

DE: Allgemeine Information, identisch in allen Testreports	EN: General information, identical for all test reports
DE: Messwerte und Beurteilung dieser Lampe	EN: Measurement and analysis of specific lamp

Test-Report 03/2022

Sylvania Activa F 127 58W T8

1) Zusammenfassung

- Die Sylvania Activa F127 Leuchtstoffröhre kombiniert einen hochwertigen weißen Leuchtstoff (Farbcode 965) mit einem UVA-Leuchtstoff (ca. 350 nm – 400 nm). Sie bildet damit das Sonnenlicht im gesamten für Reptilien (und Vögel) sichtbaren Bereich (ca. 350 – 750 nm) sehr gut nach.
- Ich habe diese Leuchtstoffkombination bisher bei keiner anderen Leuchtstofflampe gesehen. Der Leuchtstoff hat Vorteile gegenüber den typischen Leuchtstoffen der UVB-Leuchtstoffröhren: UVB-Leuchtstofflampen haben kaum Strahlung im für Reptilien sichtbaren Bereich von 350 nm – 400 nm. Auch andere Vollspektrum-Lampen, wie die Narva BioVital oder die (amerikanisch!) TrueLight-Lampen decken diesen langwelligen UVA-Bereich schlechter ab. Der dort verwendete Leuchtstoff im Bereich 300 nm – 420 nm mit Maximum um 350-370 nm hat oft eine geringere Intensität und fällt gerade im langwelligen UVA auf ein Minimum ab.
- Aus meiner Sicht sind die Sylvania Activa neben Metallhalogeniddampflampen die mit Abstand am besten geeignete Lampe, um die Farbe des natürlichen Tageslichts für Reptilien und Vögel bei Haltung in Innenräumen nachzubilden. Leider kenne ich keine Studie, die eine Bevorzugung dieser Lichtquelle oder Verhaltensänderungen oder bessere Unterscheidungsleistung bei Vögeln oder Reptilien bei dieser Lampe im Vergleich zu anderen Lichtquellen untersucht hätte, und damit mein Urteil bestätigt oder widerlegt.

1) Zusammenfassung	1	... Summary
2) Beschreibung der Lampe.....	1	... Lamp Description
3) Spektrale Messung.....	2	... Spectral Measurement
3a) Beurteilung des Gesamtspektrums	2 Review of the spectrum
3b) Für den Menschen sichtbares Spektrum.....	3 Spectrum visible to humans
3c) Für Reptilien sichtbares Spektrum	3 Spectrum visible to reptiles
3d) UV-Spektrum (Vitamin D3).....	4 UV Spectrum (vitamin D3)
3e) Blaulichtgefährdung	6 Blue Light Hazard
4) Intensitätsmessungen	7	... Intensity Measurements
4a) Maximale Bestrahlungsstärke in verschiedenen Abständen	7 Maximum irradiance in different distances
4b) Solarmeter-Verhältnis	8 Solarmeter Ratio
5) Einschränkungen	8	... Limitations
6) Zitierte Literatur	8	... Literature cited

Summary

- The Sylvania Activa F127 fluorescent tube combines a high-quality white phosphor (color code 965) with a UVA phosphor (approx. 350 nm – 400 nm). It thus reproduces sunlight very well in the entire range visible to reptiles (and birds) (approx. 350 - 750 nm).
- I have never seen this fluorescent combination in any other fluorescent lamp. The phosphor has advantages over the typical phosphors of UVB fluorescent tubes: UVB fluorescent lamps have hardly any radiation in the range of 350 nm - 400 nm visible to reptiles. Other full-spectrum lamps, such as the Narva BioVital or the (American!) TrueLight lamps cover this long-wave UVA range less well. The phosphor used there in the 300 nm - 420 nm range with a maximum around 350-370 nm often has a lower intensity and drops to a minimum, especially in long-wave UVA.
- In my view, the Sylvania Activa is by far the best lamp, along with metal halide lamps, to replicate the color of natural daylight for reptiles and birds when kept indoors. Unfortunately, I am not aware of any study that has examined a preference for this light source or behavioral changes or better discrimination performance in birds or reptiles with this lamp compared to other light sources, which could confirm or refute my judgment.

2) Beschreibung der Lampe

Eine T8 Leuchtstoffröhre „Sylvania Activa F 127 58W“ wurde privat im Januar 2022 online (leuchtmittelmarkt.com) gekauft. Die Lampe ist mit 6.500 Kelvin, 3.700 Lumen, Farbwiedergabe Ra98 und UVA-Anteil spezifiziert und zur Behandlung der saisonalen Depression (SAD) beworben. Die Lampen sind leider aus Perspektive der Reptilienhalter nur sehr eingeschränkt als T5HE (55cm/14W) und T8 (45cm/15W, 60cm/18W, 120cm/36W, 150cm/58W, 180cm/70W) verfügbar.

Lamp Description

A T8 fluorescent tube “Sylvania Activa F 127 58W” was bought online in January 2022 (glühmittelmarkt.com). The lamp is specified with 6,500 Kelvin, 3,700 lumens, color rendering Ra98 and UVA content and is advertised for the treatment of seasonal depression (SAD). From a reptile keeper’s perspective, the lamps are only available in a very limited range as T5HE (55cm/14W) and T8 (45cm/15W, 60cm/18W, 120cm/36W, 150cm/58W, 180cm/70W).

Auf der einen Seite der Lampe ist die Beschriftung „58W, ACTIVA 172, professional, Germany, EAC, Sylvania, www.sylvania-lighting.com, CE“ in schwarzer Farbe aufgedruckt. Auf der anderen Seite steht „KC14, 2022, 33“ in oranger Farbe.

On one side of the lamp the inscription "58W, ACTIVA 172, professional, Germany, EAC, Sylvania, www.sylvania-lighting.com, CE" is printed in black. The other side says "KC14, 2022, 33" in orange color.



3) Spektrale Messung

Die spektrale Bestrahlungsstärke wird mit einem „Ocean Optics USB 2000+“ Spektrometer mit Streuscheibe zur Kosinuskorrektur und Kalibration sowohl auf Wellenlänge als auch absolute Bestrahlungsstärke durchgeführt. Das Spektrometer misst im Bereich 250 nm bis 880 nm mit einer Auflösung von 0,38 nm.

Professionelle Photometrische Messungen beinhalten die Verwendung einer Ulbrichtkugel. Das ist hier nicht der Fall und kann die Ergebnisse verfälschen. Ohne Ulbrichtkugel ist auch keine Bestimmung des gesamten Lichtstroms (Lumen) möglich. Die spektrale Messung wird je nach Lampe in einem individuellen geringen Abstand durchgeführt. So kann das Signal-zu-Rausch-Verhältnis durch eine hohe Intensität optimiert werden. Das Spektrum in verschiedenen Abständen hat die gleiche Form, lediglich die Gesamtintensität ändert sich.

3a) Beurteilung des Gesamtspektrums

Das Spektrum wird relative zum ASTM Referenzsonnenspektrum gezeigt. Das ermöglicht den Vergleich des Lampenspektrums mit dem Spektrum von natürlichem Sonnenlicht. Sonnenlicht hat ein völlig kontinuierliches Spektrum ab ca. 295 nm.

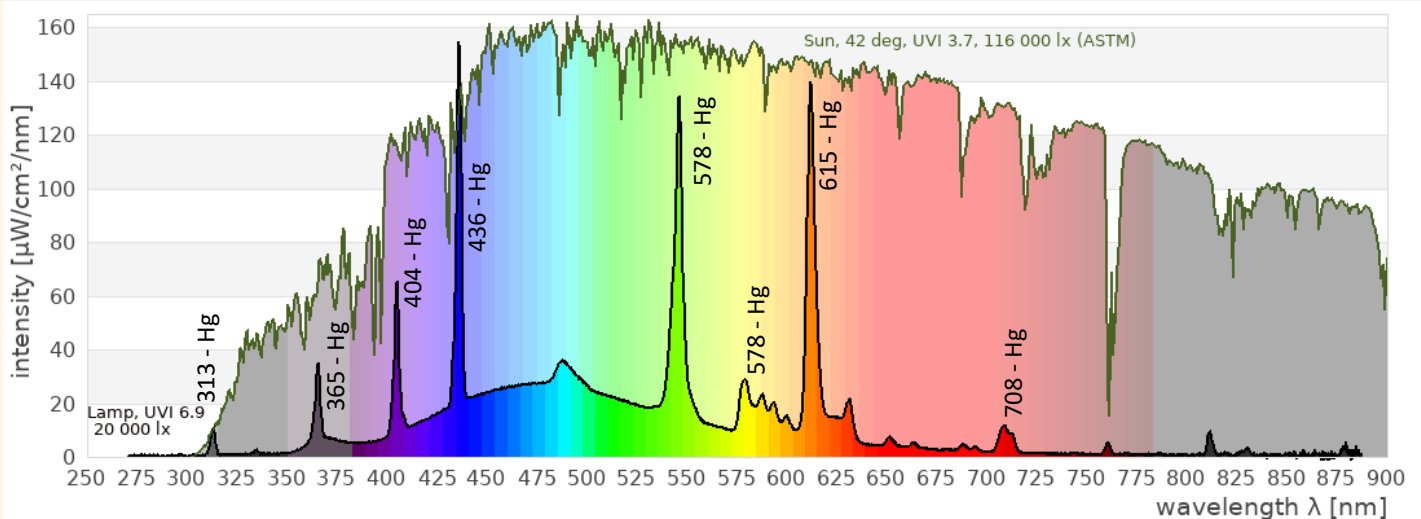
Spectral Measurement

Spectral measurements are taken with an “Ocean Optics USB 2000+” spectrometer with cosine corrector. It is calibrated for wavelength and absolute irradiance. The measurement range is 250 nm to 880 nm with a resolution of 0.38 nm.

Professional photometric tests include the usage of an integrating sphere (Ulbricht sphere). This is not the case here and can adulterate the results. Without an integrating sphere it is not possible to determine the total luminous flux (lumen). The spectral measurements are taken in an individual distance for each lamp to improve the signal to noise ratio. The shape of the spectrum does not depend on the distance, only the absolute intensity changes.

Review of the spectrum

The spectrum is shown relative to the ASTM solar reference spectrum. This enables comparison of the spectral power distribution of the lamp with that of natural sunlight. Natural sunlight has a completely continuous spectrum from a threshold around 295 nm.



	Lamp	ASTM Reference Sun
UVB (280 – 315 nm)	1%	0,1 %
UVA 1 (315 – 350 nm)	0,6%	1,3 %
UVA 2 (350 – 380 nm)	3,3%	1,9 %
VIS (380 – 780 nm)	93%	53 %
Full (250 – 880 nm)	100%	100 %

	2 cm	
UV Index	1,73	UVI 3,7
Lux	2760	116 000 lx

Das Spektrum ist typisch für Leuchtstofflampen mit der Besonderheit, dass ein UVA-Leuchtstoff einen breiten Peak zwischen 350-400 nm erzeugt und so den UV-Anteil der 365-nm-Quecksilberlinie ergänzt. Ebenfalls die Quecksilberlinie bei 313 nm ist bei handelsüblichen Leuchtstofflampen sonst nicht sichtbar.

The spectrum is typical of fluorescent lamps, with the special feature that a UVA phosphor produces a broad peak between 350-400 nm, complementing the UV of the 365 nm mercury line. The mercury line at 313 nm is also otherwise not visible in standard fluorescent lamps.

3b) Für den Menschen sichtbares Spektrum

Nach Definition der internationalen Beleuchtungskommission CIE (*Commission Internationale de l'Éclairage*) wird für das Farbsehen des Menschen der Spektralbereich von 380 nm bis 780 nm herangezogen.

Der Balkengraph zeigt, welche Lichtmenge von den drei Zapfen im menschlichen Auge wahrgenommen wird. Zum Vergleich ist auch hier das Sonnenspektrum und dessen Wirkung auf die Zapfen gezeigt.

Die Software „Ocean View“ des Spektrometers berechnet basierend darauf den Farbort, die Farbtemperatur und die Farbwiedergabewerte. Diese Werte gelten nur für das menschliche Farbsehen.

Im CIE-Farbdreieck sind die Farborte der Primärfarben als farbige Linie dargestellt, die Farborte verschiedener Phasen des Tageslichts als Kreuze, die Farborte von Schwarzkörperstrahler als schwarze Linie und der Farbort der Lampe als schwarzer Punkt.

Aus menschlicher Perspektive wird die Farbe des Sonnenlichts sehr gut nachgebildet. Der Farbwiedergabewert wird durch die Spektrometer-Software als 86, die Farbtemperatur als 6900 K berechnet. Diese Werte weichen von den Herstellerangaben (6.500 K, Ra98) ab, was durch Messunsicherheit erklärt werden kann.

(x,y)	(0,31 ; 0,32)
CCT [Kelvin]	6925K
CRI	86,3
R1 (light grayish red)	91,5
R2 (dark grayish yellow)	92,8
R3 (strong yellow green)	75,6
R4 (moderate yellowish green)	89,9
R5 (light bluish green)	92,7
R6 (light blue)	86,9
R7 (light violet)	82,7
R8 (light reddish purple)	78,3
R9 (strong red)	53,2
R10 (strong yellow)	75,7
R11 (strong green)	98,0
R12 (strong blue)	93,0
R13 (light yellowish pink, human complexion)	89,2
R14 (moderate olive green)	83,7
R15 (Japanese complexion)	97,3
DC<5.4E-3	true

Spectrum visible to humans

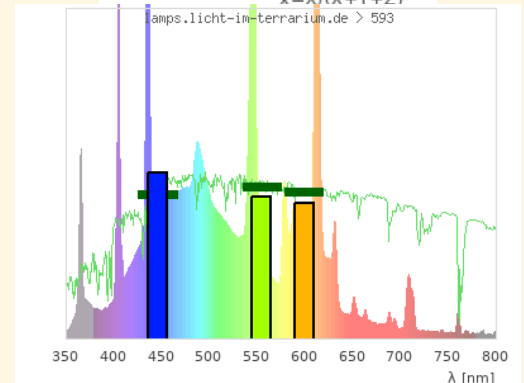
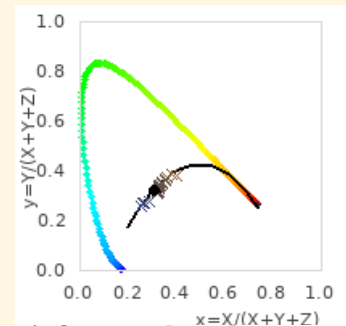
The international illumination commission CIE (*Commission Internationale de l'Éclairage*) defines that the range 380 nm to 780 nm shall be used for colour calculations.

The bar chart indicates the amount of light seen by the three cones in the human eye. For comparison also here the solar spectrum and its action on the three cones is shown.

The spectrometer software “Ocean View” calculates the colour coordinate, correlated colour temperature and colour rendering indices based on that. They are valid for human colour vision only.

The CIE colour triangle shows the colour coordinates of the primary colours as coloured line, the colour coordinates of different phases of daylight as crosses, the colour coordinates of black body radiators as black line and the colour coordinate of the lamp as black dot.

From a human perspective, the color of sunlight is reproduced very well. The color rendering index is calculated by the spectrometer software as 86, the color temperature as 6900K. These values differ from the manufacturer’s specifications (6.500 K, CRI98), which can be explained by measurement uncertainties.



3c) Für Reptilien sichtbares Spektrum

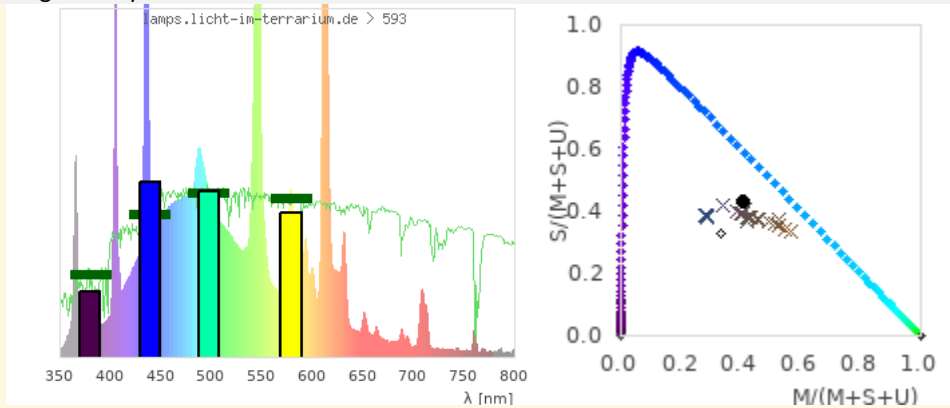
Während der Mensch für das Farbsehen drei Photorezeptoren (Blau, Grün, Rot/Orange) besitzt, sind es bei Reptilien je nach Art drei (UV, blau, grün) oder vier (UV, blau, grün, rot). Das

Spectrum visible to reptiles

While humans have three photo receptors (blue, green, orange/red), reptiles have three (uva, blue, green) or four (uva, blue, green, red). The colour vision of reptiles therefore differs

Farbsehen von Reptilien unterscheidet sich daher grundlegend vom Farbsehen des Menschen. Insbesondere der UVA-Bereich ist wichtig, damit alle Photorezeptoren Licht sehen. Nur dann erscheint das Licht weiß(lich) und volles Farbsehen ist möglich. Der für Reptilien sichtbare Spektralbereich liegt ja nach Art zwischen 350 nm und 600 nm / 800 nm.

Die folgenden Grafiken zeigen das Spektrum im Bereich, der für Reptilien sichtbar ist, zusammen mit den Signalen, die vier Photorezeptoren erhalten würden. Die Empfindlichkeitskurven der vier Photorezeptoren sind Gaußförmig bei 560 nm, 497 nm, 440 nm und 380 nm. Diese Abschätzung basiert auf Studien zum Farbsehen von Reptilien. In Grün sind das Spektrum der Sonne und deren Signale auf die Photorezeptoren gezeichnet. Basierend auf den UV-, Blau- und Grün-Rezeptor wird ein Farbraum berechnet analog zum CIE Farbraum des menschlichen Betrachters (siehe 3b). Die farbigen Kreuze kennzeichnen Farborte von verschiedenen Tageslichtphasen. Der schwarze Punkt zeigt den Farbort der Lampe. Ich glaube, dass diese Adaption des Farbortes mathematisch sinnvoll ist und Farbräume werden auch in der wissenschaftlichen Forschung zum Farbsehen von Tieren gemacht (Kelber2003), ich habe jedoch noch keine Anwendung auf Lichtquellen in der wissenschaftlichen Literatur gesehen. Nur sehr wenige Lampen bilden den sichtbaren Spektralbereich für Reptilien sonnenähnlich nach. Das sind manche Metallhalogeniddampflampen ohne UVB und sehr wenige Vollspektrum-Leuchtstofflampen. Die meisten UVB-Metallhalogeniddampflampen haben einen zu hohen UVA-Anteil, die meisten Leuchtstoffröhren einen zu geringen UVA-Anteil. Sie haben aus Reptiliensicht einen Farbstich (UVA oder Komplementärfarbe zu UVA). LEDs ohne UVA haben aus Reptiliensicht die gesättigte Komplementärfarbe zu UVA.



Auch aus Reptilienperspektive wird die Farbe des Sonnenlichts sehr gut nachgebildet. Der Farbort der Lampe liegt sehr nahe an den Farborten verschiedener Phasen des Tageslichts.

3d) UV-Spektrum (Vitamin D3)

Das Spektrum im UV-Bereich hat in der Terraristik eine besondere Bedeutung, da Lampen zur Vitamin-D3-Versorgung der Tiere eingesetzt werden. UV-Strahlung im Bereich 250 nm bis 320 nm ist in der Lage Vitamin D3 aus 7DH umzuwandeln. Gleichzeitig hat die UV-Strahlung aber auch zellschädigende Wirkung. Die Zellschädigende Wirkung nimmt mit kürzerer Wellenlänge zu.

Bei der Abwägung zwischen positiven und negativen Eigenschaften der UV-Strahlung erscheint es mir am sinnvollsten auf eine große Ähnlichkeit zum Sonnenspektrum zu achten. Dem liegt die Annahme zugrunde, dass die Evolution

fundamentally from the colour vision of humans. Especially the UVA range is necessary so that all photo receptors see light. Only then the light looks white(ish) and full colour vision is possible. The spectral range visible to reptiles ranges from 350 nm to 600 nm / 800 nm.

The following graphs show the spectrum in the range visible to reptiles together with the signals that four photo receptors would receive. The photo receptors sensitivity spectra are of gaussian shape at the peak wavelengths 560 nm, 497 nm, 440 nm, and 380 nm. This is an estimate based on studies on reptile colour vision. In green the spectrum and signal of sunlight is shown.

Based on the UV, blue and green photo receptors a colour space is calculated in analogy to the CIE colour space for the human observer (see 3b). The coloured crosses indicate the colour coordinates of different phases of daylight. The black dot shows the colour coordinate of the lamp.

I believe that this adaption of colour space makes sense mathematically and colour spaces are used in scientific research regarding colour vision of animals (Kelber2003), however I have not seen the application to light sources in the scientific literature.

Only very few lamps the visible spectral range for reptiles in a sun-like manner. These are some metal halide lamps without UVB and very few full spectrum fluorescent lamps. Most UVB metal halide vapor lamps emit too much UVA, most fluorescent tubes not enough UVA. From a reptile's perspective, they have a color cast (UVA or complementary color to UVA). From the reptile point of view, LEDs without UVA have the saturated complementary color to UVA.

The color of sunlight is also reproduced very well from a reptile's perspective. The color coordinate of the lamp is very close to the color coordinates of different phases of daylight.

UV Spectrum (Vitamin D3)

The spectrum in the UV range is of special importance in reptile husbandry because lamps are used as vitamin d3 supply. UV radiation in the range 250 nm to 320 nm is able to convert 7DHC to Vitamin D3. At the same time, UV radiation is damaging to cells. This cell-damaging effect increases with shorter wavelength.

When balancing positive and negative effects of UV radiation, to me it seems most sensible to look out for a spectrum that best resembles the solar spectrum. This is based on the assumption that evolution will have optimized the protection strategies

die Mechanismen zum Schutz vor UV-Strahlung als auch die Nutzen aus der UV-Strahlung für dieses Spektrum perfekt optimiert hat. Das Sonnenspektrum beginnt bei etwa 300 nm und steigt fast linear bis 400 nm an. Strahlung mit einer Wellenlänge kleiner als 300 nm sollte daher im Lampenspektrum nur zu einem sehr geringen Teil, unter 290 nm gar nicht vorhanden sein. Eine ansteigende Intensität von 300 nm bis mind. 335 nm ist zur Regulierung der Vitamin D3 Produktion sehr empfehlenswert.

Die folgende Grafik zeigt das Spektrum der Lampe im Vergleich zu anderen Spektren:

- Sonnenspektrum bei 20° Sonnenstand (UV-Index 1,0)
- Sonnenspektrum bei 50° Sonnenstand (UV-Index 7,6)
- Sonnenspektrum bei 85° Sonnenstand (UV-Index 14,7)
- Wirkspektrum für die DNA-Schädigung (Setlow1974, DIN 5031-10), die Wirkspektren für andere schädigende Auswirkungen von UV-Strahlung, wie Photo-Kerato-Konjunktivitis sind ähnlich.
- Wirkspektrum für die Vitamin-D3-Bildung (MacLaughlin1982, DIN 5031-10)

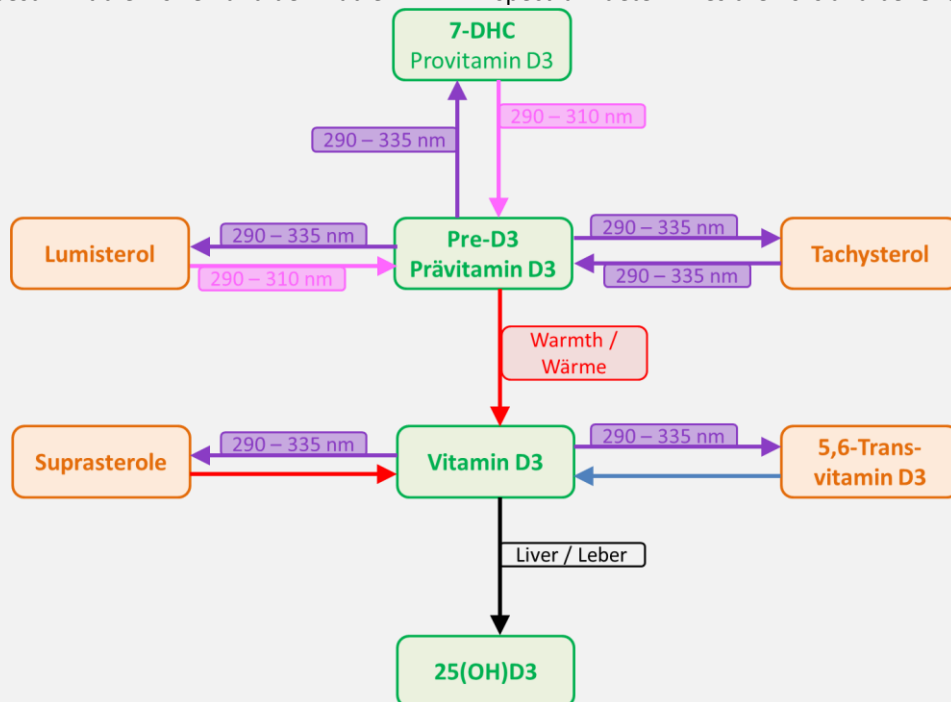
Das Ausmaß, in dem das UV-Spektrum der Lampe unter jedes Wirkspektrum fällt, bestimmt die Risiken und den Nutzen.

against UV and the benefits from UV perfectly for the solar spectrum. The solar UV spectrum starts at around 300 nm and increases almost linearly towards 400 nm. Radiation with a wavelength below 300 nm should therefore be almost absent in a lamp's spectrum and radiation below 290 nm wavelength must never be present. An increase in the intensity from 300 nm to at least 335 nm is strongly recommended to regulate the production of vitamin D3.

The following graph shows the lamp's spectrum in comparison to other spectrums:

- Solar spectrum for 20° solar altitude (UV index 1.0)
- Solar spectrum for 50° solar altitude (UV index 7.6)
- Solar spectrum for 85° solar altitude (UV index 14.7)
- Action spectrum for DNA damage (Setlow1974, DIN 5031-10), the action spectra for other damaging effects of UV radiation, such as photo-kerato-conjunctivitis, are similar to this one.
- Action spectrum for Vitamin D3 production (MacLaughlin1982, DIN 5031-10)

The extent to which each UV spectrum falls under each action spectrum determines the risks and benefits.



Das einfache Bild der Vitamin D3 Bildung in der Haut ist folgendermaßen: UVB wird benötigt, um 7-DHC in der Haut in Prävitamin D3 umzuwandeln. Dann wandelt Wärme das Prävitamin D3 in Vitamin D3 um. Das Vitamin-D3-bindenden Protein (DBP) bindet an die Vitamin D3 Moleküle und trägt sie in den Blutkreislauf.

Aber das ist eine starke Vereinfachung. Wie in einem wegweisenden Artikel von MacLaughlin et al. (1982) gezeigt wurde, ist die Bildung von Vitamin D3 ein komplexer Prozess: Vier Photoprodukte bilden ein Gleichgewicht, deren Menge von der Form des UV-Spektrums abhängen, das die Haut erreicht. Nur Wellenlängen unter 320 nm – und ganz besonders die unter 310 nm – wandeln 7-DHC-Moleküle in Prävitamin D3 um. Prävitamin D3 kann dann aber auch wieder in 7-DHC oder in Lumisterol oder Tachysterol umgewandelt werden, indem es UV im Bereich unter 335 nm absorbiert. Die

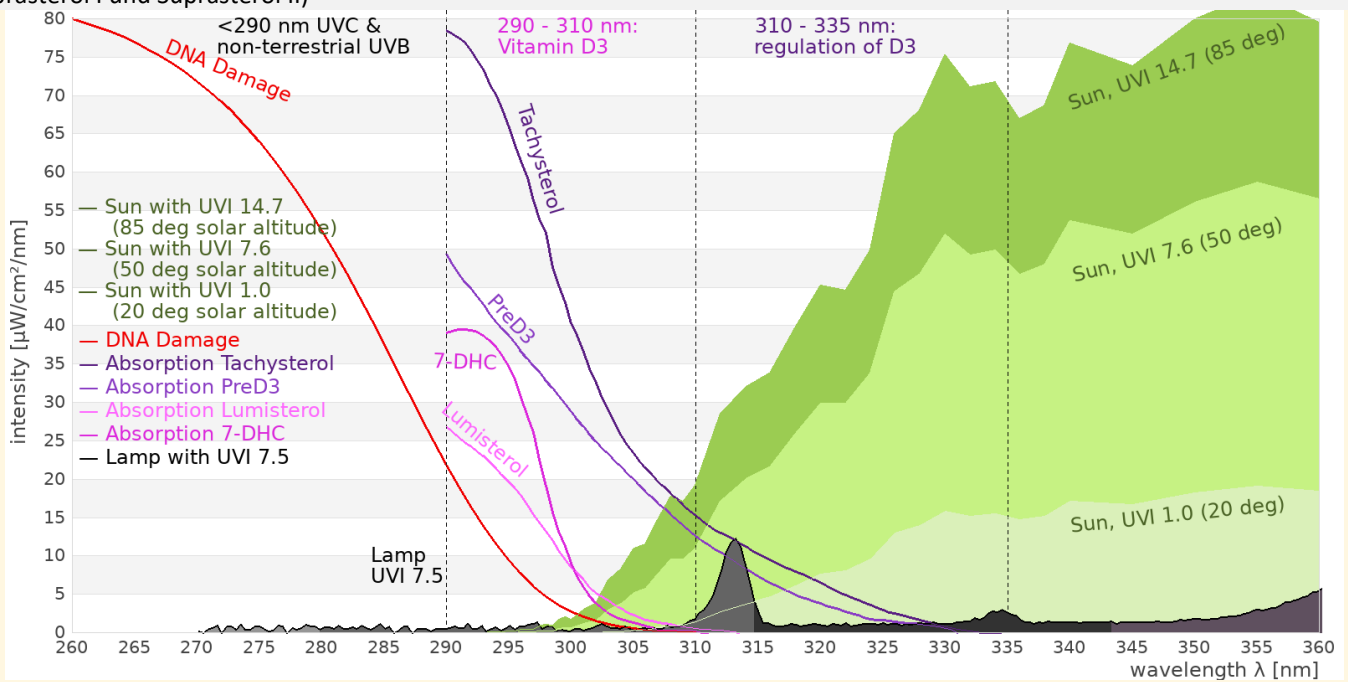
The simple picture of Vitamin D3 production in the skin is as follows: UVB is needed to convert the 7-DHC in the skin into pre-D3. Then warmth converts pre-D3 into vitamin D3. Vitamin D3-binding protein (DBP) attaches to the vitamin D3 molecule and the pair are carried into the bloodstream.

But this is a great simplification. As shown in a key paper by MacLaughlin et al. (1982), Vitamin D3 synthesis is a complex process: Four photoproducts form an equilibrium, the amounts of each depending on the nature of the UV spectrum reaching the skin. Only wavelengths below 320nm – and especially those below 310nm – transform molecules of 7-DHC into preD3. But then pre-D3 can also be converted back to 7-DHC or to Lumisterol or Tachysterol by absorbing UV in the range below 335 nm. All four of these molecules are constantly converted one into another and back again. The longer wavelengths (310 –

längeren Wellenlängen (310 – 335 nm) begrenzen die Menge an Prävitamin D3 und damit Vitamin D3, die in der Haut gebildet werden kann. Diese Wellenlängen wirken im System als „Bremse“ oder „Puffer“. Und Sonnenlicht, wofür dieser Prozess evolutionär optimiert wurde, hat im Bereich 310 – 335 nm eine vielfach höhere Intensität als im Bereich 290 – 310 nm. Es gibt darüber hinaus sogar eine Ausfallsicherung, um überschüssiges Vitamin D3 zu entfernen, wenn sich so viel in der Haut ansammelt, dass DBP es nicht mehr entfernen kann. Webb et al. (1989) fanden heraus, dass Wellenlängen bis zu 330 nm das in der Haut verbleibende Vitamin D3 abbauen und in inerte Moleküle umwandelt (5,6-Trans-Vitamin-D3, Suprasterol I und Suprasterol II)

335 nm) limit the amount of pre-D3 and thus Vitamin D3 that can be produced in the skin. These wavelengths act as a “brake” or “buffer” in the system. And sunlight has many times more intensity in the range 310 – 335 nm than in the range 290 – 310 nm.

There is even a “back-up” process to remove any excess vitamin D3 if too much of this starts to accumulate for the DBP to take it away. Webb et al. (1989) found that wavelengths up to 330nm would degrade vitamin D3 remaining in skin, breaking it down into inert metabolites (5,6-transvitamin D3, suprasterol I, and suprasterol II).



Die Grafik zeigt, dass nahezu neben Messrauschen keine UV-Strahlung im Bereich 290-310 nm vorhanden ist. Die Quecksilberemissionslinie bei 313 nm wird voraussichtlich nicht zur Vitamin D3 Bildung beitragen. Es ist aber auch keine schädliche Strahlung vorhanden.

The graph shows that there is almost no UV radiation in the range of 290-310 nm apart from measurement noise. The mercury emission line at 313 nm is not expected to contribute to vitamin D3 formation. However, there is no harmful radiation either.

3e) Blaulichtgefährdung

Licht mit einer Wellenlänge von etwa 410 nm bis 480 nm mit einem Maximum bei 440 nm kann beim Menschen eine Schädigung der Photorezeptoren in der Netzhaut verursachen (Photoretinitis, Blaulichtgefährdung). Die effektive Bestrahlungsstärke für Blaulichtgefährdung wird mit der Wirkfunktion nach DIRECTIVE 2006/25/EC berechnet. Bei mittlerem Sonnenlicht beträgt das Verhältnis von effektiver Bestrahlungsstärke für Photoretinitis zu Beleuchtungsstärke ca. 80 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ pro 1.000 lux, steigt aber im Schatten durch das blaue Himmelslicht auf 130 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ pro 1.000 lx an. Bei Halogen-Glühlampen ist der Wert ca. 25 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ pro 1.000 lux. Werte bis 100 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ pro 1.000 lux halte ich im Terraristik-Kontext für unproblematisch. Für eine vollständige Beurteilung der Blaulichtgefährdung muss auch die Leuchtdichte der einbezogen werden, was mir messtechnisch nicht möglich ist. Das Verhältnis beträgt 97 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ pro 1.000 Lux.

Blue Light Hazard

Light with wavelengths between 410 nm and 480 nm with a maximum at 400 nm can cause damage in the photo receptors in the retina of humans (photo retinitis, blue light hazard). The effective irradiance for blue light hazard is calculated with the action spectrum from DIRECTIVE 2006/25/EC. For average sunlight, the ratio of the effective irradiance for photo retinitis to illuminance is approximately 80 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ per 1,000 lux, but can rise to 130 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ per 1,000 lux in the shade due to the blue light from the sky. Halogen lights have a ratio of approximately 25 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ per 1,000 lux. I consider ratios up to 100 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ in the context of reptile husbandry as non-problematic. For a full evaluation of the blue light hazards also the luminance must be taken into account, which is not possible with my measurement equipment.

The ratio is 97 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ per 1,000 lux.

4) Intensitätsmessungen

Intensitätsmessungen werden mit Breitbandmessgeräten durchgeführt. Gegenüber dem Spektrometer sind sie einfacher in der Anwendung und haben ein robustes Signal-zu-Rausch-Verhältnis und sind einfach in der Anwendung. Sie eignen sich daher gut, die räumliche Verteilung der UV-Strahlung und die Alterung der Lampen zu messen.

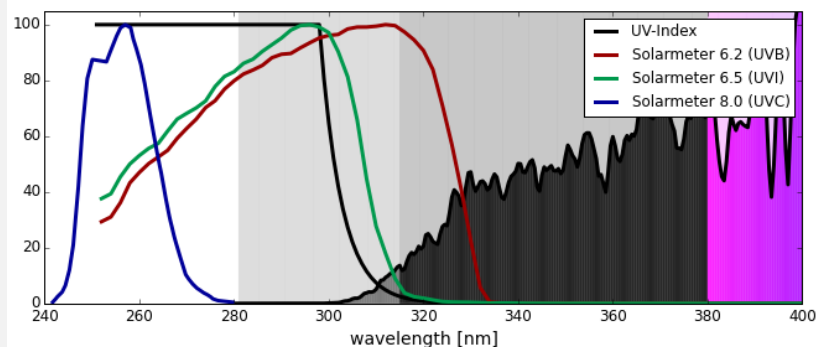
Die Beleuchtungsstärke wird mit einem „Voltcraft MS-200LED“ Luxmeter gemessen. Dieses Gerät misst die sichtbare Bestrahlungsstärke gewichtet mit der Empfindlichkeit des menschlichen Auges. Das Messgerät misst bis 400.000 Lux. Zum Vergleich: direkte Messungen des Sonnenlichts nur fünf Minuten nach Sonnenaufgang erreichen 3.000 – 5.000 Lux. Bei klarem Wetter werden mittags oft Werte von 120.000 bis 150.000 Lux beobachtet.

- Die UV-Bestrahlungsstärke wird mit Solarmeter UV-Radiometern gemessen. Diese Messgeräte haben sich in den letzten Jahren aufgrund des Preis-Leistungs-Verhältnisses durchgesetzt und werden von zahlreichen Terrarianern aber auch in der Wissenschaft und Feldforschung eingesetzt (Ferguson2009, Dobbinson2016, Lindgreen2008). UV-Index-Werte im Jahres- und Tagesverlauf sind häufig aus dem Wetterbericht bekannt.
- Solarmeter 6.5: UV-Index
Das Gerät misst die erythemgewichtete UV-Bestrahlungsstärke, d.h. Wellenlängen unterhalb von etwa 315 nm wobei kürzere Wellenlängen stärker gewichtet werden als längere Wellenlängen. Diese Eigenschaft ist wichtig, um sowohl die Eignung der Lampe für Vitamin-D-Synthese als auch ihr Gefährdungspotential einschätzen zu können.
- Solarmeter 6.2: UVB
Das Gerät misst die UVB-Bestrahlungsstärke bis ca. 330 nm.

Solarmeter 8.0: UVC

Das Gerät misst die UVC-Strahlung. Um fehlerhafte Messwerte aufgrund zu hoher UVA-Strahlung auszuschließen, wird der Messwert zusätzlich mit einem Schott UG11-Filter kontrolliert.

4a) Maximale Bestrahlungsstärke in verschiedenen Abständen



Distance [cm]	0
Luxmeter [lx]	27.756
Solarmeter 6.2 UVB [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]	109
Solarmeter 6.5 UVI	3,9
Solarmeter 8.0 UVC [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]	0,0

Intensity measurements

Intensity measurements are performed using broadband meters. Compared to the spectrometer, these are easier to use and have a robust signal to noise ratio and are easy to use. They are therefore suitable to measure the spatial distribution of the light and monitor the aging process.

The illuminance is measured with a “Voltcraft MS-200LED” lux meter. This meter measures the visible irradiance weighted with the sensitivity of the human eye. The meter measures up to 400,000 lux.

For comparison, direct solar readings only five minutes after sunrise reach 3,000 – 5,000 lux. In clear weather, mid-day direct solar readings of 120,000 to 150,000 lux are often seen.

The irradiance of UV light is measured with Solarmeter UV broadband meters. These broadband meters have become widely accepted within reptile keepers and scientific research due to their cost-performance ratio (Ferguson2009, Dobbinson2016, Lindgreen2008). UV-Index values of natural sunlight are often known from weather forecasts.

- Solarmeter 6.5: UV-Index
It measures the UV irradiance weighted with the action function for UV induces erythema. Mainly light below 315 nm is detected, and shorter wavelengths are more strongly counted than longer wavelengths. This feature is important to assess the ability of the lamp to enable production of vitamin d3 but also the risk of uv damage.
- Solarmeter 6.2: UVB
It measures UVB intensity up to 330 nm.
- Solarmeter 8.0: UVC
It measures UVC. To rule out faulty measurements due to UVA leakage, the measured value is checked again with a Schott UG11-filter.

Maximum irradiance in different distances

Bestrahlungsstärke-Messungen wurden nur direkt an der Lampe durchgeführt. Die 313-nm-Linie führt zu einem geringen UV-Messwert mit Solarmeter-Verhältnis 28.

4b) Solarmeter-Verhältnis

Um 2007 gab es international mehrere Fälle von Augen- und Hautschäden bei Reptilien, die unter Leuchtstofflampen mit einem Leuchtstoff vom Typ UVB313 gehalten wurden (Baines2010). Dieser Leuchtstoff strahlt ca. von 285 bis 350 nm mit einem Maximum bei 313 nm ab, also deutlich kurzwelliger als das Sonnenlicht. Dieser Leuchtstofftyp konnte sehr zuverlässig durch das Verhältnis der Messwerte des Solarmeter 6.2 und des Solarmeter 6.5 ermittelt werden.

Der Vergleich der spektralen Empfindlichkeitskurven des Solarmeter 6.5 und Solarmeter 6.2 mit den spektralen Absorptionskurven der chemischen Substanzen, die an der Gleichgewichtsreaktion der Vitamin-D3-Bildung in der Haut beteiligt sind, legt nahe, dass das Solarmeter-Verhältnis anzeigt, ob diese Gleichgewichtsreaktion unter der Lampe naturnah abläuft.

Das Solarmeter-Verhältnis wird berechnet in dem der Messwert des Solarmeter 6.2 (z.B. 300 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$) durch den Messwert des Solarmeter 6.5 (z.B. UVI 6) geteilt wird. Natürliches Sonnenlicht hat ein Solarmeter-Verhältnis von ca. 50-60. Künstliche UV-Quellen mit einem Solarmeter-Verhältnis >20 sind häufig und bisher nicht negativ aufgefallen. Auffällige Leuchtstofflampen zeichneten sich durch ein Solarmeter-Verhältnis < 15 aus.

Aufgrund der Fertigungstoleranzen variieren die Solarmeter-Verhältnisse, die aus unterschieden Messgeräten berechnet werden. Ich weiß, dass mein Solarmeter 6.5 vergleichsweise kleine Messwerte für Lampen mit nur kurzwelliger UVB Strahlung (UVB-LEDs) liefert.

5) Einschränkungen

Die Messungen wurden von mir als Physikerin nach bestem Wissen durchgeführt und Quellen und Rahmenbedingungen angegeben. Ich glaube, dass die Messungen aussagekräftig und zuverlässig sind. Trotzdem entsprechen die Messgeräte und Methoden nicht denen zertifizierter Testlabore.

Messungen an einer geringen Anzahl von Lampen lassen keine generellen Aussagen zu. Von Lampe zu Lampe gibt es Schwankungen aufgrund des Alters der Lampe, Betriebsbedingungen wie Spannung oder Temperatur sowie Produktionsschwankungen von Charge zu Charge und innerhalb einer Charge.

Ich rege eine Überprüfung meiner Ergebnisse durch zertifizierte Testlabore und Diskussion mit Experten an. Ich bin dankbar für Feedback.

6) Zitierte Literatur

- Baines, F. M. & Brames, H. 2010. Preventive Reptile Medicine and Reptile Lighting. Paper read at 1st International Conference on Reptile and Amphibian Medicine, March 4–7, at München.
- Baines, F. M. (2016) How much UV-B does my reptile need? The UV-Tool, a guide to the selection of UV lighting for reptiles and amphibians in captivity. Journal of Zoo and Aquarium Research, 4.
- Barnkob, L. L., Argyraki, A., Petersen, P. M. & Jakobsen, J. (2016) Investigation of the effect of UV-LED exposure conditions on the production of vitamin D in pig skin. Food Chemistry, 212 386–391.

Irradiance messages were only performed directly at the lamp. The 313 nm line results in low UV readings with a Solarmeter ratio of 28.

Solarmeter Ratio

Around 2007 several cases of eye and skin damage in reptiles kept under fluorescent lamps with a phosphor of type UVB313 (Baines2010). This phosphor emits light between 285 nm and 350 nm with a peak at 313 nm. The UV spectrum is shifted towards shorter wavelengths compared to natural sunlight. This phosphor was reliably identified by the ratio of the measured values of Solarmeter 6.2 and Solarmeter 6.5.

Comparing the spectral sensitivities of Solarmeter 6.2 and Solarmeter 6.5 with the spectral absorption curves of the chemical substances that take part in the chemical equilibrium reaction of vitamin d3 synthesis in the skin suggests that the Solarmeter ratio could indicate whether this equilibrium reaction runs sub natural.

The Solarmeter ratio is calculated by dividing the reading of the Solarmeter 6.2 (e.g. 300 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$) by the reading of the Solarmeter 6.5 (e.g. UVI 6).

Natural sunlight has a Solarmeter ratio of 50 to 60. Artificial UV sources with a Solarmeter ratio > 20 are common and up to now have not shown negative effects. Fluorescent lamps that have been associated with eye and skin damage had Solarmeter ratios < 15 .

Due to production tolerances the Solarmeter ratios calculated from different meters vary. I know that my Solarmeter 6.5 gives comparably low readings for lamps with only short wavelength UVB emission (UVB LEDs).

Limitations

The measurements have been performed to my best knowledge as a physicist and all sources and parameters have been given. I believe that the measurements are meaningful and reliable. Nevertheless, the measurement devices and methods do not correspond to that of professional and certified test laboratories.

Test of a limited number of lamps do not allow general statements. There are variations from lamp to lamp because of age, operating conditions like voltage or temperature, and production fluctuations from lot to lot but also within one lot.

I encourage verification of my results by a certified test laboratory and discussion with experts. I am open to feedback.

Literature Cited

- Bernard, J. B., Oftedal, O. T. & Ullrey, D. E. 1996. Idiosyncrasies of Vitamin D Metabolism in the Green Iguana (*Iguana iguana*). Paper read at Comparative Nutrition Society Symposium.
- Cusack, L., Rivera, S., Lock, B., Benboe, D., Brothers, D. & Divers, S. (2017) Effects of a light-emitting diode on the production of cholecalciferol and associated blood parameters in the bearded dragon (*pogona vitticeps*). *Journal of zoo and wildlife medicine*, 48 1120–1126.
- DIN 5031-10: Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik: Photobiologisch wirksame Strahlung, Größen, Kurzzeichen und Wirkungsspektren. Mar 2000. Deutsches Institut für Normung e.V.
- DIRECTIVE 2006/25/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 5 April 2006 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to risks arising from physical agents (artificial optical radiation) (19th individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC).
- Dobbins, S., Niven, P., Buller, D., Allen, M., Gies, P. & Warne, C. (2016) Comparing Handheld Meters and Electronic Dosimeters for Measuring Ultraviolet Levels under Shade and in the Sun. *Photochemistry and Photobiology*, 92 208–214.
- Ferguson, G. W., Brinker, A. M., Gehrmann, W. H., Bucklin, S. E., Baines, F. M. & Mackin, S. J. (2009) Voluntary exposure of some western-hemisphere snake and lizard species to ultraviolet-B radiation in the field: how much ultraviolet-B should a lizard or snake receive in captivity? *Zoo Biology*, 28.
- Holick, M. F. (2016) Biological Effects of Sunlight, Ultraviolet Radiation, Visible Light, Infrared Radiation and Vitamin D for Health. *Anticancer Research*, 36 1345–1356.
- Kalajian, T. A., Aldoukhi, A., Veronikis, T.J., Persons, K. & Holick, M. F. (2017) Ultraviolet B Light Emitting Diodes (LEDs) Are More Efficient and Effective in Producing Vitamin D3 in Human Skin Compared to Natural Sunlight. *Scientific Reports*, 7 11489.
- Kelber, A., Vorobyev, M. & Osorio, D. (2003) Animal colour vision - behavioural tests and physiological concepts. *Biological Reviews*, 78 81–118.
- Lindgren, J., Gehrmann, W. H., Ferguson, G. W. & Pinder, J. E. (2008) Measuring Effective Vitamin D3-Producing Ultraviolet B Radiation Using Solartech's Solarmeter® 6.4 Handheld, UVB Radiometer. *Bulletin of the Chicago Herpetological Society*, 43 57–62.
- MacLaughlin, J., Anderson, R. & Holick, M. F. (1982) Spectral character of sunlight modulates photosynthesis of previtamin D3 and its photoisomers in human skin. *Science*, 216 1001–1003.
- Morita, D., Nishida, Y., Higuchi, Y., Seki, T., Ikuta, K., Asano, H. & Ishiguro, N. (2016) Short-range ultraviolet irradiation with LED device effectively increases serum levels of 25(OH)D. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 164 256–263.
- Oonincx, D. G. A. B., Stevens, Y., van den Borne, J. J. G. C., van Leeuwen, J. P. T. M. & Hendriks, W. H. (2010) Effects of vitamin D3 supplementation and UVb exposure on the growth and plasma concentration of vitamin D3 metabolites in juvenile bearded dragons (*Pogona vitticeps*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 156 122–128.
- Setlow, R. B. (1974) The wavelengths in sunlight effective in producing skin cancer: a theoretical analysis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 71 3363–3366.
- Veronikis, A. J., Cevik, M. B., Allen, R. H., Shirvan, A., Sun, A., Persons, K. S. & Holick, M. F. (2020) Evaluation of a Ultraviolet B Light Emitting Diode (LED) for Producing Vitamin D3 in Human Skin. *Anticancer Research*, 719–722.
- Wei, Y., Zheng, W., Li, B., Tong, Q., Shi, H. & Li, X. (2020) Effects of B-Wave Ultraviolet Supplementation Using Light-Emitting Diodes on Caged Laying Hens during the Later Phase of the Laying Cycle. *Animals*, 10.
- Guidelines on Limits of Exposure to Broad-Band Incoherent Optical Radiation (0.38 to 3µm). (1997) *Health Physics*, 73 539–554.