

Bessere Luft durch UV-C Entkeimung

Hinweise zu Wirksamkeit, Planung und Berechnung

DIPL.-ING. LARS KELLER*

Immer mehr Menschen verbringen die Zeit in geschlossenen Räumen. Durch Reisetätigkeiten kommt es verstärkt zu Vermischungen von Viren und Keimen und damit trifft es auch Personen, die dafür keine Abwehrkräfte haben. Spätestens seit Corona ist die UV-C Entkeimung von Luft in aller Munde. Neben, besser gesagt in Kombination mit der Luftreinigung durch Filtration, besteht durch UV-C Entkeimung eine interessante Möglichkeit, die Luftqualität zu verbessern und Viren und Keime aus der Luft zu entfernen. Auch bei der Wasserbehandlung wird neben der Dosierung die UV-Bestrahlung genutzt. Welche Kontaminierung kann nun wirklich mit der UV-C Entkeimung aus der Luft entfernt werden? Wie schaut der Aufbau aus, wo sind die Grenzen? Diese Fragen werden im nachfolgenden Artikel geklärt.

Grundlagen zu UV Strahlung und Desinfektion von Luftströmen mit UV-C

Was ist UV-C Strahlung?

Die Entdeckung der UV-C Strahlung erfolgte bereits im Jahr 1801 durch den deutschen Physiker Johann Wilhelm aus den Erkenntnissen der Schwärzung von Silbersalzen im Sonnenlicht. Schon im Jahre 1877 wurde entdeckt, dass die Vermehrung von Mikroorganismen bei Bestrahlung mit Sonnenlicht unterbunden wurde. Die daraufhin folgenden Forschungen konnten nachweisen, dass von dem unsichtbaren Anteil der Sonnenstrahlung unterhalb einer Wellenlänge von 320 nm eine keimtötende Wirkung ausgeht. Heute ist bekannt, dass es sich bei der Strahlung um UV-C Strahlung handelt, die Mikroorganismen zwischen 240 und 280 nm abtötet.

Wo ist der Unterschied zwischen UV-C und VUV?

Die UV-C Strahlung liegt mit ihrer Wellenlänge von 280 bis 100 nm

unterhalb von UV-A und UV-B Strahlung. Ein Teil der UV-C Strahlung 200 -100 nm wird auch als VUV (Vakuum UV-C) bezeichnet. Im Gegensatz zur UV-C Strahlung oberhalb von 200 nm bewirkt das VUV eine Ozonproduktion.

Unterhalb von 200 nm ist die Strahlung so kurzweilig und energiegeladen, dass diese durch Sauerstoff (O₂) absorbiert wird und dabei der molekulare Sauerstoff in zwei freie Sauerstoffradikale (2 O) gespalten wird. Diese beiden Sauerstoffradikale reagieren dann mit jeweils einem weiteren Molekül Sauerstoff (O₂) zu Ozon (O₃). Oberhalb der 200 nm entsteht kein Ozon. Bild 1 zeigt die Wellenlänge des Lichts.

Beide Wellenbereiche haben unterschiedliche Eigenschaften und Auswirkungen auf die Umgebung.

Neben dem bereits erwähnten Unterschied der Ozonproduktion ist auch die Reichweite der Strahlung in der Luft unterschiedlich. Bei UV-C Strahlung ist die wirksame Reichweite bis zu einem

Meter messbar. Das VUV hingegen wirkt nur im unmittelbaren Bereich der Lampe. VUV Strahlung ist daher nur im Vakuum technisch mit handelsüblichen Geräten messbar. Beide Strahlungsbereiche haben die gleiche stoffdurchdringende Eigenschaft. UV-C Strahlung ist in der Lage, Quarzglas und Wasser gut zu

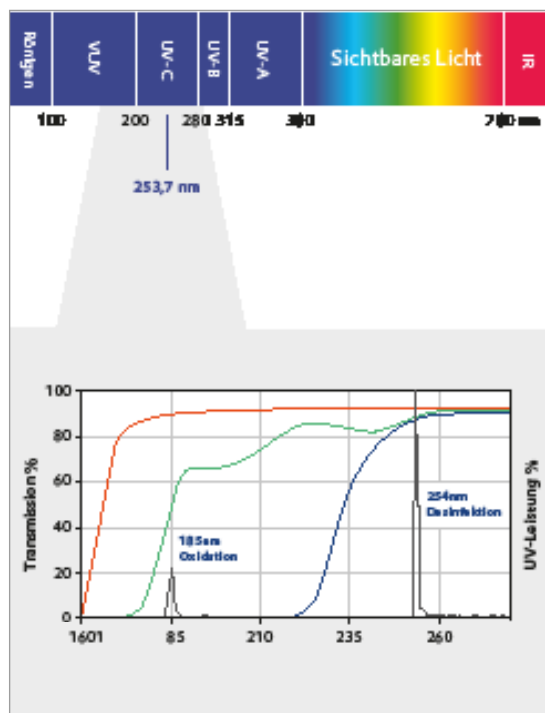


Bild 1 • Wellenlänge des Lichts.

Bild: oxytec

durchdringen. Bei den meisten Materialien aber, wie z. B. Fensterglas ist eine Eindringtiefe bzw. Durchdringung nicht möglich. Dies gilt auch für die menschliche Haut, siehe hierzu Bild 2. Neben der UV-C Strahlung emittieren diese Strahler auch blaues Licht.

Desinfektion von Luftströmen mit UV-C

Im Weiteren sprechen wir von der UV-C Strahlung bei 254 nm. Die Wellenlänge von 254 nm wird zur Desinfektion von Luftströmen und Oberflächen verwendet. Die sehr hohe Energiedichte des UV-C-Lichtes löst bei den Mikroorganismen eine entsprechende Reaktion aus. Danach kommt es bei der Wellenlänge von 254 nm zur Inaktivierung von Bakterien, Pilzen, Schimmel und Viren, sodass eine weitere Zellteilung unterbunden wird. Die Mikroorganismen werden inaktiviert. Die UV-C-Strahlung der Sonne wird bereits in der Stratosphäre absorbiert und gelangt somit nicht bis auf die Erdoberfläche. Daher haben weder Viren noch andere Organismen Abwehrstrategien gegen UV-C-Strahlung entwickelt. Auch wir Menschen müssen Augen und Haut vor direkter Bestrahlung mit UV-C-Licht schützen.

Wirkung

Bild 3 zeigt aufgrund der biologischen Wirkung die Effizienz der Strahlung bei unterschiedlichen Wellenlängen. Die Kurve a zeigt die abtötende Wirkung auf Mikroorganismen, die Kurve b zeigt die direkte Wirkung auf die Thyminnukleinsäure und Kurve c zeigt das Strahlungsspektrum der UV-C-Niederdrucklampen. Die UV-C-Strahlung führt bei Mikroorganismen zu DNA-Schäden. Zwei benachbarte Thyminbasen verbinden sich miteinander und bilden so Thymindimer. Diese behindern die Replikation der DNA. Damit ist der Mikroorganismus nicht in der Lage, sich zu vermehren, siehe auch Bild 4.

UV-C Beständigkeit

Die meisten Materialien sind zwar lichtdurchlässig, aber nicht UV-C durchlässig. Bestimmte Materialien, besonders Kunststoffe, sind gegen die UV-C-Strahlung nicht beständig. Es kommt zu Versprödungen etc. Hierbei spielt nicht nur das Material, sondern auch die Farbe eine entschei-

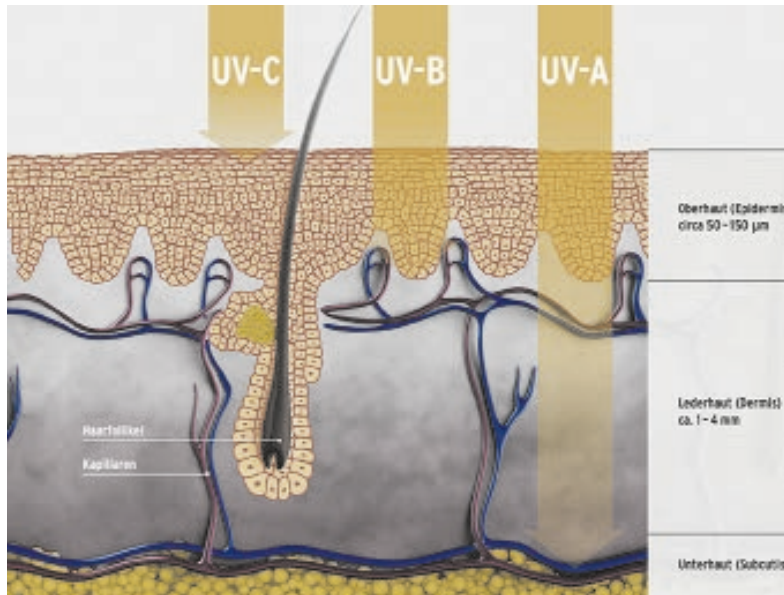


Bild 2 • Eindringtiefe des UV-Lichts in die menschliche Haut. Bild: Bundesamt für Strahlenschutz

dende Rolle. Eine UV-C-Beständigkeit darf nicht mit einer UV-Beständigkeit verwechselt werden. Bei der UV-Beständigkeit wird das Spektrum der Sonne zu Grunde gelegt, in dem nur wenig UV-C-Strahlung vorhanden ist.

Welche Leuchten und Lampen finden Einsatz in der Klimatechnik?

UV-C-Lampen mit Ozon

Spektrum: Linien bei 254 nm und 185 nm, ozonerzeugend. Niederdrucklampe aus synthetischem oder natürlichem Quarzglas. Es wird zusätzlich UV-Strahlung der Wellenlänge 185 nm (Vakuum-UV) für Oxidationsprozesse, wie den Abbau von Schadstoffen, Geruch und Fett, abgegeben.

UV-C Lampen ohne Ozon

Spektrum: Linie bei 254 nm, ozonfrei. Der UV-Niederdruckstrahler aus Quarz bietet einen hohen Wirkungsgrad. 40 % der elektrischen Leistung sind als UVC-Strahlung 254 nm für die Desinfektion nutzbar.

UV-C LED

Gegenüber den Niederdrucklampen haben LEDs den Vorteil, genau die optimale Wellenlänge (265 nm) zur Inaktivierung der Mikroorganismen zu realisieren. Möglich ist eine Wellenlänge von 200-360 nm. Bezüglich der Effektivität fehlt es der LED aber an Leistung und damit an Bestrahlungsstärke.

Welche Bestrahlungsmodelle werden verwendet?

Hier wird zwischen der räumlichen Bestrahlung und einer Bestrahlungs-

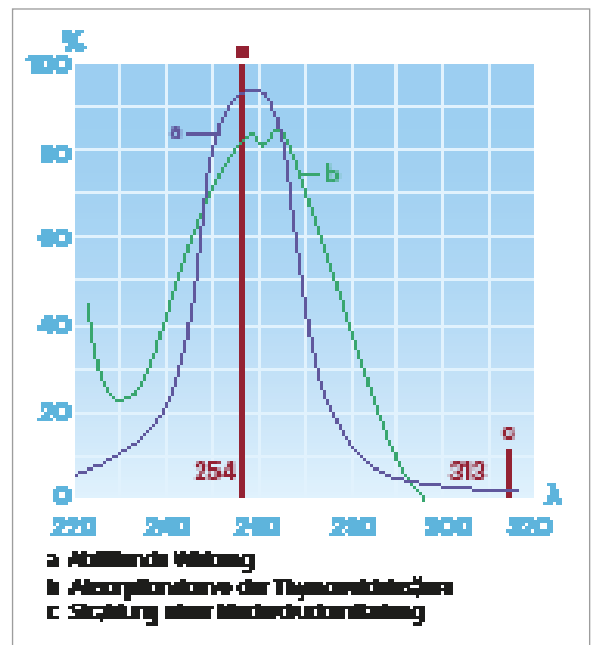


Bild 3 • Effizienz der UV-C Strahlung bei unterschiedlichen Wellenlängen. Bild: oxytec

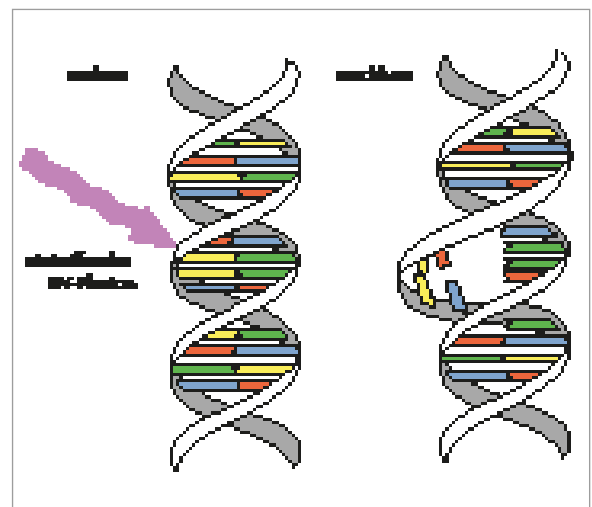


Bild 4 • Bildung des Thymindimers. Bild: Leitfaden für Lüftungs- und Klimatechnik, 5. Auflage, Lars Keller

wand unterschieden, diese Bestrahlungsmodelle werden nachfolgend näher beschrieben.

Räumliche Bestrahlung

Diese Variante ist zwar in der Realisierung sehr einfach, da die Strahler ohne weitere Hilfsmittel installiert werden können. Der Nachteil besteht aber darin, dass die Strahler nur zu einer Seite, nämlich zur Mitte des Kanals, strahlen können. Die Wandreflektion beträgt aber nur 30 %. Es gehen also ca. 35 % (50 % Strahlung zur Mitte des Kanals, aber nur 30 % von den 50 % die reflektiert werden) der Wirkung verloren. Hinzu kommt, dass die Strahlungsstärke im Quadrat zum Abstand der Lampe abnimmt. So wird der Mikroorganismus im mittleren Kanal kaum bestrahlt bzw. erhält wahrscheinlich nicht die letale Dosis.

Bestrahlungswand

Hierbei werden die Strahler quasi als Wand, die durchströmt werden muss, in den Kanal eingefügt, Bild 5 zeigt dies. Hierbei ist die Berechnung etwas schwieriger, da bei der Dosisberechnung der Mikroorganismus zu jedem Zeitpunkt einer anderen Strahlungsstärke ausgesetzt ist. Der Vorteil dieses Systems liegt aber in der hohen Bestrahlungsstärke, da jeder Mikroorganismus fast direkt an einem Strahler vorbeigeführt wird. Die Verweildauer ist dabei zwar gering, die Strahlung aber sehr hoch. Dies lässt sich positiv begründen, wenn man die Formel der Dosis betrachtet.

Dosis = Strahlungsstärke x Verweilzeit [$\text{mW}/\text{cm}^2 \times \text{s}$]

Es kommen mehrere UV-C-Strahler mit mindestens 30 Watt UV-C zum Einsatz. Die Verweilzeit beträgt aber bei üblichen Luftgeschwindigkeiten von 2 m/s nur den Bruchteil einer Sekunde. Daraus ist erkennbar, dass die Strahlungsstärke einen wesentlich höheren Einfluss (siehe Einheit mWs/cm^2) als die Verweilzeit hat. Somit hat diese Anordnung die höchste Effektivität.

Wie erfolgt die Berechnung?

Grundsätze der Berechnung

Für die Effektivität der Abtötung bzw. Inaktivierung der Mikroorganismen ist die Dosis maßgebend. Wie



Bild 5 • Bestrahlungswand für RLT-Anlage.

Bild: oxytec

bei vorheriger Formel beschrieben, ist die Dosis das Produkt von Bestrahlungsstärke und Verweilzeit des Mikroorganismus in dem aktiven UV-C Bestrahlungsfeld. Die Einheit von $\text{mW}/\text{cm}^2 \times \text{s}$ kann in mWs/cm^2 oder $10 \text{ J}/\text{m}^2$ umgerechnet werden. In der Praxis ist die Erhöhung der Strahlungsstärke (Watt) wesentlich einfacher als die Erhöhung der Bestrahlungsdauer (Sekunden), diese hätte bei RLT-Anlagen aufgrund der Strömungsgeschwindigkeiten komplexe Auswirkungen auf das gesamte System. Damit hat technisch gesehen die Bestrahlungsstärke einen höheren Einfluss auf die Entkeimungseffektivität als die Verweildauer. Die Schwierigkeit ist, dass man im Gegensatz zur Oberflächenentkeimung kein homogenes UV-C-Feld hat. Es sind also auf Erfahrung basierende Rechnungsmodelle gefragt.

Limitierende Faktoren

Da sind als erstes die physikalischen Faktoren, die die Bestrahlungsstärke beeinflussen.

- *Lufttemperatur*

Die UV-C-Leistung der UV-C-Lampe wird durch die Lufttemperatur limitiert. Je kälter die Luft und damit die Oberfläche der Lampe, je schwächer ist die UV-C-Leistung. Gleiches gilt auch für höhere Geschwindigkeiten der Luft, die einen Einfluss auf das Abkühlverhalten der Lampenoberfläche hat.

- *Geometrie*

Die zweite Einflussgröße ist die Geometrie des Lüftungskanals und die Anordnung der Lampen.

Ein quadratischer Querschnitt ergibt eine höhere Bestrahlungsstärke als ein rechteckiger Querschnitt. Deshalb lässt sich auch keine normierte Größe z. B. in m^3/h pro Lampe ermitteln.

- *Luftfeuchte*

Ein biologischer Faktor ist die Luftfeuchte. Bis 60 % relativer Feuchte hat sie keinen Einfluss. Darüber hinaus und mit zunehmender Feuchte werden Mikroorganismen beständiger gegen UV-C-Licht. Also wird bei feuchter Luft mehr Bestrahlungsstärke benötigt. Ab 90 % Luftfeuchte wird es kritischer, ist aber immer noch technisch beherrschbar.

Einsatz in der Praxis

Luftentkeimung allgemein

UV-C-Licht beseitigt nicht nur jegliche Keime, Bakterien und Viren. Auch die Wirksamkeit gegen pandemische Erreger wie SARS-CoV-2 hat die „International Ultraviolet Association (IUVA)“.

<https://www.iuva.org/IUVA-Fact-Sheet-on-UV-Disinfection-for-COVID-19> nachgewiesen. Vornehmlich in Lüftungssystemen, aber auch in mobilen Geräten eingesetzt, eliminiert UV-C Licht bei einer Wellenlänge von 253,7 nm bis zu 99,99% sämtlicher luftgetragenen Mikroorganismen.

- Ein wichtiger Vorteil der physikalischen UV-Desinfektion ist, dass diese keine Resistenzbildung hervorrufen kann.
- Die UV-C-Entkeimung funktioniert auch dann, wenn Keime bereits eine Resistenzbildung gegen konventionelle Desinfektionsmaßnahmen wie Alkohol, Antibiotika, ... erworben haben.
- Die UV-C-Entkeimung funktioniert bei allen Mikroorganismen, egal, ob es sich dabei um häufig auftretende E.-coli-Bakterien, SARS, Legionellen oder Schimmel handelt.
- nachhaltige, chemiefreie UV-Desinfektion – keine Rückstände, keine NO_x-Bildung
- trockenes Verfahren – keine Feuchtigkeit
- temperaturneutral – keine Erwärmung der Medien und Oberflächen durch das UV-Licht
- Kostensicherheit – klar kalkulierbare Kosten
- Ohne zusätzlichen Druckverlust in der RLT-Anlage nachrüstbar.

Luftentkeimung in RLT-Anlagen

Die UV-Entkeimungstechnologie unterstützt ganz wesentlich die in der VDI-Richtlinie 6022 geforderte Einhaltung der Hygienemaßnahmen von Klima- und Lüftungsanlagen. Die Zugänglichkeit für eine regelmäßig Reinigung ist teilweise nicht gegeben. Keime, Viren und Schimmel finden hier einen idealen Nährboden für ihr Wachstum. Haltbarkeitsminderung von Lebensmitteln, das Sick-Building-Syndrom in Arbeitsräumen und Infektionen können zu einer reduzierten Wirtschaftlichkeit des Betriebes führen. Es wird jetzt auch eine DIN

bezüglich UV-C-Luftreiniger entworfen bzw. die „DIN TS 67506: 2022-02: Entkeimung von Raumluft mit UV-Strahlung – UV-C-Sekundärluftgeräte“ in eine DIN überführt. Weitere Richtlinien auch für Lüftungsanlagen sind geplant.

Die UV-C-Entkeimungsmodule sollten immer endständig im Gerät oder im Kanal eingesetzt werden. Randbedingungen wie Feuchte und Temperatur werden in der Raumlufttechnik grundsätzlich berücksichtigt. Bei

Prozessluft muss gesondert darauf geachtet werden. Ein limitierender Faktor ist die Luftgeschwindigkeit. Sie darf nicht mehr als 3-4 m/s betragen. Im RLT-Gerät beträgt sie ca. 1,7 m/s. Die Funktion und Lebensdauer werden mit einer Steuerung überwacht. Funktion ist gleich Effektivität. Die Nutzlebensdauer der Lampen beträgt 12.000 h, danach hat die Lampe nur noch eine Intensität von 85 %. Sie leuchtet dann zwar noch weiter, die Strahlungsstärke nimmt aber dann schnell ab. Die Investitionskosten sind höher als bei Filtern. Jedoch sind die Betriebskosten bei UV-C im Vergleich zu regulären Filterwechseln niedriger, gleiche Effektivität vorausgesetzt. Da der Energieverbrauch aus Strom besteht wäre er, wenn dieser aus regenerativen Quellen stammt, ohne CO₂ Belastung. Die spezifischen Treibhausgas-Emissionen im deutschen Strommix betragen laut Berechnungen des Umweltbundesamtes (UBA) 2021 durchschnittlich bei 420 g CO₂/kWh.

Quelle:

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/co2-emissionen-pro-kilowattstunde-strom-steigen#:~:text=Das%20zeigen%20aktuelle%20Berechnungen%20des,2019%20bei%20411%20g%20F-kWh>



*Diplom-Ingenieur (FH) Lars Keller ist gelernter Zentralheizungs- und Lüftungsbauer. Nach der Lehre absolvierte er ein Studium der Versorgungstechnik an der FH in München. Er verfügt über 20 Jahre Erfahrung bei der Projektierung und dem Vertrieb von Kälte- und Klimaanlageanlagen und Wärmepumpen. Seit 2004 ist er Fachbuchautor mit folgenden Publikationen:

- Leitfaden für Lüftungs- und Klimaanlageanlagen, 5. Auflage
- Leitfaden für Kompressionswasserkühlsätze, 3. Auflage
- Leitfaden für Wärmepumpenanlagen, 1. Auflage (gemeinsam mit Markus Heigle).

www.tga-lars-keller.de

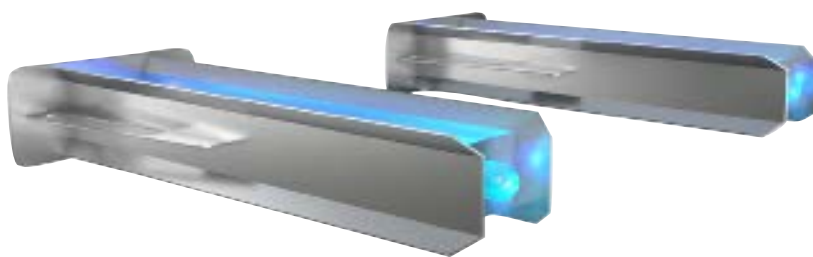
nen-pro-kilowattstunde-strom-steigen#:~:text=Das%20zeigen%20aktuelle%20Berechnungen%20des,2019%20bei%20411%20g%20F-kWh

Luftbestrahlung im Raum

Eine alternative UV-C-Entkeimung des Raumes (Raumluftentkeimung) wird durch offene UV-C-Strahler realisiert. Hier ist auf die negative Auswirkung von UV-C-Strahlung auf Menschen und Material zu achten. Die Effek-

Bild 6 • Industrieluftkühler mit integrierter UV-C-Entkeimungsanlage
Bild: Güntner Group Europe GmbH.

Bild 7 •
UV-C-Emitter/-Lanze
Bild: Güntner
Group Europe
GmbH



tivität der UV-C-Strahlung nimmt stark mit dem Abstand zur Leuchte ab. Eine homogene Entkeimung im Raum ist nicht möglich. Die Entkeimung basiert auf eigenständiger Luftumwälzung im Raum. Bei offenen Strahlern ist die entsprechende Schutzausrüstung, wie z. B. eine Schutzbrille, zu tragen. Wegen der Gefährlichkeit der UV-C-Strahlung ist es ratsam nur Geräte zu verwenden, die die UV-C-Strahlung im Inneren gekapselt haben. So kann keine UV-C-Strahlung auf den Menschen wirken. In der EU gibt es diesbezüglich die Richtlinie 2006/25/EG /49/ (künstliche optische Strahlung). In dieser Richtlinie ist der Zusammenhang zwischen Expositionszeit und Bestrahlungsstärke, die auf den Menschen wirkt als Grenzwert angegeben.

Luftentkeimung in der Lebensmittelindustrie mittels Industriekühler

Um die geforderten Hygienestandards aus dem HACCP-Konzept (Hazard Analysis and Critical Control Point) erfüllen zu können (siehe

hierzu auch Verordnung (EG) Nr. 852/2004 über Lebensmittelhygiene) stehen dem Markt für Kältetechnik besonders konstruierte und zertifizierte (z. B. HACCP-Zertifikat) Luftkühler zur Verfügung (Bild 6).

Den besonderen Ansprüchen der Kühlraumhygiene in Bezug auf Virenfreiheit, besonders in lebensmittelverarbeitenden Betrieben, Rechnung tragend, können diese Geräte bei Bedarf mit einer UV-C-Entkeimungsvorrichtung versehen werden. Die UV-C-Emitter (Bild 7) werden bei solchen Geräten zwischen Wärmeübertrager und Ventilator so platziert, dass die Oberfläche des Wärmeübertragerblocks bestrahlt wird, während durch die Öffnungen des Ventilators keine Strahlung aus dem Gerät treten kann. Dies bietet den Vorteil, dass alle in der Luft getragenen Mikroorganismen vor Verlassen des Luftkühlers das UV-C-Feld durchströmen haben und entsprechend deaktiviert wurden.

Auswirkung auf den Menschen

Die energiereiche UV-C-Strahlung kann, wie auch UV-B und UV-A, sofort auftretende aber auch erst im späteren Leben ersichtliche gesundheitliche Folgen haben. Als akute Reaktionen des Menschen auf UV-C-Bestrahlung können schmerzhafte Entzündungen der Hornhaut oder der Bindehaut des Auges (Photokeratitis, Photokonjunktivitis) sowie der Haut entstehen. Ist der Mensch sehr lange, über Monate der UV-C-Strahlung ausgesetzt, kann es ähnlich wie beim Sonnenbrand zur Schädigung der Erbsubstanz und damit zum Hautkrebs kommen.

Wie verbreitet ist die Technik am Markt?

Früher war die Technik der UV-C-Luftentkeimung hauptsächlich in der Lebensmittelindustrie verbreitet. Mit Corona hat sich die Verbreitung auf andere Gebiete wie z. B. Büros und Kaufhäuser ausgeweitet und auch die öffentlichen Bauämter haben sich verstärkt mit dem Thema auseinandergesetzt. Das Wissen über UV-C-Entkeimung ist allgemein noch nicht sehr weit verbreitet bzw. technisch noch ungenau. Wir hoffen, mit diesem Artikel etwas „UV-Licht“ ins Dunkel gebracht zu haben.

Internationale Tagung „Copper Alloys 2022“

Wissenschaftliche und technische Entwicklungen zur Verwendung von Kupferwerkstoffen

In Kooperation mit den schwedischen Instituten RI.SE und SWERIM veranstaltet der Kupferverband am 22. und 23. November in Düsseldorf „Copper Alloys 2022“. Die Konferenz zielt darauf ab, die Gemeinschaft der Kupfer- und Kupferlegierungsunternehmen weiter zu stärken, indem sie aktuelle Forschungsergebnisse liefert und die notwendigen Forschungs- und Entwicklungsansätze vor dem Hintergrund aktueller gesellschaftlicher Megatrends reflektiert. Neben den zahlreichen Fachvorträgen renommierter Referenten aus Wissenschaft und Industrie wird auch Raum für fachlichen Austausch gegeben: Die anwendungsbezogene Tagung bietet der gesamten kupferverbundenen Industrie- und Forschungslandschaft eine ideale Netzwerk-Plattform auf internationaler Ebene. Ein abendliches Get Together im Düsseldorfer Industrieclub rundet die Veranstaltung ab. Ein Schwerpunkt der Tagung liegt in diesem Jahr auf der Bedeutung von Kupferwerkstoffen für eine nachhaltige Zukunft. Key Notes beschäftigen sich insbesondere mit den Folgen des Green Deals und des EU-Programms Level(s) für die Planung nachhaltiger Gebäude. Sowohl im Bausektor auch als bei der Mobilitäts- und Energiewende spielen Kupferwerkstoffe aufgrund ihrer einzigartigen

Eigenschaften eine entscheidende Rolle. Nicht zuletzt in diesem Kontext wird außerdem beleuchtet wie die Kupferhalbzeug-Industrie die Herausforderung, nachhaltige Kupferwerkstoffe zu entwickeln und einzusetzen, meistert. Der Ausstellungsteil der Konferenz bietet ein exklusives Präsentations-Forum für Unternehmen aus dem Bereich der Kupferproduktion und -anwendung. Verschiedene Angebotsvarianten ermöglichen eine individuelle Vorstellung des ausstellenden Unternehmens. Des Weiteren stehen Sponsoringmöglichkeiten zur Verfügung.

www.copperalloys.eu

Bild: Das Programm zur Tagung CopperAlloys 22 ist abrufbar. Bild: Kupferverband

