

Test-Report 10/2022

Arcadia ProT5 UVB Kit 24 Watt

Dragon 14 % UVB 24 W, Desert 12 % UVB 24 W,

Forest 6 % UVB 24 W

1) Zusammenfassung

- Die Arcadia ProT5 Beleuchtungseinheit macht die Verwendung von Leuchtstoffröhren im Terrarium sehr bequem und platzsparend möglich.
- Der (abnehmbare) Reflektor der Arcadia ProT5 Beleuchtungseinheit erhöht die UV-Strahlung um mehr als einen Faktor 3 und trägt so zu einer hohen Reichweite der UV-Strahlung und energiesparenden UV-Bestrahlung bei.
- Die Arcadia Leuchtstoffröhren haben eines der sonnenähnlichsten Spektren im UVB-Bereich aller aktuell auf den Markt erhältlichen UVB-Lampen. Jedoch ist der Bereich 320 – 335 nm zur Regulation der Vitamin-D3-Bildung und der Bereich 365 – 400 nm für das Farbsehen im Vergleich zum Sonnenlicht unterrepräsentiert.
- Die Herstellerspezifikationen werden im Rahmen der Messgenauigkeit bestätigt bis auf die 30% UVA, die für die 6%-Röhre zu hoch erscheinen.
- Da die Lampen nur wenig sichtbares Licht abstrahlen sollten sie durch Lampen für sichtbares Licht (HCI-Strahler, LEDs, Leuchtstofflampen) ergänzt werden. Auch eine zusätzliche Wärmequelle am Sonnenplatz (z.B. Halogenstrahler) ist notwendig.

Summary

- The Arcadia ProT5 kit makes the use of fluorescent tubes in the terrarium very convenient and space-saving.
- The (removable) reflector of the Arcadia ProT5 kit significantly increases the UV radiation by a factor of more than 3 and thus contributes to a long range of the UV radiation and energy-saving UV radiation.
- The Arcadia fluorescent tubes have one of the most sun-like spectra in the UVB range of any UVB lamp currently available on the market. However, the 320-335 nm range for the regulation of vitamin D3 production and the 365-400 nm range for color vision are underrepresented compared to sunlight.
- The manufacturer's specifications are confirmed within the scope of the measurement accuracy except for 30% UVA, which seems to high for the 6% UVB lamp.
- Since the lamps only emit little visible light, they should be supplemented with lamps for visible light (ceramic metal halide lamps, LEDs, fluorescent lamps). An additional heat source at the basking zone (e.g. halogen spotlights) is also necessary.

1)	Zusammenfassung	1
2)	Beschreibung der Lampe.....	2
3)	Visuelle Lichtverteilung.....	4
4)	Temperatur	5
5)	Elektrischer Verbrauch.....	5
6)	Spektrale Messung.....	6
6a)	Beurteilung des Gesamtspektrums	6
6b)	Für den Menschen sichtbares Spektrum.....	10
6c)	Für Reptilien sichtbares Spektrum	11
6d)	UV-Spektrum (Vitamin D3).....	12
6e)	Blaulichtgefährdung	15
7)	Intensitätsmessungen	16
7a)	Maximale Bestrahlungsstärke in verschiedenen Abständen ...	16
7b)	Solarmeter-Verhältnis	18
7c)	Iso-Bestrahlungsstärke-Karte	18
7d)	Einfluss des Reflektors.....	21
7e)	Einbrennen und Alterung.....	22
8)	Einschränkungen.....	24
9)	Zitierte Literatur	24

...	Summary
...	Lamp Description
...	Visual Light Distribution
...	Temperature
...	Power Consumption
...	Spectral Measurement
.....	Review of the spectrum
.....	Spectrum visible to humans
.....	Spectrum visible to reptiles
.....	UV Spectrum (vitamin D3)
.....	Blue Light Hazard
...	Intensity Measurements
.....	Maximum irradiance in different distances
.....	Solarmeter Ratio
.....	Iso Irradiance Chart
.....	Effect of the reflector
.....	Burn in and Aging
...	Limitations
...	Literature cited

2) Beschreibung der Lampe

Eine Arcadia Pro T5 UVB Kit 24 Watt Beleuchtungseinheit bestehend aus Reflektor, Fassung und Vorschaltgerät zusammen mit drei Leuchtstoffröhren 6 % UVB (Forest), 12 % UVB (Desert) und 14 % UVB (Dragon) wurden von Arcadia im Mai 2022 zur Verfügung gestellt. Die Lampen sind T5-HO Leuchtstofflampen. Die Lampen werden intern (auch in der Messdatenbank) unter der Bezeichnung SW26 (12%, [Link](#)), SW27 (6%, [Link](#)) und SW28 (14%, [Link](#)) geführt. Laut Hersteller sind die Spezifikationen:
14%: 14% UVB, 30% UVA, 7500 K, 800 lm, CRI 95
12%: 12% UVB, 30% UVA, 7000 K, 850 lm, CRI 95
6%: 6% UVB, 30% UVA, 7000 K, 1050 lm, CRI 95

Die Beleuchtungseinheit kann entweder direkt auf einen Gazedecke oder UV-transparentes Glas gestellt werden oder durch zwei beiliegende Metall-Clips von Innen an die Terrariendecke geschraubt werden. Die Gesamtlänge der Einheit ist 57,5 cm, der Reflektor hat an der Unterseite eine Breite von 6 cm. Inklusive Röhre wiegt die Einheit 274 g.

Durch ein Verbindungskabel können mehrere ProT5-Einheiten und auch Arcadia LED-Leisten aneinandergeschlossen werden und über einen einzigen Netzstecker mit Strom versorgt werden. Die Lampen werden damit beworben, dass sie in Deutschland gefertigt werden. Auf den Leuchtstoffröhren selbst befindet sich der Aufdruck „Made in Germany“.

Auf der einen Seite der Röhren befindet sich ein schwarzer Aufdruck auf dem Glas und auf dem Sockel. Auf der anderen Seite befindet sich ein oranger Aufdruck auf dem Glas:

- „Arcadia, UVA+UVB, Dragon Lamp, D3+ Reptile 14% UVB lamp, RFD3D24T5 HO-T5 (22“ 55mm), only for reptiles, recyclable, Made in Germany, CE, Hg“
NA28 1310
NA28 1313 35
- „Arcadia, UVA+UVB, High Performance UVB 12% lamp, D3+ Reptile 12% UVB lamp, RFD3D24T5 HO-T5 (22“ 55mm), only for reptiles, recyclable, Made in Germany, CE, Hg“
NA29 0844
NA29 0846 02
- „Arcadia, UVA+UVB, High Performance UVB 6% lamp, D3 Reptile 6% UVB lamp, RFD3244T5 HO-T5 (22“ 55mm), only for reptiles, recyclable, Made in Germany, CE, Hg“
NA29 0811
NA29 0722 30

Lamp Description

One Arcadia Pro T5 UVB Kit 24 Watt consisting of reflector, fixture and ballast was supplied by Arcadia together with three fluorescent tubes 6 % UVB (Forest), 12 % UVB (Desert) und 14 % UVB (Dragon) in May 2022. The lamps are T5-HO fluorescent tubes. The lamps were given reference numbers SW26 (12%, [Link](#)), SW27 (6%, [Link](#)) und SW28 (14%, [Link](#)). They are specified as:

14%: 14% UVB, 30% UVA, 7500 K, 800 lm, CRI 95

12%: 12% UVB, 30% UVA, 7000 K, 850 lm, CRI 95

6%: 6% UVB, 30% UVA, 7000 K, 1050 lm, CRI 95

The lamp can either be placed directly on a mesh screen cover or UV-transparent glass, or it can be screwed to the terrarium lid from the inside using the two enclosed metal clips. The total length of the unit is 57,5 cm, the reflector has a total width of 6 cm. Including the tube the kit weighs 275 g.

Several ProT5 units and also Arcadia LED strips can be connected to one another with a connecting cable and supplied with power via a single mains plug.

The lamps are advertised as “made in Germany”, which is also printed directly on each lamp.

On one side of the tubes there is a black imprint on the glass and on the base. On the other side there is an orange print on the glass:







3) Visuelle Lichtverteilung

Die Verteilung der sichtbaren Strahlung wird mit einem Foto einer weißen, beleuchteten Fläche visualisiert. Falls Unterschiede im UVA-Spektrum zu erwarten sind wird das Foto auch mit einer UVA-Kamera aufgenommen (Sony NEX-6 mit entferntem UV/IR-Sperrfilter vor dem CCD Sensor; ZEISS Touit 1.8/32 Linse; heliopan UG1 Filter; Empfindlichkeit ca. 360 nm – 380 nm).

Das sichtbare Licht ist – wie bei Leuchtstoffröhren typisch – sehr gleichmäßig verteilt.

Visible Light Distribution

The distribution of visible light is visualized by a photo of a white illuminated area. If difference between visible and UVA spectrum are expected, this photo is also taken with a UVA camera (Sony NEX-6 with removed UV/IR-cutoff filter in front of the CCD sensor; ZEISS Touit 1.8/32 lens; heliopan UG1 filter; sensitivity approximately ca. 360 nm – 380 nm).

The visible light distribution is very homogenous – typical for fluorescent tubes.

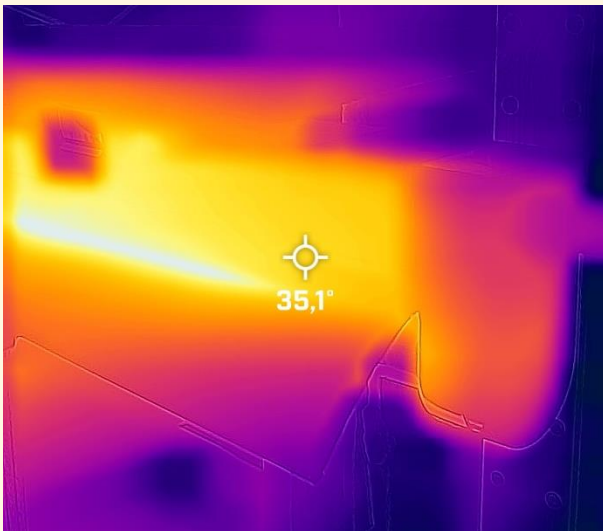
4) Temperatur

Die Temperatur der Lampe wird mit einem Infrarot-Thermometer (Etekcity Lasergrip 1080) gemessen.

Dieses IR-Thermometer misst mit 8-14 µm Wellenlänge und hat einen voreingestellten Emissionskoeffizienten von 0,95. 0,95 ist der korrekte Wert für eine Vielzahl von Oberflächen (Lehm, Holz, Asphalt, Keramik). Je stärker der reale Emissionskoeffizient abweicht, desto größer ist der Fehler in der angezeigten Temperatur. Im Extremfall bei Aluminium (Emissionskoeffizient 0,3) entspricht eine gemessene Temperatur von 100°C einer realen Temperatur von 255°C. Auch für Glas (Emissionskoeffizient 0.85) wird die Temperatur unterschätzt (z.B. 100°C statt 110°C).

Zusätzlich wird die Temperaturverteilung ggfs. mit einer FLIR ONE Gen3 Wärmebildkamera aufgezeichnet. Dieses misst ebenfalls im Wellenlängenbereich 8-14 µm mit Emissionskoeffizient 0,95 bis zu 120°C mit einer Auflösung von 60 x 80 Pixel.

Im Betrieb wurden bis zu 100°C Oberflächentemperatur der Leuchtstoffröhren gemessen, beim Aluminiumgehäuse ca. 45°C. Das Aluminiumgehäuse war im Betrieb jederzeit noch gut mit der bloßen Hand anfassbar.



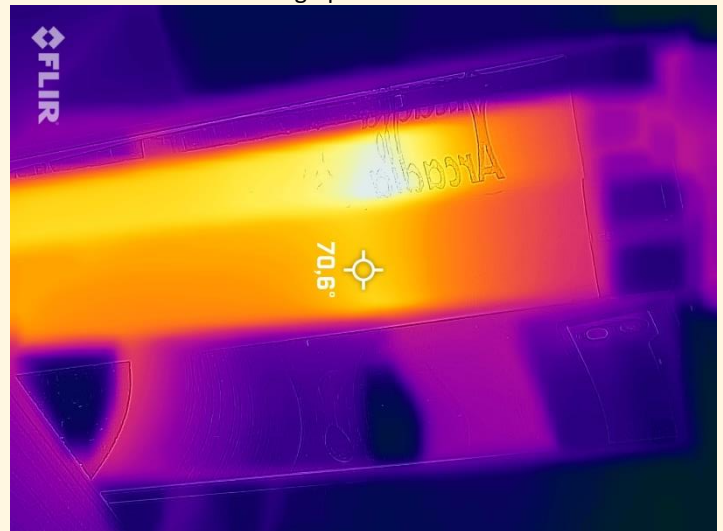
4)Temperature

The temperature of the lamp is measured with a non-contact infrared thermometer (Etekcity Lasergrip 1080).

This IR thermometer measures at 8-14 µm wavelength and has a pre-set emissivity of 0.95. 0.95 is the correct value for a large range of surfaces (clay, wood, asphalt, ceramic). The larger the difference in emissivity, the larger is the error in the temperature reading. An extreme case is aluminum (emissivity 0.3), where a measured temperature of 100°C corresponds to a real temperature of 255°C. Also, for glass (emissivity 0.85) the temperature is underestimated (e.g., 100°C instead of 110°C).

In addition, the temperature distribution is recorded with a FLIR ONE Gen3 thermal imaging camera if necessary. This also measures in the wavelength range 8-14 µm with an emission coefficient of 0.95 up to 120°C with a resolution of 60 x 80 pixels.

During operation, the surface temperature of the fluorescent tubes was measured at up to 100°C, and 45°C at the aluminum housing. The aluminum housing could always be touched with the bare hand during operation.



5) Elektrischer Verbrauch

Der elektrische Verbrauch wird mit einem „Brennenstuhl Primera-Line Energiemessgerät PM 231 E“ gemessen.

Die Spannung ist durch die Netzspannung vorgegeben. Leistung und Strom sind durch die Lampe bestimmt. Der Leistungsfaktor ist definiert als „reale absorbierte Leistung“ / „Scheinbare Leistung im Stromnetz“. Wegen der Belastung des Stromnetzes werden Industriekunden oft höhere Kosten berechnet, wenn der Leistungsfaktor klein ist. Für Privatkunden hat der Leistungsfaktor nur sehr geringe Bedeutung.

Die elektrische Leistungsaufnahme der Einheit stimmt mit den Herstellerangaben überein.

Power Consumption

Electrical parameters are measured with a “Brennenstuhl Primera Line PM 231 E Power Meter”.

The voltage is determined by the line voltage. Power and current are given by the lamp. The power factor = real absorbed power / apparent power flowing in the circuit. Because of the strain on the electric network, industrial customers are often charged a higher cost when the power factor is low. For private customers, the power factor is of little importance.

The electrical power consumption of the kit corresponds to the manufacturer's specifications.

Spannung / voltage [V]	234
Strom / current [A]	0,1
Leistung / power [W]	24,2
Leistungsfaktor / Power factor	100

6) 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.

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.

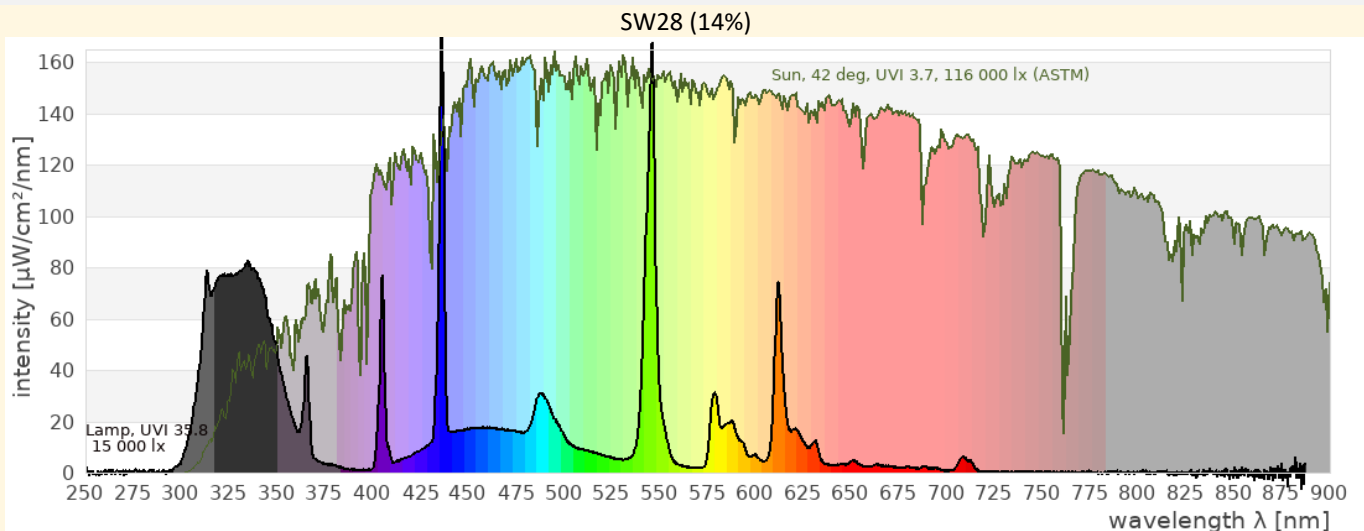
FOREST T5 LAMP		DRAGON T5 LAMP		DESERT T5 LAMP	
Watt	24W	Watt	24W	Watt	24W
UV-B	6%	UV-B	14%	UV-B	12%
UV-A	30%	UV-A	30%	UV-A	30%
Kelvin	7000K	Kelvin	7500K	Kelvin	7000K
Lumens	1050lm	Lumens	800lm	Lumens	850lm
CRI	95	CRI	95	CRI	95
Length	550mm 22"	Length	550mm 22"	Length	550mm 22"
Diameter	Ø16mm	Diameter	Ø16mm	Diameter	Ø16mm

6a) Beurteilung des Gesamtspektrums

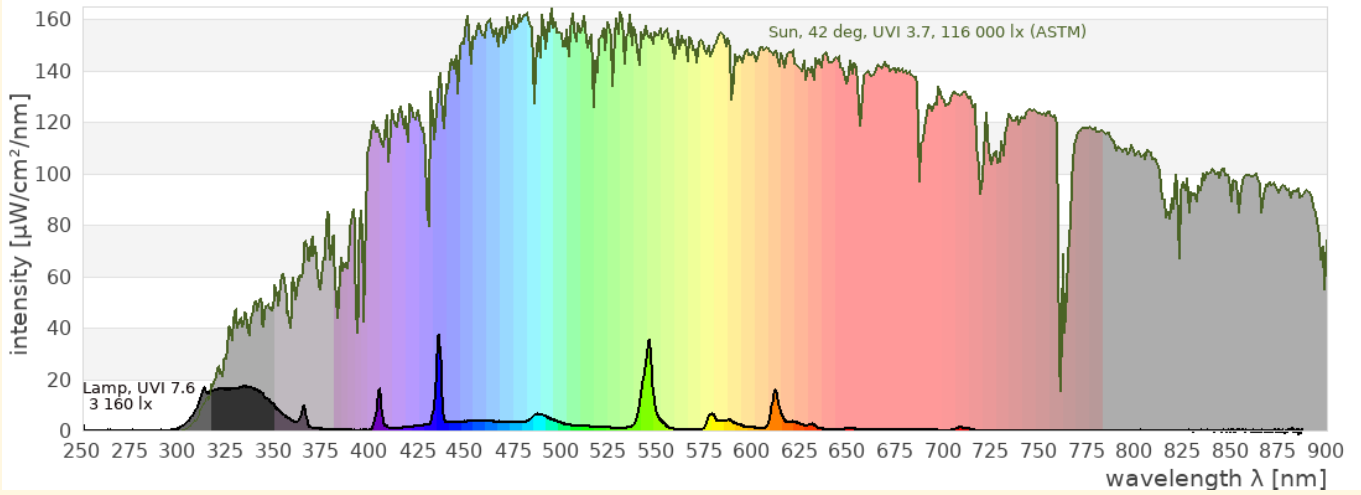
Das Spektrum wird relative zum ASTM Referenzsonnenspektrum gezeigt. Das ermöglicht den Vergleich des Lampenspektrums mit dem Spektrum von natürlichem Sonnenlicht. Sonnenlicht hat ein völlig kontinuierliches Spektrum ab ca. 295 nm.

Review of the spectrum

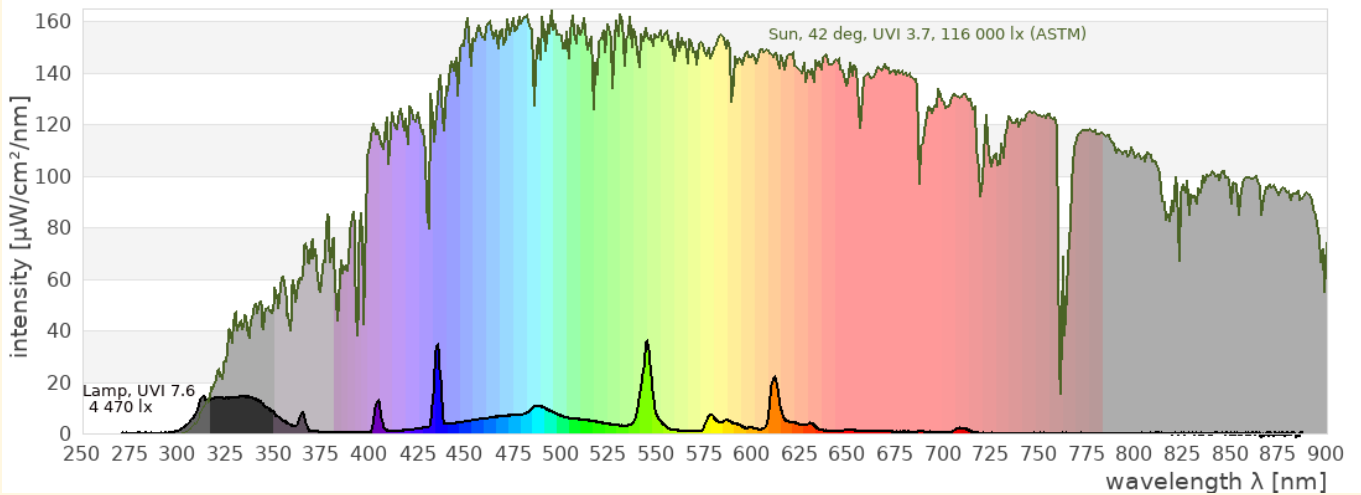
The spectrum is shown relative to the ASTM solar reference spectrum. This enables comparison of the spectral power distribution of the lamp with that of natural sunlight. Natural sunlight has a completely continuous spectrum from a threshold around 295 nm.



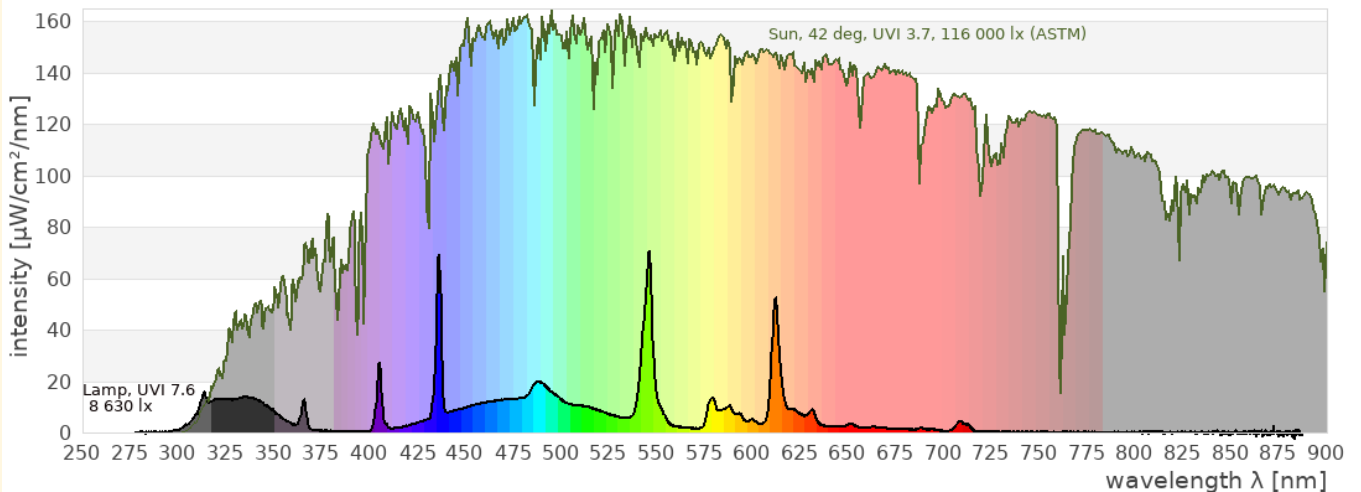
SW28 (14%)



SW26 (12%)



SW27 (6%)



	SW28 (14%)	SW26 (12%)	SW27 (6%)	ASTM Reference Sun
UVB (280 – 320 nm)	10,2 %	12,1%	6,0%	0,2 %
UVA 1 (320 – 350 nm)	24,1 %	25,7%	13,0%	1,2 %
UVB (280 – 315 nm)	6,1%	5,2%	3,1%	0,1 %
UVA 1 (315 – 350 nm)	28,2%	20,8%	12,3%	1,3 %
UVA 2 (350 – 380 nm)	6,0%	4,3%	3,2%	1,9 %
VIS (380 – 780 nm)	54%	69%	81%	53 %

Full (250 – 880 nm)	100%	100%	100%	100 %
	5 cm	5 cm	15 cm	
UV Index	28,9	10,4	7,32	UVI 3,7
Lux	12100	6170	8370	116 000 lx

Gemäß der US-Amerikanischen Definition von UVB (Grenze bei 320 nm) stimmen die Prozent-Angaben bei der 6%- und der 12%-Röhre sehr gut überein, bei der 14%-Röhre wurde etwas zu wenig UVB gemessen. UVA1+UVA2 stimmt bei der 14%- und der 12%-Röhre mit den angegeben 30% überein, bei der 6%-Röhre ist weniger UVA vorhanden.

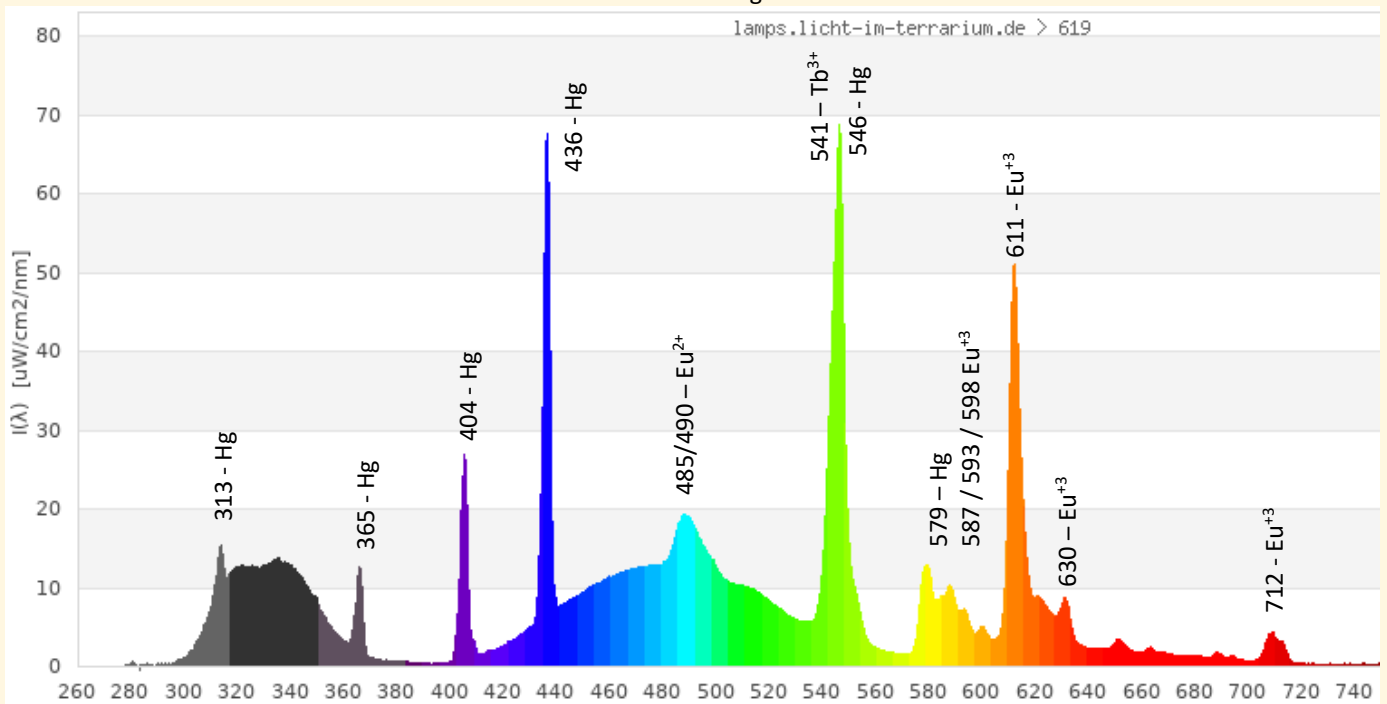
Das Spektrum ist typisch für eine moderne Dreiband-Leuchtstofflampe. Zusätzlich zu den Leuchtstoffen mit Emission durch Eu^{2+} (485/490 nm), Eu^{3+} (611 nm) und Tb^{3+} (541 nm) sind die Quecksilberemissionslinien bei 297, 313, 334, 365, 405, 436, 546 und 578 nm zu sehen.

Die Lampe hat einen zusätzlichen Leuchtstoff der den UVB-Bereich abdeckt.

According to the US definition of UVB (limit at 320 nm), the percentages for the 6% and 12% tubes match very well with their description. For the 14% tube has a little too little UVB was measured. UVA1+UVA2 for the 14% and 12% tube corresponds to the specified 30%, the 6% tube has less UVA.

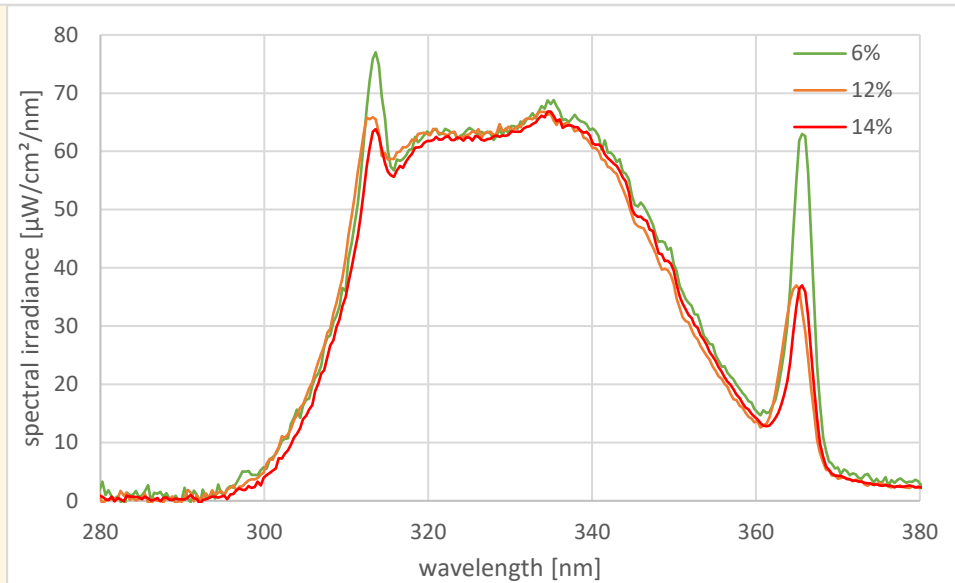
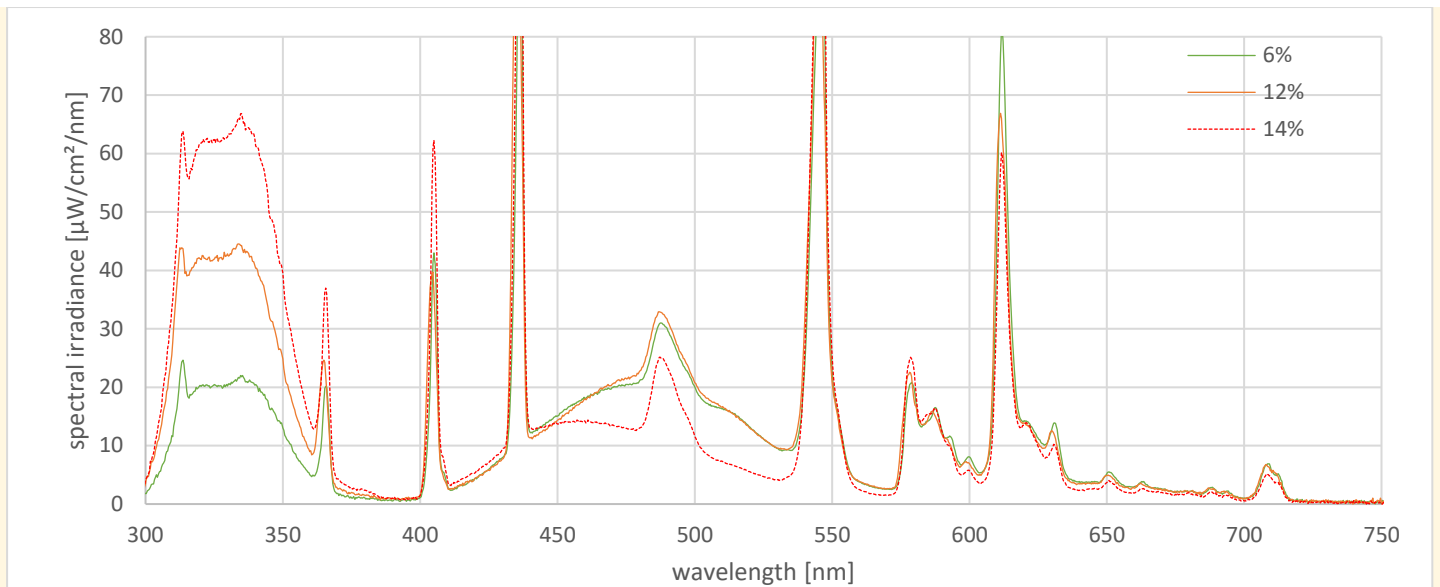
The spectrum is typical for a current commercial triphosphor lamp. Additionally to the phosphors with emissions from Eu^{2+} (485/490 nm), Eu^{3+} (611 nm) and Tb^{3+} (541 nm) the emission lines from mercury (297, 313, 334, 365, 405, 436, 546, and 578 nm) are visible.

The lamp has an additional phosphor that covers the UVB range.



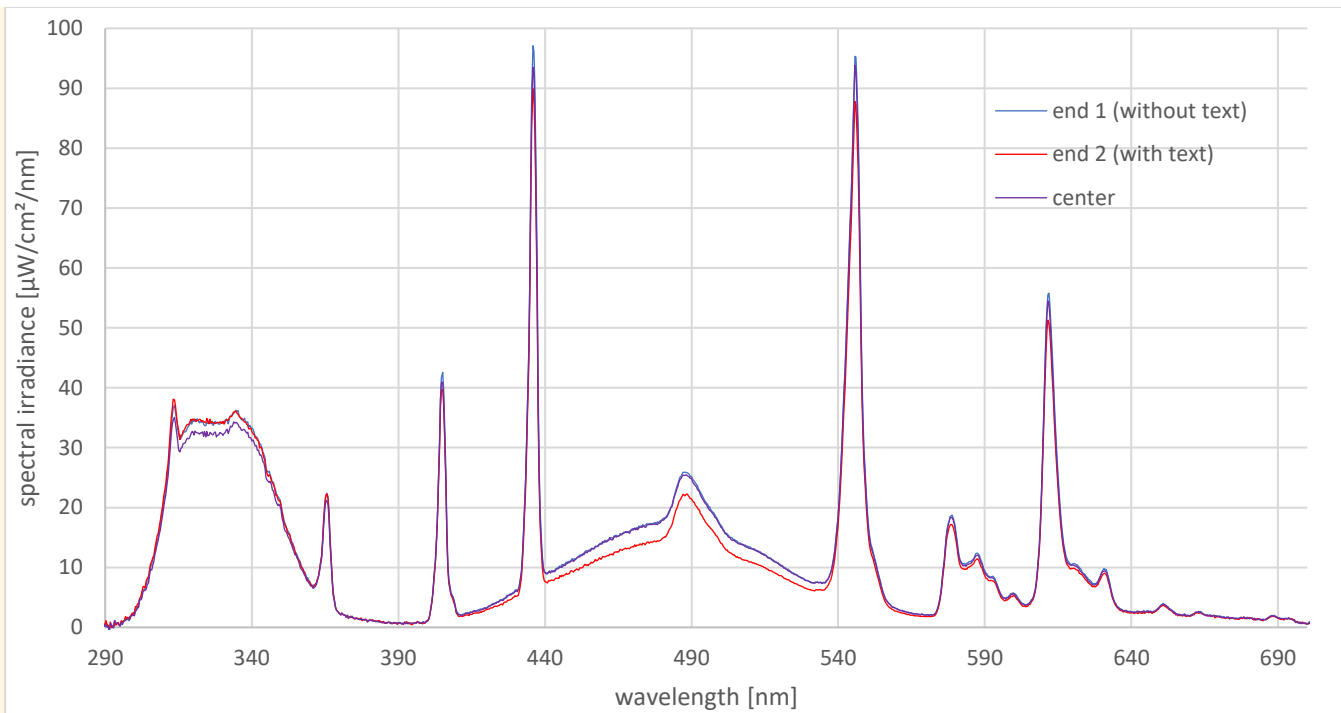
Die drei Lampen haben ein nahezu identische Spektren im sichtbaren Bereich und unterschiedlich viel UVB, bzw. bei obigen Grafiken mit gleichem UV-Index unterschiedlich viel sichtbares Licht. Auch die drei UV-Spektren sind nahezu identisch.

The three lamps have an almost identical spectrum in the visible range and different amounts of UVB, or in the graphics above with the same UV index, different amounts of visible light. Also the three UV spectra are almost identical.



Die 6%-Röhre zeigte bei den Solarmeter-Messungen eine asymmetrische Intensität (siehe auch 7c). Zwei Spektren, beide aufgenommen in 5 cm Abstand an beiden Enden der Röhre, zeigen, dass die Leuchtstoffe für sichtbares Licht auf der einen Seite etwas stärker sind (blaue Linie) und der UV-Leuchtstoff auf der anderen Seite stärker ist (gelbe Linie). Im größeren Abstand gleicht sich das aus.

The 6% tube showed asymmetric intensity in the Solarmeter measurements (see also 7c). Two spectra, both recorded in 5 cm distance at both ends of the tube, show that the phosphors for visible light are slightly stronger at one side (blue line) and the UV phosphor is stronger at the other side (yellow line). At a greater distance, this evens out.



6b) 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.

Die korrekte Berechnung der Farbeigenschaften einer Lampe sollte mit einem kalibrierten Spektrometer und einer Ulbricht-Kugel erfolgen. Die Ulbricht-Kugel mischt das Licht verschiedener Abstrahlrichtungen der Lampe und verhindert Verfälschungen des Spektrums durch Reflexionen an der Umgebung. Eine solche Messung kann ich nicht durchführen, daher ist die Farbberechnung hier fehlerbehaftet.

Bei manchen Messungen ist der Farbort des Lichts nicht nahe genug am Planckschen Kurvenzug um die Voraussetzungen für die Berechnung des Farbwiedergabeindex (CRI / Ra) und der korrigierten Farbtemperatur (CCT) durch die Spektrometersoftware zu erfüllen. Dies wird durch den Eintrag: $DC < 5.4E-3 = \text{FALSE}$ angezeigt. Trotzdem bietet die Software eine Schätzung auf der Grundlage der bereitgestellten Daten. Obwohl das sichtbare Spektrum bei allen drei Lampen gleich ist, liefert die Messung leicht unterschiedliche Werte, die die Messunsicherheiten widerspiegeln. Im Rahmen der Messgenauigkeit 7000 K bzw. 7500 K und Ra 95 bestätigt werden.

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.

The calculation of the color properties of a lamp should be done with a calibrated spectrometer and an integrating sphere. The integrating sphere mixes the light emitted by the lamp under different directions and prevents the spectrum from being distorted by reflections from the surroundings. I can not carry out such a measurement, so the color calculation here is faulty.

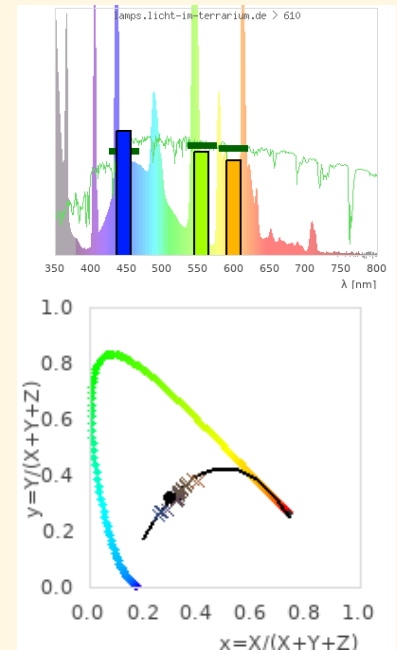
For some measurements, the colour of the light is not quite close enough to the Planckian locus to be within the range required for accurate calculation of the Colour Rendering Index (CRI) and Corrected Colour Temperature (CCT) by the spectrometer software. This is indicated by the entry: $DC < 5.4E-3 = \text{FALSE}$. Even so, the software provides an estimate based upon the data provided.

Although the visible spectrum is the same for all three lamps, the measurement provides slightly different values that reflect the measurement uncertainties. Within the framework of the measuring accuracy 7000 K or 7500 K and Ra 95 are confirmed.

Das Licht wirkt auf mich leicht bläulich, aber nicht unangenehm.

The light gives a slightly blueish but not unpleasant impression to me.

	14%	12%	6%
(x,y)	(0.29;0.32)	(0.30;0.33)	(0.30;0.33)
CCT [Kelvin]	7698K	7393K	7393K
CRI	75,0	92,4	92,4
R1 (light grayish red)	79,5	94,6	94,6
R2 (dark grayish yellow)	82,2	92,8	92,8
R3 (strong yellow green)	57,4	78,7	78,7
R4 (moderate yellowish green)	83,8	94,9	94,9
R5 (light buish green)	80,7	97,1	97,1
R6 (light blue)	69,0	98,4	98,4
R7 (light violet)	76,7	95,3	95,3
R8 (light reddish purple)	70,5	87,2	87,2
R9 (strong red)	17,7	63,9	63,9
R10 (strong yellow)	35,3	79,2	79,2
R11 (strong green)	67,5	93,9	93,9
R12 (strong blue)	60,8	93,4	93,4
R13 (light yellowish pink, human complexion)	79,3	89,6	89,6
R14 (moderate olive green)	73,3	85,6	85,6
R15 (Japanese complexion)	83,2	95,9	95,9
DC<5.4E-3	true	false	false



6c) 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 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 6b). 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

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 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 6b). The coloured crosses indicate the colour coordinates of different phases of daylight. The black dot shows the colour coordinate of the lamp.

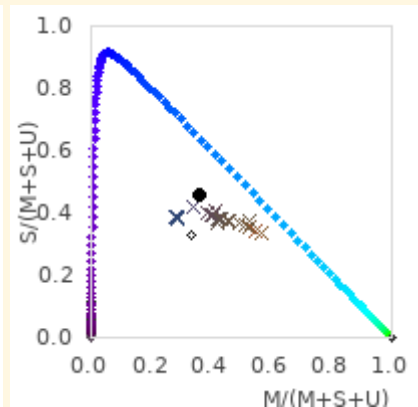
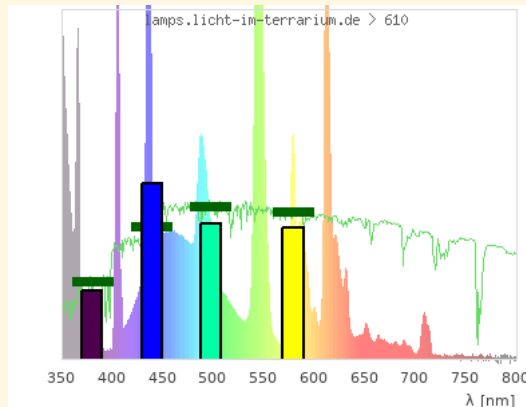
I believe that this adaption of colour space makes sense mathematically and colour spaces are used in scientific research regarding colour vision of animals (Kelber2003), however I have not seen the application to light sources in the scientific literature.

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

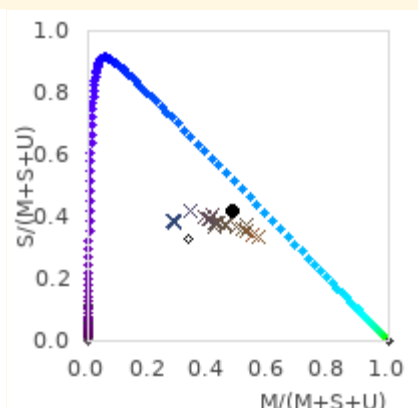
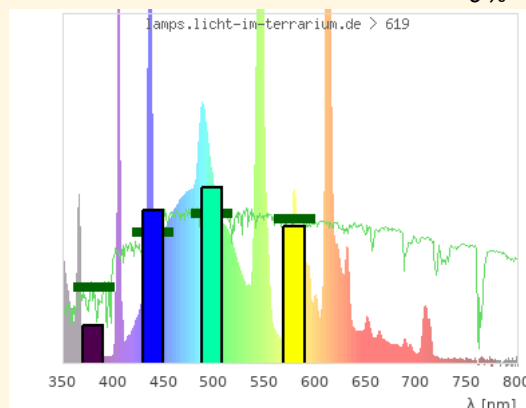
Komplementärfarbe zu UVA). LEDs ohne UVA haben aus Reptiliensicht die gesättigte Komplementärfarbe zu UVA.

color to UVA). From the reptile point of view, LEDs without UVA have the saturated complementary color to UVA.

14 %



6 %



Aus Reptiliensicht wirkt das Spektrum halbwegs ausbalanciert, so dass das Licht einen weißlichen Eindruck erwecken dürfte. Wie bei allen UVB-Leuchtstofflampen befindet sich im Bereich 365-400 nm sehr wenig Intensität. Es hängt stark davon ab bis zu welcher Wellenlänge in den UVA-Bereich hinein Reptilien sehen können, ob der UVB-Leuchtstoff noch zum Farbsehen beiträgt.

From a reptile's perspective the spectrum seems to be roughly balanced, likely resulting in whiteish light. Like all UVB fluorescent lamps there is little intensity in the spectral range 365 – 400 nm. Whether the UVB phosphor still contributes to color vision depends heavily on the wavelength up to which reptiles can see into the UVA range.

6d) 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.

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.

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 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:

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 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:

- — Sonnenspektrum bei 20° Sonnenstand (UV-Index 1,0)
- — Sonnenspektrum bei 50° Sonnenstand (UV-Index 7,6)

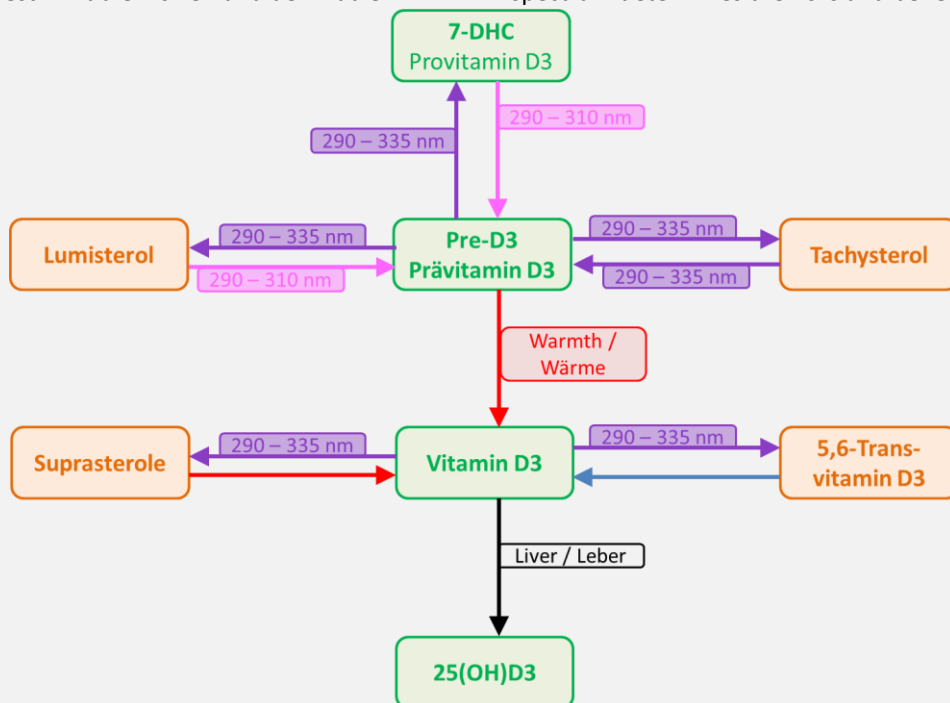
- — Solar spectrum for 20° solar altitude (UV index 1.0)
- — Solar spectrum for 50° solar altitude (UV index 7.6)

- 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.

- 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.

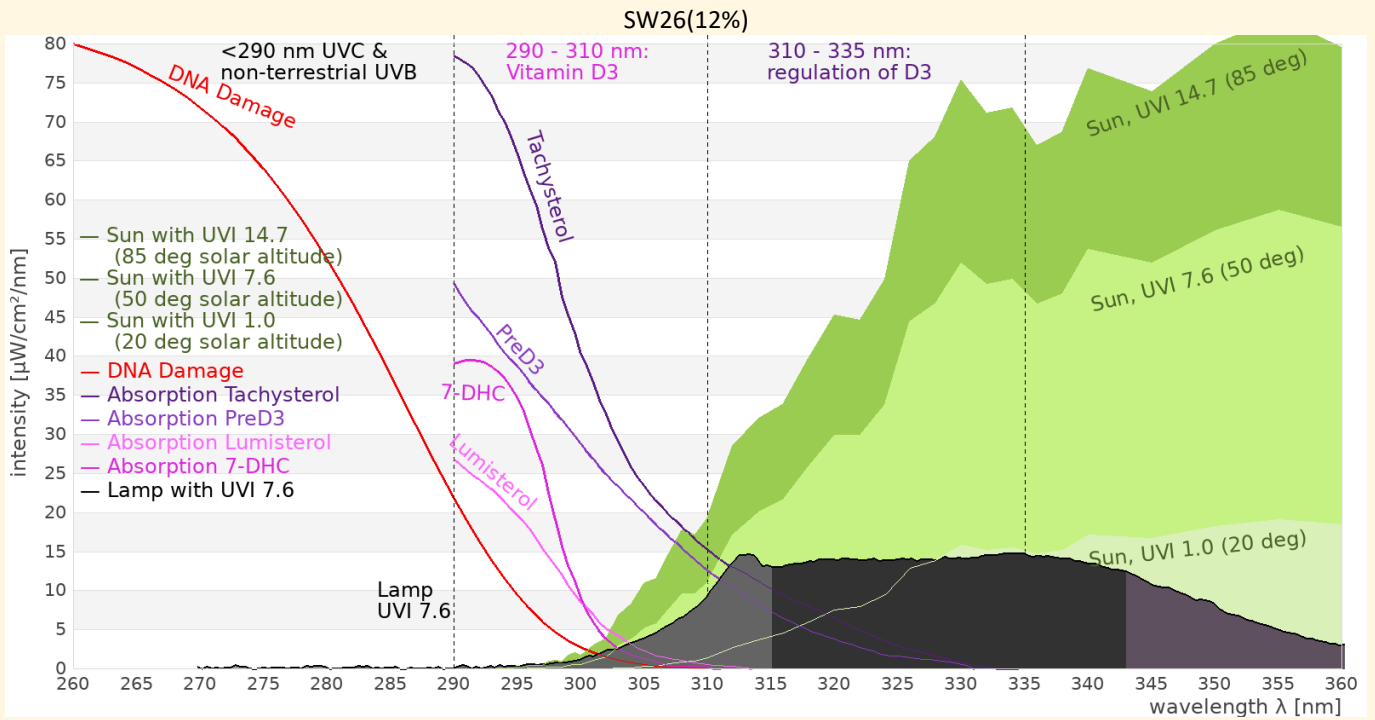
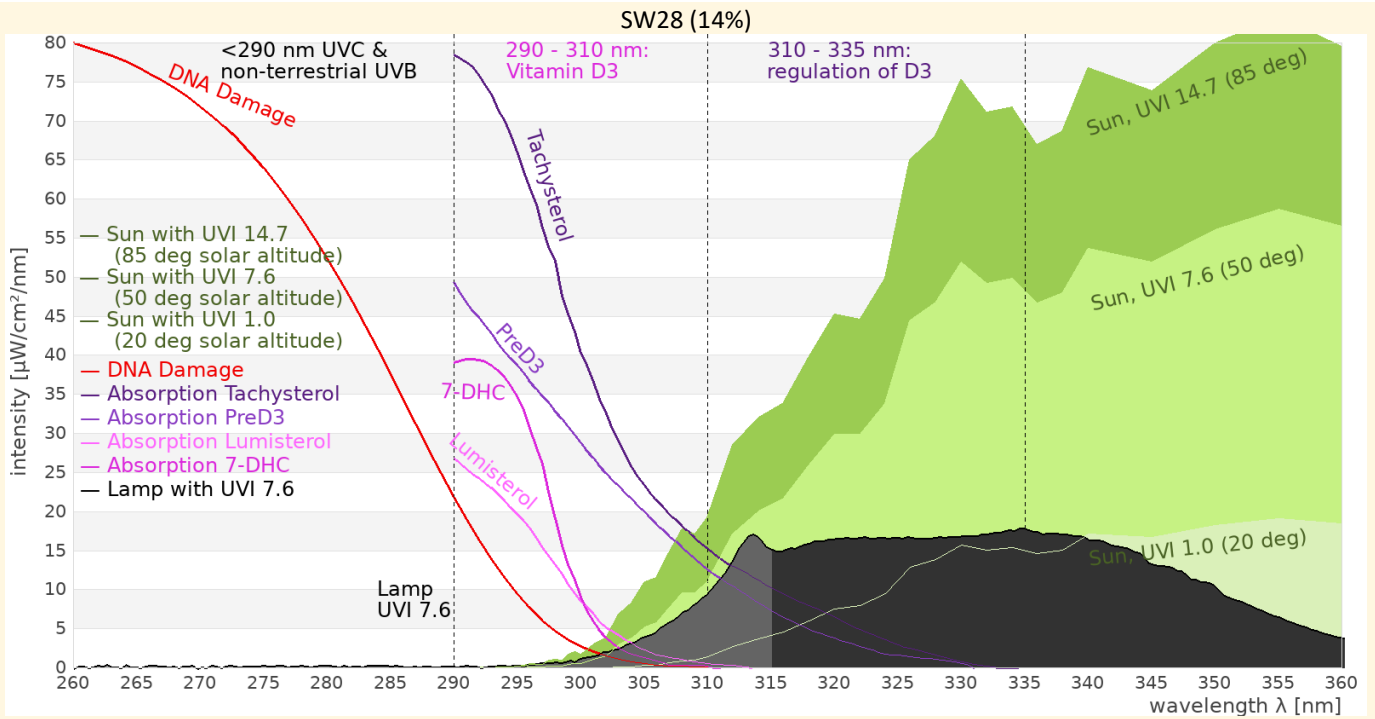
Aber das ist eine starke Vereinfachung. Wie in einem wegweisenden Artikel von MacLaughlin et al. (1982) gezeigt wurde, ist die Bildung von Vitamin D3 ein komplexer Prozess: Vier Photoprodukte bilden ein Gleichgewicht, deren Menge von der Form des UV-Spektrums abhängen, das die Haut erreicht. Nur Wellenlängen 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 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.

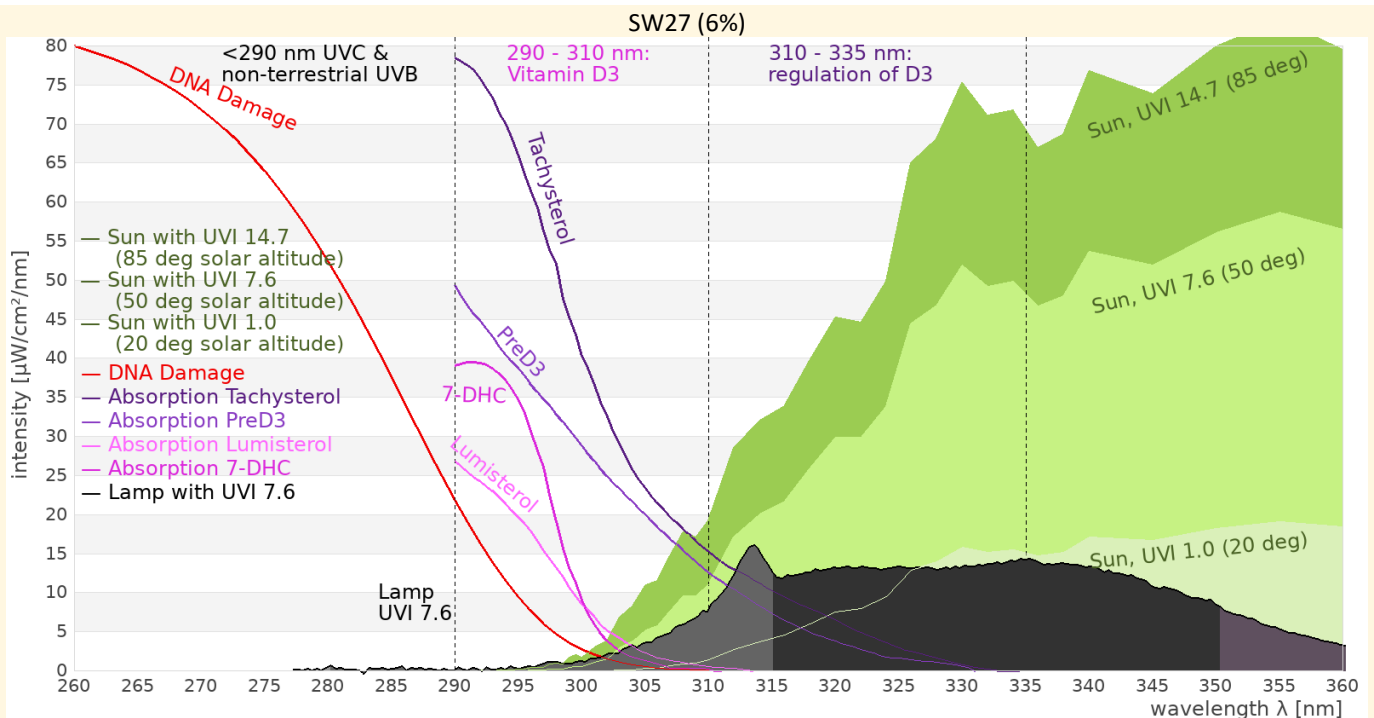
Es gibt darüber hinaus sogar eine Ausfallsicherung, um überschüssiges Vitamin D3 zu entfernen, wenn sich so viel in der Haut ansammelt, dass DBP es nicht mehr entfernen kann. Webb et al. (1989) fanden heraus, dass Wellenlängen bis zu 330 nm das in der Haut verbleibende Vitamin D3 abbauen und in inerte Moleküle umwandelt (5,6-Trans-Vitamin-D3, Suprasterol I und Suprasterol II)

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 – 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 Grafiken zeigen:

- Skaliert auf UV-Index 7.6 sind die Spektren aller drei Lampen – wie erwartet – identisch.
- Die Lampen strahlen kein gefährliches UVC oder nicht-terrestrisches UVB ab.
- Nur ein sehr geringer Teil der Strahlung ist unterhalb von 300 nm. Das Risiko von DNA-Schädigung ist nur minimal größer als bei natürlichem Sonnenlicht.
- Es ist Strahlung im Wellenlängenbereich vorhanden, durch den Vitamin D3 in der Haut gebildet wird (290 – 315 nm).
- Es ist Strahlung im Wellenlängenbereich vorhanden, durch den die Vitamin D3 Bildung reguliert wird (310 – 335 nm). Allerdings ist der Anteil etwas geringer als bei natürlichem Sonnenlicht. Diese Lampe wird bei gleichem UV-Index wahrscheinlich eine etwas stärkere Vitamin-D3-Bildung anregen als natürliches Sonnenlicht.

Insgesamt ist das Spektrum eines der sonnenähnlichsten Spektren im Bereich < 315 nm das ich von verschiedenen UV-Lampen kenne. Es wäre aber wünschenswert, wenn die Lampe noch etwas mehr Intensität im Bereich 320 – 335 nm hätte.

6e) 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.

The graphs show:

- Scaled to UV index 7.6 the spectra of the three lamps are – as expected – identical.
- The lamps do not emit hazardous UVC, or UVB in the non-terrestrial UVB wavelengths.
- Only a very small proportion of its output is below 300nm. The risk of DNA damage is therefore only minimally larger than for natural sunlight.
- There is UVB in the wavelengths which enable vitamin D3 synthesis in skin (290 – 315 nm).
- There is UVB in the wavelengths which regulate the vitamin D3 synthesis in skin (310 – 335 nm). However, the proportion is a bit lower than in natural sunlight. This lamp will likely enable a slightly stronger Vitamin D3 synthesis than natural sunlight at the same UV-index.

In summary the spectrum is one of the most solar-like spectra in the range < 315 nm that I know of from various UV lamps. However, it would be desirable if the lamp had a little more intensity in the 320 – 335 nm range.

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.

Die berechneten Werte der drei Lampen bei 92, 96 und 102 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ pro 1.000 lux (6%, 12%, 14%) und spiegeln die hohe Farbtemperatur und den steigenden UV-Anteil wider.

The calculated values of the three lamps are 92, 96 and 102 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ per 1,000 lux (6%, 12%, 14%) and reflect the high color temperature and the increasing UV component.

7) Intensitätsmessungen

Intensitätsmessungen werden mit Breitbandmessgeräten durchgeführt. Gegenüber dem Spektrometer sind sie einfacher in der Anwendung und haben ein robustes Signal-zu-Rausch-Verhältnis und sich 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.

7a) Maximale Bestrahlungsstärke in verschiedenen Abständen



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.

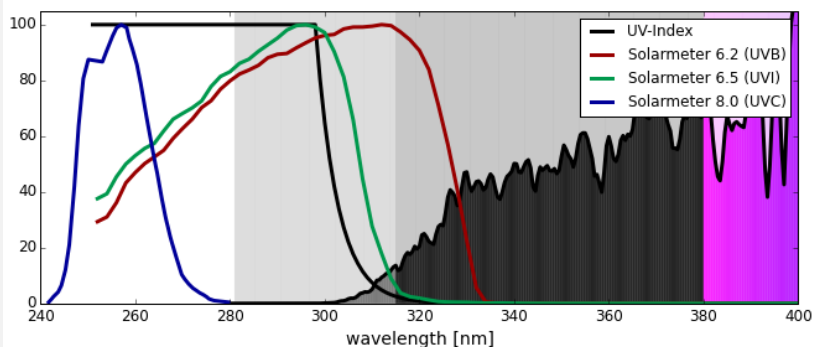
The illuminance is measured with a “Voltcraft MS-200LED” lux meter. This meter measures the visible irradiance weighted with the sensitivity of the human eye. The meter measures up to 400,000 lux.

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



SW28 (14%)

Age [h]	101									
Distance [cm]	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70

Luxmeter [lx]	14.533	9.810	6.824	5.134	4.091	2.909	1.882	1.344	990	761
Solarmeter 6.2 UVB [$\mu\text{w}/\text{cm}^2$]	1111	798	521	398	282	217	145	103	75	57
Solarmeter 6.5 UVI	34,2	24,4	15,5	12	8,6	6,5	4,4	3,1	2,3	1,7
Solarmeter 8.0 UVC [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

SW26 (12%)

Age [h]	100												
Distance [cm]	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
Luxmeter [lx]	17.666	12.132	8.625	6.287	4.818	3.681	2.371	1.648	1.204	918	730	586	484
Solarmeter 6.2 UVB [$\mu\text{w}/\text{cm}^2$]	863	602	441	331	253	198	127	88	64	49	38	30	25
Solarmeter 6.5 UVI	27	19	14	10,5	8	6,4	4,1	2,8	2	1,5	1,2	1	0,8

SW27 (6%)

Age [h]	100										
Distance [cm]	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	
Luxmeter [lx]	20.726	14.186	10.189	7.488	5.687	4.549	2.828	1.971	1.454	1.106	
Solarmeter 6.2 UVB [$\mu\text{w}/\text{cm}^2$]	470	345	257	196	151	119	76	54	39	30	
Solarmeter 6.5 UVI	15,1	11,2	8,5	6,5	4,9	3,9	2,5	1,8	1,3	1	

Das Solarmeter 8.0 bestätigt die Messung des Spektrometers:

Auch direkt am Glas ist kein UVC messbar.

In 15 cm Abstand stimmen der Solarmeter-6.5-Messwert von 8,5 und der Luxmeter-Messwert 10189 lx der 6%-Röhre gut mit den spektral ermittelten Werten 7,3 und 8370 lx überein. Bei den beiden anderen Lampen, wo die Spektren in 5 cm Abstand gemessen wurden, ist die Übereinstimmung schlechter, was aber erklärt werden kann durch den unterschiedlichen „Blickwinkel“ der Messgeräte und den größeren Einfluss von Abstandsunterschieden.

The Solarmeter 8.0 confirms the spectrometer measurement: Even directly at the glass no UVC could be detected.

At a distance of 15 cm, the Solarmeter 6.5 reading of 8.5 and the luxmeter reading of 10189 lx of the 6% tube agree well with the spectrally determined values of 7.3 and 8370 lx. With the other two lamps, where the spectra were measured at a distance of 5 cm, the agreement is worse, but this can be explained by the different "viewing angle" of the measuring devices and the greater influence of differences in distance.



Meine Messwerte sind durchwegs etwas geringer als die Herstellerangaben, z.B. in 50 cm Abstand 1,8 statt 2,5 (6%), 2,8 statt 3,8 (12%) und 3,1 statt 4,6 (14%).

My measured values are consistently slightly lower than the manufacturer's information, e.g. at a distance of 50 cm 1.8 instead of 2.5 (6%), 2.8 instead of 3.8 (12%) and 3.1 instead of 4.6 (14%).

Diese Unterschiede sind an der Obergrenze dessen, was auch durch Fertigungsunterschiede der Solarmeter und unterschiedliche Betriebsbedingungen (Umgebungstemperatur und Spannung) erklärt werden kann. Im Vergleich mit dem Spektrometer zeigt mein Solarmeter 6.5 für dieses Lampenspektrum etwas zu kleine Werte an.

7b) 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.

Das Solarmeter-Verhältnis ist 33. Das stimmt mit der Spektrometer-Messung überein, die eine gute Übereinstimmung mit dem Sonnenspektrum im kurzwelligen Bereich, aber etwas zu wenig UV im Bereich 315 – 335 nm zeigt. Der Wert ist typisch für sonnenähnliche UVB-Leuchtstoffröhren.

7c) Iso-Bestrahlungsstärke-Karte

Die Bestrahlungsstärke wird in einer senkrechten Ebene unter der Lampe mit dem Solarmeter 6.5 gemessen und Linien gleicher Bestrahlungsstärke ermittelt. Diese Iso-Bestrahlungsstärke-Karten zeigen an, für Tiere welcher Körpergröße die Lampe geeignet ist. Nach dem Konzept der Ferguson-Zonen gibt es hauptsächlich vier Varianten bei der UV-Bestrahlung (Baines2016):

- Ferguson-Zone 1 (Schattenmethode): UV-Index $< 0,7$ auf einer Fläche deutlich größer als das Tier für dämmerungsaktive Tierarten oder Tiere die zurückgezogen im Schatten leben.
- Ferguson Zone 2 (Schattenmethode): UV-Index $0,7 - 1,0$ auf einer Fläche deutlich größer als das Tier für Tierarten, die gelegentlich sonnen.
- Ferguson Zone 3 (Sonnenmethode): UV-Index $2,9 - 7,4$ auf einer Fläche, die der Körpergröße des Tieres entspricht, zusammen mit hellem Licht und Wärmestrahlung für Tierarten, die zurückgezogen zur Thermoregulation sonnen.

These differences are at the upper limit of what can also be explained by manufacturing differences in the solar meters and different operating conditions (surrounding temperature and voltage). Compared to the spectrometer, my Solarmeter 6.5 shows values that are a bit too small for this lamp's spectrum.

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).

The Solarmeter ratio is 33. This agrees with the spectrometer measurement, that shows a good agreement with the solar spectrum in the short wavelength region, but slightly too little UV in the range 315-335 nm. This ratio is typical for solar-like UVB fluorescent lamps.

Iso-Irradiance Charts

The irradiance is measured with the Solarmeter 6.5 in a vertical plane underneath the lamp and lines of equal irradiance are determined. These iso-irradiance-chart show how the lamp can be used for animals of different size. According to the concept of the Ferguson zones, there are four main variants for UVB illumination (Baines2016):

- Ferguson zone 1 (shade method): UV index < 0.7 on an area considerably larger than the animal for crepuscular animals or shade lovers.
- Ferguson zone 2 (shade method): UV index $0.7 - 1.0$ on an area considerably larger than the animal for partial sun/occasional baskers.
- Ferguson zone 3 (sunbeam method): UV index $2.9 - 7.4$ on an area matching the size of the animal together with bright light and thermal radiation for open or partial sun baskers.

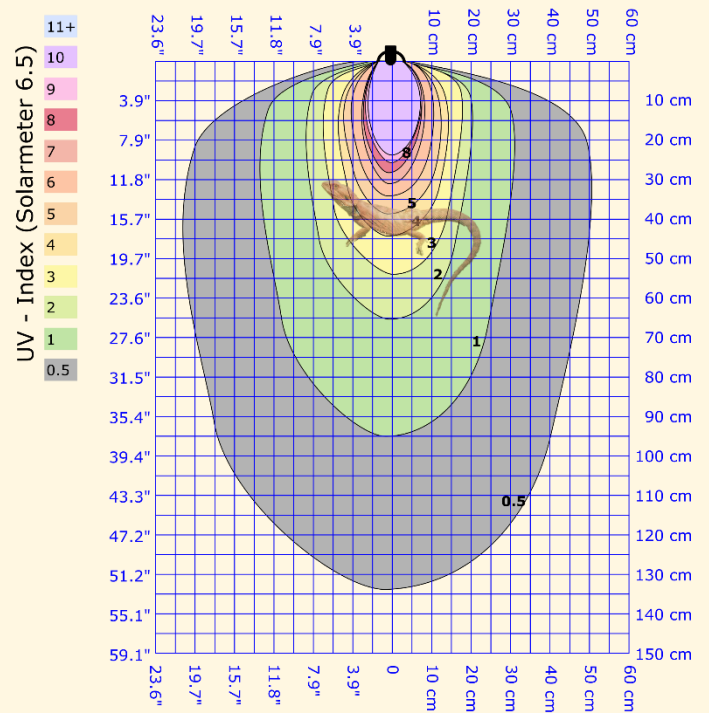
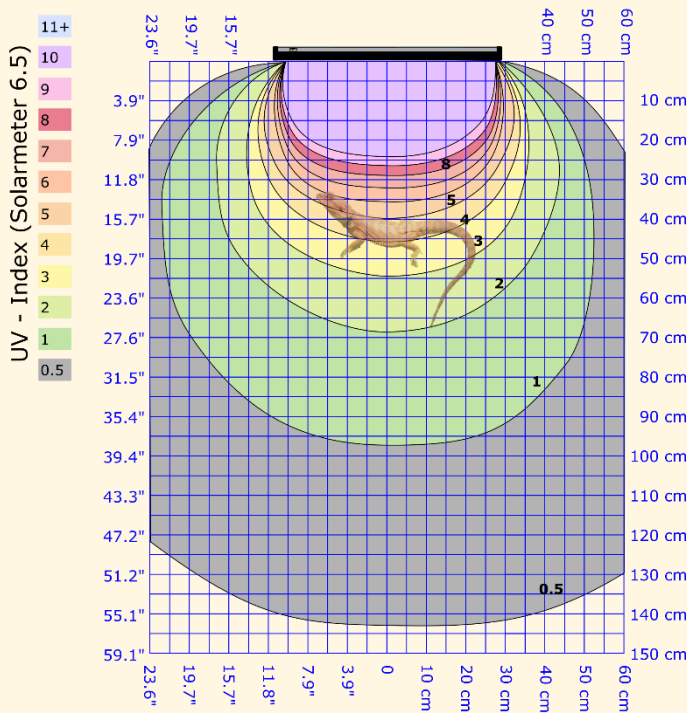
- Ferguson Zone 4 (Sonnenmethode): UV-Index 4,5 – 8,0 auf einer Fläche, die der Körpergröße des Tieres entspricht, zusammen mit hellem Licht und Wärmestrahlung für Tierarten, die auch zur Mittagszeit in der vollen Sonne zur Thermoregulation sonnen.

- Ferguson zone 4 (sunbeam method): UV index 4.5 – 8.0 on an area matching the size of the animal together with bright light and thermal radiation for mid-day sun baskers.



Arcadia Pro T5 UVB Kit 24 W with Dragon 14% UVB

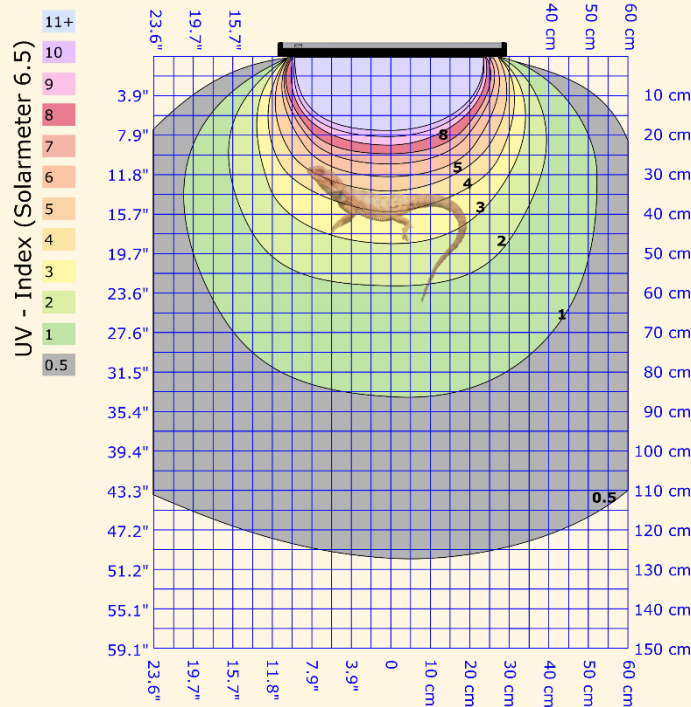
Arcadia Pro T5 UVB Kit 24 W with Dragon 14% UVB



100 h burn in, 05/2022, ID SW28, © Sarina Wunderlich, www.licht-im-terrarium.de
Bearded Dragon / Bartagame: 25 cm SVL / KRL

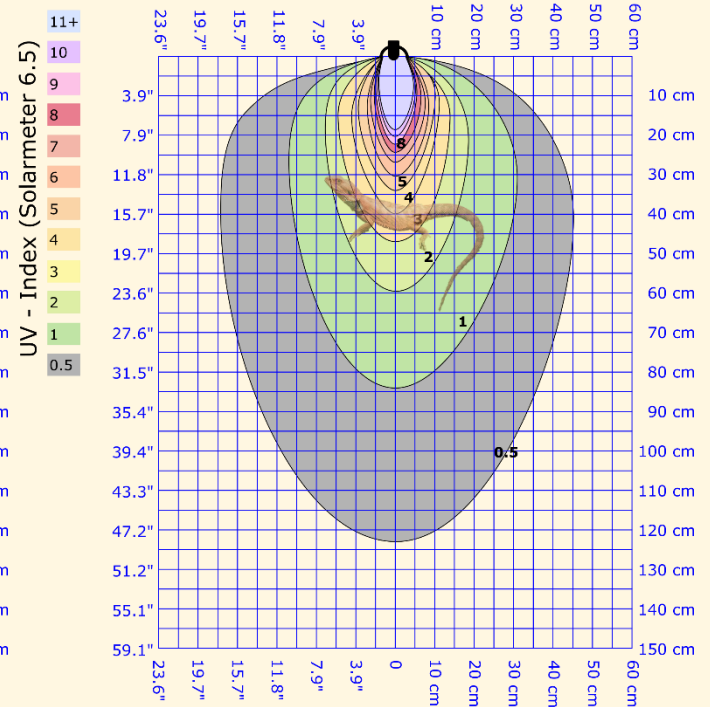
100 h burn in, 05/2022, ID SW28, © Sarina Wunderlich, www.licht-im-terrarium.de
Bearded Dragon / Bartagame: 25 cm SVL / KRL

Arcadia Pro T5 UVB Kit 24 W with Desert 12% UVB



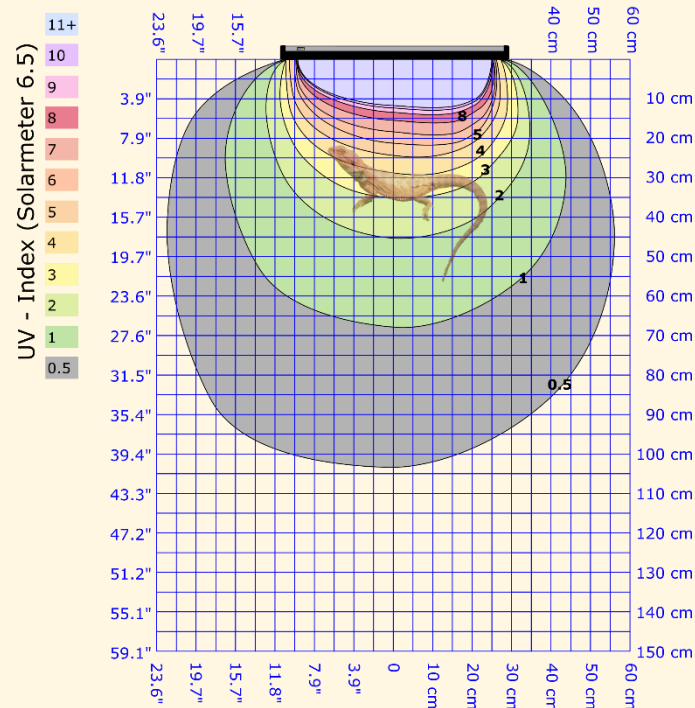
100 h burn in, 05/2022, ID SW26, © Sarina Wunderlich, www.licht-im-terrarium.de
Bearded Dragon / Bartagame: 25 cm SVL / KRL

Arcadia Pro T5 UVB Kit 24 W with Desert 12% UVB



100 h burn in, 05/2022, ID SW26, © Sarina Wunderlich, www.licht-im-terrarium.de
Bearded Dragon / Bartagame: 25 cm SVL / KRL

Arcadia Pro T5 UVB Kit 24 W with Forest 6% UVB



100 h burn in, 05/2022, ID SW27, © Sarina Wunderlich, www.licht-im-terrarium.de
Bearded Dragon / Bartagame: 25 cm SVL / KRL

Die räumliche Verteilung ist typisch für Leuchtstofflampen. Es wird ein großer Bereich ausgeleuchtet. Bei der Messung in der Ebene senkrecht zur Lampe (rechtes Bild) ist die Intensität jeweils etwas geringer. Das liegt daran, dass bei dieser Lampenorientierung die Röhre durch den Messaufbau an den Enden leicht abgeschattet wird.

The spatial distribution is typical for fluorescent lamps. A large basking zone is created. When measuring in the plane perpendicular to the lamp (picture on the right), the intensity is somewhat lower in each case. The reason for this is that with this lamp orientation, the tube is slightly shaded at the ends by the measurement setup.

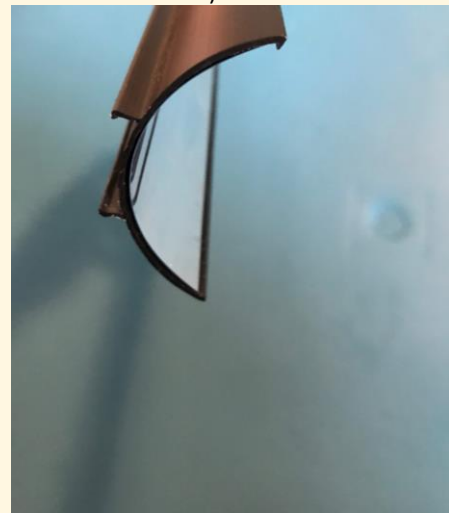


7d) Einfluss des Reflektors

Der ProT5-Reflektor wird als besonders effektiv beworben. Der Reflektor kann (wenn keine Leuchtstoffröhre eingesetzt ist), aus der Beleuchtungseinheit herausgeklickt werden.

Effect of the reflector

The ProT5 reflector is advertised as particularly effective. The reflector can be clicked out of the lighting unit (when no fluorescent tube is inserted).



Ohne Reflektor sinken alle Bestrahlungsstärken (sowohl sichtbarer als auch UV-Spektralbereich) um knapp 70%, d.h. der Reflektor erhöht die Bestrahlungsstärke um mehr als den Faktor 3.

Without a reflector, all irradiance levels (both the visible and the UV spectral range) drop by almost 70%, i.e., the reflector increases the irradiance by a factor of more than 3.

12% (SW26, 100h) no reflector											
Distance [cm]	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	
Luxmeter [lx]	7.472	4.154	2.664	1.941	1.493	1.176	788	561	423	300	
Solarmeter 6.2 UVB [$\mu\text{w}/\text{cm}^2$]	382	204	135	98	75	58	38	26	19	14	
Solarmeter 6.5 UVI	12,3	6,6	4,3	3,1	2,4	1,8	1,2	0,9	0,6	0,5	
Luxmeter relative to "with reflector"	-58%	-66%	-69%	-69%	-69%	-68%	-67%	-66%	-65%	-67%	
Solarmeter 6.2 rel. to "with reflector"	-56%	-66%	-69%	-70%	-70%	-71%	-70%	-70%	-70%	-71%	
Solarmeter 6.5 rel. to "with reflector"	-54%	-65%	-69%	-70%	-70%	-72%	-71%	-68%	-70%	-67%	

Die Reflektorfolie kann außerdem umgedreht werden. Für das bloße Auge sind beide Seiten nahezu ununterscheidbar. Die Rückseite reflektiert sichtbares Licht nur geringfügig schlechter (ca. 5-10%). UV-Strahlung wird von der Rückseite jedoch fast nicht reflektiert. Die Solarmeter-Messwerte mit umgedrehter Reflektorfolien sind ähnlich gering, wie ganz ohne Reflektor. Das ist besonders bedeutsam, da es bei anderen Marken bereits

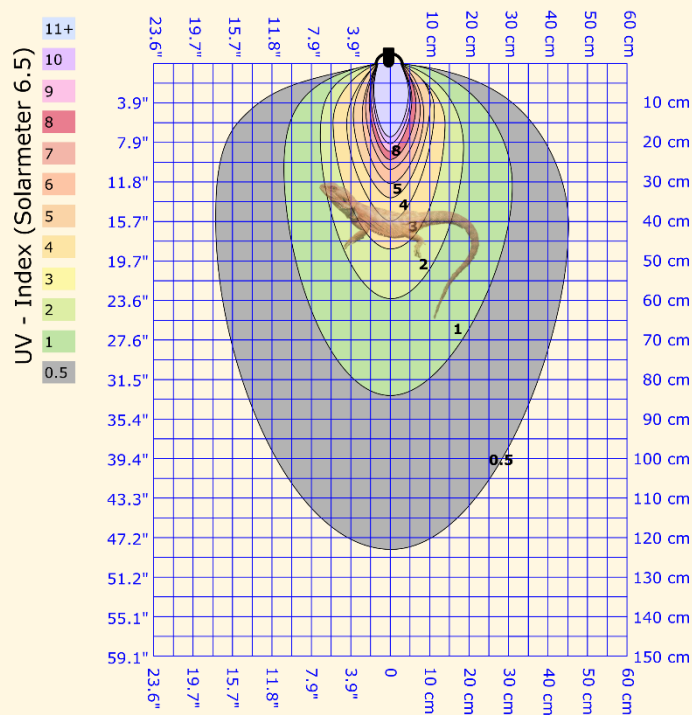
The reflector foil can also be turned around. Both sides are almost indistinguishable to the naked eye. The back reflects visible light only slightly worse (approx. 5-10%). However, UV radiation is hardly reflected from the back. The Solarmeter readings with the reflector foil turned over are just as low as without the reflector. This is particularly significant as other brands have had the reflector factory installed upside down.

vorkommen ist, dass der Reflektor werkseitig verkehrtherum installiert war.

12% (SW26, 100h) inverted reflector											
Distance [cm]	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	
Luxmeter [lx]	15.971	11.563	8.025	5.987	4.360	3.422	2.222	1.551	1.135	866	
Solarmeter 6.2 UVB [$\mu\text{w}/\text{cm}^2$]	425	253	175	126	96	75	48	22	24	18	
Solarmeter 6.5 UVI	13,4	7,8	5,4	3,9	3	2,3	1,5	1	0,7	0,5	
Luxmeter relative to "with reflector"	-10%	-5%	-7%	-5%	-10%	-7%	-6%	-6%	-6%	-6%	
Solarmeter 6.2 rel. to "with reflector"	-51%	-58%	-60%	-62%	-62%	-62%	-62%	-75%	-63%	-63%	
Solarmeter 6.5 rel. to "with reflector"	-50%	-59%	-61%	-63%	-63%	-64%	-63%	-64%	-65%	-67%	

Den Effekt des Reflektors sieht man auch in der UV-Index-Karte. Die Strahlung wird durch den Reflektor seitlich begrenzt und stattdessen nach unten gelenkt.

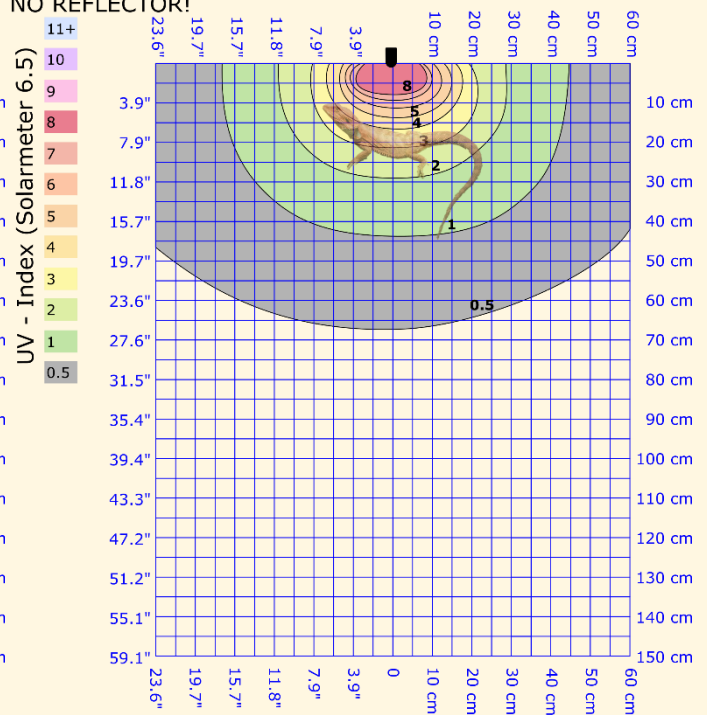
Arcadia Pro T5 UVB Kit 24 W with Desert 12% UVB



100 h burn in, 05/2022, ID SW26, © Sarina Wunderlich, www.licht-im-terrarium.de
Bearded Dragon / Bartagame: 25 cm SVL / KRL

The effect of the reflector can also be seen in the UV index card. The radiation is laterally limited by the reflector and instead directed downwards.

Arcadia Pro T5 UVB Kit 24 W with Desert 12% UVB
NO REFLECTOR!



100 h burn in, 05/2022, ID SW26, © Sarina Wunderlich, www.licht-im-terrarium.de
Bearded Dragon / Bartagame: 25 cm SVL / KRL

7e) Einbrennen und Alterung

Die kurzzeitige Alterung bzw. das Einbrennverhalten in den ersten Betriebsstunden werden mit einem fixierten Messgerät unter der Lampe gemessen.

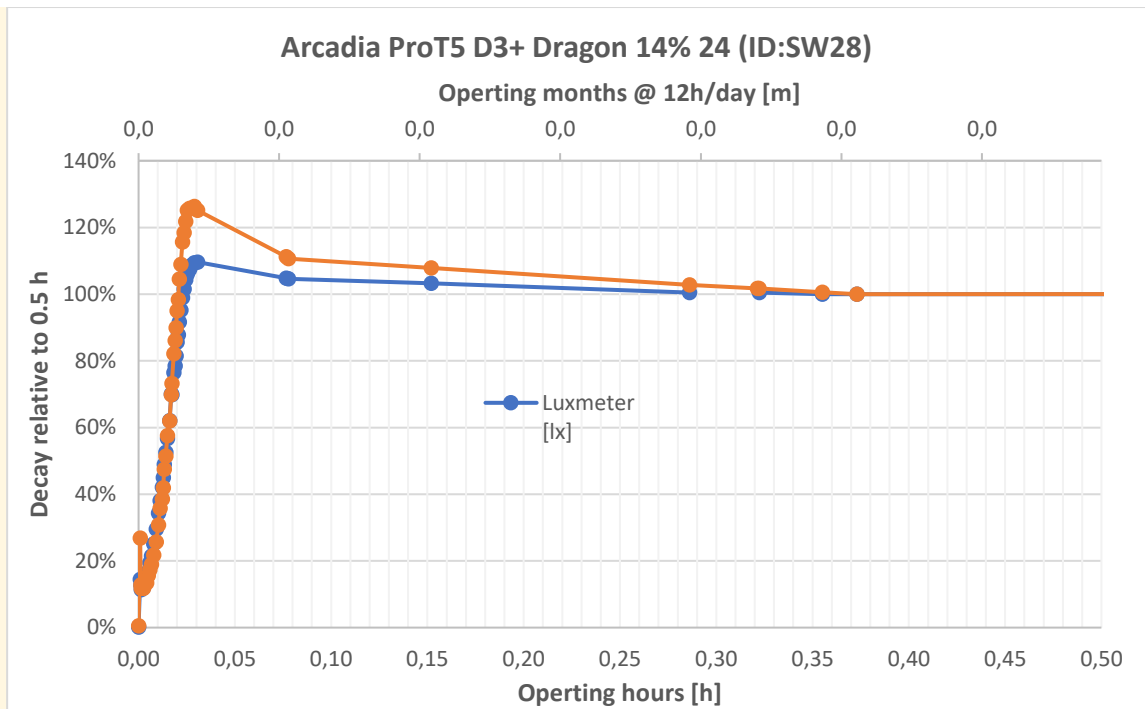
Messwerte für die Alterung über einen längeren Zeitraum werden genauso wie die anderen Bestrahlungsstärke-Messungen in 7a) als maximaler Messwert in einer Ebene unter der Lampe aufgenommen.



Burning in and Aging

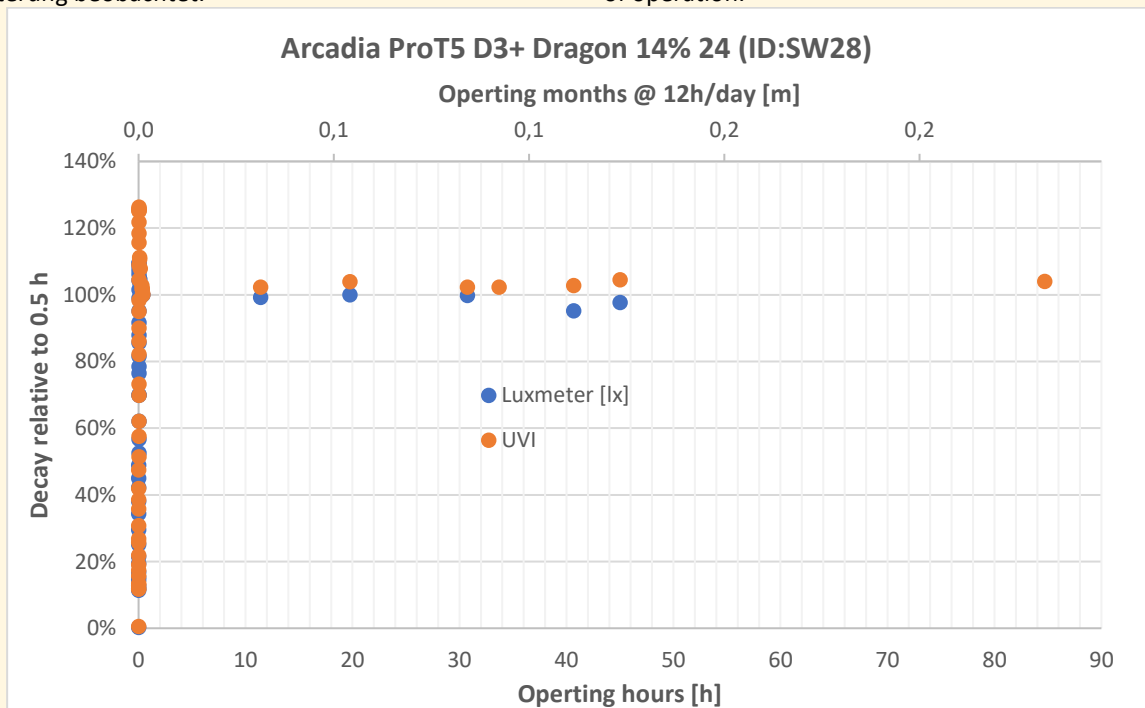
Short term aging within the first hours of operation is measured with a fixed position of the Solarmeter relative to the lamp.

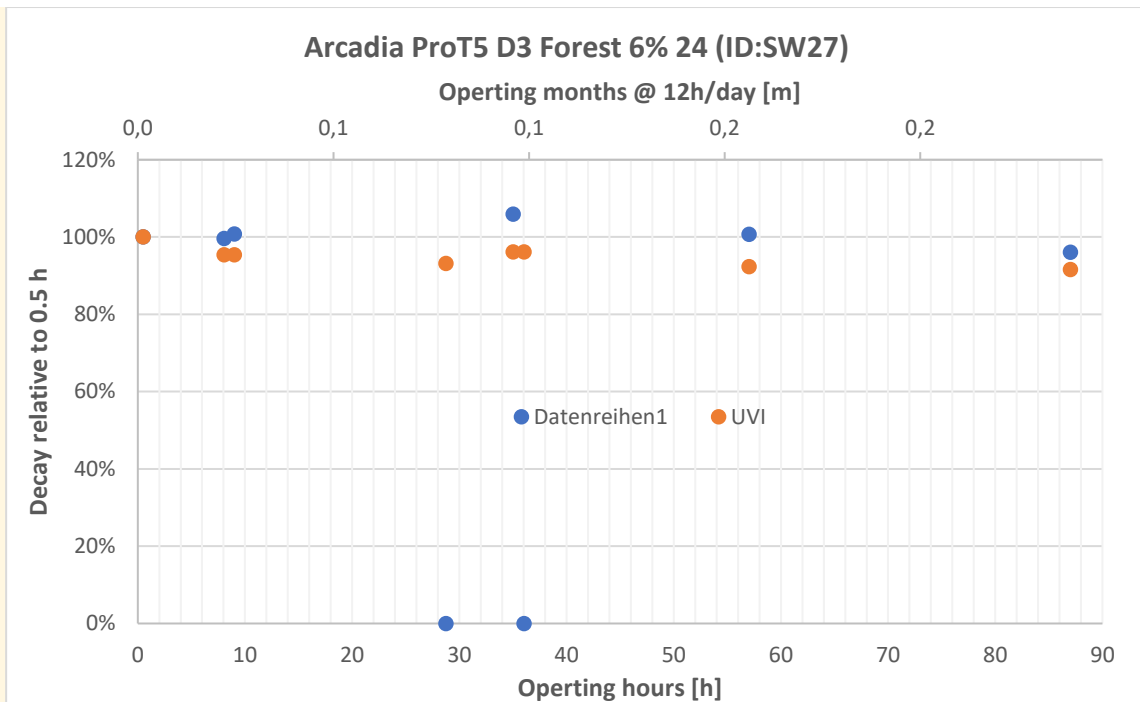
Measurements for longer term aging are taken as the other irradiance measurements in 7a) as the maximum in a fixed plane under the lamp



Während des Aufwärmens der Lampe dauert es wenige Minuten, bis die Lampe ihr Maximum erreicht, danach sinkt die Leistung in den folgenden Minuten etwas und ist nach etwa 15 Minuten stabil. In den darauffolgenden 100 Betriebsstunden wurde keine deutliche Alterung beobachtet.

During the warm-up of the lamp, it takes a few minutes for the lamp to reach its maximum, after which the output drops somewhat in the following minutes and is stable after about 15 minutes. No significant aging was observed in the subsequent 100 hours of operation.





8) 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.

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.

9) Zitierte Literatur

- Baines, F. M. 2010. Photo-Kerato-Conjunctivitis in Reptiles. 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.
- 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).
- Dobbinson, 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., Gehrman, 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.
- Kelber, A., Vorobyev, M. & Osorio, D. (2003) Animal colour vision - behavioural tests and physiological concepts. *Biological Reviews*, 78 81–118.

Literature Cited

- 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.
- 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.
- Guidelines on Limits of Exposure to Broad-Band Incoherent Optical Radiation (0.38 to 3 μ m). (1997) Health Physics, 73 539–554.