

Der Luftschleier des zu prüfenden Luftschleier-Zuluftlements wird im rechten Winkel mit beschleunigter partikelbeladener Luft beschossen. Das Partikelkollektiv in dem Versuchsaerosol umfasst den gesamten ubiquitären Partikelgrößenbereich, d.h. Partikel deutlich kleiner $1\ \mu\text{m}$ (analog solitäre Bakterien) sind ebenso in repräsentativer Zahl vorhanden wie Partikel von 1 bis $10\ \mu\text{m}$ Durchmesser (analog Schimmelpilze, Bakterien-Partikel und der Großteil der Viren) und gröbere Partikel größer $10\ \mu\text{m}$ (überwiegend mikrobiologisch / gesundheitlich inert). Der Luftstrom wird in einem Lüftungskanal durch Ansaugen in „natürlichem“ Ausmaß partikelbeladener Luft erzeugt. Der Durchmesser des Kanalauslasses beträgt $44\ \text{mm}$, was in etwa der Größe der „normal geöffneten“ Mundöffnung eines menschlichen Gesichtsfelds entspricht (fotografischen Dokumentationen ist zu entnehmen, dass sich die Wolkengröße nach einem Niesereignis nach etwa $0,1\ \text{s}$ auf etwa Kopfgröße vergrößert hat [2]). Es wird geprüft, welche Partikel-Größenfraktion bei welchen Luftströmungsgeschwindigkeiten in der Lage ist, den Luftschleier zu durchstoßen und in den eigentlichen Aufenthaltsbereich unter dem Zuluftlement zu gelangen und dann eingeatmet werden könnten. Die Ventilatorgeschwindigkeit müsste hierzu stufenlos regelbar sein, die Luftausströmungsgeschwindigkeiten sollte auf Werte zwischen $1,0$ und $12\ \text{m/s}$ eingestellt werden können. Um eine möglichst turbulenzarmen Ausstoß des Versuchsaerosols am Kanalauslass sicherzustellen, sollte die gerade Kanallänge direkt vor dem Luftschleier etwa $3,0\ \text{m}$ betragen.

Der gerade Abstand zwischen dem Rohrauslass, der die Gesichtsöffnung Mund simuliert, und dem Luftschleier beträgt entsprechend den bekannten Ausbreitungsdistanzen der *sichtbaren* Aerosolwolken beim echten Niesen / Husten ([1] und [2]) und zur realitätsnahen Nachstellung der künftigen Einsatzbedingungen der Zuluftlemente (z.B. Kasse) $0,7\ \text{m}$. Um Messdatenverfälschungen jedweder Art durch versuchsfremde Partikelimmisionen ausschließen zu können, muss dieser Luftraum zwischen Rohrauslass und Luftschleier möglichst frei von Staubpartikeln, die nicht zum Testaerosol gehören, gehalten werden. Dies wird durch Installation eines laminar strömenden Standard-Zuluftlements der Schulz & Berger GmbH erreicht. Die abwärts gerichtete Luftströmungsgeschwindigkeit unter dem Schutzelement von etwa $0,3$ bis $0,4\ \text{m/s}$ wird angesichts des „Zielwerts“ dieser Studie in Sachen horizontale Partikel-Ausstoßgeschwindigkeit (Kap. 3) als vernachlässigbar bewertet, könnte im Bedarfsfall aber ohne weiteres korrigiert werden.

Die Messungen des Labors für Arbeits- und Umwelthygiene Dr. Missel wurden wie folgt vorgenommen: Partikel-Größenverteilungen und Partikel-Konzentrationen im Versuchsaerosol und unter dem Zuluftlement hinter dem Luftschleier wurden mit den bekannten Grimm-Partikelzählgeräten bestimmt. Diese Staubmessgeräte messen die Partikelzahl in 1-minütigen Intervallen nach dem Streulichtprinzip in 15 unterschiedlichen Partikelfractionen zwischen $0,3$ und größer $20\ \mu\text{m}$ Teilchendurchmesser. Die Fertigungshallenluft am Standort Altenburg sollte Partikel aller relevanten Partikelgrößen sowie Mikroorganismen in ausreichender Anzahl

aufzubieten haben. Von der Erzeugung und Benutzung künstlicher Aerosole (z.B. mit Latexverneblern) wurde bei dieser orientierenden Überprüfung u.a. deshalb abgesehen, weil Ubiquitäres an Staubpartikeln bei einem derartigen Versuch aufwändig „ausgesperrt“ hätte werden müssen.

Parallel zu den Staubpartikelmessungen wurden die Schimmelpilz- und Bakterienkonzentrationen in der Luft in der Halle vor der Ansaugung und am Arbeitsplatz bestimmt. Die Abb. 2.1 schematisiert den Versuchsaufbau.

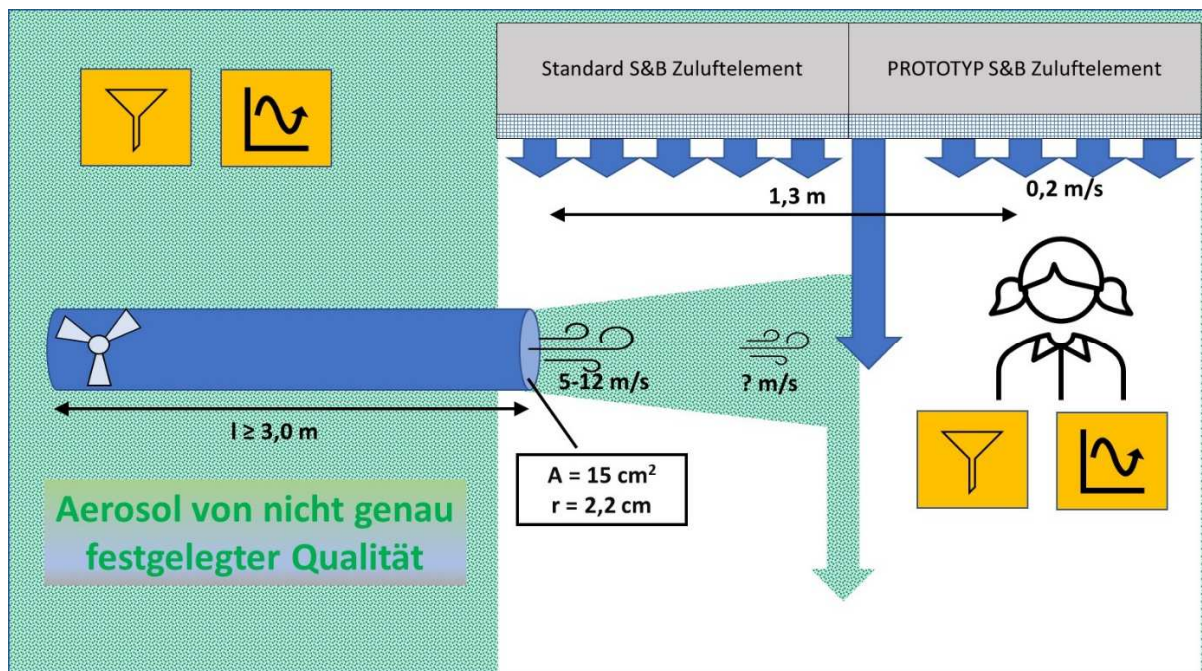


Abb. 2.1: Versuchsaufbau schematisch

2.4 Erwartete Ergebnisse des Versuchs

Die für einen optimalen Mitarbeiterschutz erforderlichen Leistungsdaten der Versuchsanlage werden definiert wie folgt:

1. Partikel bis zu einem aerodynamischen Durchmesser von etwa $10 \mu\text{m}$ werden von dem Luftschleier im Idealfall bis zu einer Luftausströmungsgeschwindigkeit von 10 m/s möglichst vollständig geblockt
2. Schimmelpilze und Bakterien sollten hinter dem Luftschleier bis zu einer Ausströmungsgeschwindigkeit von mindestens 10 m/s am Luftkanalauslass möglichst nicht mehr nachweisbar sein.

3 Durchführung der Untersuchungen

3.1 Luftkeimmessungen mit dem Impaktor MBASS30

Die Konzentrationen an Mikroorganismen in der Luft wurden mit dem Impaktions-Luftkeimsammelgerät MBASS30 (Fa. Holbach) gemessen. Die Sammelluft wird bei diesem Gerät durch einen Lochdeckel mit 500 Bohrungen (Düsen) angesaugt. Direkt unter dem Lochdeckel in das Messgerät eingespannte Kulturmedien (Agar) werden mit den beim Ansaugen stark beschleunigten Mikroorganismen-Partikeln direkt beaufschlagt. Vitale Mikroorganismen wachsen nach Bebrütung der Kulturmedien im Labor zu Kolonien aus, die genauer bestimmt und gezählt werden. Die Luftmessungen wurden bei einem Volumenstrom von 30 l/min durchgeführt. Die Probenahmedauer wurde variiert. Angaben zu den Probenahmezeiten und -volumina finden sich im Ergebnisteil.

Die großen Vorteile des MBASS30 liegen in der relativ hohen Messgenauigkeit im unteren Konzentrationsbereich (10^2 bis 10^4 KBE/m³) und in der Möglichkeit zur Durchführung kurz getakteter Einzelmessungen zur Feststellung von Konzentrationsspitzen¹. Die Wiederfindungsraten von Bakterien in der Luft sind bei der Impaktionsmessung - verglichen z.B. mit dem Filtrationsverfahren - relativ hoch, da Austrocknungseffekte weitestgehend entfallen. Die Höhe einer mikrobiellen Luftbelastung bei kurz andauernden Ereignissen kann mit dem MBASS30 wesentlich gezielter ermittelt werden als bei der zeitintegrierend messenden Filtration.

Die Ansauggeschwindigkeiten direkt an der Sammelöffnung des MBASS30 betragen bei Verwendung des 100-Liter- und des 50-Liter Sammelkopfs 3,4 m/s und 1,0 m/s. Das bedeutet, dass die Staubpartikelsammlung aus der Umgebungsluft bei diesen Windgeschwindigkeiten isokinetisch erfolgt. Da an der Arbeitsplatzprobenahmestelle unter dem Zuluftelement hinter dem Luftschleier Luftströmungsgeschwindigkeiten deutlich unter 1,0 m/s gegeben sind, dürfte eine zumindest einigermaßen quantitative Erfassung der mit der quer strömenden Luft an die Probenahmestelle anströmenden Partikel mit dem zum Einsatz gebrachten Messequipment (30-Liter-Sammelkopf) sichergestellt gewesen und die Partikelzahl im angesaugten Gas nicht wesentlich verfälscht worden sein.

Die Wahrscheinlichkeit, dass durch eine Sammelöffnung mehrere Schimmelpilzsporen und Bakterien angesaugt werden und diese an einer Stelle auf dem Nährmedium darunter abgeschieden werden und die tatsächliche Keimzahl durch Auswachsen nur einer einzelnen Kolonie unterschätzt wird, erhöht sich mit der Konzentration der in der

¹ wenn auf einem mit dem Impaktor beaufschlagten Kulturmedium keine Mikroorganismenkolonien angezüchtet werden, ist als Messwert fachlich richtig nicht die Konzentration „0 Koloniebildende Einheit/m³“ sondern die Angabe der mit einem „kleiner“ versehenen „Bestimmungsgrenze“, die sich aus dem kleinsten möglichen Koloniezahlwert 1 und dem jeweils gesammelten Luftvolumen ergibt (d.h. 0 Kolonien = < 10 KBE/m³ bei 100 l Luftsammlervolumen). Zur Berechnung eines Messergebnisses (Mittelwert oder Median einer Messdatenreihe) wird bei Messung von 0 KBE auf einem Kulturmedium ggf. der „Messwert“ 0 KBE/m³ und zur Ermittlung einer Partikelreduktionsrate in % die untere Bestimmungsgrenze bei dem gewählten Probenahmenvolumen benutzt.

Luft vorhandenen Mikroorganismen. Der Zählwert der auf den Agar-Platten gewachsenen Kolonien kann mit der "positive hole conversion table" korrigiert werden. Von einer statistischen Korrektur der Koloniezählwerte wurde aufgrund der objektiv guten Auszählbarkeit der Kulturmedien in dieser Angelegenheit abgesehen.

Die luftgetragenen Partikel wurden auf folgende Kulturmedien beaufschlagt:

3.2 Kultivierung der Mikroorganismen

Nährmedium	Parameter	Bebrütung
Malzextrakt-Agar*	Gesamtkeimzahl: Bakterien, Schimmelpilze und Hefen	25°C
DG18-Agar*	xerophile Schimmelpilze	25°C

* Hersteller: Thermo Fisher Diagnostics, Hennigsdorf

Die Bebrütung der Schimmelpilzkulturmedien erfolgte bei 25°C für bis zu 7 Tage. Nach dieser Bebrütungszeit konnten auf den bebrüteten Nährmedien keine Zunahmen der Koloniezahlen mehr festgestellt werden.

3.3 Optische Staubmessung mit Partikelzählgeräten

3.3.1 Geräteeigenschaften

Für die optischen Staubmessungen wurden direktanzeigende Partikelzählgeräte der Firma Grimm (Ainring) benutzt. Die Grimm-Aerosolspektrometer Modell 1.108 sind kompakte tragbare Messgeräte zur kontinuierlichen Messung von Stäuben in der Luft und von Partikel-Größenverteilungen. Die Messung erfolgt nach dem Streulichtprinzip. Die Geräte erfassen luftgetragene Partikel in 15 Größenkanälen zwischen 0,3 und größer 20 µm Teilchendurchmesser und speichern die Messdaten in 1-minütigen Intervallen ab. Die erhaltenen Staubkonzentrationen können anschließend in Verlaufsform grafisch dargestellt werden (Echtzeitmessung).

Die Messwerte können als Partikelkonzentration in der Einheit Partikel/Liter oder als Massenkonzentration mit der Einheit µg/m³ erfasst werden. Verschiedene normierte Staubmassenfraktionen werden separat ausgegeben.

3.3.2 Messprinzip

Das Messprinzip der Geräte ist die Streulichtmessung von Einzelpartikeln, wobei ein Halbleiterlaser als Lichtquelle dient. Es werden auch sehr kleine Partikel im Bereich von 0,25 µm bzw. 0,3 µm erfasst. Die Probenluft wird mit Hilfe einer internen, volumenstromgeregelten Pumpe durch die Messzelle und einen Gravimetriefilter gesaugt. Dieser Filter dient als Staubsammler und kann zu einer gravimetrischen Kontrolle der optisch gewonnenen Messergebnisse verwendet werden.

Die Partikelgröße ist proportional zur Intensität des detektierten Streulichtsignals, wobei die Streulichtintensität neben der Partikelgröße auch vom Brechungsindex, der Partikelform und der Orientierung des Partikels im Messvolumen beeinflusst wird. Die

Positionierung des Detektors in 90° Richtung minimiert den Einfluss des Brechungsindex der Aerosolpartikel auf die Bestimmung der Partikelgröße. Der gewählte Öffnungswinkel der Detektoroptik kompensiert Mehrdeutigkeiten der Streulichtintensität, was eine eindeutige Zuordnung der Partikelgröße in hinreichend engen Größenklassen ermöglicht. Durch Erfassung der Partikelkonzentration und -größe kann die Größenverteilung der Aerosolpartikel bestimmt werden, die wiederum Grundlage für die Berechnung der Partikelmasse ist.

3.3.3 Grundlegendes zur Kalibration der Staubpartikelzählgeräte

Der Kalibrier-Standard des Herstellers basiert auf einem Vergleich zwischen einem mit Polystyrene Latex (PSL) kalibrierten "Muttergerät" und dem zu kalibrierenden "Kandidaten". Das erste Grimm Muttergerät wurde mit einem Referenzgerät, dem Laser Aerosol Spektrometer Modell LAS-X von PMS, Boulder Colorado, verglichen. Durch dieses Vorgehen sind korrekte Partikelgrößenmessungen in den vorgegebenen Kanälen sichergestellt. Die Kalibrierung der Staubmessgeräte erfolgt unter Verwendung von Dolomitstaub als Standardaerosol. Dolomitstaub ist nicht hygroskopisch, poly-dispers und deckt den kompletten Größenbereich von ca. 0.2 µm bis zu >30 µm ab.

3.3.4 Messgeräteabgleich

Unmittelbar vor der Bemessung der Lüftungsanlage wurden die beiden benutzten Partikelzählgeräte im ortsgleichen Parallelbetrieb miteinander abgeglichen. Die ermittelten Abweichungen wurden zur Messdatenkorrektur eines der beiden Geräte benutzt. Folgende Abweichungen wurden im Parallelbetrieb ermittelt:

Tab. 3.3: Messignalabweichung der beiden Partikelzählgeräte

Kanal	Mittelwert* Gerät 1	Mittelwert* Gerät 2	Abweichung der Geräte in %
>0.3 µm	63.543	61.650	3,07
>0.4 µm	29.432	28.922	1,76
>0.5 µm	19.197	18.938	1,37
>0.65 µm	13.363	13.236	0,96
>0.8 µm	10.260	10.139	1,20
>1.0 µm	7.848	7.737	1,43
>1.6 µm	6.073	5.937	2,29
>2.0 µm	4.672	4.601	1,55
>3.0 µm	2.552	2.481	2,85
>4.0 µm	1.482	1.507	1,69
>5.0 µm	774	821	5,77
>7.5 µm	250	262	4,56
>10.0 µm	108	109	1,67
>15.0 µm	18	19	7,42
>20.0 µm	5	4	13,11

(*) n = 67 1-Minuten-Messwerte

3.3.5 Grenzen der Einsetzbarkeit / Luftfeuchtigkeit

Eine hohe relative Luftfeuchtigkeit führt bei optisch arbeitenden Staubmessgeräten normalerweise zu Fehlmessungen, da die Wassermoleküle als Teilchen erkannt werden und die Staubmesswerte verfälschen. Zusätzliche Ungenauigkeiten über den Fehler bei der Partikelzählung resultieren daraus, dass sich Wassermoleküle an Partikel anlagern und diese bei der optischen Streulichtmessung größer erscheinen lassen, als sie tatsächlich sind. Ab ca. 60% relative Luftfeuchte werden die Partikeldurchmesser und damit die Staubmassen in der Luft mit steigender relativer Luftfeuchtigkeit zunehmend überschätzt.

3.4 Beschreibung und technische Details der Lüftungsanlage

Die schematische Seitenansicht zeigt ein Belüftungselement aus einem luftdichten Gehäuse, in dem die einzelnen Bauelemente in kompakter Bauweise angeordnet sind. Der primäre Luftstrom tritt durch seitlich und oben angeordnete Lufteintrittsöffnungen in das Gehäuse ein. Im Eintrittsbereich ist ein Vorfilter (Grobstaubfilter der Filterklasse ISO Coarse nach ISO 16890) angeordnet, der Staub und Fasern, sowie größere Partikel, die sich in der Luft schweben, herausfiltert.

Nach dem Vorfilter ist in Strömungsrichtung ein Heizregister angeordnet, mit dem die angesaugte Luft im vorliegenden Ausführungsbeispiel bei Bedarf um ca. 3-4 Kelvin erwärmt werden kann. Innerhalb des Gehäuses ist eine Trennwand angeordnet, die eine Trennung zwischen der vorbehandelten Primärluft und der nachbehandelten Sekundärluft bildet. Die Luftströmung wird durch einen Ventilator erzeugt und in den Sekundärraum eingeblasen. Infolge der eingeblasenen Luftströmung in den Sekundärraum wird hier ein gleichmäßiger Überdruck aufgebaut.

Anschließend wird die Luft über einen Schwebstofffilter der Filterklasse H13 gemäß EN 1822 (HEPA-Filter) geführt, der dazu dient, Partikel bis zu 0,1 µm, wie beispielsweise Viren, Bakterien, Milbeneier, Pollen, Rauchpartikel, lungenschädigende Stäube, wie z. Bsp. Asbeststäube, diverse toxische Stäube und Aerosole aus der Luft auszufiltern. Diese Art von Schwebstofffiltern wird überwiegend in Reinräumen mit höchsten Anforderungen der ISO Klasse 5 und besser verwendet. Der eingesetzte HEPA-Filter arbeitet mit einem Wirkungsgrad gem. EN 1822 @ MPPS von mindestens 99,95 %.

Unter dem Schwebstofffilter ist eine kleinere Druckkammer deren Abschluss ein Laminarisor bildet. Durch diesen wird eine gleichmäßige, laminare Luftströmung mit einstellbaren Luftgeschwindigkeiten zwischen 0,2 bis 0,36 m/s gewährleistet, die auf den zu schützenden Arbeitsplatz gerichtet ist.

Im Randbereich dieser Luftaustrittsöffnung ist eine Luftdüse angeordnet, durch die am vorderen Teil des Belüftungselementes durch eine höhere Luftaustrittsgeschwindigkeit von ca. 6-7 m/s (ebenfalls einregulierbar) ein Sperrluftschleier gebildet wird, der das Eindringen von Schadstoffen in den Arbeitsraum verhindert. Die für den Betrieb der Luftdüse erforderliche Luftmenge wird als Sekundärluft mittels eines zweiten Ventilators der oberen Druckkammer entnommen und vor dem Austreten ebenfalls

4 Messergebnisse

4.1 Ausstoßgeschwindigkeit Querstrahl: 0,0 m/s

Randparameter:

Messzeit: 10:04 – 10:36 Uhr
 Klima Betriebsstätte („Raumluft“) 57,7% rF, 24,5°C, 12,9 g aF/m³
 Klima hinter Luftschleier („Platz“) 56,6% rF, 24,6°C, 12,8 g aF/m³
 Anströmgeschwindigkeit 0,00 m/s; 0,0 m³/h
 Anströmstrecke zum „Platz“ entfällt

Tab. 4.1.1: Ergebnisse der Partikelmessungen

	Partikel > 0,3 µm [pro Liter]	Partikel > 1,0 µm [pro Liter]	Partikel > 5,0 µm [pro Liter]	Partikel > 10 µm [pro Liter]
Mittelwert „Raumluft“	10.634	772	42	4
Mittelwert „Platz“	87	6	0	0
	Partikel > 0,3 µm [in % von Raumluft]	Partikel > 1,0 µm [in % von Raumluft]	Partikel > 5,0 µm [in % von Raumluft]	Partikel > 10 µm [in % von Raumluft]
Staubminderung „Platz“	0,8	0,8	0,3	0,7

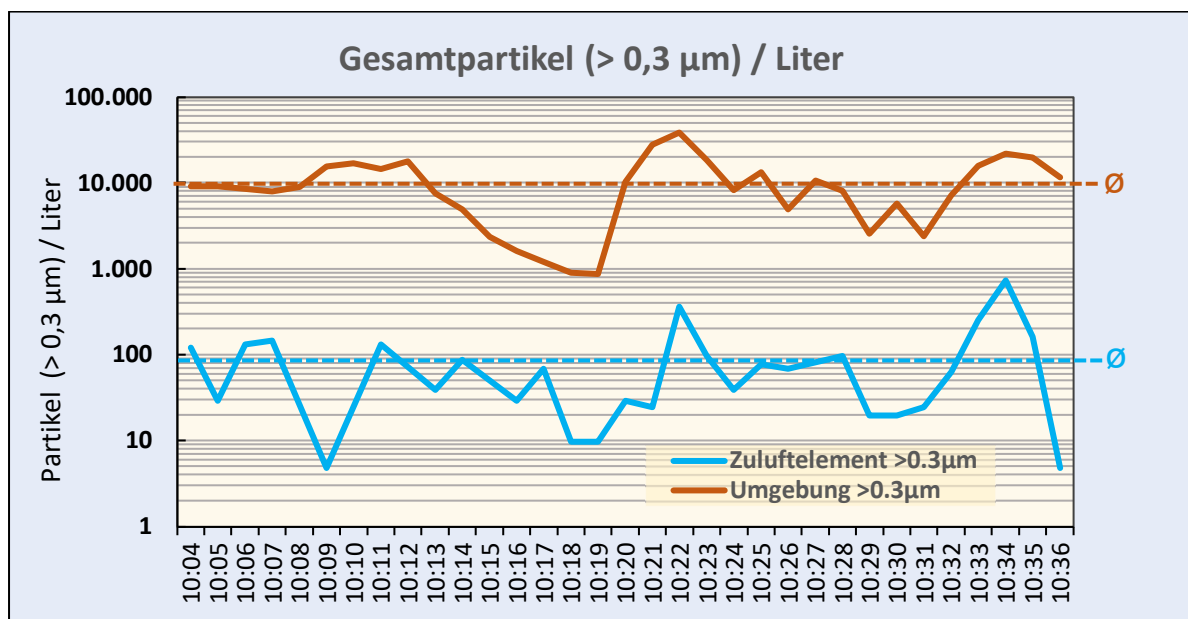


Abb. 4.1.1: Verläufe der Gesamtpartikel-Konzentrationen

Tab. 4.1.2: Ergebnisse der Luftkeimmessungen

Uhrzeit	Sammel- volumen [Liter Luft]	Messung	Gesamtkeime auf Malz-Agar [in KBE/m ³]	Gesamtpilze auf DG18-Agar [in KBE/m ³]
10:10 Uhr	50	„Raumluft“	420	
10:12 Uhr	50	„Raumluft“		380
10:15 Uhr	200	„Platz“	5	
10:23 Uhr	200	„Platz“		10
Rest der Keimbelastung „Platz“			1,2%	2,6%

4.2 Ausstoßgeschwindigkeit Querstrahl: 5,0 m/s

Randparameter:

Messzeit: 10:44 – 11:10 Uhr
 Anströmgeschwindigkeit 5,00 m/s; 28,1 m³/h
 Anströmstrecke zum „Platz“ 1,30 m

Tab. 4.2.1: Ergebnisse der Partikelmessungen

	Partikel > 0,3 µm [pro Liter]	Partikel > 1,0 µm [pro Liter]	Partikel > 5,0 µm [pro Liter]	Partikel > 10 µm [pro Liter]
Mittelwert „Raumluft“	6.533	466	32	4
Mittelwert „Platz“	79	6	0	0
	Partikel > 0,3 µm [in % von Raumluft]	Partikel > 1,0 µm [in % von Raumluft]	Partikel > 5,0 µm [in % von Raumluft]	Partikel > 10 µm [in % von Raumluft]
Staubminderung „Platz“	1,2	1,3	0,7	0,0

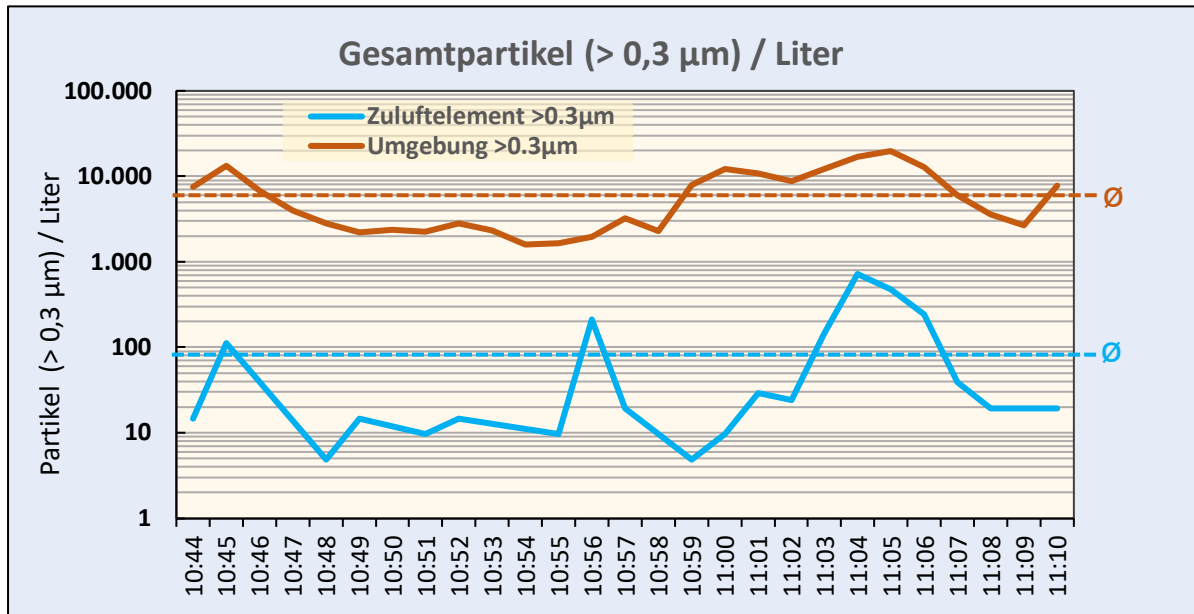


Abb. 4.2.1: Verläufe der Gesamtpartikel-Konzentrationen

Tab. 4.2.2: Ergebnisse der Luftkeimmessungen

Uhrzeit	Sammel- volumen [Liter Luft]	Messung	Gesamtkeime auf Malz-Agar [in KBE/m ³]	Gesamtpilze auf DG18-Agar [in KBE/m ³]
10:45 Uhr	100	„Raumlufte“	290	
10:50 Uhr	100	„Raumlufte“		180
10:54 Uhr	200	„Platz“	5	
11:02 Uhr	200	„Platz“		5
Rest der Keimbelastung „Platz“			1,7%	2,8%

4.3 Ausstoßgeschwindigkeit Querstrahl: 7,3 m/s

Randparameter:

Messzeit: 11:12 – 11:40 Uhr
 Klima Betriebsstätte („Raumluft“) 53,0% rF, 25,3°C, 12,5 g aF/m³
 Klima hinter Luftschleier („Platz“) 50,1% rF, 25,9°C, 12,1 g aF/m³
 Anströmgeschwindigkeit 7,30 m/s; 40,8 m³/h
 Anströmstrecke zum „Platz“ 1,30 m

Tab. 4.3.1: Ergebnisse der Partikelmessungen

	Partikel > 0,3 µm [pro Liter]	Partikel > 1,0 µm [pro Liter]	Partikel > 5,0 µm [pro Liter]	Partikel > 10 µm [pro Liter]
Mittelwert „Raumluft“	8.475	724	53	12
Mittelwert „Platz“	118	3	0	0
	Partikel > 0,3 µm [in % von Raumluft]	Partikel > 1,0 µm [in % von Raumluft]	Partikel > 5,0 µm [in % von Raumluft]	Partikel > 10 µm [in % von Raumluft]
Staubminderung „Platz“	1,4	0,4	0,1	0,0

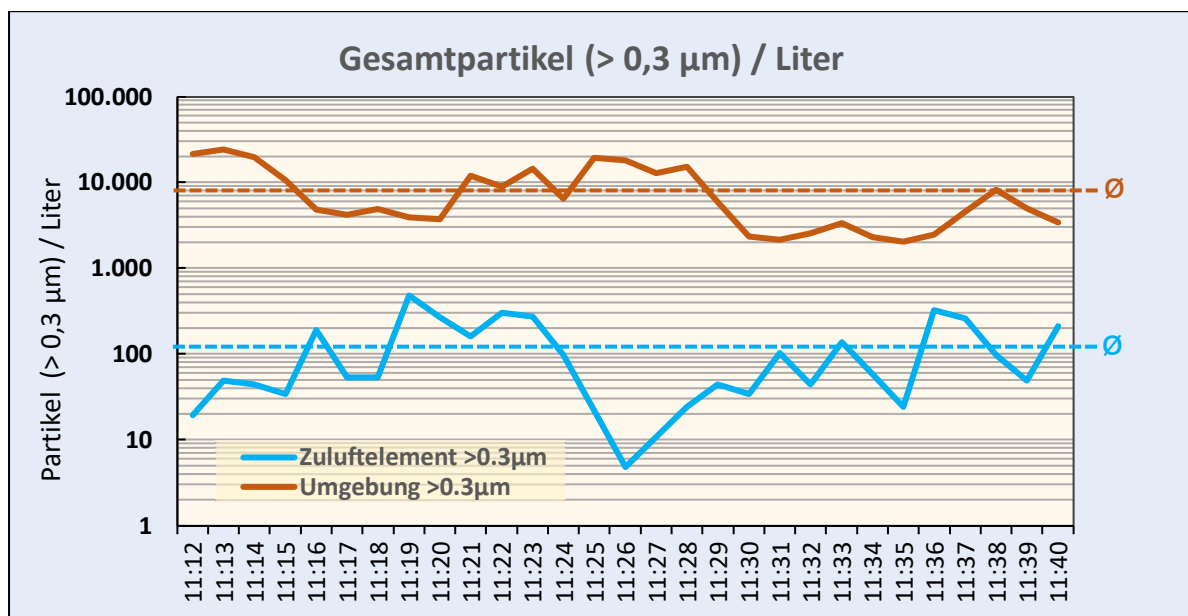


Abb. 4.3.1: Verläufe der Gesamtpartikel-Konzentrationen

Tab. 4.3.2: Ergebnisse der Luftkeimmessungen

Uhrzeit	Sammel- volumen [Liter Luft]	Messung	Gesamtkeime auf Malz-Agar [in KBE/m ³]	Gesamtpilze auf DG18-Agar [in KBE/m ³]
11:15 Uhr	100	„Raumlufte“	210	
11:18 Uhr	100	„Raumlufte“		260
11:24 Uhr	200	„Platz“	15	
11:31 Uhr	200	„Platz“		35
Rest der Keimbelastung „Platz“			7,1%	13,5%

4.4 Ausstoßgeschwindigkeit Querstrahl: 9,8 m/s

Randparameter:

Messzeit: 11:43 – 12:12 Uhr
 Klima hinter Luftschleier („Platz“) 46,1% rF, 25,9°C, 11,1 g aF/m³
 Anströmgeschwindigkeit 9,8 m/s; 54,9 m³/h
 Anströmstrecke zum „Platz“ 1,30 m

Tab. 4.4.1: Ergebnisse der Partikelmessungen

	Partikel <>0,3 µm [pro Liter]	Partikel > 1,0 µm [pro Liter]	Partikel > 5,0 µm [pro Liter]	Partikel > 10 µm [pro Liter]
Mittelwert „Raumlufte“	6.817	584	85	19
Mittelwert „Platz“	61	2	0	0
	Partikel > 0,3 µm [in % von Raumlufte]	Partikel > 1,0 µm [in % von Raumlufte]	Partikel > 5,0 µm [in % von Raumlufte]	Partikel > 10 µm [in % von Raumlufte]
Staubminderung „Platz“	0,9	0,4	0,1	0,2

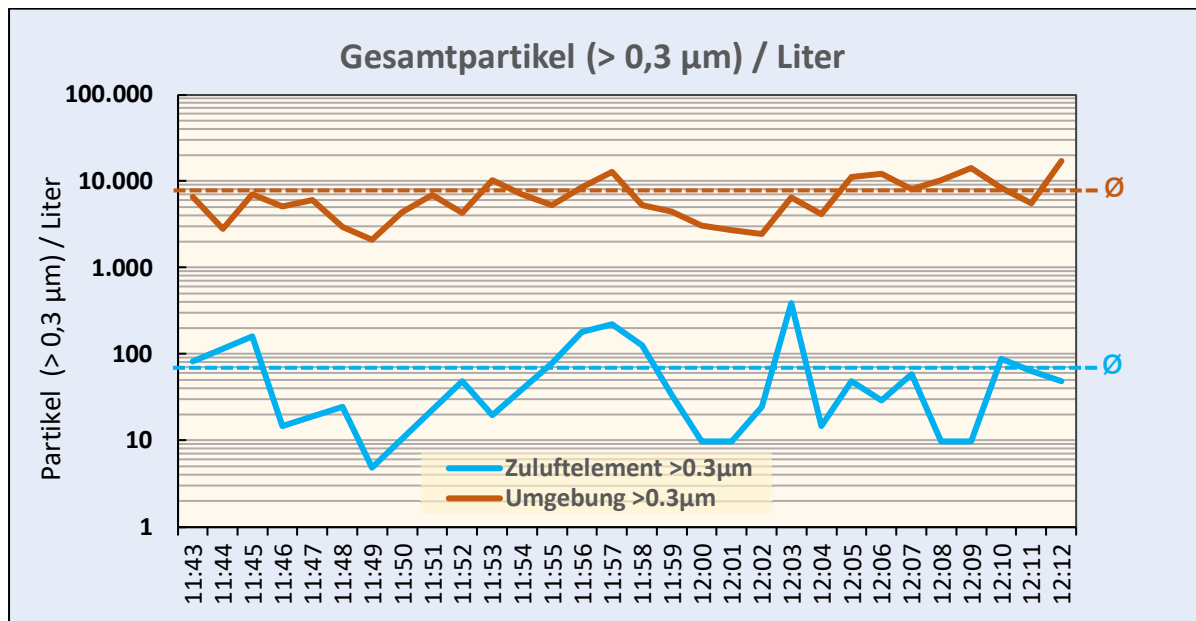


Abb. 4.4.1: Verläufe der Gesamtpartikel-Konzentrationen

Tab. 4.4.2: Ergebnisse der Luftkeimmessungen

Uhrzeit	Sammel- volumen [Liter Luft]	Messung	Gesamtkeime auf Malz-Agar [in KBE/m ³]	Gesamtpilze auf DG18-Agar [in KBE/m ³]
11:45 Uhr	100	„Raumlufte“	650	
11:49 Uhr	100	„Raumlufte“		160
11:54 Uhr	200	„Platz“	5	
12:02 Uhr	200	„Platz“		5
Rest der Keimbelastung „Platz“			0,8%	3,1%

4.5 Ausstoßgeschwindigkeit Querstrahl: 12,0 m/s

Randparameter:

Messzeit: 12:15 – 12:53 Uhr
 Anströmgeschwindigkeit 12,0 m/s; 67,3 m³/h
 Anströmstrecke zum „Platz“ 1,30 m

Tab. 4.5.1: Ergebnisse der Partikelmessungen

	Partikel > 0,3 µm [pro Liter]	Partikel > 1,0 µm [pro Liter]	Partikel > 5,0 µm [pro Liter]	Partikel > 10 µm [pro Liter]
Mittelwert „Raumluft“	12.528	811	165	41
Mittelwert „Platz“	236	9	0	0
	Partikel > 0,3 µm [in % von Raumluft]	Partikel > 1,0 µm [in % von Raumluft]	Partikel > 5,0 µm [in % von Raumluft]	Partikel > 10 µm [in % von Raumluft]
Staubminderung „Platz“	1,9	1,1	0,1	0,0

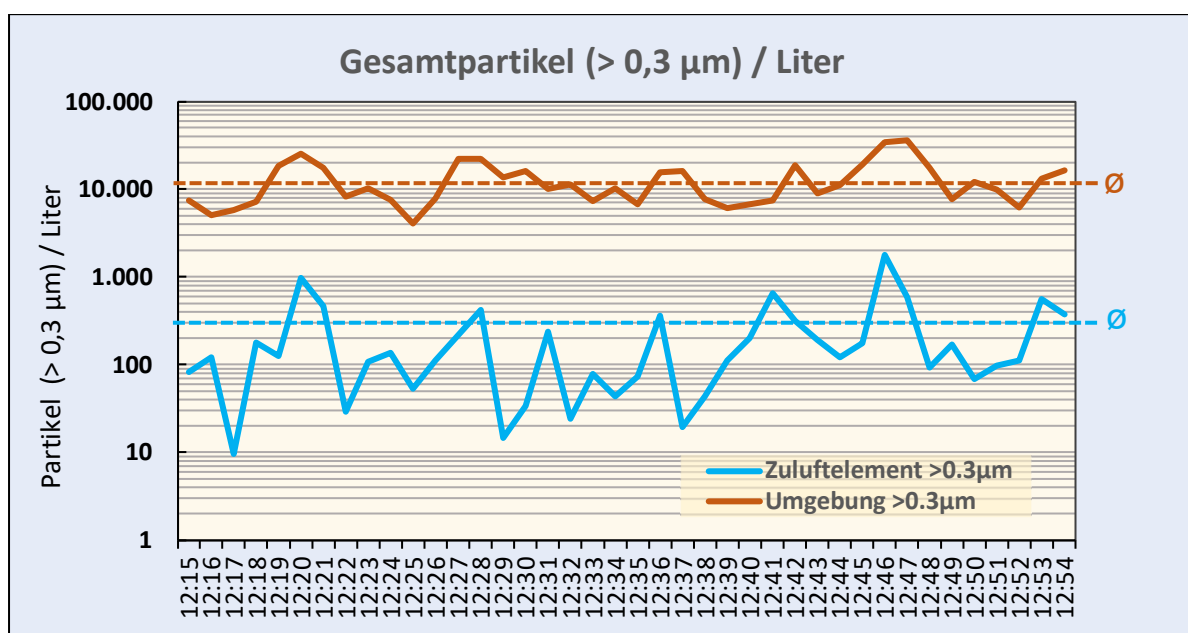


Abb. 4.5.1: Verläufe der Gesamtpartikel-Konzentrationen

Tab. 4.5.2: Ergebnisse der Luftkeimmessungen

Uhrzeit	Sammel- volumen [Liter Luft]	Messung	Gesamtkeime auf Malz-Agar [in KBE/m ³]	Gesamtpilze auf DG18-Agar [in KBE/m ³]
12:17 Uhr	50	„Raumlufte“	480	
12:20 Uhr	50	„Raumlufte“		300
12:23 Uhr	200	„Platz“	25	
12:31 Uhr	200	„Platz“		5
Rest der Keimbelastung „Platz“			5,2%	1,7%

4.6 verringerte Anströmstrecke bei 12,0 m/s

Randparameter:

Messzeit: 12:54 – 13:26 Uhr
 Klima hinter Luftschleier („Platz“) 44,7% rF, 25,6°C, 10,7 g aF/m³
 Anströmgeschwindigkeit 12,0 m/s; 67,3 m³/h
 Anströmstrecke zum „Platz“ 1,00 m

Tab. 4.6.1: Ergebnisse der Partikelmessungen

	Partikel > 0,3 µm [pro Liter]	Partikel > 1,0 µm [pro Liter]	Partikel > 5,0 µm [pro Liter]	Partikel > 10 µm [pro Liter]
Mittelwert „Raumlufte“	11.006	702	104	21
Mittelwert „Platz“	928	58	4	1
	Partikel > 0,3 µm [in % von Raumlufte]	Partikel > 1,0 µm [in % von Raumlufte]	Partikel > 5,0 µm [in % von Raumlufte]	Partikel > 10 µm [in % von Raumlufte]
Staubminderung „Platz“	8,4	8,2	4,3	3,8

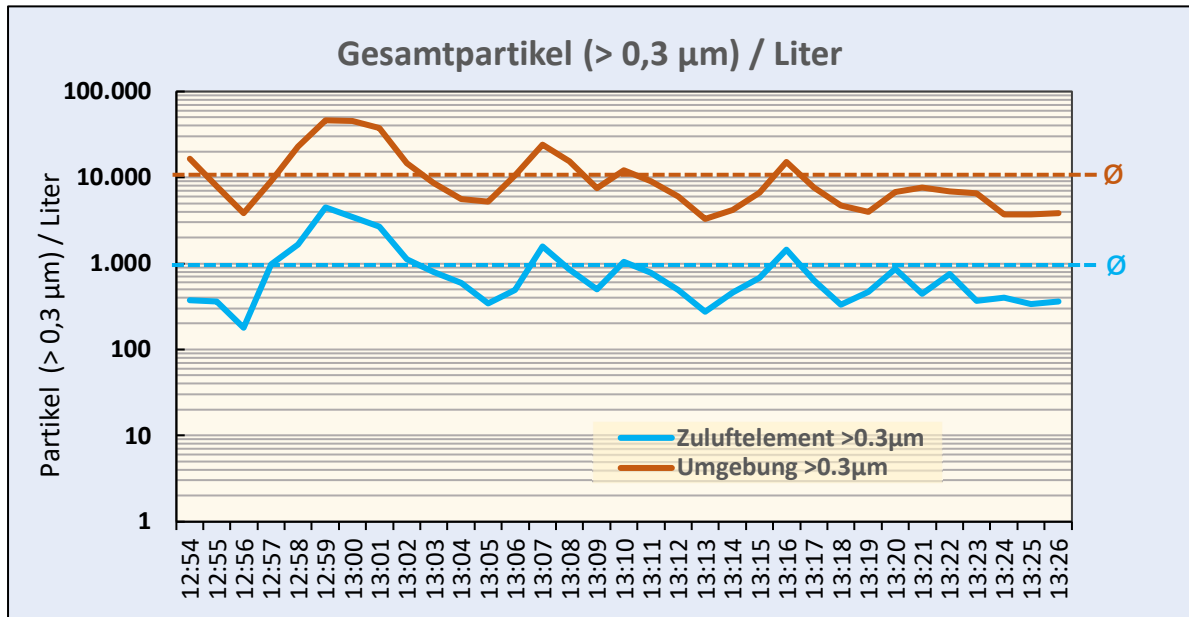


Abb. 4.6.1: Verläufe der Gesamtpartikel-Konzentrationen

Tab. 4.6.2: Ergebnisse der Luftkeimmessungen

Uhrzeit	Sammel- volumen [Liter Luft]	Messung	Gesamtkeime auf Malz-Agar [in KBE/m ³]	Gesamtpilze auf DG18-Agar [in KBE/m ³]
12:59 Uhr	50	„Raumlufte“	1.260	
13:01 Uhr	50	„Raumlufte“		680
13:04 Uhr	200	„Platz“	30	
13:11 Uhr	200	„Platz“		35
Rest der Keimbelastung „Platz“			2,4%	5,1%

4.7 verringerte Anströmstrecke bei 10,1 m/s

Randparameter:

Messzeit: 14:08 – 14:38 Uhr
 Klima Betriebsstätte („Raumluft“) 47,4% rF, 25,9°C, 11,5 g aF/m³
 Klima hinter Luftschleier („Platz“) 50,4% rF, 26,1°C, 12,3 g aF/m³
 Anströmgeschwindigkeit 10,1 m/s; 56,5 m³/h
 Anströmstrecke zum „Platz“ 1,00 m

Tab. 4.7.1: Ergebnisse der Partikelmessungen

	Partikel > 0,3 µm [pro Liter]	Partikel > 1,0 µm [pro Liter]	Partikel > 5,0 µm [pro Liter]	Partikel > 10 µm [pro Liter]
Mittelwert „Raumluft“	8.592	147	16	4
Mittelwert „Platz“	383	14	0	0
	Partikel > 0,3 µm [in % von Raumluft]	Partikel > 1,0 µm [in % von Raumluft]	Partikel > 5,0 µm [in % von Raumluft]	Partikel > 10 µm [in % von Raumluft]
Staubminderung „Platz“	4,5	9,4	2,2	1,6

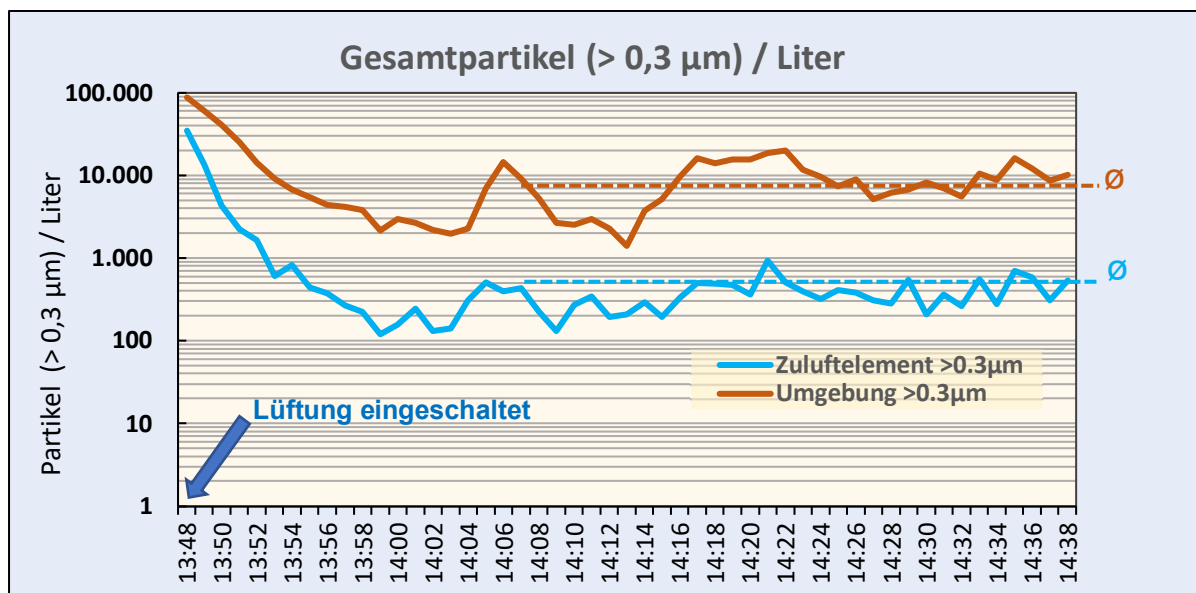


Abb. 4.7.1: Verläufe der Gesamtpartikel-Konzentrationen

Tab. 4.6.2: Ergebnisse der Luftkeimmessungen

Uhrzeit	Sammel- volumen [Liter Luft]	Messung	Gesamtkeime auf Malz-Agar [in KBE/m ³]	Gesamtpilze auf DG18-Agar [in KBE/m ³]
13:50 Uhr	10	„Raumlufte“	7.600	
13:51 Uhr	20	„Raumlufte“		5.550
13:54 Uhr	200	„Platz“	195	
14:01 Uhr	200	„Platz“		120
Rest der Keimbelastung „Platz“			2,6%	2,2%

5 Besprechung der Messergebnisse

Die Pilotanlage wurde in Werkstatt- und Lagerräumlichkeiten der Schulz & Berger GmbH an der Produktionsstätte Altenburg bei relativ niedrigen Expositionskonzentrationen von 1×10^2 bis 5×10^2 KBE an Gesamt-Mikroorganismen/m³ betrieben. Im Wesentlichen waren in der Innenraumluft an der Betriebsstätte Schimmelpilze in der Luft vorhanden, Hefen und Bakterien fehlten weitestgehend. Lediglich bei einem der insgesamt sieben Messzyklen konnte die technische Arbeitsschutzmaßnahme bei Expositionsluftkeimkonzentrationen von 10^3 bis 10^4 KBE/m³ geprüft werden. Ein wesentlicher Effekt der hohen Luftdurchsätze und der Effizienz der Keim- und Staubpartikelabscheidung in den eingebauten HEPA-Filtern der Anlage ist in der relativ schnell ablaufenden Entkeimung des Umgebungsmilieus und der angesaugten Luft vor dem HEPA-Filter zu sehen. Innerhalb von etwa 15 Minuten nach Inbetriebnahme der Anlage wurden die Gesamtpartikelkonzentrationen in den etwa 150 m³ Raumvolumen umfassenden Werkstatt- und Lagerräumlichkeiten um etwas weniger als zwei Zehnerpotenzen reduziert (vgl. Kap. 4.7).

Insgesamt betrachtet bewegten sich die Mikroorganismen-Konzentrationen in den Testräumen in einem für die Jahreszeit ungewöhnlich niedrigen Bereich. Bei verhältnismäßig trockenen Witterungsbedingungen, wie sie derzeit gegeben sind, können in Außenbereichen und in von außen über Türen und Fenster belüfteten Innenräumen mitten in der Vegetationszeit Schimmelpilz- und Bakterien-Konzentration in den Größenordnungen von 10^3 bis 10^4 KBE/m³ bzw. 10^3 KBE/m³ erwartet werden. Die Schimmelpilz- und Bakterien-Konzentrationen in der Prüfatmosphäre lagen weit unterhalb dieser „Erwartungswerte“, teils konnten z.B. überhaupt keine Bakterien in der Innenraumluft vor dem HEPA-Filter nachgewiesen werden.

Die hohe Staubminderungseffizienz der Testanlage erschwerte die Ermittlung der Leistungsdaten in Sachen Keimreduktion zusätzlich in erheblichem Maße. Die Lüftungsanlage reduziert die Mikroorganismenkonzentrationen in dem gewählten Umgebungsmilieu binnen Minutenfrist von Werten in der Größenordnung von 10^3 KBE/m³ auf Werte deutlich unter 10^2 KBE/m³. Aufgrund der nicht unbegrenzt verlängerbaren Probenahmezeiten bei der Impaktion² sind Mikroorganismen mit diesem direktbeaufschlagenden Verfahren nur bis in eine Konzentration in der Größenordnung von wenigstens 10^1 KBE/m³ hinreichend genau quantifizierbar. Bei Konzentrationen darunter müssen die Probenahmezeiten zur Überschreitung der unteren Bestimmungsgrenze auf deutlich über 10 Minuten verlängert werden. Um eine Reduktionsrate bei Mikroorganismen z.B. um zwei Zehnerpotenzen oder um 99% messtechnisch überhaupt statistisch gesichert nachweisen zu können, müssen die Umgebungskonzentrationen deshalb bei mindestens 10^2 bis 10^3 KBE/m³ liegen. Um Luftkeimkonzentrationen in diesem Konzentrationsbereich zu gewährleisten musste der Luftkeimflorapool in den prüfgegenständlichen Werkstatt- und Lagerräumlichkeiten

² Austrocknungseffekte bei länger luftstromüberzogenen Kulturschalen führen zu einem Absinken der Wasseraktivität in den Kulturmedien und können die Wiederfindungsraten insbesondere von Bakterien erheblich reduzieren

in regelmäßige Zeitabständen wieder durch mechanische Aufwirbelung von Sedimentstäuben mittels Drucklufteinsatz „künstlich aufgefüllt“ werden.

Ungeachtet dessen reduzierten sich die Staubpartikel- und Luftkeimzahlen auch nach „künstlich“ herbeigeführten Sedimentstaub-Remobilisierungen wieder binnen kurzer Zeit (Minutenfrist) deutlich. Ungleichmäßige Mikroorganismen-Belastungsverläufe in der Raumluft und nachweiserschwerend geringe Gesamtkeimzahlen in der Luft³ werden dafür verantwortlich gemacht, dass die Reduktionsraten bei den Keimmessungen in ihrer Gesamtheit tendenziell etwas geringer ausfielen als die Reduktionsraten bei den Partikelmessungen. Die Keimreduktionen durch die Luftschleieranlage lagen mehrheitlich bei Werten zwischen 1% und 5% der Umgebungswerte, während bei der Partikelreduktion mehrheitlich Reduktionen auf etwa 1% gemessen wurden. Die Partikelbelastung wurde allerdings durch Mittelwertbildung eines etwa 30-minütigen Messzeitfensters ermittelt, während die Keimmessungen nur stichpunktartig erfolgten (1-3 Minuten in der Umgebungsluft, jeweils etwa 7 Minuten unter dem Zuluftelement). Aufgrund der insgesamt geringen Koloniezahlen - bei mehreren Messungen unter dem Zuluftelement wurden trotz Entnahme von 200 Liter Sammelluft nur Einzelkolonien angezüchtet - sind mehrere der mikrobiologischen Messergebnisse als nicht statistisch gesichert anzusehen⁴.

Nichtsdestotrotz belegen die Ergebnisse der Luftkeimmessungen mit dem Impaktor eine hohe Effizienz bei der Keimreduktion durch die Luftschleieranlage. Der residuale Keimgehalt der Luft unter dem Testelement lag zwischen 1% und 10% der Ausgangswerte vor dem HEPA-Filter bzw. in der technisch nicht behandelten Innenraumluft. Die Konzentrationen an Gesamt-Partikeln mit aerodynamischen Durchmessern größer 0,3 µm wurden durch die Luftschleieranlage im Durchschnitt um zwei Zehnerpotenzen reduziert. Belastbare Aussagen zur Verminderung der Konzentrationen größerer Partikel mit Teilchendurchmessern größer 10 µm sind nicht zu treffen, da die Expositionskonzentrationen der Pilotanlage hierfür insgesamt zu gering waren (Durchschnittswert einiger Messungen im Beprobungszeitraum kleiner 10 Partikel / Liter).

³ aus einer einzelnen gewachsenen Kolonie auf einer mit Luftstaub direkt beaufschlagten Kulturschale ergibt sich bei einem Sammelvolumen von 200 Litern ein Messwert von 5 Koloniebildenden Einheiten/m³ (KBE/m³). Schon beim Öffnen einer Kulturschale beim Einspannen in das Luftkeimsammelgerät sowie bei deren Entnahme nach Beendigung der Messung kann es über die Luft unvermeidbar zu einer Kontamination des Kulturmediums mit einzelnen Mikroorganismen kommen und das Messergebnis dadurch erheblich verfälscht werden

⁴ mikrobiologische Messverfahren sind – verglichen z.B. mit optische Staubmessverfahren mit Lasern oder Messverfahren für chemische Gefahrstoffe – mit erheblichen Messungenauigkeiten behaftet. Dies liegt u.a. in der sehr großen Diversität des gesammelten Mikroorganismenkollektivs begründet. Die optimalen Kultivierungsbedingungen verschiedener Pilze, Bakterien und Hefen unterscheiden sich nämlich deutlich, weshalb sich bei einem Summenparameter-Labornachweis (Gesamt-Schimmelpilze oder gesamt-Keime) nie alle Mikroorganismen einer Gruppe erfassen lassen. Nach den Erfahrungen, die bei Parallelversuchen gemacht wurden, sind Abweichungen der Messergebnisse bei Schimmelpilzmessungen um den Faktor 2 selbst bei standardisierten Arbeitsplatzmessverfahren jederzeit möglich und quasi „erwartbar“. Liegen zwei Messwerte z.B. um 10% auseinander, unterscheiden sie sich nach mikrobiologischem Grundverständnis in Wahrheit statistisch gesehen nicht. Bei $5,0 \times 10^2$ KBE/m³ und $5,5 \times 10^2$ KBE/m³ handelt es sich aufgrund der mikrobiologischen Laborgesetzmäßigkeiten um dieselbe Konzentration.

Eine wesentliche Reduzierung luftgetragener Partikel im Reinluftstrom wird durch die Messergebnisse damit eindeutig belegt. Die Gesamtpartikel-Restbelastungen lagen hinter dem Luftschleier bei etwa 1-3 %. Eine signifikante Erhöhung der Partikel- und Mikroorganismen-Penetrationsraten am Luftschleier mit steigenden Partikel-Ausstoßgeschwindigkeiten im Versuchsfenster 5-12 m/s konnte bei einem Abstand von 1,3 m zwischen Emittent und Aufpunkt unter dem Zuluftelement nicht festgestellt werden. Lediglich bei Verkürzung des Abstandes auf 1,0 m konnte ein Anstieg der Penetrationsrate auf etwa 8% der Gesamtpartikel gemessen werden.

Mund-Nasen-Schutz, wie er derzeit zur Vermeidung oder zumindest Verlangsamung der Ausbreitung des Corona-Virus behördlich angeordnet ist, ist kein Atemschutz. Er dient lediglich als Berührungsschutz zur Verhinderung von Schmierinfektionen. Mund-Nasen-Schutz kann nicht vor Aerosolen schützen. Zum Schutz vor einer saisonalen oder pandemischen Influenza (Grippe) wird i. d. R. Atemschutz mindestens der Klasse FFP2 empfohlen. Filter einer Atemschutzmaske können aber generell nicht 100% der Partikel beseitigen. So genannte *Schutzfaktoren* für Atemschutzmasken geben das von einer bestimmten Atemschutzgerätekategorie erwartete Maß an Schutz gegen schwebefähige Partikel an. Zum Vergleich der Prüfergebnisse der vorliegenden Expertise im Hinblick auf die prozentuale Partikelreduktion werden die Schutzfaktoren von partikelfiltrierenden Halbmasken gegen schwebefähige Partikel in der Luft, wie z.B. Schimmelpilze, aufgerufen wie folgt:

Typ Maske	Schutzfaktor	Reduktion
FFP1	4	100% → 25%
FFP2	10	100% → 10%
FFP3	30	100% → 3%

Quelle: Beschluss 45/2011 des Ausschusses für Biologische Arbeitsstoffe (ABAS) vom 05.12.2011: Stellungnahme „Kriterien zur Auswahl der PSA bei Gefährdungen durch biologische Arbeitsstoffe“

In der Tabelle 5.1 sind die Reduktionsraten der vorliegenden Expertise bei verschiedenen Versuchsbedingungen zusammengefasst.

Tab. 5.1: Ermittelte Reduktionsraten in dieser Gutachtenangelegenheit

	Überbleib Partikel >0.3µm in %	Überbleib Partikel >1.0µm in %	Überbleib Partikel >5.0µm in %	Überbleib Partikel >10µm in %
ohne Blasstrahl	0,82	0,79	0,30	0,70
5 m/s, d = 1,3 m	1,22	1,25	0,74	0,00
7,3 m/s, d = 1,3 m	1,40	0,40	0,07	0,00
9,8 m/s, d = 1,3 m	0,89	0,39	0,08	0,18
12,0 m/s, d = 1,3 m	1,89	1,11	0,07	0,00
12,0 m/s, d = 1,0 m	8,43	8,21	4,27	3,79
10,0 m/s, d = 1,0 m	4,46	9,43	2,17	1,59

(d) Abstand zwischen Luftauslass und Messtelle zentral unter Zuluftelement

Den Prüfergebnissen zufolge könnte die Luftschleieranlage im Praxisbetrieb bis etwa 12 m/s Partikel-Ausströmungsgeschwindigkeit und einem Abstand zwischen Emittenten und dem Atembereich des Beschäftigten am belüfteten Arbeitsplatz von 1,3 m einen entsprechenden oder sogar höheren Schutzfaktor aufzubieten haben als z.B. partikelfiltrierender FFP3-Atemschutz gegen schwebpartikuläre Gefahrstoffe. Sogar bei verringertem Abstand zwischen Keimemissionsquelle (Simulation eines hustenden / niesenden Emittenten) und Arbeitsplatz von 1,3 auf 1,0 m lag die Reduktionsrate bei den Gesamtpartikeln bei einer Partikel-Ausstoßgeschwindigkeit von 12 m/s noch bei über 90%.

In Zusammenhang mit viralen Innenraumluftkontaminationen ist noch wenig darüber bekannt, ob partikelfiltrierende Halbmasken in der Praxis geringere Rückhalteeffizienzen gegen Viren als gegen Schimmelpilze, Bakterien und Hefen in der Luft aufzubieten haben, sobald erhebliche Teile des luftgetragenen Virenkollektivs nicht mehr in Tröpfchen gebunden, sondern solitär vorliegen und es sich dann um extrem kleine Partikel handelt, die herkömmliche Atemschutzmaskenfilter leichter zu durchdringen vermögen. In diesem Falle wäre die Luftschleieranlage gegenüber einer konventionellen FFP2-Maske deutlich im Vorteil, da feine Partikel den vorliegenden Prüfergebnissen zufolge durch den Luftschleier mit ähnlich hoher Effizienz vom Atembereich des Beschäftigten ferngehalten werden konnten, wie Partikel im größeren Bereich ($> 1,0 \mu\text{m}$).

Bis auf Weiters kann aber davon ausgegangen werden, dass filtrierende Halbmasken der Filterklasse P2 einen wirksamen Schutz gegen eine Infektion durch Viren über den Luftweg und die Aufnahme über die Lunge gewährleisten können. Gezielte Untersuchungen von partikelfiltrierendem Atemschutz haben allerdings gezeigt, dass die Gesamtleckage einer Halbmaske im Wesentlichen durch die Gesichtleckage und nicht durch die Leckage des Filters bestimmt wird. Einer optimal sitzenden Halbmaske und der richtigen Unterweisung des Maskenträgers dürfte in der Praxis daher größere Bedeutung beizumessen sein als dem Filtermaterial. Die meisten Virusinfektionen bei konsequent FFP2- und FFP3-Masken tragendem Personal z.B. in Krankenhäusern könnten nach derzeitigem Erkenntnisstand auf eine nicht optimal sitzende Maske und nicht auf einen Durchbruch des Virus durch das Filtermaterial zurückzuführen sein. In diesem Zusammenhang kann das Luftschleier-Lüftungskonzept der Schulz & Berger GmbH mit einem dauerhaft stabilen Schutzfaktor-Analog von etwa 30 bis 100 bei den in der vorliegenden Studie gewählten Bedingungen von nicht zu überschätzendem Vorteil sein, da Nachlässigkeiten der Maskenträgerklientel, die unnötige Gesichtleckagen zur Folge haben, als Risikofaktor für eine Ausbreitung des Virus und eine Infektion von Personal und Kunden völlig entfallen.

6 Zusammenfassung

Die Ergebnisse der orientierenden Messungen auf Staubpartikel und Mikroorganismen im gereinigten Luftstrom eines Luftschleier-Zuluftelements der Schulz & Berger GmbH und zum Vergleich parallel in der nicht behandelten Umgebungsluft des Elements werden zusammengefasst wie folgt:

- die Neuentwicklung kann Arbeitsplätze nicht nur mit hoher Effizienz gegen mikrobielle Schwebstaubpartikel in der umgebenden Innenraumlufte, sondern auch gegen beschleunigte und impulsbehaftete Mikroorganismenpartikel abschirmen.
- Den Prüfergebnissen zufolge könnte die Luftschleieranlage im Praxisbetrieb bis etwa 12 m/s Partikel-Ausströmungsgeschwindigkeit und bei Zugrundelegung eines Abstands zwischen einem Emittenten von Mikroorganismen und Tröpfchen und dem Atembereich eines Beschäftigten am belüfteten Arbeitsplatz von 1,3 m einen entsprechenden oder sogar höheren Schutzfaktor gegen luftgetragene Partikel mikrobieller Art aufzubieten haben, als z.B. FFP3-Maskenatenschutz.
- Die Keimreduktionen durch die Luftschleieranlage lagen bei den verschiedenen Messreihen bei unterschiedlichen Anströmgeschwindigkeiten und -abständen mehrheitlich bei Werten zwischen 1% und 5% der Umgebungswerte, während bei der Partikelreduktion mehrheitlich Verminderungen auf etwa 1% gemessen wurden. Dieses Prüfergebnis wird nicht auf eine unterschiedliche Effizienz der Erfassung bzw. des Blockens von Partikeln und Mikroorganismen durch die Lüftungsanlage bzw. die Filter zurückgeführt sondern wird mit nicht optimalen Randbedingungen für lufthygienische Prüfungen auf Mikroorganismen erklärt.
- Ein wichtiger Effekt der hohen Luftdurchsätze und der großen Effizienz der Keim- und Staubpartikelabscheidung in den eingebauten HEPA-Filtern ist in der relativ schnell ablaufenden allgemeinen Entkeimung der Innenraumlufte in einer Betriebsstätte durch die Anlage zu sehen. In einem etwa 150 m³ umfassenden Raumvolumen wurden die Gesamtpartikelkonzentrationen innerhalb von etwa 15 Minuten um etwas weniger als zwei Zehnerpotenzen reduziert. Nicht nur vor dem Hintergrund des derzeitigen Pandemiegeschehens kann dieser Effekt von Bedeutung sein, da die Belüftungssysteme dazu beitragen können, den Kontaminations- und Infektionsdruck durch bakterielle Erreger und krankmachende Viren in der Luft in stark personenfrequentierten Betriebsstätten zu senken.