

Grundlagenbetrachtung zum UV-C Einsatz

Die weltweite Covid19-Pandemie bedarf zu ihrer Eindämmung einer Vielzahl verschiedener Maßnahmen. Eine wichtige Komponente dazu könnte die Bestrahlung von Oberflächen mit kurzwelliger ultravioletter Strahlung (UV-C) beitragen. Insbesondere Oberflächen, welche durch viele verschiedene Personen innerhalb kurzer Zeiträume berührt werden (z.B. Schichtarbeitsplätze), unterliegen einem erhöhten Kontaminationsrisiko durch das krankheitsauslösende Sars-CoV-2 Virus. Auch kann das Virus an glatten Oberflächen einen längeren Zeitraum von mehreren Tagen überdauern. Die Bestrahlung solcher Flächen mit technisch generierter UV-C Strahlung kann diese Viren und daneben auch viele andere (z.B. multiresistente) Keime wirkungsvoll inaktivieren und somit eine weitere unbemerkte Verbreitung durch Schmierinfektion unterbinden.

Benötigt wird hierzu UV-C Strahlung im Wellenlängenbereich von etwa 250nm bis 280nm, welche im natürlichen Sonnenspektrum nur außerterrestrisch enthalten ist und von der Atmosphäre komplett absorbiert wird, so dass diese erbgutschädigenden Strahlungsanteile auf der Erde natürlicherweise nicht vorkommen. Insbesondere im Wirkungsmaximum bei etwa 264nm werden durch die UV-C Strahlung die biochemischen Verbindungen der RNA- bzw. DNA-Moleküle als Überträger der Erbinformation aufgebrochen und somit weitere Replikationen der Viren oder Bakterien unterbunden. Eine Infektion durch derart geschädigte Viren ist dann nicht mehr möglich, selbst wenn diese in den Körper oder auf Schleimhäute gelangen.

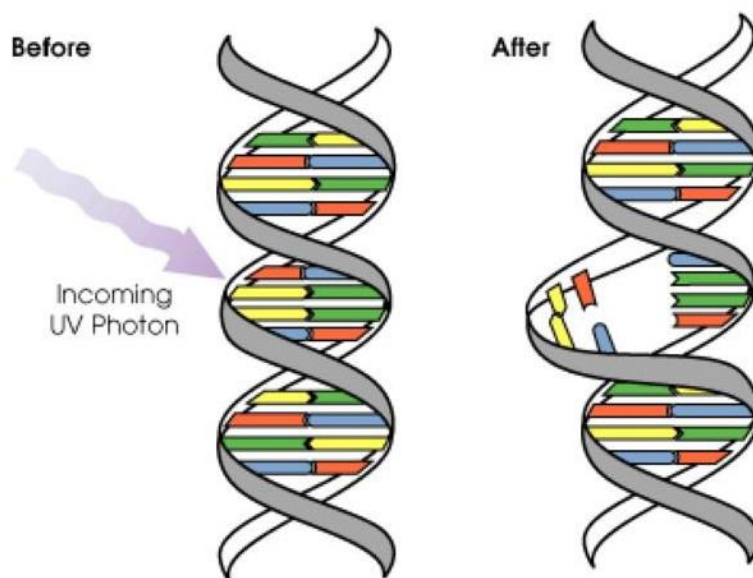


Abbildung 1 Prinzip des Aufbrechens von DNA-Verbindungen (Quelle: Seoul Viosys Co., Ltd.)

Die zur Inaktivierung notwendigen Bestrahlungsdosen als Produkt aus Bestrahlungsstärke und Expositionsdauer können sich dabei je nach Komplexität des Mikroorganismus stark voneinander unterscheiden.



Bisherige Studien zu ähnlichen Coronavirus-Typen sowie jüngste Untersuchungen zum aktuellen SARS-CoV-2 Typ geben wertvolle Anhaltspunkte zur Festlegung einer Mindestdosis unter Berücksichtigung einer zu definierenden Güte der Keimreduktion in sogenannten Log-Stufen. Eine Reduktion der Keimanzahl um 90% entspricht dabei der Log-Stufe 1, eine Reduktion um 99,9% beispielsweise Stufe 3.

Table 1: Summary of Ultraviolet Studies on Coronaviruses

Microbe	D ₉₀ Dose J/m ²	UV k m ² /J	Base Pairs kb	Source
Coronavirus	6.6	0.35120	30741	Walker 2007 ^a
Berne virus (Coronaviridae)	7.2	0.32100	28480	Weiss 1986
SARS-CoV-2 (Italy-INMI1)	12.3	0.18670	29811	Bianco 2020
Murine Coronavirus (MHV)	15.0	0.15351	31335	Hirano 1978
SARS Coronavirus (Frankfurt 1)	16.4	0.14040	29903	Eickmann 2020
Canine Coronavirus (CCV)	28.5	0.08079	29278	Saknimit 1988 ^b
Murine Coronavirus (MHV)	28.5	0.08079	31335	Saknimit 1988 ^b
SARS Coronavirus (CoV-P9)	40.0	0.05750	29829	Duan 2003 ^c
SARS-CoV-2 (SARS-CoV-2/Hu/DP/Kng/19-027)	41.7	0.05524	29811	Inagaki 2020
Murine Coronavirus (MHV)	103.0	0.02240	31335	Liu 2003
SARS Coronavirus (Hanoi)	133.9	0.01720	29751	Kariwa 2004 ^d
SARS Coronavirus (Urbani)	2410	0.00096	29751	Darnell 2004
Average	237	0.00972	including all studies	
Average excluding outliers	47	0.04943	excluding Walker, Weiss & Darnell	
Average for SARS-CoV-2	27	0.08528	two studies, 90% inactivation	

^a (Jingwen 2020)

^b (estimated)

^c (mean estimate)

^d (at 3 logs)

Abbildung 2 Übersicht zu erforderlichen Bestrahlungsdosen aus diversen Studien (Quelle: PurpleSun Inc.)

Am Markt sind mittlerweile UV-C emittierende Halbleiterbauelemente (LEDs) verfügbar, die in Kombination mit speziellen Optikmaterialien eine räumlich begrenzte und sehr gezielte Bestrahlung von (partiellen) Oberflächen im Vergleich zu herkömmlichen UV-C Niederdruckstrahlern ermöglichen. Eine gute Begrenzung der Strahlung auf relevante Oberflächenareale ist wirtschaftlich auch deshalb geboten, da UV-C auch Alterungsprozesse von Materialien wie z.B. Kunststoffen deutlich beschleunigt. Diese unerwünschten Nebenwirkungen sind daher möglichst zu minimieren und trotzdem eine ausgewogene Verteilung der Bestrahlungsstärken auf den zu behandelnden Oberflächen zu gewährleisten. Der nahezu punktförmige Charakter der Halbleiter-Strahlungsquellen lässt dabei eine relativ maßgenaue Anpassung der Strahlformung z.B. über Sekundäroptiken zu und bietet daher ein deutlich höheres Potential der anwendungsspezifischen Bestrahlungseffizienz als die konventionelle Niederdruck-Technologie.

Bei herkömmlichen UV-C Niederdruckstrahlern liegt die Strahlungsemission bei 254nm, der typischen Quecksilberlinie der Gasentladung und damit sehr nahe am Wirkungsmaximum des RNA-Crackings. Physikalisch bedingt wird die Strahlungsemission mittels Halbleiter bei sehr kurzen Wellenlängen wie bei 254nm zunehmend ineffizienter, so dass die LED-Hersteller einen optimalen Kompromiss zwischen Quanteneffizienz und biochemischer Wirksamkeit für die DNA-Inaktivierung finden müssen. Dieser hat sich bei Wellenlängen von etwa 275nm bis 280nm herausgestellt. Da hier die Wirksamkeit der Inaktivierung nur noch etwa halb so groß ist wie bei Niederdrucklampen (auf denen auch die meisten Studien

basieren), müssen die Bestrahlungsdosen für LED Anwendungen im Bereich 280nm etwa verdoppelt werden, um die gleiche inaktivierende Wirkung auf die Keime zu erzielen.

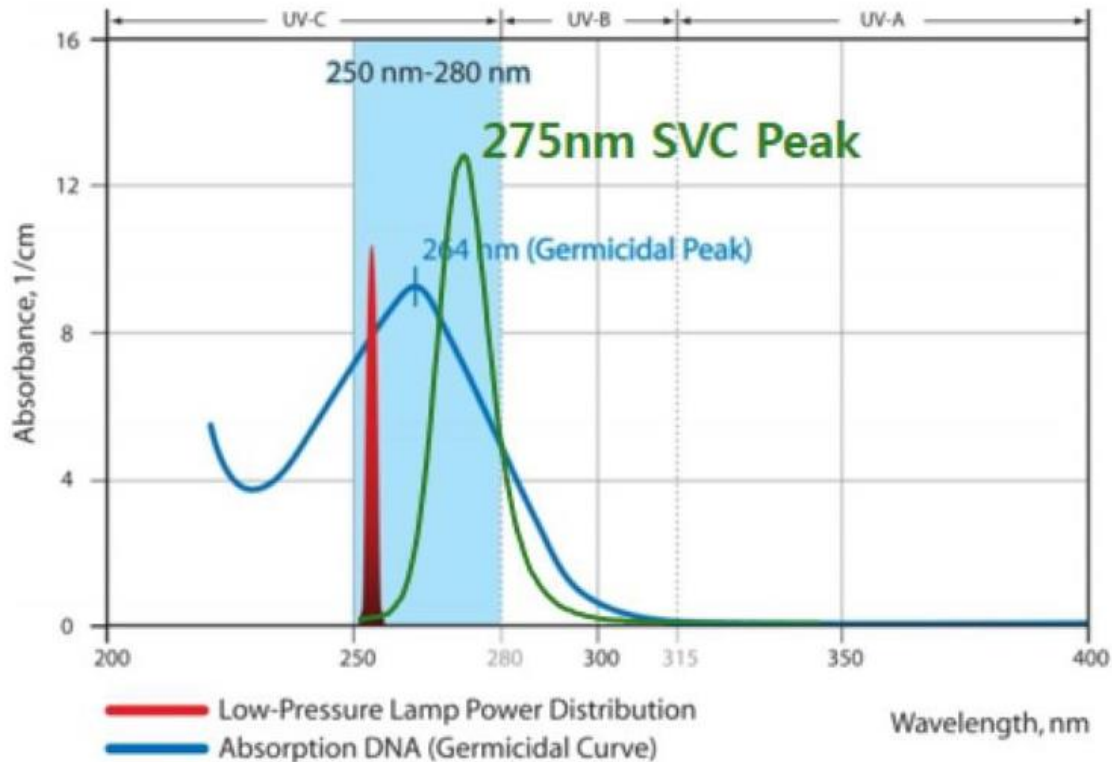


Abbildung 3 Relative Spektrale Verteilungen von Niederdruckgasentladung (rot) und Halbleitertechnologie (grün) in Relation zur spektralen Wirksamkeit (blau) (Quelle: Seoul Viosys Co., Ltd.)

Die notwendige Zeitdauer der Bestrahlung ergibt sich aus dem Quotienten der erforderlichen Bestrahlungsdosis (unter Berücksichtigung der gewünschten Log-Stufe) und der Bestrahlungsstärke auf der zu dekontaminierenden Oberfläche. Ist die ermittelte Dauer nicht mehr praktikabel, muss die Bestrahlungsstärke durch konstruktive Maßnahmen bzw. höhere Leistung entsprechend angepasst werden.

Es ist streng darauf zu achten und sicherzustellen, dass während der Bestrahlungszeit keine Personen der Strahlung ausgesetzt sind, da diese sowohl Augen- als auch Hautschäden verursacht. Entsprechende Sicherheitsvorkehrungen bzw. -vorschriften müssen beachtet werden.