

Fraunhofer-Institut für Mikrotechnik
und Mikrosysteme IMM

Institutsleiter
Prof. Dr. Michael Maskos

Carl-Zeiss-Straße 18-20
55129 Mainz

Dr. Michael Baßler
Bereich Diagnostik

Telefon + 49 6131 990-399 | Fax -990-
205

Michael.Baßler@imm.fraunhofer.de
www.imm.fraunhofer.de

Kurzbericht

Untersuchung der Effizienz verschiedener UV-C Bestrahlungseinheiten gegenüber Luftkeimen in der Realnutzungssituation eines fleischverarbeitenden Betriebes und Hochrechnung der Wirkung auf luftgetragene Viren (SARS-CoV-2) und Lebensmittelschädlinge (Listerien)

Durchgeführt im Auftrag der
Micarna SA
Herrn Markus Stirnimann
Route de l'Industrie 25
1784 Courtepin
Schweiz

Der Bericht umfasst:
9 Seiten Text
1 Tabelle
4 Abbildungen

Mainz, 01. August 2022

Abteilungsleiter
Dr. rer. nat. Michael Bassler

Wissenschaftler
Dr. Cornelius Bausch

Wissenschaftler
Dr. Wolfgang Karl Hofbauer

**Fraunhofer-Institut für Mikrotechnik
und Mikrosysteme IMM**
Carl-Zeiss-Straße 18-20 | 55129 Mainz
Telefon +49 6131 990-399
Telefax +49 6131-990-205
www.imm.fraunhofer.de

**Fraunhofer-Institut für Mikrotechnik
und Mikrosysteme IMM**
Carl-Zeiss-Straße 18-20 | 55129 Mainz
Telefon +49 6131 990-394
Telefax +49 8024 643-366
www.imm.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
Fraunhoferstr. 10 | 83626 Valley
Telefon +49 8024 643-219
Telefax +49 8024 643-366
www.ibp.fraunhofer.de

1 Untersuchungsgegenstand

Untersucht wurden die UV-C Luftdesinfektionseinheiten des fleischverarbeitenden Betriebs Micarna SA in Courtepin/Schweiz. Ziel war, die Effizienz der Luftreiniger gegenüber Keimen in der Luft zu ermitteln und die Ergebnisse auf luftgetragene SARS-CoV-2 Viren und Lebensmittelschädlinge (Listerien) zu übertragen.

2 Fazit

Die Luftreinigung mit UV-C Desinfektionseinheiten zeigt bei Micarna SA eine sehr gute Wirkung. In den gemessenen Verarbeitungsbereichen war die Raumluft im Vergleich zur Außenluft nur minimal keimbelastet, was auf eine hohe Effizienz der UV-C Luftreinigung hindeutet. Im Vergleich zu Literaturwerten für fleischverarbeitende Betriebe (siehe Abschnitt 3.1) ist die Keimbelastung bei Micarna extrem niedrig.

Durch Abschätzungen anhand von Literaturwerten kann für Listerien von einer Reduktion um 10^7 und für Aerosole des Coronavirus SARS-COV2 von einer **vollständigen** Desinfektion pro Einzelumlauf der Luft durch den Monoblock ausgegangen werden. Für den Verdampfer ist ein ähnliches Ergebnis zu erwarten, dieses konnte aufgrund von Fehlern im Experimentaufbau jedoch nicht demonstriert werden.

Anhand der aus der Literatur bekannten höheren UV-C-Sensitivitäten von Bakterien und Viren im Vergleich zu Pilzen, kann aufgrund der im Experiment gemessenen signifikanten Pilzreduktion im allgemeinen von einer hohen Wirksamkeit der UV-C-Einheiten gegen pathogene Bakterien und Viren ausgegangen werden.

3 Ergebnisse der Luftkeimmessungen

3.1 Verdampfer

Im Arbeitsbereich Filetierung konnte die Reduktion der Keimbelastung durch die UV-C Luftdesinfektionseinheit pro Einzelumlauf der Luft durch die Einheit nicht direkt beurteilt werden, da es an den Messpunkten störende Strömungseinflüsse (Verwirbelungen) gegeben hat.

Im Vergleich zu den Keimzahlen der Außenluft (vgl. Abschnitt 3.2) können die dort gemessenen Werte jedoch insgesamt als gering betrachtet werden (im Mittel 43 koloniebildenden Einheiten pro m^3 (KBE/ m^3)). Das lässt auf ein sehr gutes Funktionieren der UV-C Luftentkeimung schließen. Üblich in der fleischverarbeitenden Branche (ohne UV-C Luftdesinfektion) sind durchaus Werte von 800 bis 1800 KBE/ m^3 (siehe Tabelle 1). Aufgrund der sehr niedrigen Keimrate im Raum scheint die Wirkung der Verdampfer UV-C Umluftdesinfektion gegeben zu sein.

Tabelle 1: Risikoeinschätzungen von luftgetragenen mikrobiologischen Kontaminationen in lebensmittelverarbeitenden Betrieben. Gesamtkeimzahl (GKZ), Hefe/Schimmelpilzkeimzahl (HSKZ), relative Luftfeuchtigkeit (RH). Grafik entnommen aus [1]. Daten entnommen aus [2].

Luftkontamination	Prozess/Verarbeitungsschritt	GKZ [KbE/m ³]	HSKZ [KbE/m ³]	RH [%]
Gering	Verpackung Milchprodukte	100-400	10-40	50-70
	Haltbarmachung Fleischprodukte/Laborkontrolle	150-300	30-120	45-60
	Frischfleischlieferung	300-600	100-500	45-60
Mittel	Fleischverarbeitung	800-1800	250-500	70-80
	Gastronomie	500-1100	200-600	55-65
Hoch	Schlachthäuser	1500-6500	600-1900	55-65
	Wurstproduktion	1500-3500	2000-10000	70-80
	Innereienverarbeitung	4000-6000	700-3500	55-70

3.2 Außenluft

Die unmittelbare Außenluft zeigte bei den Messungen relativ hohe Werte. Falls die Außenluft ungereinigt in die Verarbeitungsbereiche gelangen würde, hätte dies eine starke Kontamination im Innenraum zur Folge. Da sich diese hohen Keimzahlen nicht mehr in der Innenraumluft nachweisen ließen, kann somit auf eine sehr gute Wirkung der gesamten Lüftungsanlage mit integrierter UV-C-Luftdesinfektion geschlossen werden.

Die Keimbelastung der Außenluft hängt stark von äußeren Faktoren wie Windstärke und -richtung, UV-Einstrahlung der Sonne, Temperatur, etc. ab und schwankt entsprechend deutlich. So wurde beispielsweise mit der Ankunft eines Tiertransporters (Hähnchen) mit Kühlventilation in unmittelbarer Entfernung zum Messpunkt direkt ein signifikanter Anstieg der Bakterienbelastung der Außenluft beobachtet.

Trotz hoher Sonnenstrahlung und heißem Wetter lag am Messtag eine im Vergleich zur Innenluft deutlich höhere Keimbelastung vor. Im Mittel betrug diese ca. 155 Bakterien/m³ und 1830 Pilze/m³. Damit lag die Pilzkeimzahl über 40-mal höher als in der Innenraumluft.

3.3 Monoblock

Die Luftdesinfektionseinheit im Monoblock arbeitet hervorragend. Die eintretende Umluft war bereits niedrig belastet und wurde durch die Einheit des Monoblocks komplett gereinigt, so dass die finale Keimzahl auf nahezu 0/m³ sank.

Bei den Messungen am Monoblock zeigte sich eine deutliche Abnahme der Keimzahlen nach Durchlauf durch den Monoblock. Der gemessene Mittelwert der Pilze in der Raumluft von 78 KBE/m³ wurde um 98% reduziert auf 1.7KBE/m³ (annähernd 2 Log-Stufen), der gemessene Mittelwert der Bakterien von 12 KBE/m³ um 88% auf 1.3KBE/m³. Der tatsächliche Reduktionswert wurde aufgrund des geringen Ausgangswerts der Keime am Messausgang jedoch unterbewertet. Eine höhere Reduktionsrate kann angenommen werden.

Die vorgenannten Werte wurden beim einmaligen Passieren des Luftstroms über die UV-C Lampen des Monoblocks gemessen. Durch den hohen Umluftteil des Monoblocks verbessern sich die Werte jeweils weiter - was die geringe Keimrate im Raum plausibilisiert.

Einfluss von UV-C auf Listerien und Corona-Viren laut Literatur

Anhand der aus der Literatur bekannten D90-Werte (D90: Strahlungs-dosis, die für eine Reduktion um 90% benötigt wird) für Listerien und dem im Experiment identifizierten Pilz *Cladosporium* sp. kann mithilfe der Messdaten darauf geschlossen werden, dass mit einer Wahrscheinlichkeit von mehr als 97% (3 Sigma) die Abnahme von Listerien mindestens 7 log-Stufen (Reduktion um 10⁷) betrug. Dieses Ergebnis ist umso beeindruckender, da im Monoblock zu etwa einem Viertel stark belastete Außenluft hinzugefügt wurde (siehe Abb. 1). Die tatsächliche Abnahme liegt vermutlich aufgrund der geringen Statistik und der Unsicherheiten in der Außenluft noch um ein Vielfaches höher.

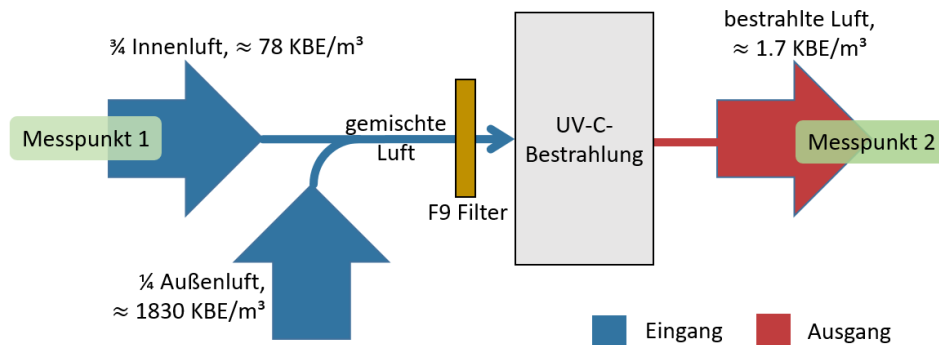


Abb. 1: Schemazeichnung der Messungen im Monoblock

Die Monoblock-Installation arbeitet hinsichtlich der Desinfektion nachweisbar sehr effektiv. Die Keimlast wird durch die UV-C Luftdesinfektionsanlage auf nahezu „0“ reduziert. Eine höhere Leistungsfähigkeit der Anlage kann vermutet werden, da bereits die Eingangsluft eine geringe Keimlast aufwies. Das ist dadurch zu erklären, dass die Raumluft zum Zeitpunkt der Messung bereits viele Male den die UV-C Lichtstrahlung passiert hatte. Wie zuvor bereits erwähnt, stellen die Messwerte die Keimreduktion beim einmaligen Passieren des Luftstroms über die UV-C Lampen des Monoblocks dar. Durch das regelmäßige Passieren des Luftstroms über die Lampen (hoher Umluftteil)

verbessern sich die Werte der Raumluft kontinuierlich, was die niedrige Keimbelastung der Eingangswerte plausibilisiert.

Für das Coronavirus SARS-COV2 ist die benötigte D90-Dosis um den Faktor 30 geringer als die für Listerien. Es kann daher von einer **vollständigen** Desinfektion von SARS-COV2-Aerosolen in der Raumluft nach einem einzigen Durchgang durch den Monoblock ausgegangen werden.

4 Untersuchungsablauf im Detail

4.1 Außenluft

In diversen Arbeitsbereichen der Micarna SA Courtepin wurden UV-C Luftdesinfektionseinheiten in die Raumklimatisierung integriert, um die hygienische Situation zusätzlich zu bestehenden Hygienemaßnahmen (Oberflächendesinfektion, Reinigung, ...) zu verbessern.

Auf Grund gesetzlicher Beschränkungen ist es nicht möglich, in betrieblichen Arbeitsbereichen Test-Keime absichtlich freizusetzen bzw. gezielt anzureichern, um die Wirksamkeit der Maßnahme zu testen. Gegenstand dieser exemplarischen Studie ist es daher, die Effektivität von UV-C Strahlung als Desinfektionsmittel zur Reduzierung vorhandener vermehrungsfähigen Luftkeime in einer realen Nutzungssituation zu bewerten. Die Sammlung der Luftkeime erfolgte anwendungsnah in der Produktion der Micarna SA in Courtepin und unter Anwesenheit von Personal. Es wird eine literaturbasierte Berechnung der Reduktion von Listerien und SARS-COV2 anhand der gemessenen Wirkleistung vorgenommen.

Die Keimzahlen wurden gemessen am Lufteingang und -ausgang eines Verdampfers und am Ein- und Ausgang eines Lüftungsgerätes (Monoblock). Weiterhin wurde als Referenzwert die Außenluft gemessen, die allerdings ohne UV-C-Behandlung in die Produktion eingeführt wird.

Um statistisch auswertbares Datenmaterial zu erhalten wurde in den Arbeitsbereichen zu drei unterschiedlichen Zeitpunkten gemessen (Außenluft nur zwei Zeitpunkte), Messpunkte jeweils Eingangs- und Ausgangsluft der Desinfektionseinheit. An jedem Messpunkt wurden zu jedem Messzeitpunkt fünf aufeinanderfolgende Einzelmessungen durchgeführt. Es wurden drei Situationen betrachtet: Die Messung der Luftkeimzahl (Koloniebildende Einheiten = vermehrungsfähige Keime) erfolgte mittels einer Filtrationsmethode und auf Basis der relevanten DIN bzw. ISO Normen [3],[4].

4.2 Verdampfer, Gebäude B (Geflügel) Abteilung Filetieren

Am Verdampfer (Kühlvorrichtung mit integrierter Ventilation), der unter der Raumdecke angebracht ist, wurde sowohl am Lufteingang als auch am Luftausgang, direkt vor der Kühllamelle, gemessen, um die Effizienz der UV-

C-Bestrahlung auf Keime bei einer Durchquerung der Luft durch die Kühleinheit des Verdampfers zu bestimmen (siehe Abb. 2).



Abb. 2: Luftkeimmessungen am Verdampfer: möglichst nahe am Lufteingang und direkt vor der Verdampferlamelle (Luftauslass).

4.3 Außenluft, Luftansaugung Frischluft Gebäude B (Geflügel) Ausnehmerei

Die gemessene Außenluft (Frischluft) wird zu einem Teil der zirkulierenden Luft im Verarbeitungsbereich der Ausnehmerei zugefügt (siehe Abb. 3). Für die Bestimmung der Wirkleistung der Raumdesinfektion ist es daher unerlässlich, die Keimzahl der als „Frischluft“ in den Betrieb geführten Luft ebenfalls zu kennen.

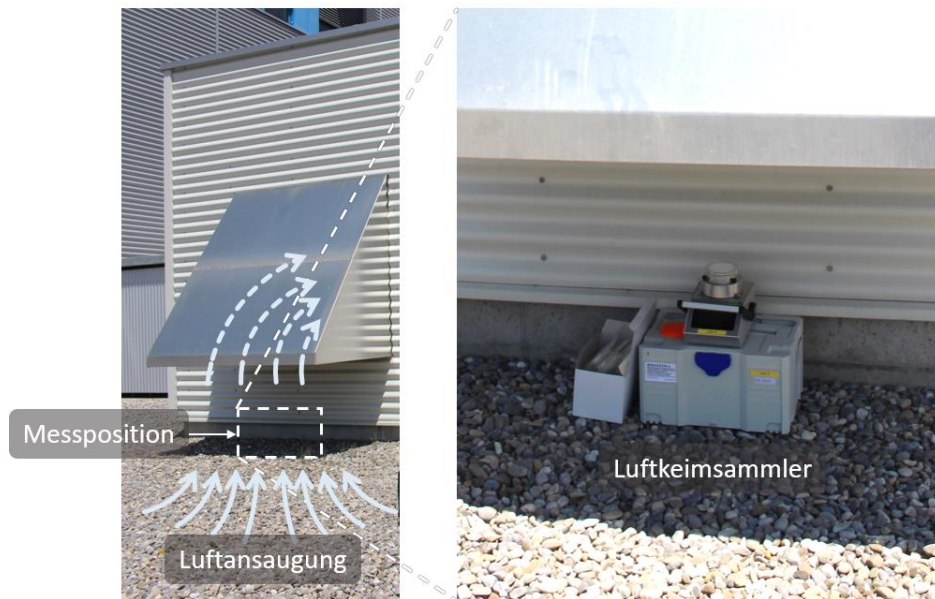


Abb. 3: Messaufbau zur Erfassung der Außenluft am Eingang in die Zuluft der Ausnehmerei.

4.4 Monoblock, Gebäude A (Fleischwaren) Abteilung Feinzerlegerei

Im Monoblock, der sich in einem Raum oberhalb der Fleischverarbeitung befindet, ist eine zentrale UV-C Desinfektionseinheit integriert. Die Raumluft der Feinzerlegerei wird durch den Monoblock gesaugt, dort mit Außenluft vermischt, mit UV-C behandelt und in den Raum der Feinzerlegerei zurückgeleitet. Es wurde im Monoblock sowohl direkt vor der UV-C-Behandlung (Umluftansaugung) als auch direkt nach der UV-C-Behandlung gemessen, um unmittelbar auf die Wirkleistung schließen zu können.

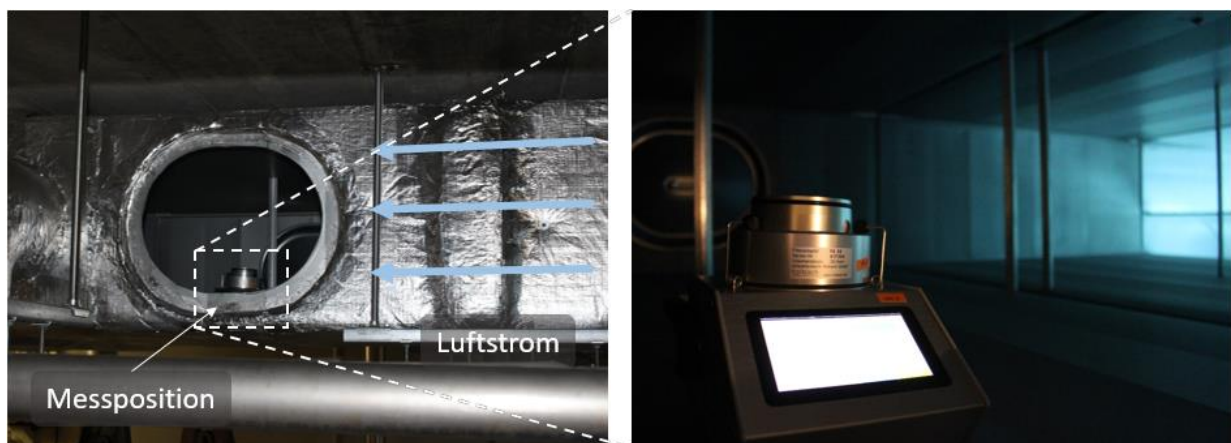


Abb. 4: Messvorrichtung, um die Ausgangsluft beim Monoblock zu erfassen.

5 Empfehlungen für weiterführende/ergänzende Untersuchungen

Die Wirkleistung der Luftdesinfektionseinheit pro Einzelumlauf am Verdampfer konnte aufgrund starker Verwirbelungen durch die Strömungsdynamik im Raum nicht beurteilt werden. Eine erneute Messung unter kurzzeitigen Ausschluss störender Luftströmungen wird empfohlen. Beispielsweise kann durch eine lokale Abschottung der Ausgangsluft (z.B. durch einen entsprechenden Blechrahmen/Blechschauch) die Leistung der UVC-Einheit besser erfasst werden, um damit Aussagen zur Reduktion von Listerien und SARS-COV2 treffen zu können. Zusätzlich empfehlen wir an zwei weiteren Stellen im Arbeitsbereich Luftkeimmessungen der Raumluft durchzuführen, um ein besser aufgelöstes Bild für die Situation im Raum zu erhalten.

Die Außenluft an den jeweiligen Einlässen zu den entsprechenden Klimatisierungssystemen sollte ebenfalls exemplarisch erfasst werden. Diese Messorte sollten eng mit dem Auftraggeber abgestimmt werden. Sinnvoll sind Messungen der unmittelbaren Außenluft und vor Lufteintritt in die Produktion nach vorhandenen Filtern, um den Keimeintrag in die Produktion ohne Keimreduktion durch die UV-C Luftdesinfektion bestimmen zu können. Somit können aus den Messergebnissen der Außenluft Strategien für deren zielgerichtete Filterung/ Luftreinigung abgeleitet werden.

In diesem Zusammenhang empfehlen wir weiterhin, zusätzliche Messungen am Monoblock durchzuführen. Aufgrund der sehr niedrigen Keimbelastung der eingehenden Umluft kann die exakte Effizienz der Anlage nur mit einer nur mit einer relativ großen statistischen Varianz beurteilt werden. Daher sollten zusätzliche Messungen bei 10-facher Beprobungszeit (statt bisher 4 min hier 40 min) durchgeführt werden.

Schließlich empfehlen wir, dass im Vorfeld der Messung die Filter der Außenluft durch die Haustechnik gewechselt und sämtliche relevanten Luftkanäle gereinigt werden, um ein unverfälschtes Bild des tatsächlichen Keimeintrags in die Produktion – ohne UV-C Luftentkeimung – zu bekommen.

Für das oben beschriebene Messprogramm wird bereits ein detailliertes Angebot ausgearbeitet.

6 Referenzen

- [1] Zand, E., Stollewerk, K., Schottroff, F., Drausinger, J., Jäger, H. (2021): „Handlungsempfehlungen für die Produktionshygiene in der Lebensmittelindustrie“. BOKU, Wien. ISBN 978-3-200-07736-2
- [2] Veskovic, M., S., Memisi, N., Djukic, D., Milijasevic, M., Borovic, B., & Raseta, M. (2019): „Air quality and impact on food safety“. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 333, 012111. doi:10.1088/1755-1315/333/1/012111
- [3] DIN ISO 16000-16:2009-12, Innenraumluftverunreinigungen - Teil 16: Nachweis und Zählung von Schimmelpilzen - Probenahme durch Filtration.
- [4] DIN ISO 16000-17:2010-06 Innenraumluftverunreinigungen - Teil 17: Nachweis und Zählung von Schimmelpilzen – Kultivierungsverfahren.