

UV-C-Desinfektion in Sicherheitswerkbänken

Pro und Contra

Michael Klein

Berner International GmbH, Elmshorn

Am Einsatz von UV-C-Strahlung zur Desinfektion in Sicherheitswerkbänken scheiden sich die Geister: Praktiker – meist aus mikro- und molekularbiologischen Arbeitsbereichen, aber auch aus der Pharmazie – schätzen vor allem die unkomplizierte Handhabung sowie den kaum ins Gewicht fallenden Material- und Personalaufwand. Hygiene- und Sicherheitsfachleute stehen einem UV-C-Einsatz in Sicherheitswerkbänken dagegen kritisch gegenüber. Ihre Einschätzung kommt in einschlägigen Prüf- und Bewertungsregularien zum Ausdruck, in denen der Einsatz von UV-C-Quellen in diesen Geräten grundsätzlich abgelehnt wird. Lassen sich die Standpunkte einander annähern? Kenntnisse über Grundlagen, Grenzen und Gefahren von UV-C-Strahlung können helfen, die Einsatzmöglichkeiten richtig einzuschätzen und Fehler bei der Nutzung zu vermeiden.

1. Einleitung

Mit der Erfindung künstlicher Strahlungsquellen sowie der Entdeckung, dass Keimwachstum durch direktes Sonnenlicht gehemmt wird, eröffnete sich ab Ende des 19. Jahrhunderts die Möglichkeit, UV-C-Strahlung gezielt zur Bekämpfung mikrobieller Erreger einzusetzen [1, 2]. Seit dieser Zeit existiert mit der UV-C-Desinfektion ein prinzipiell effektives und zudem einfach einzusetzendes Verfahren, Biostoffe in bzw. auf verschiedenen Medien (Luft, Flüssigkeiten, Oberflächen) zu inaktivieren. Motiviert durch aktuelle hygienische Herausforderungen erfährt die Technik immer wieder neuen Auftrieb und wird inzwischen für viele verschiedene Einsatzbereiche (z. B. Trinkwasseraufbereitung, Luftentkeimung, Lebensmittelbehandlung) angeboten. Da die Intensität der abgestrahlten Energie stark mit der Entfernung zur Strahlungsquelle abnimmt, eignen sich UV-C-Lampen vor allem für die Entkeimung

in eng begrenzten Räumen. Ihr Einsatz in Containment-Bereichen ist somit naheliegend und wird seit vielen Jahrzehnten praktiziert.

Dies trifft auch auf Sicherheitswerkbänke (SWBs) zu, für die ein UV-C-Desinfektionssystem ein traditionelles Ausstattungsmerkmal darstellt (Abb. 1). Beim Umgang mit biologischen und pharmazeutischen Arbeitsstoffen bieten mikrobiologische Sicherheitswerkbänke gemäß DIN EN 12469 [3] bzw. Sicherheitswerkbänke für Zytostatika gemäß DIN 12980 [4] einen abgegrenzten, hochreinen Arbeitsraum (GMP-Reinheitsklasse A). Laminare, HEPA-gelieferte Luftströmungen erlauben es, empfindliche Produkte weitgehend frei von luftgetragenen Partikeln zu handhaben. Auf den Flächen haftende Biostoffe müssen jedoch zusätzlich durch geeignete Maßnahmen inaktiviert werden. Für die Desinfektion kommen in der Regel chemische Mittel in flüssiger oder – seltener – in gasförmiger Form zum Einsatz. Ein UV-C-

Desinfektionssystem bietet dazu aus Sicht vieler SWB-Anwender eine einfach anzuwendende Ergänzung oder gar Alternative, durch die sich die mikrobielle Integrität des Arbeitsraums quasi „über Nacht“ herstellen und zudem über längere Nicht-Nutzungszeiträume aufrechterhalten lässt. Fachleute für biologische Sicherheit betrachten die Verwendung von UV-C-Systemen in SWBs allerdings mit Skepsis. Sie fürchten eine Überschätzung der Wirksamkeit sowie eine Gefährdung für das Personal. Im Sinne der Produkt- und Arbeitssicherheit sollte deshalb vor der Entscheidung für ein entsprechend ausgestattetes Gerät eine differenzierte Bewertung stehen. Dazu ist es wichtig, die physikalischen und physiologischen Wirkungen von UV-C-Strahlen zu kennen.

2. Was ist UV-Strahlung?

Ultraviolette (UV) Strahlung stellt einen kleinen Teil des elektromagnetischen Wellenspektrums dar. Mit einer Länge von 100–400 nm liegen UV-Wellen dabei direkt unterhalb des sichtbaren Bereichs. Unter Berücksichtigung der photobiologischen Auswirkungen und des Anteils im natürlichen Sonnenlicht hat sich eine Unterteilung der UV-Region in verschiedene Teilbereiche etabliert. Die genaue Festlegung dieser Bänder kann jedoch leicht variieren, abhängig von Ländern, Wissenschaftsgebieten und den dort jeweils maßgeblichen Regelwerken. Weit verbreitet und anerkannt sind die Festlegungen der Internationalen Beleuchtungskommission CIE [5], die auch in der deutschen Normgebung ihren Niederschlag finden [6]. Danach beschreibt „UV-A“ den langwelligsten



Abb. 1: Sicherheitswerkbank (Quelle alle Abb.: Berner International GmbH).

Teil des UV-Spektrums mit Wellenlängen von 315–400 nm. Als Teil des natürlichen Sonnenlichts erreicht UV-A-Strahlung weitgehend ungehindert die Erdoberfläche. Strahlung im mittleren Band des UV-Spektrums (280–315 nm) wird als „UV-B“ bezeichnet. Da dieser Anteil des Sonnenlichts bereits stark durch die Erdatmosphäre absorbiert wird, besteht das natürliche UV-Licht in Erdnähe nur noch zu geringen Anteilen aus UV-B-Strahlen. Die Strahlung am unteren Ende des UV-Spektrums (100–280 nm) hat die Bezeichnung „UV-C“. Infolge der durch sie ausgelösten Ozonbildung wird der UV-C-Anteil der Sonnenstrahlung nahezu vollständig in der Stratosphäre absorbiert. Eine natürliche Konfrontation von Organismen mit UV-C-Strahlung findet daher kaum statt. Erkenntnisse über die Wirkung kurzweiliger UV-Strahlung lassen sich deshalb vornehmlich durch Verwendung künstlicher Quellen gewinnen.

3. Was bewirkt UV-Strahlung?

Zwar wird die Auswirkung von UV-Strahlen auf Menschen und Materialien meist mit Schädigungen in Verbin-

dung gebracht, die ebenso zu verzeichnenden positiven Effekte machen aber deutlich, dass der natürliche UV-Anteil im Sonnenlicht ein entwicklungsgeschichtlich „akzeptiertes“ Phänomen ist. So ist seit Langem bekannt, dass UV-Strahlung – insbesondere UV-B – für die Bildung von körpereigenem Vitamin D (Cholecalciferol) erforderlich ist. Auch eine Steigerung des Wohlbefindens wird der UV-Strahlung zugeschrieben. Darüber hinaus kann UV-A- und UV-B-Strahlung therapeutisch gegen verschiedene Hauterkrankungen eingesetzt werden.

Bei den bionegativen Effekten wird zwischen akuten und langfristigen Auswirkungen unterschieden: Bekannte Kurzzeitfolgen

sind Sonnenbrand (Erythem) und entzündliche Veränderungen der Horn- und Bindehaut (Photokeratitis, Photokonjunktivitis). Als Auslöser für diese Schädigungen werden vornehmlich UV-B-Strahlen angesehen. Zu den prominenten Langzeitschäden zählen Hautalterung (Photoaging) und Hautkrebs (Photokarzinogenese), aber auch Augenschäden (Katarakt) und immunologische Effekte. Während als Hauptursache für Hautalterung UV-A-Strahlen angenommen werden, spielt UV-B-Strahlung für die unmittelbare Auslösung von Hautkrebs in unterschiedlichen Formen eine entscheidende Rolle. Aber auch die tiefer penetrierenden UV-A-Strahlen sind zumindest stimulierend an der Ausbildung von Hauttumoren beteiligt.

Die Wirkung von UV-C-Strahlung auf Menschen wird aufgrund der zu erwartenden Schädigungen meist aus Experimenten mit Tiermodellen abgeleitet. Charakteristisch für UV-C ist die geringe (dermale) Eindringtiefe. Direkte Effekte bleiben daher weitgehend auf die äußersten Gewebeschichten (Epidermis, Hornhaut) beschränkt. Als akute Folge einer übermäßigen Belastung treten Erytheme, aber ebenso

Entzündungen der Horn- und Bindehaut auf. Auch für die Entstehung von Hautkrebs wird UV-C-Strahlung verantwortlich gemacht [7], wobei in einigen Publikationen das Risiko – zumindest im Vergleich zu den anderen UV-Bändern – als eher niedrig eingeschätzt wird [8, 9]. Von amerikanischen Gesundheitsbehörden werden alle drei UV-Bänder als „vernünftigerweise zu erwartende“ („reasonably anticipated“) Humankanzerogene angesehen [10].

4. Wie wirkt UV-Strahlung?

Das Prinzip der direkten Wirkung von UV-Strahlung auf Organismen beruht auf der Energieabsorption durch Biomoleküle (Nukleinsäuren, Proteine, Lipide usw.), die für zentrale Reaktionen des Stoffwechsels oder der Vermehrung benötigt werden. Vor allem Wechselwirkungen mit den für die Speicherung und Weitergabe der genetischen Information verantwortlichen Nukleinsäuren stellen dabei entscheidende Ereignisse dar. Der Energietransfer auf DNA und RNA erfolgt am besten im UV-C-Band (Absorptionsmaximum bei etwa 260 nm). UV-C-Quellen mit einer – ausreichend hohen – Emission in diesem Bereich werden daher auch als „germizide“ UV-Lampen bezeichnet. Die aufgenommene Strahlungsenergie führt zur Ausbildung fester Verbindungen zwischen benachbarten Pyrimidin-Basen (Dimerisierung), sodass in den geschädigten Molekülbereichen das sinnvolle Auslesen der genetischen Information gestört wird. Gelingt es dem Mikroorganismus nicht mehr, den Defekt zu reparieren, führt dies zu seiner Inaktivierung. Neben der direkten Schädigung durch photochemische Absorption kann die Integrität des Erregers auch durch Sekundärreaktionen wie der UV-induzierten Erzeugung von Radikalen und reaktiven Sauerstoffverbindungen (reactive oxygen species, ROS) gestört werden.

Als maßgebliche Größe für die photobiologische Wirksamkeit – und damit auch für die Wirksamkeit als Desinfektionsmethode – gilt die Strahlungsdosis H (aufgebrachte Energie pro Flächeneinheit in J/m^2 bzw. J/cm^2), die sich durch Multiplikation aus der Strah-

lungsdosis E (Strahlungsleistung pro Flächeneinheit in W/m^2 bzw. W/cm^2) und der Bestrahlungsdauer t ergibt ($H = E \cdot t$). Um die angestrebte Strahlungsdosis zu erreichen, können also entweder die Strahlungsintensität, die Einwirkzeit oder beides erhöht werden. Die direkte Proportionalität zwischen der Strahlungsdosis und dem biologischen Effekt (Reziprozitätsgesetz nach Bunsen und Roscoe) stellt aufgrund der Vielzahl der am Gesamtprozess beteiligten und voneinander abhängigen biochemischen Reaktionen zwar lediglich eine idealisierte Annahme dar [11], sie ermöglicht es jedoch abzuschätzen, welche Bestrahlungsbedingungen zu wählen sind, um das gewünschte Desinfektionsziel zu erreichen.

Das wichtigste Kriterium zur Bestimmung der für den angestrebten Desinfektionserfolg ($\log_{10}$ -Stufe) notwendigen Strahlungsdosis ist die UV-C-Empfindlichkeit des zu inaktivieren-

den Mikroorganismus. Hierbei spielen Größe und Aufbau des Genoms sowie dessen Schutz durch eventuell vorhandene Zellstrukturen und die Effizienz zellulärer Reparaturmechanismen eine wichtige Rolle. Auch die Bildung von Aggregaten wirkt sich auf die erforderliche Strahlungsdosis aus. Deshalb lassen sich in der Regel einfach aufgebaute Mikroorganismen, wie z. B. Viren und vegetative, prokaryotische Zellen (Bakterien), leichter inaktivieren als Bakteriosporen und eukaryotische Zellen (Hefen, Pilze). Isolierte – und damit ungeschützte – Nukleinsäurefragmente, wie sie z. B. in der PCR-Analytik eingesetzt werden, reagieren besonders empfindlich auf UV-C-Strahlung. Für viele Mikroorganismen sind Laborergebnisse über die zum Erreichen einer bestimmten $\log_{10}$ -Reduktion erforderliche UV-C-Dosis verfügbar [12]. Auch manche Hersteller von UV-C-Desinfektionssystemen publizieren entsprechende Daten [13, 14]. Die

Angaben können allerdings innerhalb einer Erregerart und selbst innerhalb eines Stammes variieren. Sie beziehen sich meist auf monochromatische UV-C-Quellen (254 nm), seltener auf UV-C-Breitbandstrahler. Wie das folgende Beispiel zeigt, lässt sich mithilfe geeigneter UV-C-Dosiswerte und der Kenntnis der Strahlungsintensität auf der betrachteten Fläche die theoretisch erforderliche Mindestbestrahlungszeit abschätzen: Mit dem Ziel, eine 4- $\log_{10}$ -Reduktion von *B. subtilis*-Sporen herbeizuführen, sei eine Strahlungsdosis von $H = 81 \text{ mJ/cm}^2 = 81 (\text{mW} \cdot \text{s})/\text{cm}^2$ erforderlich. Bei einer Strahlungsintensität von $E = 0,11 \text{ mW/cm}^2$ wird dazu eine Bestrahlungszeit von $t = H/E = 81 (\text{mW} \cdot \text{s}/\text{cm}^2)/0,11 (\text{mW}/\text{cm}^2) = 736 \text{ s} = 12:16 \text{ min}$ benötigt. Das Rechenbeispiel für die als widerstandsfähig geltenden und deshalb häufig als Desinfektionsindikatoren eingesetzten Bakteriosporen zeigt, dass viele Keime durch UV-C-Strah-

Arzneimittelsicherheit – mehr als mit dem bloßen Auge zu erkennen

Lösungen in der mikrobiologischen Prüfung für alle Anforderungen.

Merck Millipore bietet über ein umfangreiches und komplettes Portfolio im Bereich der pharmazeutischen Mikrobiologie hinaus auch regulatorische Unterstützung, umfassende Dienstleistung und Vertrauen zum Kunden an.

- Umfeldmonitoring
 - Luftkeimsammlung und Partikelzählung
 - Oberflächen- und Hygienemonitoring
- Traditioneller und schneller Mikroorganismen-Nachweis
 - Bioburden
 - Mykoplasmen
 - Pyrogene
 - Traditionelle und schnelle Sterilitätsprüfung
- Media-Fill-Tests

www.merckmillipore.com/biomonitoring

Merck Millipore ist ein Unternehmensbereich von  MERCK

Merck Millipore und das M-Logo sind Marken der Merck KGaA, Darmstadt, Deutschland.
© 2015 Merck KGaA, Darmstadt, Deutschland. Alle Rechte vorbehalten.

M
MERCK MILLIPORE



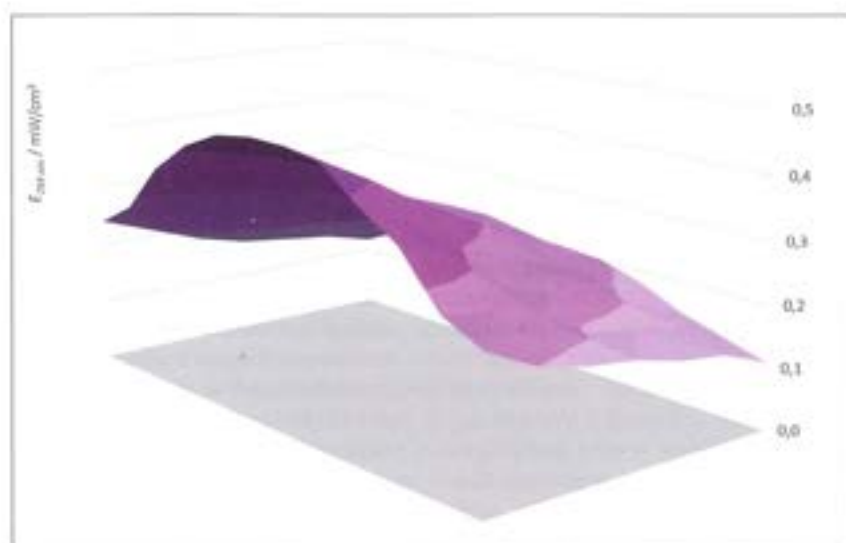


Abb. 2: Verteilung der UV-C-Strahlungsintensität (254 nm) auf der Arbeitsfläche einer Sicherheitswerkbank mit einer UV-C-Röhre oberhalb der Arbeitsöffnung.

lung bereits nach kurzer Zeit inaktiviert werden. Zu beachten ist allerdings, dass sich Umgebungseinflüsse wie gegenseitige Abdeckung und Luft-

feuchtigkeit empfindlichkeitsmindernd auswirken können [15]. Bei Nutzung von Literaturdaten ist deshalb zu beachten, unter welchen experimentellen

Bedingungen sie gewonnen wurden [16].

5. Wie kann UV-C-Strahlung erzeugt werden?

Als UV-C-Strahlungsquelle zur Desinfektion werden meist Quecksilberdampflampen eingesetzt [17]. Besonders geeignet sind Hg-Niederdrucklampen, da sie über einen Hauptemissionspeak nahe dem Absorptionsmaximum von Nukleinsäuren verfügen (254 nm). Durch Wahl eines geeigneten Glasmaterials ist es möglich, eine zweite, noch kurzwelligere Emissionslinie bei 185 nm herauszufiltern, sodass die Entstehung von hochreaktivem Ozon minimiert wird. Moderne Hg-Niederdrucklampen zeichnen sich durch eine lange Lebensdauer (bis zu 16 000 Stunden) und eine hohe UV-C-Effizienz aus (bis zu 40 %). Die relativ geringe Leistungsdichte konventioneller Ausführungen konnte durch die Verwen-

Sterilitätsprüfung leicht gemacht Zukunftsweisende Spitzenleistung mit Steritest™ Symbio-Pumpen

Merck Millipore wird als Pionier der zuverlässigen Sterilitätsprüfung geschätzt. Aktuell setzen wir einen weiteren Meilenstein mit unseren neuen Steritest™ Symbio-Pumpen, die ein Höchstmaß an Komfort und Sicherheit bieten und Arbeitsabläufe bei der Sterilitätsprüfung optimieren:

- Kompaktes Design erleichtert die Anwendung in Laminar-Flow-Werkbänken und Isolatoren
- Schrittweise Anleitungen für den Anwender gewährleisten ein reproduzierbares Testverfahren
- Umfassender Validierungs- und Wartungsservice erleichtert die Erfüllung regulatorischer Vorschriften

www.merckmillipore.com/steritest-symbio



Merck Millipore ist ein Unternehmensbereich von MERCK

Merck Millipore und das M-Logo sind eingetragene Marken der Merck KGaA, Darmstadt, Deutschland.
Steritest ist eine Marke der Merck KGaA Darmstadt, Deutschland.
© 2015 Merck KGaA, Darmstadt, Deutschland. Alle Rechte vorbehalten.

dung von Amalgam deutlich verbessert werden. Ein Vorteil im Hinblick auf den Einsatz in SWBs ist die vergleichsweise niedrige Betriebstemperatur (30–120 °C), deren Einhaltung andererseits für eine gleichmäßig hohe Strahlungsabgabe wichtig ist. Hg-Mitteldrucklampen, die als strahlungsintensive, „polychromatische“ UVC-Quellen in anderen Bereichen ebenfalls zur Desinfektion eingesetzt werden, sind allein aufgrund ihrer hohen Oberflächentemperatur (bis zu 950 °C) in SWBs nicht geeignet.

Für UV-Lampen in Röhrenform haben sich in SWBs zwei Einbaupositionen durchgesetzt, zum einen die horizontale Anordnung einer einzelnen Röhre unterhalb der Arbeitsraumdecke, zum anderen die vertikale Unterbringung jeweils einer Lampe in den Seitenwänden. Diese Positionen sollen eine gleichmäßige Ausleuchtung gewährleisten, ohne die laminare Verdrängungsströmung zu stören. Untersuchungen der beiden Einbaudesigns lassen erkennen, dass die Arbeitsfläche durch eine horizontal eingebaute UV-C-Röhre gleichmäßiger bestrahlt wird [18]. Allerdings muss auch bei dieser Anordnung mit einer deutlichen Abnahme der Strahlungsintensität zu den Randbereichen hin gerechnet werden. Eigene Messungen mit einer horizontal verbauten UV-C-Röhre direkt oberhalb der Arbeitsöffnung zeigten einen Rückgang der Intensität zu den Rändern der Arbeitsfläche um bis zu 75 % (Abb. 2). Dies muss bei der Abschätzung der erforderlichen Strahlungsdosis berücksichtigt werden.

Als Alternative zu Quecksilberdampflampen werden zunehmend UV-C-emittierende LED-Lampen ins Gespräch gebracht. Ihr Vorteil liegt in der geringen Baugröße, der besseren Umweltverträglichkeit (kein Quecksilberabfall) und einer Lebensdauer von mehreren zehntausend Stunden. Für SWBs stellen die derzeit am Markt verfügbaren UV-C-LED-Leuchtmittel jedoch noch keine wirtschaftliche Alternative zu Hg-Niederdrucklampen dar. Gründe dafür sind die geringe Effizienz im germiziden Wellenlängenbereich sowie der hohe Preis. Durch den schnellen Entwicklungsfortschritt der LED-Technik ist aber mit einer zunehmenden Bedeutung derartiger Systeme

zu rechnen, zumal diese auch im Hinblick auf eine optimale Positionierung deutliche Verbesserungen versprechen.

6. Was spricht für die UV-C-Desinfektion in Sicherheitswerkbänken?

Berücksichtigt man Wirkungsweise und Technik der UV-C-Desinfektion, so gibt es eine Reihe guter Argumente, dieses Verfahren auch und gerade in Sicherheitswerkbänken einzusetzen: Aufgrund der universellen Verbreitung von Nukleinsäuren erweist sich UV-C-Strahlung als effektiv gegenüber fast allen Mikroorganismen. Zudem wird im Allgemeinen davon ausgegangen, dass Keime unter geeigneten Anwendungsbedingungen keine vollständige Resistenz gegenüber UV-C-Strahlen ausbilden. Wie das oben dargestellte Beispiel zeigt, erfolgt die Inaktivierung von Mikroorganismen zudem schnell: Je nach Umfang der angestrebten Keimreduktion ist der Prozess innerhalb von Minuten abgeschlossen. Vorteilhaft für den Umgang mit sensiblen Produkten ist darüber hinaus, dass weder toxische Nebenprodukte erzeugt werden noch partikuläre Verunreinigungen entstehen, die den Reinraum kompromittieren. Das Verfahren empfiehlt sich nicht zuletzt unter praktischen Aspekten, da im Prinzip lediglich die UV-C-Quelle gestartet werden muss. Zeitintensive manuelle Aktivitäten oder ein größerer apparativer Aufwand sind für den eigentlichen Desinfektionsprozess nicht erforderlich.

7. Was spricht gegen die UV-C-Desinfektion in Sicherheitswerkbänken?

Trotz der genannten Vorteile sprechen sich offizielle Stellungnahmen zur biologischen Sicherheit meist gegen den Einsatz eines UV-C-Desinfektionssystems in SWBs aus. Entsprechende Aussagen finden sich sowohl in maßgeblichen europäischen als auch amerikanischen Regelwerken [3, 19–21]. Als Argumente gegen den Einsatz der UV-C-Desinfektion in SWBs werden in erster Linie folgende Punkte angeführt:

- Abschattungen sowie die geringe Penetrationstiefe von UV-C-Strah-

lung verhindern, dass die zu inaktivierenden Mikroorganismen sicher einer ausreichend inaktivierenden Dosis ausgesetzt werden.

- Kühlung, Überalterung und unzureichende Sauberkeit der UV-C-Lampe sorgen für eine geringere Strahlungsabgabe als vom Nutzer angenommen.
- Luftfeuchtigkeit beeinträchtigt die Effektivität der UV-C-Strahlung in unvorhersehbarem Maße.
- Freigesetzte UV-C-Strahlung gefährdet die Gesundheit des Personals (Kurz- und Langzeitschäden).
- Durch UV-C-Strahlung erzeugtes Ozon schädigt Materialien in der Sicherheitswerkbank und stellt eine Gesundheitsgefahr dar.

Sofern ein UV-C-Einsatz nicht grundsätzlich abgelehnt wird, wird dieser jedoch vielfach für überflüssig erachtet, da nach Meinung der Autoren das gewünschte Inaktivierungsziel bereits durch herkömmliche chemische Desinfektionsmaßnahmen erreicht werden kann.

8. Wie sind Pro- und Contra-Argumente zu bewerten?

Die Kritik an einer UV-C-Desinfektion in Sicherheitswerkbänken beruht im Wesentlichen auf zwei Aspekten, nämlich auf einer (angenommenen) Überschätzung der Wirksamkeit, sowie auf einer (angenommenen) Unterschätzung der gesundheits- bzw. material-schädigenden Nebenwirkungen. Bei dieser Bewertung spielen physikalische Einschränkungen und Gefahren, vor allem aber das vermutete Anwenderverhalten eine entscheidende Rolle. Durch technische Maßnahmen und eine bewusste Nutzung lassen sich die Voraussetzungen für den UV-C-Einsatz deutlich verbessern:

Eine sichere Desinfektion mit UV-C-Strahlen lässt sich nur auf Flächen erzielen, die direkt von der Strahlung erreicht werden. Dreidimensionale Strukturen oder verschmutzte Oberflächen können deshalb nicht zuverlässig behandelt werden. Aufgrund dieser Einschränkung sind geeignete Vorbereitungsarbeiten erforderlich. Dazu zählen das Vorreinigen der Flächen sowie die Entfernung aller Materialien,

Geräte und Hilfsmittel aus dem Arbeitsraum. Trotz dieser Maßnahmen muss dem Anwender bewusst sein, dass alle im Strahlungsschatten liegenden Bereiche (schräge Flächen, Fugen usw.) nicht effektiv bestrahlt werden.

Da ein Nachlassen der Strahlungsintensität visuell nicht erkannt werden kann, müssen die verbauten UV-C-Lampen regelmäßig messtechnisch überprüft und bei Bedarf ausgetauscht werden. Für die Abschätzung der erforderlichen Bestrahlungszeit sind nicht die theoretisch möglichen, sondern die tatsächlich ermittelten Intensitätswerte heranzuziehen. Dabei ist ein Sicherheitszuschlag einzuplanen. Dies gilt auch im Hinblick auf die Abschwächung der wirksamen Strahlung durch Umgebungseinflüsse. Um eine ungestörte Strahlungsabgabe sicherzustellen, darf dennoch nicht auf eine regelmäßige Reinigung der Lampe(n) verzichtet werden – selbst wenn eine Anstaubung innerhalb des hochreinen Arbeitsraums unwahrscheinlich ist. Durch die inzwischen verbreitete Klimatisierung von Laborräumen sowie den Einsatz moderner UV-C-Röhren lassen sich die durch Kühlung und Luftfeuchtigkeit hervorgerufenen Effekte minimieren.

Der befürchteten Gesundheitsgefährdung durch UV-C-Strahlen liegen zwei Annahmen zugrunde: zum einen die Möglichkeit, das UV-C-System auch bei geöffneter Frontscheibe – also ohne Schutz für den Nutzer – in Betrieb nehmen zu können, zum anderen die Gefahr, dass eine gesundheitsrelevante Strahlungsdosis die Seitenscheiben durchdringt. Mit manchen SWBs früherer Jahre bestand (oder besteht) die Möglichkeit, während des Desinfektionsprozesses in den Arbeitsraum hineinzugreifen oder über die unverschlossene Arbeitsöffnung Strahlung aufzunehmen. In Messungen mit einer Reihe derartiger Sicherheitswerkbänke konnte zwar eine hohe Strahlungsintensität unmittelbar vor der Arbeitsöffnung nachgewiesen werden; die durch die Glasscheiben hindurchtretende Strahlung war hingegen gering [22]. Bereits die Autoren dieser Untersuchung empfahlen deshalb, die Anwesenheit von Personal in SWB-Nähe zuzulassen, sofern die Sicherheitswerkbank während der Bestrahlung verriegelt ist und keine Öffnungen aufweist. Die in Deutschland gültigen Regularien verlangen, dass das unbeabsichtigte Austreten gefährdender Strahlung aus Geräten mit UV-Quellen verhindert werden muss [23]. In zeitgemäßen Sicherheitswerkbänken wird dies sichergestellt, indem sich das UV-C-System nur bei vollständig geschlossener Frontscheibe in Betrieb nehmen lässt. Weitgehend UV-C-undurchlässiges Sicherheitsglas sorgt zudem für eine ausreichende Abschwächung im Front- und Seitenbereich. Bedenken hinsichtlich einer Gesundheitsgefährdung sind daher vor allem bei älteren Geräten oder beim Einsatz mobiler, nicht auf die

Laminar-Flow Strömung!



...zum Schutz
des Produktes vor
schädlichen Einflüssen
aus der Umgebung und
dem Arbeitsprozess.



Sehen Sie den Strömungsverlauf
unserer Laminar-Flow-Geräte unter:

www.bleymehl.com/LF-Visualisierung

Wir hören gerne von Ihnen.

BLEYMEHL
Reinraumtechnik

Industriestrasse 7 • D-52459 Inden-Pier
TEL 0049 2428 4025 • FAX 0049 2428 3337
www.bleymehl.com • info@bleymehl.com

SWB abgestimmter UV-C-Quellen angebracht. Das tatsächliche Risiko muss individuell im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung ermittelt werden, wobei belastbare Herstellerangaben berücksichtigt werden dürfen.

Die Beschränkung des UV-C-Einsatzes auf Zeiten, in denen die Sicherheitswerkbänke nicht genutzt werden kann, dient nicht nur dem Personenschutz, sondern schließt eine Beeinträchtigung der darin gehandhabten Produkte aus. Schäden an SWB-Oberflächen durch direkte UV-C-Strahlung treten bei den überwiegend im Arbeitsraum verwendeten Materialien (Edelstahl, Glas) nicht auf. Die Entstehung von UV-C-induziertem Ozon kann durch „monochromatisch“ emittierende Hg-Niederdrucklampen weitgehend unterbunden werden. Sollten dennoch geringe Ozonmengen entstehen, werden diese über die Raumluftanlage abgeleitet, mit der die SWB in der Regel verbunden ist. Eine Zeitsteuerung kann helfen, die Bestrahlungszeit auf das erforderliche Maß zu begrenzen. Damit lässt sich die Gefahr materialschädigender Nebenwirkungen nochmals verringern und zudem der Energieverbrauch senken.

Betrachtet man die angeführten Nachteile der UV-C-Desinfektion vor dem Hintergrund moderner SWB-Konstruktionen und einer angepassten Nutzungsweise, so zeigt sich, dass einige der von Kritikern angeführten Ablehnungsgründe inzwischen überholt sind. Dies gilt nicht nur für die Wirksamkeit des Verfahrens, sondern auch für mögliche Gesundheitsrisiken. Allerdings können weder technische Maßnahmen noch ein adäquates Verhalten die prinzipielle Schwäche der UV-C-Desinfektion vollständig ausgleichen, nämlich die geringe Wirksamkeit in allen von der Strahlung abgewandten Bereichen. UV-C-Systeme in Sicherheitswerkbänken eignen sich deshalb nicht als alleiniges Desinfektionsverfahren. Als Ergänzung zu chemischen Verfahren können sie jedoch nachhaltig dazu beitragen, den Inaktivierungserfolg chemischer Verfahren zu optimieren (insbesondere bei PCR-Anwendungen) sowie in Nutzungspausen den reinen Zustand des Arbeitsraums

aufrecht zu erhalten. Ihr Einsatz kann somit einen entscheidenden Zugewinn an hygienischer Sicherheit bedeuten, der zudem das Arbeitszeitkonto kaum belastet.

LITERATUR

- [1] Hockberger, P. E. (2002): A History of Ultraviolet Photobiology for Humans, Animals and Microorganisms. in: Photochemistry and Photobiology 76: 561–579.
- [2] Reed, N. G. (2010): The History of Ultraviolet Germicidal Irradiation for Air Disinfection. in: Public Health Reports 125: 15–27.
- [3] DIN EN 12469:2000-09: Biotechnik – Leistungskriterien für mikrobiologische Sicherheitswerkbänke; Deutsche Fassung EN 12469:2000. Ausgabedatum: 09/2000, Beuth Verlag, Berlin.
- [4] DIN 12980:2005-06: Laboreinrichtungen – Sicherheitswerkbänke für Zytostatika. Ausgabedatum: 06/2005, Beuth Verlag, Berlin.
- [5] Commission International de l'Eclairage (International Commission on Illumination, Internationale Beleuchtungskommission) (2011): ILV: International Lighting Vocabulary. Standard CIE S 017/E:2011, CIE, Wien.
- [6] DIN 5031-7:1984-01: Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik; Benennung der Wellenlängenbereiche. Ausgabedatum: 01/1984, Beuth Verlag, Berlin.
- [7] Fachverband für Strahlenschutz e. V. (2013): Leitfaden „Ultraviolettstrahlung künstlicher Quellen“. http://www.fv-str.org/fileadmin/user_upload/04_Arbeitsgruppen/08_Nichtionisierende_Strahlung/02_Dokumente/Leitfaden/fs-05-131-aknir_uv_strahlung-1.pdf. Letzter Zugriff: 23.06.2015.
- [8] Sterenberg, H. J. C. M. et al. (1988): The Dose-Response Relationship of Tumorigenesis by Ultraviolet Radiation of 254 nm. in: Photochemistry and Photobiology 47: 245–253.
- [9] Commission International de l'Eclairage (International Commission on Illumination, Internationale Beleuchtungskommission) (2010): Report CIE 187:2010 UV-C Photocarcinogenesis Risks from Germicidal Lamps, CIE, Wien.
- [10] U.S. Department of Health and Human Services, National Toxicology Program (2014): Ultraviolet-Radiation-Related Exposures. 13th Report in Carcinogens. <http://ntp.niehs.nih.gov/ntp/roc/content/profiles/ultravioletradiationrelatedexposures.pdf>. Letzter Zugriff: 28.07.2015.
- [11] Schindl, A. et al. (2001): Die Reziprozitätsregel in der Photobiologie. in: Der Hautarzt 52: 779–785.
- [12] Chevreil, G. et al. (2006): UV Dose Required to Achieve Incremental Log Inactivation of Bacteria, Protozoa and Viruses. IUVA News 8: 38–45.
- [13] What Microorganisms are Deactivated by Germicidal Ultraviolet Light? Atlantic Ultraviolet Corporation, Hauppauge, NY, USA. <http://ultraviolet.com/microorganisms-deactivated/>. Letzter Zugriff: 24.06.2015.
- [14] UV-Strahlungsdosen für eine 90–99,99 % Inaktivierung von verschiedenen Mikroorganismen wie Viren, Bakterien, Hefen, Pilzen, Schimmeln und Parasiten. UVECO GmbH, Bruckmühl. <http://www.schwarzlicht.de/uv-strahlungsdosen-fuer-verschiedene-mikroorganismen.html>. Letzter Zugriff: 24.06.2015.
- [15] Fletcher, L. A. (2004): The Influence of Relative Humidity on the UV Susceptibility of Airborne Gram Negative Bacteria. IUVA News 6: 12–19.
- [16] Bolton, J. R., Linden, K. G. (2003): Standardization of Methods for Fluence (UV Dose) Determination in Bench-Scale UV Experiments. Journal of Environmental Engineering 129: 209–215.
- [17] Schalk, S. (2006): UV-Lamps for Disinfection and Advanced Oxidation – Lamp Types, Technologies and Applications. IUVA News 8: 32–37.
- [18] Reda, S. M. (2011): Significance of UV Irradiance Measurements in Biological Safety Cabinet. Journal of Applied Environmental and Biological Sciences 1: 470–473.
- [19] U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Services, CDC, and NIH (2009): Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories. Appendix A – Primary Containment for Biohazards: Selection, Installation and Use of Biological Safety Cabinets. <http://www.cdc.gov/biosafety/publications/bmbl5/Bmbl.pdf>. Letzter Zugriff: 28.07.2015.
- [20] NSF International Standard/American National Standard: NSF/ANSI 49 – 2012: Biosafety Cabinetry: Design, Construction, Performance, and Field Certification. NSF International, Ann Arbor, Michigan, USA.
- [21] Burgener, J. (2006): Position Paper of the Use of Ultraviolet Lights in Biological Safety Cabinets. Applied Biosafety 11: 228–230.
- [22] Meehan, P. J., Wilsin, C. (2006): Use of Ultraviolet Lights in Biological Safety Cabinets: A Contrarian View. Applied Biosafety 11: 222–227.
- [23] Fachverband für Strahlenschutz e. V. (2013): Leitfaden „Ultraviolettstrahlung künstlicher Quellen“. http://www.fv-str.org/fileadmin/user_upload/04_Arbeitsgruppen/08_Nichtionisierende_Strahlung/02_Dokumente/Leitfaden/fs-05-131-aknir_uv_strahlung-1.pdf. Letzter Zugriff: 29.07.2015.

Korrespondenz:

Dipl.-Biochem. Michael Klein
Berner International GmbH
Mühlkamp 6
25337 Elmshorn (Germany)
e-mail: m.klein@berner-safety.de