

Allgemeine Information	General information
Messwerte und Beurteilung	Measurement and Analysis

Test-Report

Lightstorm UVB LED, 11/2020

Zusammenfassung

WARNUNG: Diese Lampen emittieren GEFÄHRLICHE KURZWELLENLÄNGE UVB Strahlung und UVC (siehe 5d) und sind daher NICHT für ihre beabsichtigte Verwendung als Lampen für Reptilien und Amphibien GEEIGNET.

Die Lampen wurden bereits vom Verkauf zurückgezogen.

Es dürfte physikalisch unmöglich sein mit einer Lampe mit nur 2,2 W oder auch 4 W Leistungsaufnahme eine sinnvolle Fläche mit nützlicher UVB-Strahlung zu bestrahlen. Wenn LEDs zur UVB-Versorgung genutzt werden sollen, rege ich größere und leistungsstärkere Lampen an, die eine größere Fläche mit einem stärker sonnenähnlichen Spektrum bestrahlen.

Das Spektrum im Bereich 350 nm – 800 nm sowie die homogene Verteilung der Strahlung machen einen guten Eindruck und sollten bei einer Weiterentwicklung der Lampe beibehalten werden.

1) Beschreibung der Lampe

Getestet wurden zwei Lampen des Typs „Lightstorm UVB LED“. Diese wurden von „Jetter Terraristikbedarf“ im November 2020 zum Test zur Verfügung gestellt. Die Lampen erhielten die internen IDs „WL01“ und „WL02“.

Die Lampen sind kleine Reflektorlampen zum direkten Betrieb in einer E27-Fassung an 220V.

Im Folgenden ist die Beschreibung auf der Webseite sowie eigenen Fotos des Produkts abgebildet. Im Betrieb leuchtet nur eine der LEDs sichtbar, zwei LEDs leuchten sehr schwach bläulich, zwei weitere emittieren nur unsichtbare UVB/UVC-Strahlung

Summary

WARNING: These lamps emit HAZARDOUS SHORT-WAVELENGTH UVB and UVC (see 5d) and are therefore UNFIT FOR THEIR INTENDED USE as lamps for reptiles and amphibians.

The Lamps have already been withdrawn from sale.

It should be physically impossible to irradiate a sensible area with useful UVB with only 2.2 W or 4 W electrical power consumption. If LEDs are to be used for UVB, I encourage larger and more powerful lamps with that cover a wider area and a more solar-like spectrum.

The spectrum in the range 350 nm – 800 nm as well as the homogenous light distribution look promising and should be kept when developing the lamp further.

1) Lamp Description

Two lamps „Lightstorm UVB LED“ were tested. The lamps were provided by “Jetter Terraristikbedarf” November 2020. The lamps were given the references “WL01” and “WL02”. The lamps are small reflector bulbs that are run on 220 V in E27 fixtures.

The description on the website and some photographs of the bulbs are shown. When operating only one LEDs emits bright visible light. Two LEDs emit very weak blueish light. Other two LEDs only emit invisible UVB/UVC radiation.

Lightstorm UVB LED

LED Spot mit UVB Strahlung!

Stromsparende LED Beleuchtung und UV-Versorgung für ihre Tiere.

Ideal für kleinere und mittelgroße Terrarien.

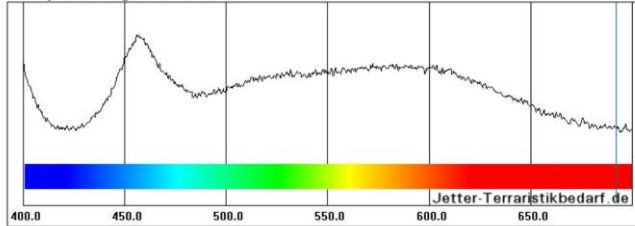
Perfekt für alle Terrarientiere mit niedrigem bis mittlerem UV-Bedarf. Die Installation im Inneren des Terrariums wird empfohlen.

Die Vorteile auf einen Blick:

- Aktuellste LED-Technologie.
- Keine Verringerung der UV-Strahlung während der gesamten Lebensdauer von 50000 Stunden.
- Sehr geringe Wärmeentwicklung. Kein Schutzkorb innerhalb des Terrariums notwendig.
- Passt in jede E27 Fassung. Kein Vorschaltgerät oder Netzteil notwendig.
- Angenehme Lichtfarbe. Tageslicht, ca. 4200 Kelvin.
- Kompakte Größe. 60mm Durchmesser. 50mm Höhe ohne Gewinde, 75mm mit Gewinde.
- Sehr geringer Stromverbrauch von nur 4 Watt.

Eine passende Fassung mit Kabel und Schalter finden sie >Hier<.

Lichtspektrum Lightstorm UVB LED



UVB-Werte Lightstorm UVB LED

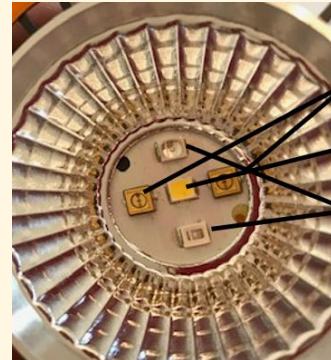
Abstand zum Tier	UVB $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	UV Index	Ferguson Zone
20cm	50	8,5	4
30cm	25	4,5	3
40cm	15	2,5	2

Erklärung der Ferguson Zonen:

Zone 2: Durchschnittliche Sonnenstrahlung mit teilweisem Schatten.

Zone 3: Höhere Sonnenstrahlung mit geringem Schatten.

Zone 4: Hauptsächlich stärkere Sonnenstrahlung ohne Schatten.



UVB/UVC 280 nm

VIS 400-700 nm

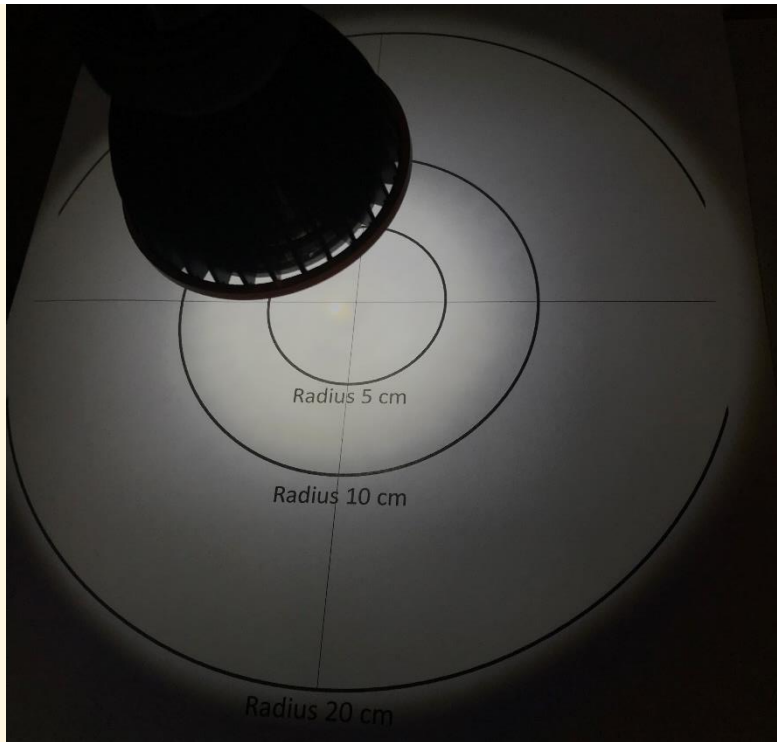
UVA 395 nm

2) 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).

2) 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).

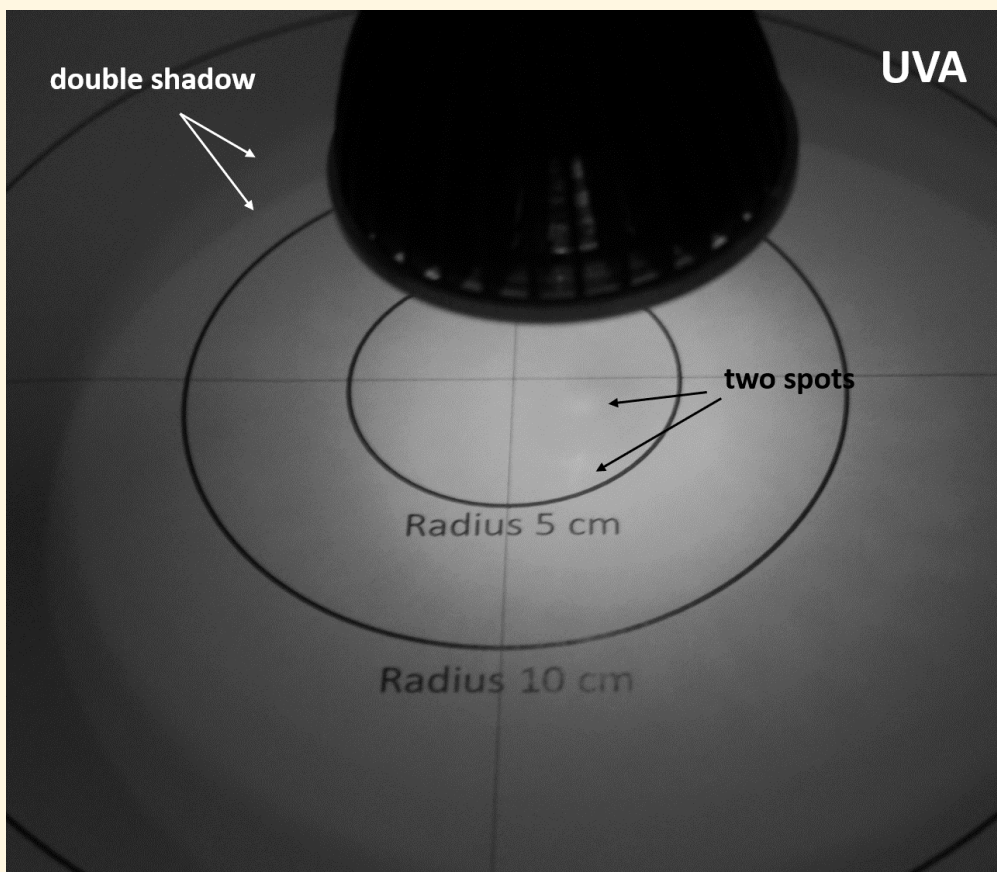


Die Ausleuchtung ist sehr homogen mit einem leicht bläulichen Punkt in der Mitte. Dies wird von der blauen Primär-LED verursacht die stärker geradeaus durch den Leuchtstoff strahlt.

Der direkte Blick in Richtung Lampe ist wegen der kleinen Größe der LED und der hohen Leuchtdichte extrem unangenehm. Im Terrarium dürfte es schwierig sein, die Lampe so anzubringen, dass die Tiere nicht geblendet werden.

The illumination is homogenous with a blueish spot at the center. This is due to the more intense light from the blue primary LED in the forward direction through the phosphor.

The glance towards the lamp is extremely uncomfortable due to the small size of the LED and the high luminance. It could be challenging to position the lamp inside a terrarium without blinding the animals.



Bei der UVA-Ausleuchtung sieht man zwei Spots und zwei Randschatten durch die beiden UVA-LEDs. Dieses Foto wurde in 5 cm Abstand zur Lampe aufgenommen und die Lampe leicht seitlich verschoben, so dass die Spots etwas entfernt von der gedruckten Linie und dadurch besser sichtbar sind. Die zwei Schatten der beiden UVA-LEDs werden sich mit dem dazu verschobenen Schatten der sichtbaren LED überlagern, so dass es aus Reptiliensicht zu farbigen Rändern kommen wird.

The UVA illumination has two spots and two shadows from the edge of the lamp due to the two UVA LEDs in the lamp. This photo was taken in 5 cm distance to the lamp and the lamp slightly de-centered so that the spots are away from the printed line and better visible. The two shadows from the two UVA LED will overlap with the shifted shadow from the visible light. From a reptile's perspective there will be coloured edges.

3) Temperatur

Die Lampe emittiert nahezu keine Wärmestrahlung. Daher wurden keine Temperaturmessungen durchgeführt.

3) Temperature

This lamp hardly emits any thermal radiation. No temperature measurements are performed.

4) Elektrischer Verbrauch

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

4) Power

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

	WL01	WL02
Leistung / power [W]	2,3	2,2
Spannung / voltage [V]	230	230
Strom / current [A]	0,1	0,1
Leistungsfaktor / Power factor	100	95

Die Leistung beider Lampen ist deutlich geringer als die angegebenen 4W.

The power of the lamps is significantly lower than the 4 W stated.

5) Spektrale Messung

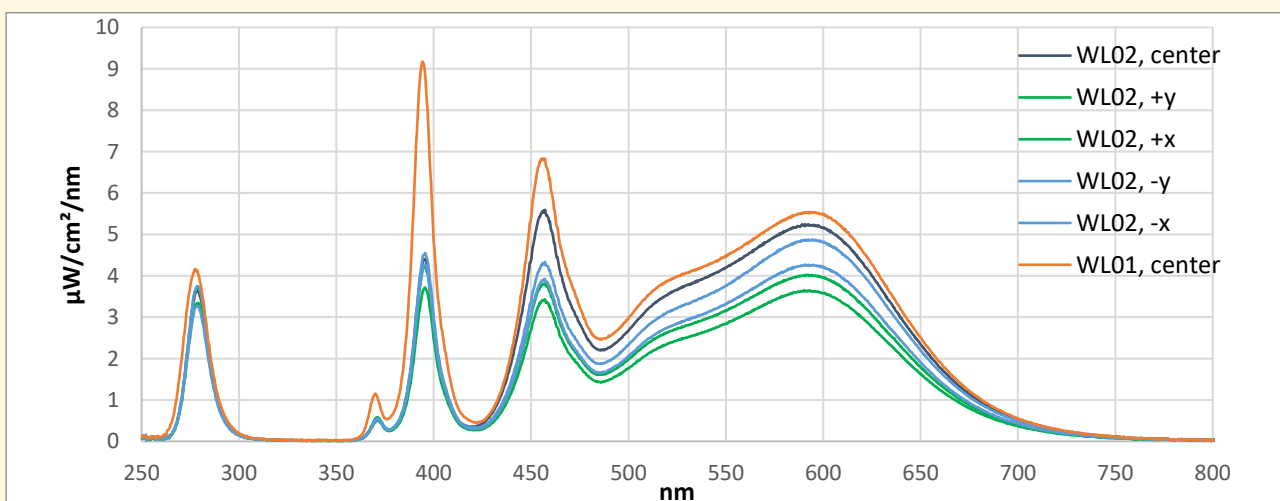
Die spektrale Bestrahlungsstärke wird mit einem „Ocean Optics USB 2000+“ Spektrometer mit Streuscheibe zur Kosinuskorrektur und Kalibration sowohl auf Wellenlänge als auch absolute Bestrahlungsstärke durchgeführt. Das Spektrometer misst im Bereich 200 nm bis 880 nm mit einer Auflösung von 0,38 nm.

5) 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 200 nm to 880 nm with a resolution of 0.38 nm.

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.

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.



	WL02, +y
UVC (250 – 280 nm)	30 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
UVB (280 – 315 nm)	26 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
UVA1 (315 – 350 nm)	0,7 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
UVA2 (350 – 480 nm)	6 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
VIS (380 – 780 nm)	750 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
UV-Index	22
Lux	2400 lx

5a) Beurteilung des Gesamtspektrums

Das Spektrum im sichtbaren Bereich ist typisch für eine LED. Es sind zwei breite Peaks zu sehen, bei ca. 450 nm die Emission der blauen Primär-LED und bei 500-700 nm die Emission des Leuchtstoffs. Zusätzlich sieht man die Emission der verbauten UVA LED mit Maximum bei 395 nm und der UVB/UVC-LED mit Maximum bei 280 nm.

Die Spektren der beiden Lampen WL01 und WL02 sind sehr ähnlich. Je nach Position unter der Lampe relativ zu den UVA und UVB/UVC-LEDs sind die Höhen der Peaks bei 275 nm, 390 nm und 460 nm etwas unterschiedlich.

Alle Spektren wurden in 10 cm Abstand gemessen.

5b) Für den Menschen sichtbares Spektrum

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

	WL02, +y
(x,y)	(0.38;0.38)
CCT [Kelvin]	4100 K
CRI	82
R1 (light grayish red)	80
R2 (dark grayish yellow)	91
R3 (strong yellow green)	96
R4 (moderate yellowish green)	78
R5 (light bluish green)	81
R6 (light blue)	88
R7 (light violet)	84
R8 (light reddish purple)	60
R9 (strong red)	0
R10 (strong yellow)	78
R11 (strong green)	77
R12 (strong blue)	64
R13 (light yellowish pink, human complexion)	83
R14 (moderate olive green)	98
R15 (Japanese complexion)	72

Die angegebenen „ca. 4200 K“ werden erreicht. Das Licht wirkt auf mich persönlich angenehm.

5a) Review of the spectrum

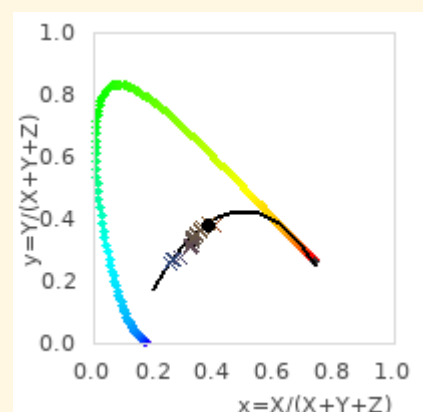
The spectrum in the visible range is typical for LEDs. There is the peak around 450 nm from the primary blue LED and the broader peak in the range 500-700 nm from the phosphor. Additionally, there are the emissions from the UVA LED with maximum 395 nm and from the UVB/UVC led with maximum at 280 nm.

The spectra of the two lamps WL01 and WL02 are very similar. Depending on the position underneath the lamp relative to the UVA and UVB/UVC LEDs, the height of the peaks at 275nm, 390nm and 460 nm differs.

All spectra were recorded in 10 cm distance.

5b) 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 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.



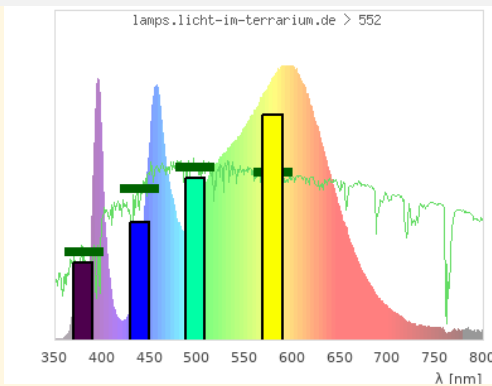
The „approximately 4200 K“ are fulfilled. To my eyes the light is very pleasing.

5c) 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 5b). 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.



Das kombinierte Spektrum der weißen LED und der UVA LED wirkt auf die Photorezeptoren sehr ähnlich wie Tageslicht. Der Farbort der Lampe liegt nahe an den Farborten des Tageslichts. Diese LED ist sehr wahrscheinlich weiß für Reptilien und hat eine vernünftige Farbwiedergabe. Allerdings erwarte ich farbige Schatten und Farbränder (siehe auch (2)).

5d) 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.

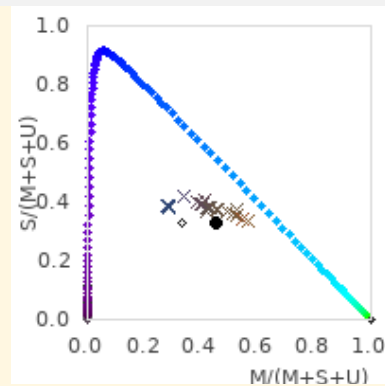
5c) Spectrum visible to reptiles

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 5b). 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.



The combined spectrum of the "white" LED and the UVA LED acts like daylight to the photo receptors in the reptile eye. The colour coordinate of the lamp lies close to the colour coordinates of daylight. This LED is most likely white to reptiles and should have reasonable colour rendering. However I expect coloured shadows and coloured edges (see also (2)).

5d) 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.

Die Vitamin D3 Bildung in der Haut ist eine komplexe chemische Gleichgewichtsreaktion, bei der mehrere Substanzen (7-DHC, Prävitamin D3, Tachysterol, Lumiserol, Vitamin D3, Suprasterole, Trans-Vitamin-D3) ineinander umgewandelt werden. Das Gleichgewicht zwischen diesen Substanzen hängt vom UV-Spektrum zwischen 250 nm und 350 nm, wobei kürzere Wellenlängen tendenziell mehr Vitamin D3 bilden und die längeren Wellenlängen die Vitamin D3-Bildung bremsen und eine Überdosierung begrenzen. So werden bei Sonnenlicht nur 20% des 7DHC in Vitamin D3 umgewandelt, während es bei einer Leuchtstofflampe mit schmalbandigem Spektrum bei 295 nm 60% sind (MacLaughlin1982).

Vitamin D3 production in the skin is a complex chemical equilibrium reaction where several substances (7-DHC, previtamin D3, vitamin D3, Tychasterol, Lumisterol, Suprasterols, Trans-Vitamin-D3) are converted into each other. The equilibrium between these substances depends on the spectrum between 250 nm and 350 nm. Shorter wavelengths tend to produce more vitamin D3 and longer wavelengths tend to limit the vitamin D3 production and thus prevent overdosing. Sunlight only converts 20% of the 7-DHC into vitamin D3 while a fluorescent lamp with a narrow band emission at 295 nm converts 60% (MacLaughlin1982).

Bei der Abwägung zwischen positiven und negativen Eigenschaften der UV-Strahlung erscheint es mir am sinnvollsten auf eine große Ähnlichkeit zum Sonnenspektrum zu achten. 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. 350 nm ist zur Regulierung der Vitamin D3 Produktion sehr empfehlenswert.

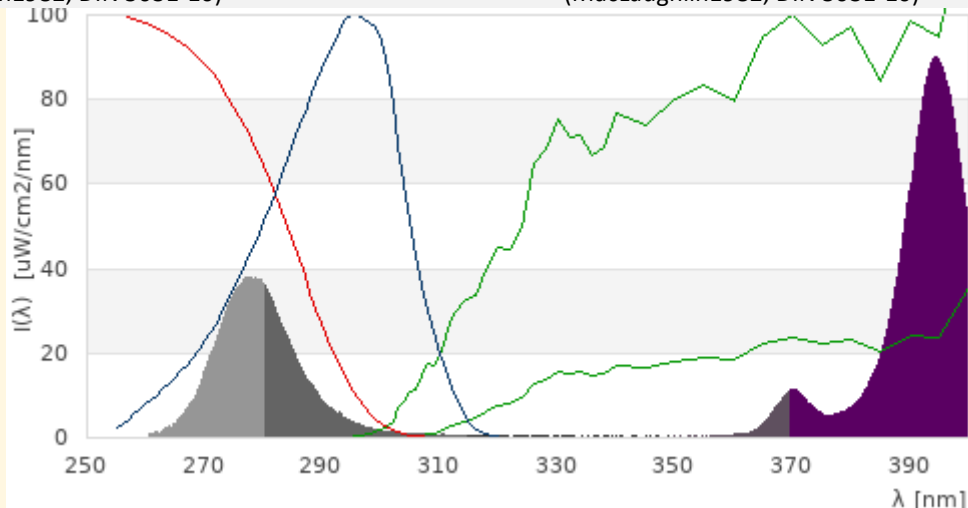
When balancing positive and negative effects of UV radiation, to me it seems most sensible to look out for a spectrum that best resembles the solar spectrum. The solar UV spectrum starts at around 300 nm and increases almost linearly towards 400 nm. Radiation with a wavelength below 300 nm should therefore 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 350 nm is strongly recommended to regulate the production of vitamin D3.

Die folgende Grafik zeigt das Spektrum der Lampe skaliert auf UV-Index 6,0 im Vergleich zu anderen Spektren:

The following graph shows the lamp's spectrum scaled to UV index 6.0 in comparison to other spectrums:

- Sonnenspektrum bei 20° Sonnenstand (UV-Index 1,0)
- Sonnenspektrum bei 85° Sonnenstand (UV-Index 14,7)
- Wirkspektrum für die DNA-Schädigung (Setlow1974, DIN 5031-10)
- Wirkspektrum für die Vitamin-D3-Bildung (MacLaughlin1982, DIN 5031-10)

- Solar spectrum for 20° solar altitude (UV index 1.0)
- Solar spectrum for 85° solar altitude (UV index 14.7)
- Action spectrum for DNA damage (Setlow1974, DIN 5031-10)
- Action spectrum for Vitamin D3 production (MacLaughlin1982, DIN 5031-10)



Die verbaute UVB/UVC-LED mit Maximum bei knapp 280 nm ist in keinsten Weise sonnenähnlich. Es wird nahezu keine terrestrische UVB-Strahlung abgestrahlt, sondern nicht-terrestrische UVB-Strahlung und UVC-Strahlung. Ich befürchte stark schädigende Wirkung auf die Haut und Augen der bestrahlten Tiere.

The UVB/UVC-LED with peak near 280 nm is in no way like sunlight. Hardly any terrestrial UVB is emitted. Instead the lamp emits non-terrestrial UVB and UVC. I fear that this lamp will damage skin and eyes of the animals when used in a terrarium.

Ich rate vom Einsatz der Lampe im Terrarium dringend ab.

I strongly recommend not to use this lamp in a terrarium.

Das UVB/UVC-Spektrum der LED überlappt so gut mit der UV-Index-Bewertungsfunktion, dass bereits eine sehr geringe Bestrahlungsstärke einen enorm hohen UV-Index erzeugt. Im obigen Bild beträgt der UV-Index 250. Eine so starke

The UVB/UVC spectrum of the LED has such a high overlap with the action spectrum for the calculation of the UV index, that already a very small irradiance causes a high UV index. In the graph above the UV index is 250. Such a high increase in the intensity was necessary in order to enable a visual

Intensitätssteigerung war nötig, um das Spektrum der Lampe mit dem Spektrum des Sonnenlichts vergleichen zu können.

5e) 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. Beim Sonnenlicht beträgt das Verhältnis von effektiver Bestrahlungsstärke für Photoretinitis zu Beleuchtungsstärke ca. $80 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ pro 1.000 lux. Bei Halogen-Glühlampen ca. $25 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ pro 1.000 lux.

Die effektive Bestrahlungsstärke für Blaulichtgefährdung bei dieser Lampe ist ca. $45\text{-}49 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ pro 1.000 lux.

6) Intensitätsmessungen

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 und damit bis zu der etwa vierfachen Beleuchtungsstärke des natürlichen Sonnenlichts.

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).

- 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.

Die Messgeräte 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.

comparison between the shape of the solar spectrum and the lamp's spectrum.

5e) 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 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. Halogen lights have a ratio of approximately $25 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ per 1,000 lux.

The effective irradiance for blue light hazard for this lamp is approximately $45\text{-}49 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ per 1,000 lux.

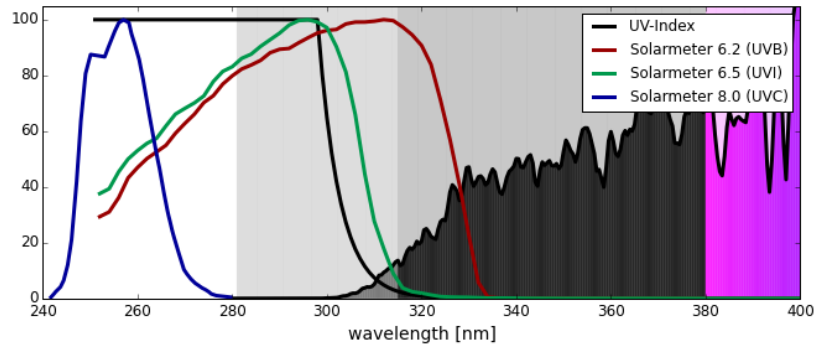
6) Intensity measurements

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, that is approximately four times the illuminance of sunlight.

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).

- 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.

These intensity meters 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.



WL01	Distance [cm]	5	10	20
Solarmeter 6.2 UVB [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]		420	133	54
Solarmeter 6.5 UVI		37,0	11,9	4,8
Solarmeter 8.0 UVC [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]		4	2	0
Luxmeter [lx]		5400	2900	1300

In jedem Abstand wurde der Maximalwert ermittelt. Die Messung fand nach 7h (WL01) und 1h (WL02) Alterung der Lampe und 15 Minuten Einbrennzeit statt. Der Solarmeter 6.2-Messwert ist ähnlich wie vom Hersteller angegeben, der UV-Index jedoch um etwa einen Faktor 2 geringer. Der Solarmeter 8.0 Messwert suggeriert ein sehr geringe UVC-Bestrahlungsstärke, obwohl im Spektrum deutlich UVC sichtbar ist. Das liegt daran, dass die emittierte UVC-Strahlung im Bereich 260 – 280 nm nur sehr geringen Überlapp mit der Empfindlichkeitsfunktion des Solarmeter 8.0 hat. Der Messwert des Solarmeter 6.5 ist deutlich geringer als der UV-Index, der aus dem Spektrum bei 10 cm Abstand errechnet wurde. Das entspricht der Erwartung aus der Empfindlichkeitskurve des Solarmeter 6.5 und der Definition des UV-Index.

6a) 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.

WL02	Distance [cm]	5	10	20
Solarmeter 6.2 UVB [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]		345	127	44
Solarmeter 6.5 UVI		31,1	11,7	4,0
Solarmeter 8.0 UVC [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]		2	1	0
Luxmeter [lx]		6500	3000	1200

At every distance the maximum value was recorded. The measurement was performed after 7h and 1h of aging and 15 minutes warm up time. The Solarmeter 6.2 reading is comparable to the one from the manufacturer, the Solarmeter 6.5 reading roughly a factor 2 lower. The Solarmeter 8.0 reading suggests a very low UVC irradiance although the spectral measurement shows significant UVC. This is because the emitted UVC radiation in the wavelength range 260 – 280 nm has only little overlap with the sensitivity curve of the Solarmeter 8.0. The Solarmeter 6.5 reading at 10 cm is significantly lower than the UV index calculated from the spectrum at 10 cm (UVI 11 vs. 22), this is as expected from the sensitivity curve of the Solarmeter 6.5 and the definition of the UV index.

6a) 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 .

Das Solarmeter-Verhältnis von 11 gibt einen starken Hinweis auf ein nicht-sonnenähnliches UVB-Spektrum, was durch die Spektralmessung auch bestätigt wird (siehe 5d).

6b) 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):

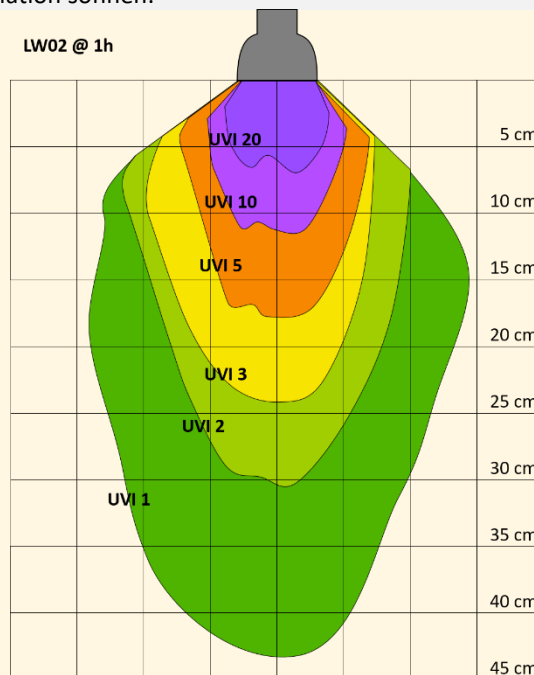
- Ferguson-Zone 1 (Schattenmethode): UV-Index < 0.7 auf einer Fläche deutlich größer als das Tier für dämmerungsaktive Tierarten oder Tiere die zurückgezogen im Schatten leben.
- Ferguson Zone 2 (Schattenmethode): UV-Index 0,7 – 1,0 auf einer Fläche deutlich größer als das Tier für Tierarten, die gelegentlich 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.
- 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.

The Solarmeter ratio of 11 strongly indicates a non-solar UVB spectrum, which is verified by the spectral measurement (see 5d).

6b) 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 basker
- 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 (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.



Die räumliche Verteilung des UV-Index suggeriert

- Ferguson Zone 3 in ca. 15 cm Abstand mit UV-Index 3 – 6 und Durchmesser 15 cm
- Ferguson-Zone 2 in ca. 40 cm Abstand mit UV-Index 0,7 – 1 und mindestens 30 cm Durchmesser.

Jedoch ist die UVB-Strahlung aufgrund ihres Spektrums nicht empfehlenswert. Würden LEDs gleicher Leistung mit einem sonnenähnlicheren Spektrum genutzt werden, würde der UV-Index sehr viel geringer ausfallen, da dann der Überlapp der

The spatial distribution of the UV index suggests

- Ferguson zone 3 in approximately 15 cm distance with UV index 3 – 6 and diameter 15 cm
- Ferguson zone 2 in approximately 40 cm distance with UV index 0.7 – 1 and diameter at least 30 cm

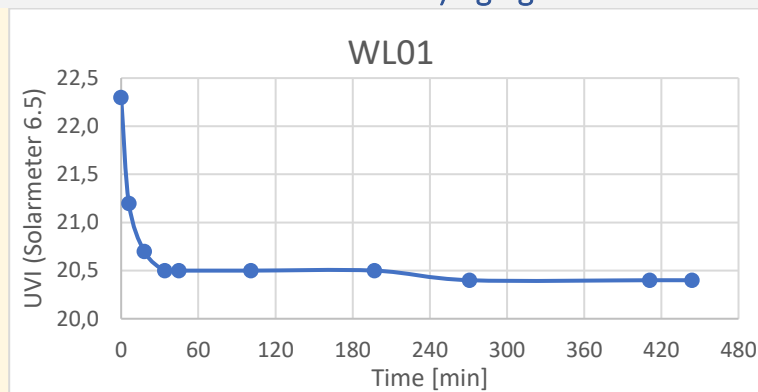
However, the UVB radiation is not recommended because of its spectrum. If LEDs of the same power but with a more solar-like spectrum were used, the UV index would be much lower, because then the overlap between the radiation and the action spectrum of the UV index would be lower.

Strahlung mit der Bewertungsfunktion für den UV-Index geringer wäre. Somit ist räumliche Verteilung der Strahlung dieses Lampentyps mit der geringen Leistung vermutlich generell nicht sinnvoll nutzbar.

Therefore, the spatial distribution of this lamp type with this low power is like not usable in general.

6c) Alterung

6c) Aging



Die UVB-Strahlung zeigt in den ersten 7 Betriebsstunden keine Alterung. Ein leichter Rückgang um knapp 10% des UV-Index in den ersten Minuten durch das Aufwärmen der Lampe ist zu sehen, dieser ist aber reversibel. Nach dem Abkühlen der Lampe wurde wieder ein UV-Index von 22,4 gemessen. Der Solarmeter 6.5-Messwert schwankte, z.B. zwischen 20.3 und 20.7 – der Zahlenwert 20.5 wurde in das Diagramm übernommen.

The UVB radiation does not show any aging within the first 7 hours of operation. A reduction of the UV index by almost 10% is seen in the first minutes of operation due to warming up of the lamp. This is reversible. After a cool-down phase the UV index was again 22.4. The Solarmeter 6.5 reading was fluctuating, e.g. between 20.3 and 20.7 – the number 20.5 was then taken for the diagram.

7) 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.

7) 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.

8) 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.
- 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.

8) Literature Cited

- Kelber, A., Vorobyev, M. & Osorio, D. (2003) Animal colour vision - behavioural tests and physiological concepts. *Biological Reviews*, 78 81–118.
- Lindgren, J., Gehrman, 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 3µm). (1997) *Health Physics*, 73 539–554.