

## Mechanismus der thermischen Inaktivierung von Mikroorganismen durch short-wave IR-Strahlung

### Preface

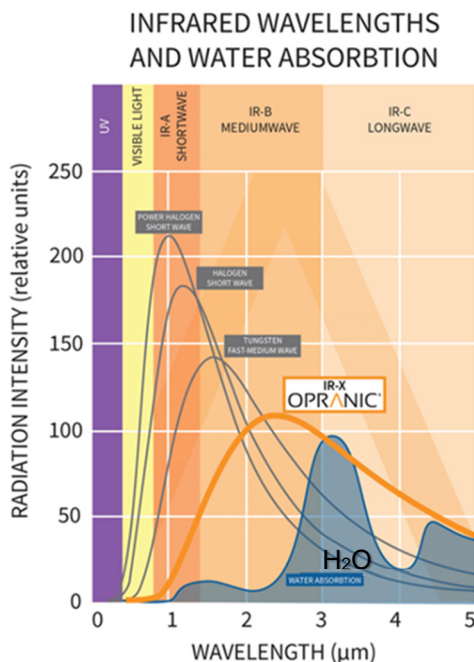
Die aktuelle Situation der Corona-Pandemie und das Auftreten von SARS-CoV-2 / Covid-19 und neueren Mutationen, die noch infektiöser sein sollen, fordert eine physikalische Methode zur Inaktivierung dieser biologischen Partikel im Aerosol, welches eine Hauptursache für die Übertragung von Mensch zu Mensch in geschlossenen Räumen ist.

Dieses war der Auslöser, warum sich Bioway diesem Thema widmete, um eine wirtschaftliche Lösung des Problems zu erreichen, welche zuverlässig in kurzer Zeit alle infektiösen, biologischen Partikel im Aerosol inaktiviert.

Es werden zu dieser Zeit von vielen Firmen sehr unterschiedliche Lösungen angeboten, die dieses Ziel ebenfalls erreichen sollen. Hierbei erheben einige Methoden wie Hepa-Filter und Einsatz von UVC-Strahlung den Hauptanspruch zur Lösung des Problems. Neben diesen Methoden werden auch andere Technologien angeboten, wie Ionisation, Plasma oder Luftwäscher u.a. Oft werden auch Kombinationen der Methoden angeboten.

Die einfachste Methode und bewährteste Methode schon vor Robert Kochs Zeiten ist die thermische Behandlung zur Inaktivierung von Mikroorganismen. Diese Methode wurde deshalb aus guten Gründen favorisiert und weiter entwickelt für die Anwendung in Bio-Aerosolen. Die entscheidende Überlegenheit des Energietransportes durch elektromagnetische Strahlung ist, dass sie verlustfrei ohne den Energieträger Luft stattfindet.

Mechanismus der thermischen Inaktivierung durch IR-Strahlung im «short-wave» Bereich.



Infrared radiation in the short-wave range is between 0.78 µm and 1.4 µm. The peak wavelength we selected is 1 micron.

This infrared radiation passes through the air / aerosol without heating it, only the particles it contains.

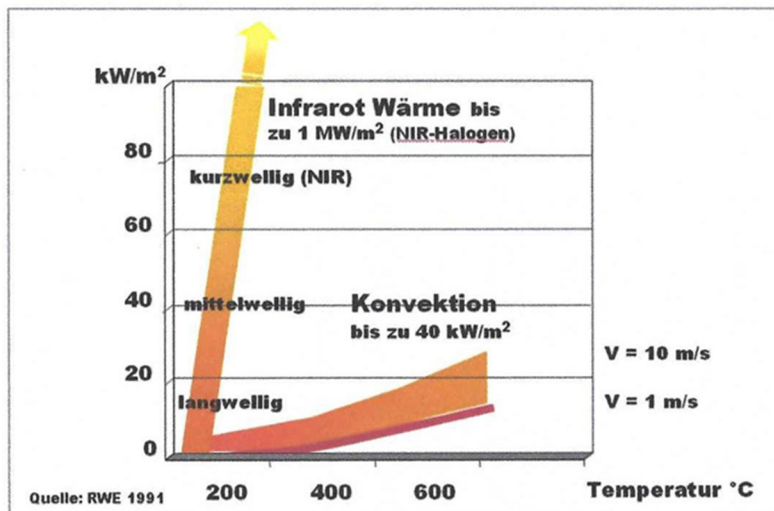
The energy transfer to biological, infectious particles is characterized by the irradiation time and dose:

$$\dot{Q} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \epsilon * \sigma * A * T^4$$

Infrarot-Strahlung im short-wave Bereich liegt zwischen 0,78  $\mu\text{m}$  und 1,4  $\mu\text{m}$ . Die von uns ausgewählte Scheitelwellenlänge liegt bei 1 micron. Diese Infrarotstrahlung passiert Luft / Aerosol ohne diese zu erwärmen, sondern nur die darin enthaltenen Partikel.

Je kürzer die Wellenlänge ( $\lambda$ ), desto höher ist die Photonenenergie. Jedes IR-System muss aufgrund folgender Parameter optimiert werden. Eine theoretische Berechnung bei der Grösse eines Bakteriums (als Partikel) im Aerosol, mit dem Abstand von 20 cm zum Ir-Element, ergab eine Kontaktzeit von 0,03 Sekunden bis zur Inaktivierung.

Da die Energiezufuhr in  $\text{W}/\text{m}^2$ , der Abstand der Strahlungsquelle (m) und die Dauer (s) die bestimmenden Parameter sind - wie der Reflexionsgrad von z.B. poliertem Kupfer – Emissionsgrad ( $\epsilon$ ) 0,012 - bis 0,019 liegt, sind diese Parameter entscheidend für die konstruktive Gestaltung. Dass bedeutet dass so gut wie keine Temperaturerhöhung der Luft selbst eintritt! Kupfer selbst wirkt auf Mikroorganismen bei Kontakt als Biozid.



Bei dem Einsatz von IR-Elementen (Lampen/Strahlungsquellen) ohne Induktor, muss Querschnitt und Länge der Vorrichtung bei einem vorgegebenen Luftdurchsatz dimensioniert werden, da eine Mindestkontaktzeit (Retentionszeit) eingehalten werden muss. Dieses geschieht, um die Energie in der Durchlaufzeit der Luft durch die Vorrichtung auf die Partikel zu übertragen. Bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 7,5 m/s und 0,1 Sekunden Inaktivierungszeit, beträgt die Länge der Strecke 75 cm.

Bei der Induktor-Version entfällt dieses, da der Induktor selbst auf sehr hohe Temperaturen erhitzt wird und diese Energie quasi verlustfrei auf die Partikel im Aerosol überträgt.

Der eigentlich ablaufende Prozess bei der Hitzesterilisation ist die Denaturierung von Eiweißen der Mikroorganismenzellen. Sie beginnt schon bei einer Temperatur von 55-60  $^{\circ}\text{C}$  (AUER 2002). Unter Denaturierung versteht man den Verlust der nativen Proteinstruktur (irreversible Denaturierung von Enzymen und Strukturproteinen). Hierbei winden sich die Polypeptidketten durch die Hitze auf, verlieren ihre natürliche Struktur und bilden zufällige Anordnungen (LEHNINGER 1977). Ist die native Proteinstruktur nicht mehr vorhanden, verlieren Proteine z.B. ihre Wasserbindungsfähigkeit und Enzyme ihre biokatalytischen Fähigkeiten (LUDWIG 1996). Charakteristischer Befund bei einer Denaturierung ist demnach der Verlust der jeweiligen biologischen Aktivität.

Laut LEHNINGER (1977) denaturieren die meisten globulären Proteine bei einer Temperatur von 60-70  $^{\circ}\text{C}$ . Wird die Hitze mit Feuchtigkeit kombiniert, so läuft dieser Prozess schon früher ab (AUER 2002). Da die meisten Proteine ihre biologische Aktivität nur inner-

halb sehr eng gesteckten Temperatur- und pH- Bereichen behalten, kommt es schneller zur Denaturierung, wenn sie Extremen in diesen Bereichen ausgesetzt werden (LEHNINGER 1977).

Beim Absterben einer Mikroorganismen-Population durch Hitzeeinwirkung handelt es sich um einen Zeit- und Temperatur- abhängigen Prozess. In diesem Zusammenhang spricht man nicht von einem Abtötungspunkt, sondern von einer Abtötungskurve. Diese Kurve folgt den Gesetzmäßigkeiten einer Reaktion erster Ordnung, d.h. in einer logarithmischen Absterbe-Ordnung stirbt in der gleichen Zeiteinheit der gleiche Prozentsatz an Mikroorganismen.

Zwischen Temperatur und Zeit besteht bezüglich der Hitzeabtötung eine logarithmische Beziehung, d.h. je höher die zur Hitzeabtötung verwendete Temperatur ist, umso geringer ist die Zeit, die zur Abtötung aufgebracht werden muss.

Man unterscheidet zwischen ohmscher Inaktivierung (Heizelemente) oder Strahlungs-Inaktivierung. Damit ist praktisch die vollständige Zerstörung der biologischen Aktivitäten von Mikroorganismen und biologischen Agenzien (CEN-Norm 12740) gemeint. Quelle: Mitteilung aus dem Institut für Lebensmitteltechnologie und Verpackung München, Germany - M. Lubieniecka, Von Schelhorn.

Das Absterben und die Abtötung von Mikroorganismen bedeutet den irreversiblen Verlust der Fähigkeit sich zu vermehren, zu wachsen oder sich in irgendeiner Weise zu reproduzieren oder zu reaktivieren.

Bei einer Lyse einer Zelle wird z.B. ein Bakterium in seiner Struktur zerstört – d.h. eine Zellmembran bzw. Aussenhülle wird entfernt/ zerstört. Die thermische Inaktivierung im Hochtemperaturbereich (z.B. bis ca. 500°C) bei einer Infrarotanwendung zerstört völlig die Struktur von Mikroorganismen und könnte als Vorstufe einer Pyrolyse verstanden werden.

Die Befreiung eines Material von lebenden Mikroorganismen oder deren Ruhezustand bezeichnet man als Entkeimung oder Sterilisation. Eine der häufigsten heute angewendeten Techniken ist die Teilentkeimung (Pasteurisation) wie sie beispielsweise bei dem Grundnahrungsmittel Milch angewendet wird. Beim UHT-Prozess wird Milch insgesamt von Keimen befreit, da die Temperatur wesentlich höher liegt und über eine gewisse Zeit aufrecht erhalten wird.

Sporen, bzw. sporenbildende Bakterienarten benötigen höhere Temperaturen, die durch Autoklavieren erreicht werden können. Zur thermischen Inaktivierung werden feuchte Hitze oder trockenen Hitze angewandt. Pilze oder Sporen können kaum oder schlecht durch UV-Licht in dem normalen Anwendungsbereich von 245-260 nm inaktiviert werden.

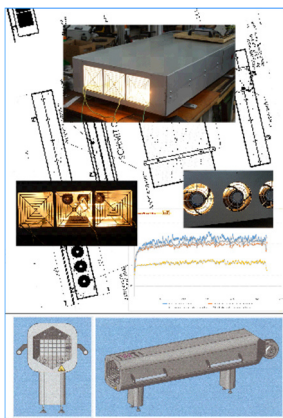
Die Begriffe Desinfektion, (Abtötung aller pathogenen Mikroorganismen), Asepsis, Antisepsis und Infektion sind in der Mikrobiologie weniger gebräuchlich als in der Hygiene.

Bei feuchter Hitze werden die vegetativen Zellen von Bakterien und Pilzen schon bei Temperaturen um 60°C innerhalb von 5-10 Minuten abgetötet, Hefe – und Pilzsporen erst oberhalb 80°C und die Sporen von Bakterien oberhalb von 120°C in etwa 15 Minuten. Viren werden bei trockener Hitze und feuchter Hitze bei unterschiedlichen Temperaturen inaktiviert. So das Corona-Virus (Covid-19) bereits ab 56°C wobei die Schnelligkeit von der Höhe der Temperatur abhängt. Bei 300°C innerhalb von weniger als 0,1 Sekunde (Stand der Technik).

Die thermische Inaktivierung von Mikroorganismen erlebt eine Renaissance für Aerosole. Auftretende Mutationen von Viren – hier aktuell vom Corona-Virus – werden sicher und schnell inaktiviert. Es spielt keine Rolle um welchen Virus-Typ es sich handelt.

Bioway bieten nun zwei verschiedene Systeme für die thermische Inaktivierung von Mikroorganismen an:

- 1 System für hohen Luftdurchsatz, wobei die Kontaktzeit mit der Länge des Systems korreliert, um in kurzer Zeit jede Form von Viren zu inaktivieren. Die Luft selbst wird nicht erwärmt bei Verwendung von poliertem Kupfer als Oberfläche ( $\epsilon =$  Emissionsgrad 0,012 - bis 0,019) - . Kupfer selbst hat biozide Eigenschaften und inaktiviert bei längerer Kontaktzeit (etwa 5 Minuten) ein grosses Spektrum an Mikroorganismen.
- 2 System in sehr kompakter, kleinerer Form (kleiner bzw. kürzer als das System unter 1), wo die Kontaktzeit durch Einsatz eines Induktors verkürzt wird. Dieser Induktor fungiert nicht als Strömungswiderstand und reduziert kaum den Luftdurchsatz. Die Temperaturen sind hier aber wesentlich höher (UHT-Bereich) als in der ersten Variante und können auf jede Applikation optimiert werden. So werden im UHT-Bereich auch jede Form von Sporen leicht inaktiviert. Ausserdem ist ein Feature die Beseitigung von Geruchsträgern, die durch «cracken» der Bindungen des Moleküls eintritt. Graphit ist beständig bis etwa 3000°C oberhalb von 2000°C tritt aber allmählich eine Versprödung ein. Unter Sauerstoff-Einwirkung entzündet sich Graphit bei ca. 600°C – daher wird die Induktor-Version auf Temperaturen bis 500°C begrenzt, da schon bei 250-300°C eine komplette Inaktivierung von biologischem Material vorliegt. Graphit ist diamagnetisch mit anisotropen Verhalten und ist nur durch oxidierende Säuren angreifbar. Da aktiviertes Karbon (AC) in der Abwasser-Reinigung für „micro-pollutants“ eingesetzt wird, erfolgt hier bei höheren Temperaturen (ca. 300-400°C) eine Regeneration (Desorption) um die Stoffe wieder zu entfernen und einen Wiedereinsatz zu ermöglichen.



Das System ist modular aufgebaut und kann an Anforderungen angepasst werden. Die Angaben wurde mit einem System von 3 KW gemacht allerdings mit Al-Auskleidung. Der Reflexionsgrad ist hier bei Al zu gering. Das bedeutet, dass die Erwärmung hier der Vorrichtung selbst geschuldet ist. Eloxiertes Aluminium hat einen  $\epsilon$ -Wert von 0,55. Ein  $\epsilon$ -Wert von 0,1 bedeutet dass 10% der Energie absorbiert werden und 90% zurückgestrahlt werden. Zwei Faktoren können zur Erwärmung der Luft beitragen A. ein schlechter  $\epsilon$ -Wert und B. durch Luftkontakt-Strömung der heißen IR-Elementen-Oberfläche. Das bedeutet, je höher die Luftströmung ist, desto kleiner ist das  $\Delta T$  in °C! Eine polierte Kupferoberfläche wirkt als Spiegel für die IR-Strahlung.

Eine Erwärmung der Luft selbst tritt nicht mit IR-Strahlung in dem Bereich auf! Das ist in Theorie und Praxis so! Nur Ozon, CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O absorbieren in einem Wellenlängenbereich überhaupt. Die IR-Strahlungsquelle von 3 KW ist aber überdimensioniert und muss angepasst werden.

In einem innen polierten Kupferrohr mit 5 cm Durchmesser - Länge ca. 54 cm, wo mittig, innen ein short-wave-IR-Element hängend (horizontal) fixiert ist, mit einer Strömung von 48 – 191 Liter / Minute - tritt keine Temperaturerhöhung auf, sondern bleibt bei RT u. Nb. konstant.

Die thermische Inaktivierung von Mikroorganismen ist belegt und ist Stand der Technik. Die Haltbarkeit von «short-wave»-IR-Elementen (0,8 -1,4  $\mu\text{m}$ ) ist bei Kühlung durch den hohen Luftdurchsatz (z.B. 2000  $\text{m}^3/\text{h}$  wie oben) gegeben und es wurde in Praxis belegt, dass die IR-Elemente jahrelang ohne Leistungsverlust zuverlässig arbeiten. Somit sind die Betriebskosten nur der benötigte Strom für das System. Diese Betriebskosten werden im Induktor-System (wie unter 2) reduziert, da für die Applikation notwendige Energie angepasst werden kann.

Die Produktionskosten einer Standard-Unit bei einer 100er-Serie werden auf 600 € geschätzt. Das System ist modular aufgebaut und kann jeder Forderung im Luftdurchsatz angepasst werden. Man gibt dieser Technologie den Vorzug, da das System simpel ist, keine Nebenprodukte wie UV-Stahlen, Ozon oder  $\text{H}_2\text{O}_2$  freisetzt und wirtschaftlich arbeitet – nur mit Strom (220/230 V / 50-60 Hz) ohne weitere Betriebsmittel.

Die Abmessungen des ersten Systems war 660 mm x 1300 mm x 214 mm mit einem Gewicht von ca. 16 Kg. Diese Werte sind nicht fix und können geändert bzw. angepasst werden.