

Auteur

Dr.ir. Francesco Franchimon – eigenaar Franchimon ICM

UV-C straling in ruimten

Sinds de jaren 50 wordt UV-C straling gebruikt in ruimten om ziektekiemen op oppervlakte en in de lucht te inactiveren (Wells, 1955; Riley 1976). In die tijd werd het gebruikt als infectie beheersmaatregel tegen Tuberculose en Mazelen. In gebouwen kan UV-C straling worden toegepast op verschillende wijze: (i) UV-C armaturen in de ruimte, (ii) mobiele UV-C units die de gehele ruimte aanstralen (zonder aanwezigheid van personen) en (iii) in luchtbehandelingssystemen en lokale luchtreinigers. Dit artikel zal haar focus hebben op gerichte UV-C straling ruimten waarbij personen aanwezig zijn. Het inactieveert virussen die gedepositioneerd zijn op oppervlakten als virussen die zweven in de lucht en door de UV-C aangestraald worden terecht komen.

UV-C straling

Het zonlicht bevat ook straling uit het UV spectrum, namelijk de lange golven (UV-A: 315 – 400 nm) en middellange golven (UV-B: 280 – 315 nm). Buiten kan het zonlicht daardoor het virus inactiveren door de hoge dosis die aanwezig kan zijn. Hoe hoger de UV-index des te meer het virus geïnactiveerd kan worden (de dosis). De korte golven (UV-C: 200 – 280 nm) komen niet voor in het spectrum van het zonlicht dat wij ontvangen op aarde, dit deel van het spectrum wordt namelijk door dampkring eruit gefilterd.

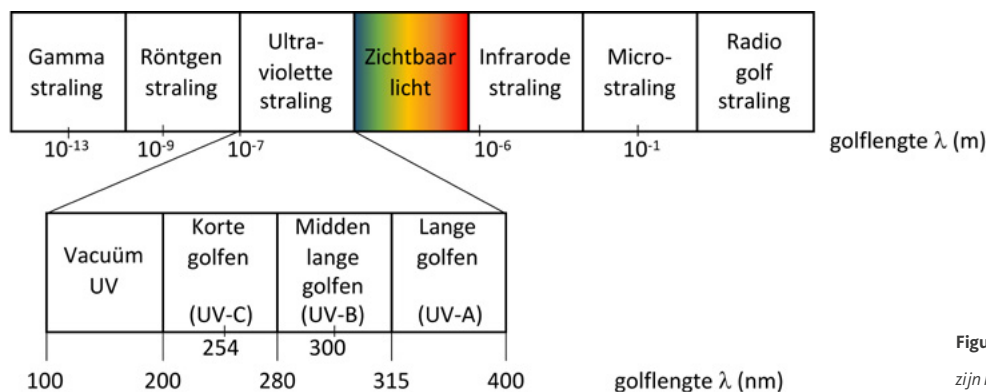
Een golflengte van 254 nm (UV-C) heeft een relatieve hogere efficiëntie dan een golflengte van 313 nm (UV-B). Dit betekent dat kortere golflengte (UV-C) veel effectiever zijn in het doden van kiemen dan langere golflengte (UV-A/UV-B). Om dezelfde inactivatie te krijgen moet de dosis bij UV-A en UV-B veel hoger zijn dan UV-C.

UV-C en Coronavirus

De UV-C fotonen interacteren met het genetisch materiaal (RNA) van het virus waardoor het geïnactiveerd raakt. In andere woorden het aangetaste virus is niet meer infectieus. UV-C straling is effectiever voor het inactiveren van virussen die tot de groep ssRNA virussen behoren (Tseng & Li, 2007) in vergelijking met andere virussensoorten zoals dsRNA. SARS-CoV-2 is een ssRNA virus en behoort tot de familie *Coronaviridae*. In een ssRNA virus staat ss voor Single Stranded (enkelstrengs), dd staat voor dubbelstrengs en RNA geeft de duiding aan van het genetisch materiaal. In laboratorium onderzoek van Tseng & Li speelt relatieve vochtigheid bij het inactiveren een rol, hoe hoger de relatieve vochtigheid hoe hoger de dosis moet zijn om dezelfde reductie te halen. Het extra geaccumuleerde vocht door het virus lijkt te zorgen voor extra bescherming tegen de UV-C straling.

Efficiëntie UV-C straling

De blootstelling van virussen aan UV-C straling (de dosis) wordt uitgedrukt in mJ/cm^2 , de stralingsenergie per oppervlakte eenheid.



Figuur 1: Kortere golflengtes (UV-C) zijn veel effectiever zijn in het doden van kiemen dan langere golflengtes.

Het is het product van stralingsintensiteit E per oppervlakte-eenheid (mW/cm^2) en de blootstellingstijd t (s).

$$D = Et$$

In tijd neemt de concentratie van het virus af conform een eerste orde proces met een constante waarde, de k -factor genoemd. Deze k -waarde noemt men de gevoeligheidsconstante van het ziektekiem k (cm^2/mJ) (Noakes e.a., 2015).

$$\phi(t) = e^{-kD} = e^{-kEt}$$

Voor veel virussen is de dosis waar 90% van de kiemen zijn geïnactiveerd onderzocht (Tseng & Li, 2007; Malayeri e.a., 2016). Dat geldt ook voor het coronavirus.

	k-waarde [cm ² /mJ]	Log 1 reductie D ₉₀ [mJ/cm ²]	Log 2-reductie D ₉₉ [mJ/cm ²]	Log 3 reductie D _{99,9} [mJ/cm ²]
UV-C (254 nm)	NA	3,70	NA	NA
UV C (222 nm)				
HCoV-229 ^e	4,1	0,56	1,10	1,70
HCoV-OC43	5,9	0,39	0,78	1,20

Tabel 1: Dosis voor log reducties voor UV-C straling met golflengte 254 nm en een UV-C straling met golflengte van 222 nm. Voor UV-C 254 nm is de mediaan genomen op basis van een review artikel (Heßling e.a., 2020) en voor UV-C 222 nm een laboratorium onderzoek (Welch e.a., 2020). (NA: Niet Aanwezig)

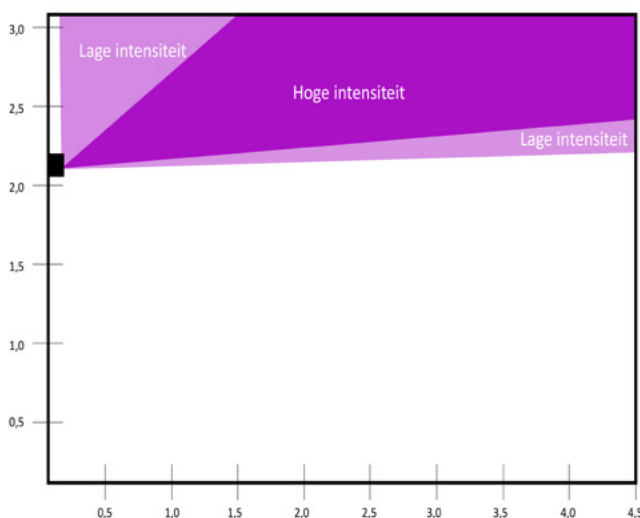
De efficiëntie kan ook uitgedrukt worden in equivalent ventilatievoud. Uitgaande van een ideaal gemengde ruimte is het ventilatievoud equivalent het product van de log-reductie vermenigvuldigd met het volume van de ruimte V . Het product λV kan als sink gebruikt worden om het besmettingsrisico te berekenen. Een equivalent ventilatievoud van

UV-C straling (222 nm) versus normale UV-C straling (254 nm)

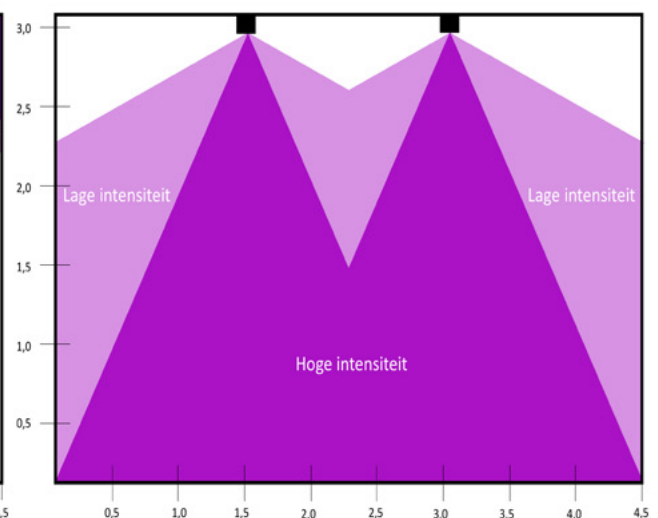
Nieuwe verlichtingstechnieken maken het mogelijk om een andere golflengte te creëren. Met de gasontladingslampen met kwik wordt UV-C straling met een golflengte van 254 nm uitgezonden. Nieuwe verlichtingstechnieken zoals LED en gasontladingslampen met excimeer gassen (krypton chloride), hebben het mogelijk gemaakt om een lamp te maken die 222 nm kan uitzenden en niet 254 nm. Helaas is het aanbod van UV-C lampen met een golflengte van 222 nm nog beperkt.

6 tot 8 kan haalbaar zijn. De sink-termen die gebruikt worden in besmettingskans modellen, zoals het Well-Riley model, zijn de factoren die de concentratie van een ziektekiem uit de lucht halen, bijvoorbeeld door ventileren, depositie maar dus ook door het inactiveren van ziektekiemen middels UV-C straling.

Om een hoge efficiëntie te halen om de zwevende virussen te inactiveren is een goede mengventilatie voorwaardelijk. De positionering



Figuur 2: Positionering van UV-C armaturen. A: UV-C 254 nm, B: UV-C 222 nm.





hangt af van de golflengte van de UV-C en de gebruikte golflengte.

Uit veiligheidsprincipes kunnen de UV-C straling alleen boven de 2,1 meter worden toegepast om huid en ogen van mensen te beschermen bij een golflengte van 254 nm. Voor UV-C straling met een golflengte van 222 nm is er geen direct gevaar voor huid en ogen waardoor de armaturen in het plafond verwerkt kunnen worden.

Veiligheid en UV-C

De huidige veiligheids grens voor UV-C (254 nm) bedraagt 6,0 mJ/cm², de veilige dosis (ICNIRP, 2004). Dit voorkomt verbranding aan de huid alsook oogschade. Ter vergelijking met de UV-straling uit zonlicht, bij een UV index van 10 is de grenswaarde van 6,0 mJ/cm² gedurende 8 uur gelijk aan 10 minuten blootstelling aan zonlicht.

De dosis waaraan mensen worden blootgesteld aan UV-C straling bij naar boven gerichte UV-C armaturen bedraagt ongeveer 1/3 van de veiligheids grens. Aangezien het indirecte straling

betreft bij het vervangen van de lampen is het wel belangrijk de armaturen eerst uit te schakelen aangezien de dosis in de directe UV-C straling natuurlijk hoger ligt. Voor verre UV-C straling (222 nm) lijkt de schadelijkheid veel beperkter te zijn daar het onvoldoende de huid binnendringt, hetgeen ook geldt voor onze ogen (Welch e.a., 2018). Een dosis van 24,0 mJ/cm² is hier de grenswaarde. Gezien de log 1, log 2 en log 3 reductie met UV-C straling met een golflengte van 222 nm geeft directe straling geen gezondheidsrisico's meer (ICNIRP, 2004).

Ontwerpen en commissioning van UV-C armaturen

In dit artikel zijn de aandachtspunten voor het ontwerp gericht op de commercieel beschikbare UV-C lampen met een golflengte van 254 nm.

De reflectie van het plafond is belangrijk om te voorkomen dat de grenswaarde in de leefzone nimmer de grenswaarde voor 8 uur 6,0 mJ/cm² bij UV-C straling met een golflengte van 254 nm overschrijd.

Om de benodigde stralingsintensiteit (voor de noodzakelijke dosis) op de verschillende punten in de ruimte te bepalen op basis van de productgegevens van de armatuur leverancier kunnen Computational Fluid Dynamics (CFD) simulaties 'uitgevoerd' worden. Hier kan men zien op basis van de afstand tot de armatuur en onder een bepaalde hoek wat de intensiteit is (Gilkeson & Noakes, 2012).

Het UV-C straling kan geen schade veroorzaken wanneer het door een glaswand direct zichtbaar is, dit deel zal niet worden doorgelaten door het glas.



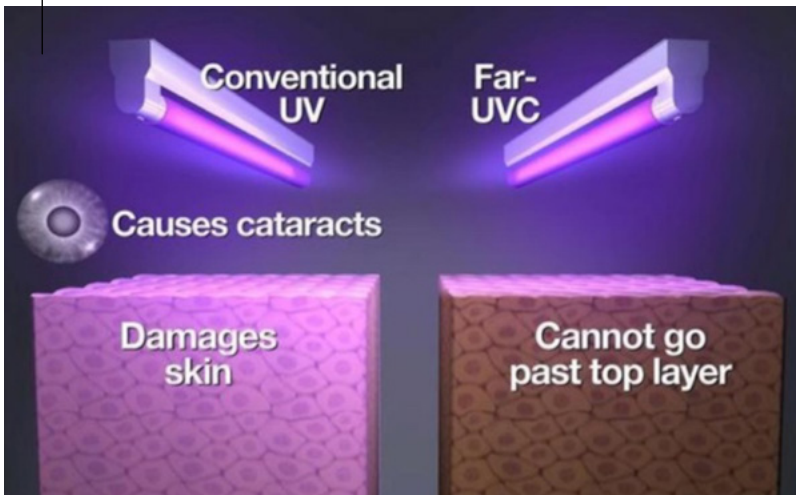
Figuur 3 en 4: Enkele voorbeelden van ruimten waar UV-C armaturen kunnen hangen. Bron: Colombia University en *Germicidal Lamps & Applications (GLA)*.

Om de straling op verschillende punten te meten om vast te stellen of de stralingsintensiteit voldoende is om de dosis te bereiken dat noodzakelijk is voor inactivatie van het coronavirus en in de leefruimte de straling onder de veiligheidsgrenzen blijft, zijn UV-C radiometers te gebruiken. Bij voorkeur een radiometer die gekalibreerd is in een laboratorium dat voldoet aan de ISO/IEC 17025. Belangrijk is om goed na te gaan onder wat het spectrum was in het kalibratierapport. Bij verre UV-C straling moet men alert zijn of de betreffende radiometer ook daarvoor geschikt is.

Conclusie

UV-C straling in ruimten kan een heel effectieve manier zijn om het coronavirus te inactiveren, zeker in ruimte waar de ventilatie onvoldoende is om de besmettingskans op een aanvaardbaar niveau te krijgen. Een juiste engineering en het in acht nemen van veiligheidsgrenzen om schade aan huid en ogen ten alle tijden te voorkomen is belangrijk.

Figuur 5: Bij verre UV-C straling moet men alert zijn of de betreffende radiometer ook daarvoor geschikt is. Bron: CBS News



Referenties

1. Gilkeson & Noakes, 2012. Application of CFD Simulation to Predicting Upper-Room UVGI Effectiveness. *Photochemistry and Photobiology* 89(4): 799-810.
2. Heßling e.a., 2020. Ultraviolet irradiation doses for coronavirus inactivation – review and analysis of coronavirus photoinactivation studies. *GMS Hygiene and Infection Control*(15): 20200514.
3. ICNIRP, 2004. ICNIRP Guidelines – On limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation). *Health Physics* 87(2): 171-186.
4. Malayeri, e.a., 2016. Fluence (UV Dose) Required to Achieve Incremental Log Inactivation of Bacteria, Protozoa, Viruses and Algae. *IUVA News*. 18. 4-6.
5. Mphahlele e.a., 2015. Institutional Tuberculosis Transmission. Controlled Trial of Upper Room Ultraviolet Air Disinfection: A Basis for New Dosing Guidelines. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 192(4): 477-484.
6. Noakes e.a., 2015. Modeling infection risk and energy use of upper-room Ultraviolet Germicidal Irradiation systems in multiroom environments. *Science and Technology for the Built Environment* 21 (1): 99-111.
7. Riley e.a., 1976. Ultraviolet susceptibility of BCG and virulent tubercle bacilli. *American review of respiratory disease* 113(4): 413-418 (1976).
8. Tseng & Li, 2007. Inactivation of Viruses on Surfaces by Ultraviolet Germicidal Irradiation. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 4(6): 400-405.
9. Welch e.a., 2020. Far-UVC light: A new tool to control the spread of airborne-mediated microbial diseases. *Nature - Scientific Reports* 10: 10285.
10. Welch e.a., 2018. Far-UVC light: A new tool to control the spread of airborne-mediated microbial diseases. *Nature - Scientific Reports* 8:2752
11. Wells, 1955. *Airborne Contagion and Air Hygiene*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.