

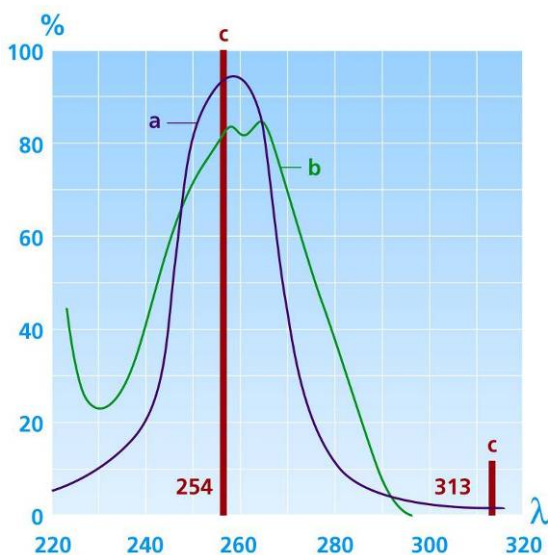
# Desinfektion mit UV-C

## Allgemeine Grundlagen, Strahler und Strahlungssysteme

### Allgemeine Grundlagen

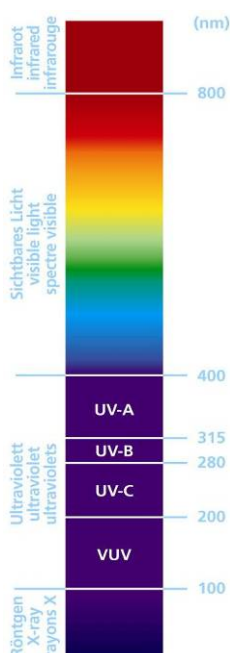
Schon im Jahre 1877 entdeckten die engl. Forscher Thomas P. Blount und Arthur Downes, dass die Vermehrung von Mikroorganismen bei Bestrahlung mit Sonnenlicht unterbunden wurde [1]. Weitere Forschungen zeigten, dass der unsichtbare Teil der Sonnenstrahlung unterhalb von 320 nm diesen Effekt bewirkt [2]. Dies bedeutet, dass es auch bei Verwendung einer künstlichen Strahlungsquelle möglich ist, bakterientötende Strahlung zu erzeugen.

Heute wissen wir, dass es sich bei der Strahlung um UV-C Strahlung handelt und Mikroorganismen zwischen 240 und 270 nm abgetötet werden:



- a) Stärkste bakterientötende Wirkung im Bereich von 250...270 nm
- b) Absorptionskurve der Thymonukleinsäure
- c) Primärstrahlung der Hg-Niederdruckentladung

Fig. 1: Bakterientötende Wirkung der UV-C Strahlung



UV-Strahlung ist genauso wie auch Licht oder Rundfunkwellen eine elektromagnetische Wellenstrahlung (Photonenstrahlung), die sich von den anderen genannten nur durch deren Wellenlänge unterscheidet. UV-C ist ein Teil der ultravioletten Strahlung, die von der Sonne nicht emittiert wird, also künstlich erzeugt werden muß. Von UV-C Strahlung spricht man, wenn ausschließlich Wellenlängen zwischen 100 und 280 nm auftreten [3]. Je kleiner die Wellenlänge ist, um so energiereicher ist die Strahlung ( $E = h \times \nu$ )<sup>1)</sup>.

Als Faustregel zur Unterscheidung von ionisierender und nicht-ionisierender Strahlung geht man allgemein davon aus, dass Strahlung mit einer Wellenlänge  $\lambda \leq 300$  nm ionisierend ist. Durch Ionisation werden instabile Ionen und freie Radikale gebildet, die das biologische Gewebe schädigen [5].

Allerdings kommt es auch auf den Energieinhalt an: Erst bei Werten  $> 34$  eV wird von Ionisierung gesprochen, was mit UV-C Strahlung nicht erreicht wird (ca. 4,9 eV).

Als UV-C Strahlungsquellen können UV-Niederdruckstrahler oder auch UV-Mitteldruckstrahler eingesetzt werden.

<sup>1)</sup> Hinweis:

$h$ : Planck'sches Wirkungsquant =  $6,6 \times 10^{-34}$  Js  
 $\nu$ : Frequenz der Strahlung in Hz

Fig. 2: Elektromagnetische Wellenstrahlung, Ausschnitt

Es kommt demnach lediglich zu Schädigungen an der DNA wodurch die Vermehrung unterbunden wird [8].



Fig. 3: UV-C Inaktivierungsmechanismus

Vergleicht man die Absorptionskurven verschiedener Zellaufbaustoffe, so ergibt sich die größte Ähnlichkeit mit der Absorptionskurve der Thymonukleinsäure (DNA), einer Substanz, aus der die Chromosomen aufgebaut sind. Durch UV-C Bestrahlung ändert sich die DNA und es findet keine Zellteilung und damit Vermehrung mehr statt.

Die unterschiedlichen Mikroorganismen haben eine individuelle Sensitivität gegenüber UV-Strahlung, wie die folgende Graphik zeigt:

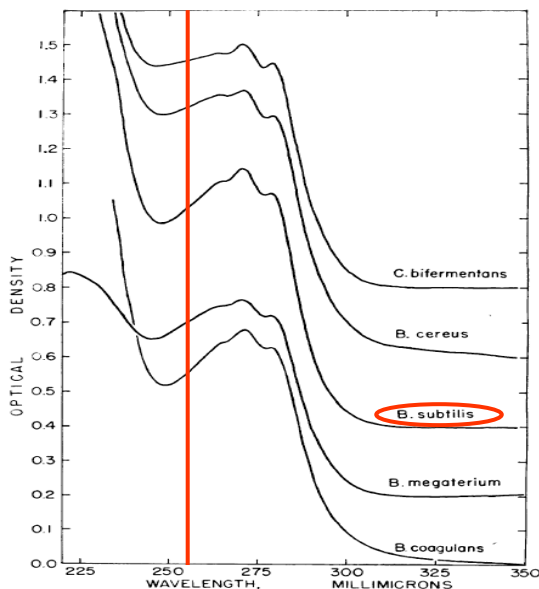


Fig. 4: Ultraviolettabsorption verschiedener trockener Bakteriensporen (Quelle: Journal of Bacteriology, 1965)

### Definition Desinfektion und Entkeimung / Sterilisation

Unter Desinfektion wird das Entfernen und / oder Abtöten von pathogenen Mikroorganismen durch physikalische oder chemische Verfahren verstanden.

Bei der Entkeimung oder Sterilisation wird dagegen das von lebenden oder deren Ruhestadien befallene Material befreit.

Wenn es um die Bestrahlung von mit Mikroorganismen befallenen Material mit UV-C geht, sollte demnach die Terminologie Desinfektion verwendet werden. In der umgangssprachlichen Praxis wird diese Unterscheidung jedoch häufig nicht mehr vorgenommen und es finden sich diese Begriffe gleichwertig nebeneinander.

Mikroorganismen werden grob unterschieden in:

- Bakterien
- Schimmel
- Hefen
- Viren
- Sporen

Die Sensitivität der unterschiedlichen Mikroorganismen gegenüber UV-C Strahlung weist große Unterschiede auf, die es zu berücksichtigen gilt. Zu beachten ist, dass die Abtötungsrate nur zu Beginn der Bestrahlung linear zur eingestrahlenen UV-C Dosis ist. Danach kommt es zur Plateaubildung (s. Fig. 5). Als Anhaltswert sollen die im Anhang aufgeführten Werte dienen.

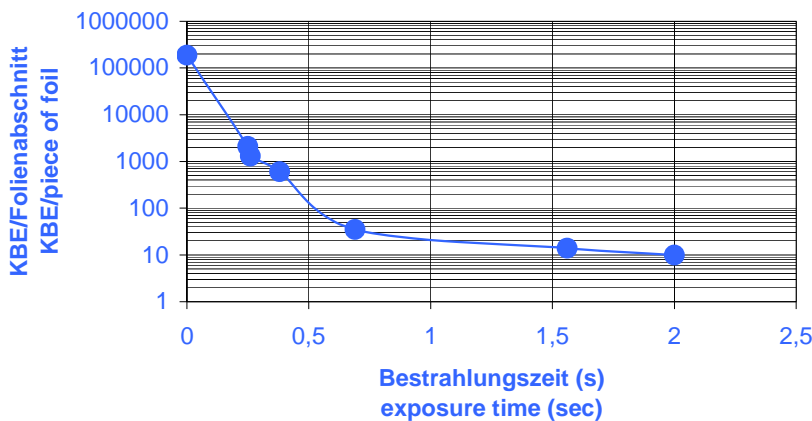


Fig. 5: UV-Desinfektion einer Polystyrol-Flachfolie mit Abtötungskinetik Bacillus subtilis-Sporen. Die Messungen wurden mit dem System **uv-ultimate** beim Fraunhofer Institut in Freising durchgeführt [7].

**Berechnung der zur Inaktivierung nötigen Bestrahlungsdosis**

Zur Berechnung der notwendigen Bestrahlung, auch Dosis genannt, ist die Kenntnis der strahlungsphysikalischen Größen notwendig:

Größe	Formelzeichen	SI-Einheit
Strahlungsleistung	P	W
Bestrahlungsstärke	E	W/cm <sup>2</sup>
Bestrahlung, auch: Dosis	H	J/cm <sup>2</sup> = Ws/cm <sup>2</sup>

Dosis und Bestrahlungsstärke hängen wie folgt zusammen:

**H = E • t**

- H: Dosis in mJ/cm<sup>2</sup>
- E: Bestrahlungsstärke in mW/cm<sup>2</sup>
- t: Bestrahlungsdauer

Hieraus ist ersichtlich, dass zum Erreichen einer bestimmten Dosis sowohl die Bestrahlungsstärke als auch die Bestrahlungsdauer variiert werden kann, da das Produkt aus beiden gleich bleibt.

Allerdings kann die Bestrahlungszeit t nur in gewissen Grenzen geändert werden, da sich bei einer zu langen Bestrahlungszeit und einer zu niedrigen Bestrahlungsstärke, die Mikroorganismen anfangs vermehren können, weil die Dosis zu klein ist. Der gewünschte Inaktivierungsgrad wird daher erst viel später erreicht, als man aus dieser Formel ableiten könnte.

Einen großen Einfluß auf die Desinfektion haben zusätzlich:

- erhöhte Luftfeuchtigkeit (üblicherweise wird mit 60% rel. Feuchte gerechnet)
- Strahlungsrückgang mit der Lebensdauer (je nach Typ variierend zwischen 20 und 35% nach üblicherweise 8.000 Std.)

**Oberflächenentkeimung**

Der Erfolg einer Oberflächendesinfektion ist stark abhängig von der Art des zu entkeimenden Materials. Dies bezieht sich nicht nur auf den Typ des Keimes (z.B. Bakterium coli und deren Stämme), sondern auch auf die Beschaffenheit der Oberfläche. Es können nur Keime inaktiviert werden, die von der Strahlung erreicht werden, d.h. die zu entkeimende Oberfläche sollte möglichst geringe Unebenheiten enthalten. Ansonsten kann durch Mikroschattenbildung die keimtötende Wirkung verringert werden, da sich einige Keime der Strahleneinwirkung entziehen. In der Tiefe sitzende Keime werden wegen der geringen Eindringtiefe der Strahlung im allgemeinen nicht erfaßt.

Die erforderliche Bestrahlungszeit errechnet sich aus der notwendigen keimtötenden UV-C Dosis, die aus Tabellen entnommen werden kann (s. Anhang), dem Abstand des Strahlers zum Substrat und der Bestrahlungsstärke in diesem Abstand:

$$t = H / E$$

H: Dosis in mJ/cm<sup>2</sup>  
E: Bestrahlungsstärke in mW/cm<sup>2</sup>

Die Länge der zu bestrahlenden Zone ergibt sich aus:

$$L = v \times t$$

t: Bestrahlungszeit in s  
v: Vorschubgeschwindigkeit in m/min  
L: Bestrahlungslänge in mm

Nachdem die Bestrahlungslänge L bestimmt worden ist, kann die Anzahl der Strahler errechnet werden. Der Abstand der Strahler voneinander soll in etwa dem Abstand der Strahler zum Bestrahlungsgut entsprechen.

Bei getakteten Prozessen, wie sie in der Packstoffdesinfektion vorkommen, sollten, soweit mehrere Bestrahlungseinheiten nötig sind, diese möglichst dicht benachbart positioniert werden. Bei der Ermittlung der Anzahl an benötigten Bestrahlungseinheiten ist die Taktzahl (Takte pro min.), die sich daraus ergebende Taktlänge und die zu bestrahlende Abzugslänge (zu bestrahlende Substratlänge) zu berücksichtigen:

Es gilt:

$$t_t = 60s / x$$

x: Taktzahl (Anzahl an Takten pro min.)  
t<sub>t</sub>: Taktlänge in s

Dabei muß hinsichtlich der Beträge gelten:

$$| t_t | \leq | B | / | AL |$$

AL: Abzugslänge in mm  
B: Bestrahlungsbreite der Bestrahlungseinheit in Vorschubrichtung in mm

**Oberflächendesinfektionssysteme**

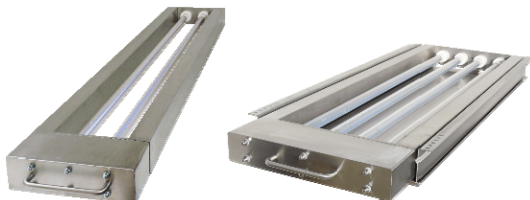


Fig 6: System **uv-fresh** Typ BD zur Desinfektion von Oberflächen oder Transportbändern. Ein zusätzlicher Reflektor kann die Bestrahlungsstärke deutlich vergrößern und Strahlung in die vom Substrat abweisende Richtung wird verhindert.



Fig. 7. System **uv-fresh**<sup>plus</sup> Typ SP 3. Drei Hochleistungs-Amalgamstrahler werden verwendet, um einen gesteigerten UV-C Output zu erzielen.



Fig. 8: System **uv-ultimate** Typ LH 4. Eine spezielle Strahlerausführung erzielt den weltweit höchsten UV-C Output eines UV-Niederdruckstrahlers. Typisches Einsatzgebiet: Abfüllanlagen für Milchprodukte.

### Luftdesinfektion

Während konventionelle Desinfektionsverfahren bei frei in der Luft schwebenden Mikroorganismen versagen, kann die UV-C Desinfektion diese abtöten. Die natürliche Luftumwälzung der Luft bewirkt, dass der Keimpegel im Raum beträchtlich herabgesetzt wird. Hierfür wird ein UV-C Strahler vorzugsweise nach oben strahlend an der Decke platziert. Es ist Sorge zu tragen, dass im Raum befindliche Personen keiner UV-C Strahlung ausgesetzt werden (z.B. durch absorbierende Deckenfarbe, ausreichende Abschirmung etc.).

Als Alternative ist es möglich, dass Luftumwälzsysteme mit integrierten UV-C Strahlern eingesetzt werden. Der Vorteil hieran ist, dass keine UV-C Strahlung aus dem Aggregat-Gehäuse austritt.

Die Berechnung der nötigen Bestrahlungsstärken und Luftmengen erfolgt in Abhängigkeit der Größe des Raumes und der Keimbelastung. Bei der Auslegung kann die UV-Technik auf langjährige Erfahrung zurückgreifen.

### Luftdesinfektionssysteme



Fig. 9: System **uv-fresh** RD 1 mit schwenkbarem Reflektor

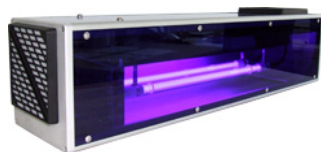


Fig. 10 und 11: System **uv-fresh** CL 2 und uv-fresh CI 4. Systeme zur Luftumwälzung mit integrierten UV-C Strahlern

## UV-C Strahlungsquellen

Zur Entkeimung können sowohl sog. UV-Niederdruck- als auch UV-Mitteldruckstrahler eingesetzt werden.

UV-Niederdruckstrahler zur Entkeimung emittieren fast ausschließlich bei 253,7 nm. Bei dieser Wellenlänge liegt ungefähr das Maximum der Absorptionskurve der Thymonukleinsäure, d.h. Keime und Bakterien werden bei dieser Wellenlänge hervorragend zerstört (s. Fig. 1).

Sämtliche **UV-Niederdruckstrahler** zur Entkeimung sind mit einem sog. 4-Stiftsockel versehen. Die Strahler besitzen als Elektrode eine Glühwendel, die in Verbindung mit unseren elektronischen Ansteuergeräten (EVG) dafür sorgen, dass die Strahler in kürzester Zeit auf maximalen UV-Output hochgelaufen sind (Hochlaufzeit max. 2 min.). Hierbei werden die Elektroden, die als Wendeln ausgeführt sind, vorgeheizt. Das Starten mittels eines sog. Warmstart EVGs ist somit nicht nur schnell, sondern auch schonend, was sich positiv auf die Lebensdauer der Strahler auswirkt.

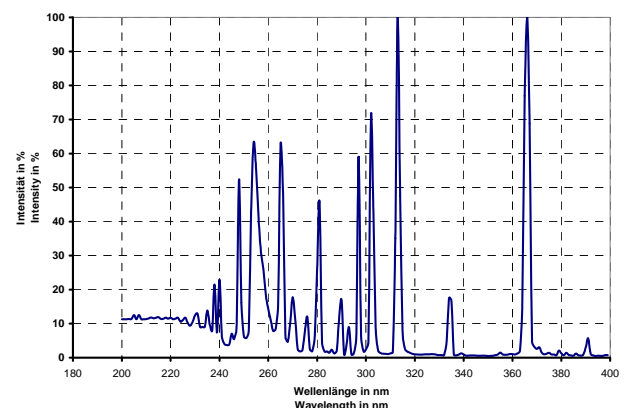
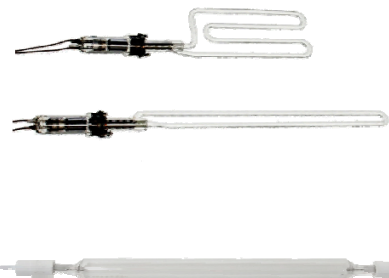
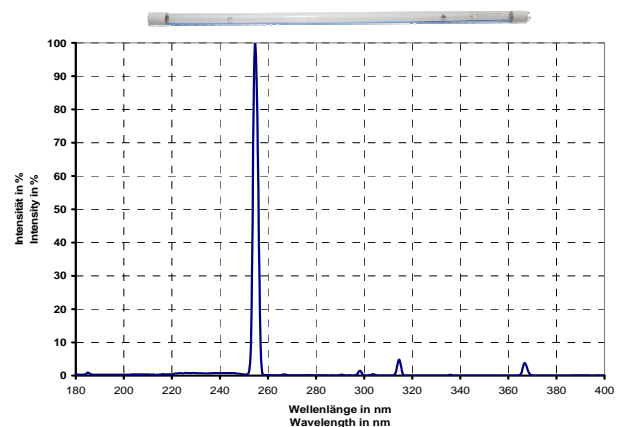
**TUV, UVN:** **Standard-Typen** mit einer spez. Strahlerleistung von ca. 0,6 W/cm

**UVI, UVX:** **Hochleistungs-Amalgamstrahler** mit einer spez. Leistung von 1,3...1,7 W/cm in Abhängigkeit von der Bauform (Strahlerlänge).  
UVX-Strahler weisen durch ein spez. Coating im Inneren des Strahlerrohres eine deutlich längere Nutzlebensdauer auf.

**XI, AC:** **Hochleistungs-Niederdruckstrahler System Systec** mit einer nutzbaren spez. Leistung von 2,5 W/cm in Abhängigkeit von der Bauform. Die besondere Bauform kombiniert mit geregelter forcierter Kühlung des Strahlungsrohres führt zu dem weltweit höchste UV-Output eines UV-Niederdruckstrahlers für industrielle Anwendungen.

**UV-Mitteldruckstrahler** weisen in ihrem Betriebspunkt einen deutlich höheren inneren Druck auf als Niederdruckstrahler (1 bis 10 bar anstatt einige mbar). Demzufolge emittieren UV-Mitteldruckstrahler nicht nur bei 254 nm, sondern auch bei anderen Wellenlängen. Die elektrischen Leistungen von UV-Mitteldruckstrahlern liegen deutlich über denen gleich langer Niederdruckstrahler. Einen wesentlichen Nachteil stellt der hohe Anteil an emittierter IR-Strahlung dar, der die zu bestrahlende Fläche möglicherweise übermäßig erwärmt.

**UVH:** **UV-Mitteldruckstrahler**. Typische spez. Strahlerleistungen liegen bei 100...160 W/cm. Aktive Luftkühlung ist fast immer notwendig. Aufgrund der insgesamt gegenüber Niederdruckstrahlern deutlich höheren elektrischen Leistung kann eine Erwärmung der bestrahlten Fläche bei längerer Verweildauer unter dem UVH-Strahler auftreten.



**Übersicht Strahlertypen**

Strahlertyp	TUV	UVN	UVI	UVX	UVH
Typ	Niederdruckstrahler	Niederdruckstrahler	Hochleistungs-Amalgamstrahler	Hochleistungs-Amalgamstrahler	Mitteldruckstrahler
Emittierte Wellenlänge im UV-C in nm	253,7	253,7	253,7	253,7	200 - 280
Nutzlebensdauer	8.000 h	8.000 - 10.000 h	8.000 - 10.000 h	12.000 - 16.000 h	ca. 3.000 h
Garantielebensdauer	8.000 h am EVG*	8.000 h am EVG*	8.000 h am EVG*	12.000 h am EVG*	1.500 h
Mittlerer Strahlungsabfall	20% nach 8.000 h	35% nach 8.000 h	35% nach 8.000 h	25% nach 10.000 h	25% nach 1.500 h
Optimaler Temperaturbereich (Rohrtemp.) in °C	30 – 35	30 – 50	100 – 120	100 - 120	700 – 900
Mögliche Leuchtlängen in mm	150 – 1120	150 – 900	234 – 1553	224 – 1553	50 – 2700
Mögliche Strahlerleistungen in W	6 - 75	6 - 80	6 - 80	40 – 400	500 W - 40 kW
UV-C Output @ 254 nm	bis ca. 33 %	bis ca. 33 %	bis ca. 36 %	bis ca. 37 %	ca. 10%
Typ. Strahlerleistung in W/cm	ca. 0,6	ca. 0,6	1,7	1,7	160 (typisch)
System	<b>Bestrahlungsstärken @ 254 nm in mW/cm² bei Einsatz im Entkeimungssystem, ca.-Angaben : **</b>				
BD, SD	11	11	30	30	Nicht verfügbar
SP	Nicht verfügbar	Nicht verfügbar	50	50	Nicht verfügbar
MD	Nicht verfügbar	Nicht verfügbar	Nicht verfügbar	Nicht verfügbar	100

\* : Die Garantielebensdauer bezieht sich auf max. 3 Schaltungen/Tag

\*\* : Gemessen mit UVM-CP in 20 mm Abstand

Hinweis: Die o.g. Strahler zur Desinfektionsanwendung sind nicht ozonerzeugend. Erreicht wird dies durch eine geeignete Wahl eines speziellen Quarzglases (Vermeidung von Strahlung < 240 nm).

**Rechtliche Vorschriften**

Die rechtlichen Vorschriften zur Bestrahlung von Lebensmittel variieren weltweit sehr stark. In Deutschland wurden mit der Lebensmittelbestrahlungsverordnung vom 14.12.2000 die beiden EG-Richtlinien von 1999 in deutsches Recht umgesetzt. Die neue Verordnung (LMBestrV) vom 14.12.2000 löst die alte Lebensmittel-Bestrahlungs-Verordnung vom 19.12.1959 ab und erlaubt unter bestimmten Bedingungen die Behandlung von getrockneten aromatischen Kräutern und Gewürzen mit Elektronen-, Gamma- und Röntgenstrahlen. Somit ist in Deutschland die Bestrahlung von diesen Produkten – bei entsprechender Kenntlichmachung – zulässig. Andere bestrahlte Lebensmittel dürfen in Deutschland nicht in den Verkehr gebracht werden. Weitere Informationen finden sich in den nationalen Richtlinien und Vorschriften.

Auszug aus der LMBestr.V vom 14.12.2000 hinsichtlich erlaubter UV-Bestrahlung von Lebensmitteln:

**§ 1 (4) Direkte Bestrahlung mit UV-C:**

- Trinkwasser
- Oberfläche Obst u. Gemüseerzeugnisse
- Hartkäse bei Lagerung

**§ 1 (5) Indirekte Bestrahlung mit UV-C:**

Die bei der Entkeimung von Luft durch UV-Strahlen auftretende indirekte Einwirkung auf Lebensmittel ist zugelassen.

## Schutzmaßnahmen

Bei konstanter Bestrahlung darf die Intensität auf der Haut einen Wert von 0,1  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  nicht überschreiten. Bei einer Bestrahlung von 8 Stunden pro Tag darf die Intensität auf der Haut einen Wert von 0,5  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  nicht überschreiten.

Laut Am. Conf. of Ind. Hygienist (ACGIH) läßt sich zusammenfassen [4]:

Max. Bestrahlungsstärken für die Haut		
Max. Bestrahlungsdauer pro Tag	Zulässige max. Bestrahlungsstärke in $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ bezogen auf Gesamt-UV	Zulässige max. Bestrahlungsstärke in $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ @ 254 nm
8 Std.	0,1	0,2
10 min.	5	10
1 Sek.	30.000	60.000

## Sicherheitshinweise zum Umgang mit ultravioletter Strahlung

UV-Strahlung ist hochwirksam und macht einfache und unkomplizierte Maßnahmen für den Personenschutz notwendig. Nachfolgend soll auf folgende generelle Punkte hingewiesen werden:

1. UV-Strahlung ist gefährlich für Augen und Haut. UV-Strahlenquellen dürfen daher nur unter entsprechenden Personenschutzmaßnahmen betrieben werden. Es muß Sorge getragen werden, dass ausreichende Schutzmaßnahmen ergriffen werden.

2. Durch normales Fensterglas (Borosilikat, Duran, etc.), transparenten Kunststoff wie Makrolon®, Plexiglas® und praktisch alle undurchsichtigen Materialien ist UV-C Strahlung abschirmbar. Um die ggf. entstehende störende Blendwirkung zu verringern empfiehlt sich die Verwendung von eingefärbtem Material. Weitere Informationen über UV-Filter können der Norm „EN 170 – Persönlicher Augenschutz“ entnommen werden.

Gegenstände können sich nach längerer und intensiver UV-C Bestrahlung verfärben. Wir empfehlen die Verwendung von UV-beständigen Materialien.

### Quellenverzeichnis:

- [1] Downes A., and Blunt T. P., Researches on the Effect of Light upon Bacteria and Other Organisms, Proceedings of the Royal Society of Medicine, 26; 488, 1877.
- [2] Alex. Hollander, Abiotic and Sublethal Effects of Ultraviolet Radiation on Microorganism, Div. of Industrial Hygiene, Nat. Inst. of Health, Bethesda MD, 1942, S. 156 – 165.
- [3] DIN 5031, Teil 7
- [4] Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents; Relative Spectral Effectiveness curve IEC 60335-2-59; Sensitivity curve
- [5] Helga Stan-Lotter, Christian Radax, Extremophile Mikroorganismen. 2001
- [6] Philips Produkt-Information. Desinfektion mit UV-Strahlung – Strahlungsquellen, technische Hinweise, Anwendung. 1995
- [7] Joachim Wunderlich. Untersuchungen zur Optimierung der Entkeimung von Packstoffoberflächen durch UV-Bestrahlung. Fraunhofer Institut Verpackungstechnik und Verpackung, Freising, 1999
- [8] Dr. Ralf Kriehuber. Kurze Einführung in die Strahlenbiologie. 2001. [www.biologie.uni-rostock.de/abt/tierphys/KRI/RH-Strahlung.html](http://www.biologie.uni-rostock.de/abt/tierphys/KRI/RH-Strahlung.html)

An dieser Stelle weisen wir auf weitere Quellen hin:

- P. Schreiber & G. Ott. Schutz vor ultravioletter Strahlung, 1984
- uv-technik Speziallampen GmbH. Desinfektion mit UV-Strahlung – Strahlungsquellen, technische Hinweise und Anwendung

Die verwendeten Photos zeigen eine Auswahl von Produkten der uv-technik meyer gmbh.

**Anhang** UV-254 nm Bestrahlungsdosen für 90% und 99,9% Inaktivierung verschiedener Mikroorganismen [6]

Mikroorganismen	90% Entkeimung mWsec/cm <sup>2</sup>	99,9% Entkeimung mWsec/cm <sup>2</sup>	Mikroorganismen	90% Entkeimung mWsec/cm <sup>2</sup>	99,9% Entkeimung mWsec/cm <sup>2</sup>
Bakterien, Viren			Proteus vulgaris	2,7	7,8
Bakterium coli (in Luft)	0,7	2,1	Pseudomonas aeruginosa	5,5	16,5
Bakterium coli (in Wasser)	5,4	16,2	Pseudomonas fluorescens	3,5	10,5
Bacillus anthracis	4,5	13,7	S.typhimurium	8,0	24,0
S.enteritidis	4,0	12,0	Sarcina lutea	19,8	59,0
B.megatherium (veg.)	1,1	3,4	Serratia marcescens	2,5	7,2
B.megatherium sp.	2,8	8,0	Dysentery bacilli	2,2	6,6
B.paratyphosus	3,2	9,6	Shigella paradysenteriae	1,7	5,2
13.prodigiosus	0,7	2,1	Spirillum rubrum	4,4	13,0
B.pyocyaneus	4,4	13,2	Staphylococcus albus	1,8-3,3	5,4-10,0
B.subtilis spores	12,0	36,0	Staphylococcus aureus	2,2-4,9	6,6-14,8
Cornynebacterium diptheriae	3,4	10,0	Streptococcus hemolyticus	2,2	6,6
Eberthella typhosa	2,1	6,3	Streptococcus lactis	6,1	18,0
Escherichia coli	3,0	9,0	Streptococcus viridans	2,0	6,0
Legionella pneumophila	0,92	2,76	Baccillus tuberculi	10,0	30,0
Micrococcus candidus	6,3	19,0	Trichonomas	100,0	300,0
Micrococcus piltonensis	8,1	24,0	Poliovirus	3,2	9,6
Micrococcus sphaeroides	10,0	30,0	Infectus Hepatitis	5,8	17,4
Neisseria catarrhalls	4,4	13,0	Influenza	3,4	10,2
Phytomonas tumefaciens	4,4	13,0	Tobaco mosaic	240	720

Fortsetzung

**Anhang** UV-254 nm Bestrahlungsdosen für 90% und 99,9% Inaktivierung verschiedener Mikroorganismen [6]

Mikroorganismen	90% Entkeimung mWsec/cm <sup>2</sup>	99,9% Entkeimung mWsec/cm <sup>2</sup>	Mikroorganismen	90% Entkeimung mWsec/cm <sup>2</sup>	99,9% Entkeimung mWsec/cm <sup>2</sup>
<b>Hefen</b>			<b>Schimmelpilze</b>		
Backhefe	3,9	11,7	Aspergillus amstelodami (Fleisch)	66,7	200,1
Brauhefe	3,3	9,9	Aspegillus flavus	60,0	180,0
gewöhnliche Backhefe	6,0	18,0	Aspergillus glaucus	44,0	132,0
Saccharomyces ellipsoideus	6,0	18,0	Aspergillus niger (Bäckerei)	132,0	396,0
Saccharomyces spores	8,0	24,0	Cladosporium herbarum (Kühlhaus)	60,0	180,0
Saccharomyces cerevisae	6,0	18,0	Mucur mucedol (Fleisch, Brot, Käse, Fett)	65,0	195,0
Saccharomyces turpidans	9,0	27,0	Mucor rec.emodus A	17,0	51,0
Torula sphaerica (Milch und Sahne)	2,3	6,9	Mucor racemodus B	17,0	51,0
<b>Verschiedene Algen</b>			Oospara lactis	5,0	15,0
Diatomeen (Kieselalgen)	360-600	1080,0- 1800,0	Penicillium digitatum	44,0	132,0
Grüne Algen	360-600	1080,0- 1800,0	Penecillium expansum	13,0	39,0
Blaue Algen	360-600	1080,0- 1800,0	Penicillium chrysogenum (Früchte)	50,0	150,0
<b>Protozoen</b>			Penicillium roqueforti	13,0	39,0
Paramecium	64-100	192-300	Rhizopus nigricans (Brot)	111,0	333,0
			Scopulariopsis brevicaulis (Käse etc.)	80,0	240,0

-