

Test-Report 05/2022

Repti Zoo HO T5 UVB Lighting Combo Kit 24W Desert UVB Bulb UVB10.0

1) Zusammenfassung

- Die Leuchte mit der "Desert" Leuchtstoffröhre kann zur UVB-Versorgung von Reptilien für die Vitamin-D3-Bildung genutzt werden.
- Das sichtbare Licht hat einen geringen Farbwiedergabewert. Das Spektrum erinnert an die älteren Zweiband-leuchtstoffe und entspricht nicht dem Spektrum der modernen Dreibandleuchtstoffe.
- Das UV-Spektrum hat etwas mehr kurzwellige UVB-Strahlung und etwas weniger UVA als die aktuell erhältlichen UV-Leuchtstofflampen der höchsten Qualität. Das spiegelt sich auch in einem etwas geringeren Solarmeter-Verhältnis (27) wider.
- Die reflektierende Folie im Reflektor reflektiert nur auf einer Seite UV, obwohl beide Seiten gleichermaßen reflektierend aussehen. Es besteht das Risiko, dass die Folie falsch herum in den Halter eingelegt wird, entweder seitens des Herstellers oder durch den Anwender.

1) Zusammenfassung	1
2) Beschreibung der Lampe.....	1
2a) Reflektor.....	4
3) Visuelle Lichtverteilung.....	5
4) Temperatur	5
5) Elektrischer Verbrauch.....	6
6) Spektrale Messung.....	6
6a) Beurteilung des Gesamtspektrums	6
6b) Für den Menschen sichtbares Spektrum.....	7
6c) Für Reptilien sichtbares Spektrum	8
6d) UV-Spektrum (Vitamin D3).....	9
7) Intensitätsmessungen	11
7a) Maximale Bestrahlungsstärke in verschiedenen Abständen ...	12
7b) Solarmeter-Verhältnis	12
7c) Iso-Bestrahlungsstärke-Karte	13
8) Einschränkungen	14
9) Zitierte Literatur	14

Summary

- The lamp unit with desert fluorescent tube can be used to provide reptiles with UVB needed for vitamin D3 synthesis.
- The visible light has a low CRI. The spectrum reminds of the older halophosphates and is not the spectrum of modern triphosphors.
- The UV spectrum shows slightly more short-wavelength UVB and less UVA than the highest quality UV phosphors currently available. This can also be seen from the slightly lower Solarmeter ratio (27)
- The reflective sheet in the reflector is only reflecting UV on one side although both sides look equally reflective. There is a risk that the sheet is inserted in the wrong orientation either by the manufacturer or by the user.

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

2) Beschreibung der Lampe

Eine Leuchte mit Reflektor und einer Leuchtstoffröhre „Desert UVB 10.0“ wurde in den USA von Stephanie O’Brien-Chance gekauft und für den Test gespendet an Thomas Griffiths und mich, Sarina Wunderlich. Repti-Zoo selbst hat auf eine Anfrage für eine Lampe für einen Test nicht reagiert.

Die Lampe ist eine T5 HO Leuchtstofflampe, spezifiziert als 24 W, 10% UVB und 33 % UVA. Die Lampe erhielt die Referenznummer SW29.

Lamp Description

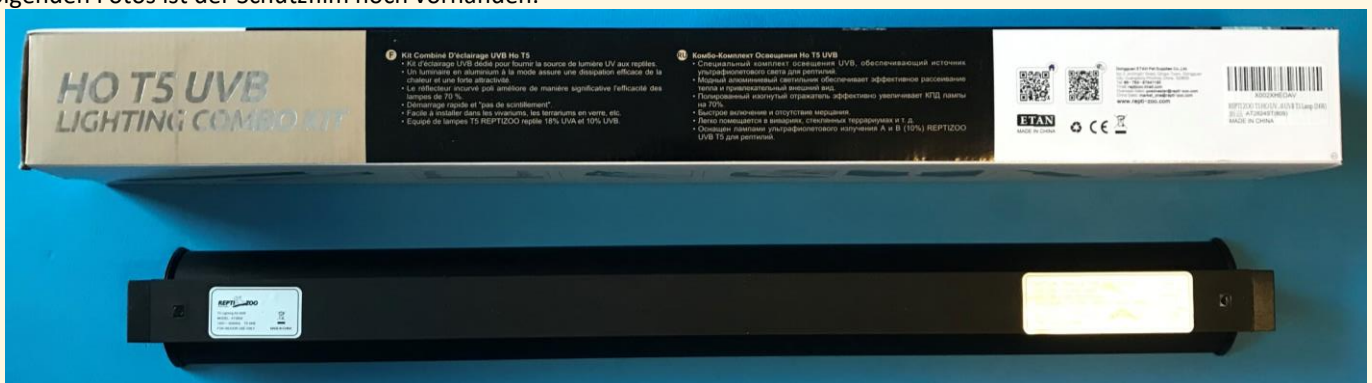
One lamp unit including reflector and a fluorescent tube "Desert UVB Bulb UVB10.0" 24 W was bought in the US by Stephanie O’Brien-Chance and donated for testing to Thomas Griffiths and me, Sarina Wunderlich. Repti-Zoo itself has not reacted to a request for test samples.

The lamp is a T5 HO fluorescent tube, specified as 24 watts, 10% UVB and 33% UVA. The lamp was given reference number SW29.



Die Lampe kann an die Decke des Terrariums mit zwei Clips angebracht werden oder direkt auf den Gazedeckel eines Terrariums gelegt werden. Auf dem Reflektor befindet sich ein blauer Schutzfilm, der leicht entfernt werden kann. In den folgenden Fotos ist der Schutzfilm noch vorhanden.

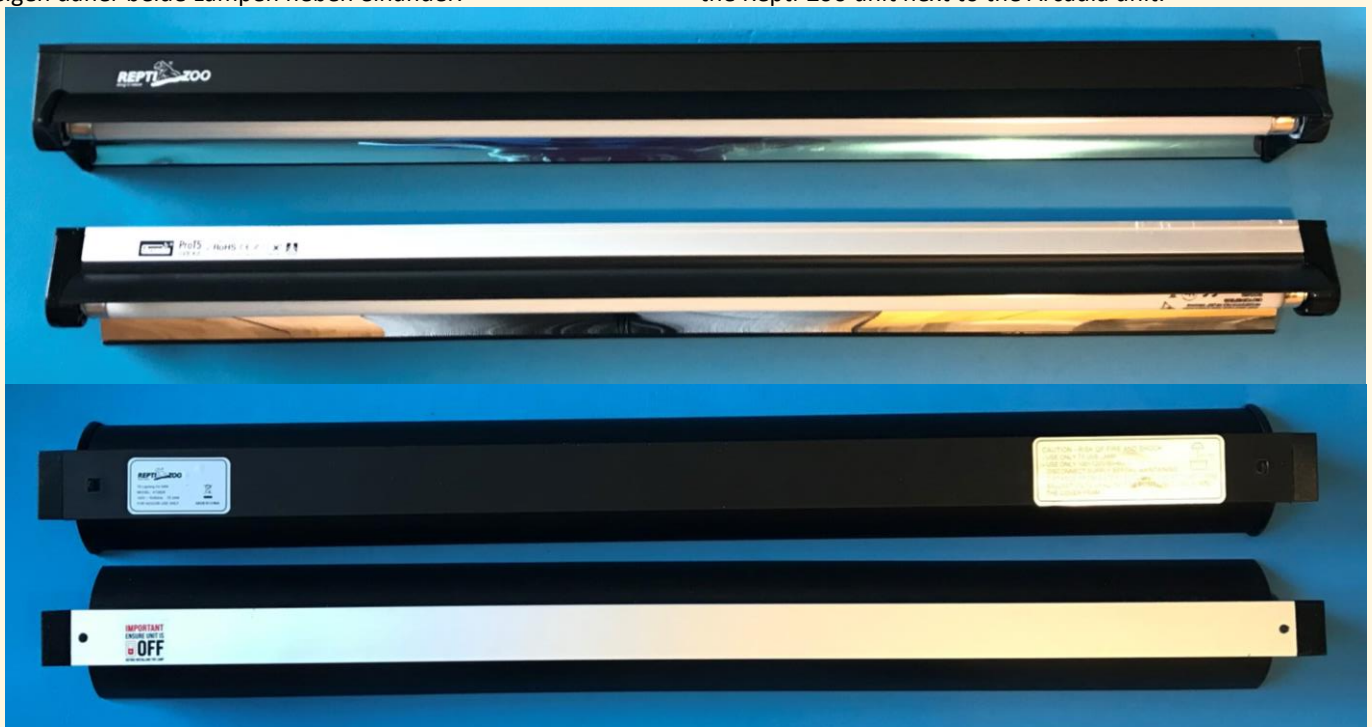
The lamp unit can be attached to the ceiling of a vivarium with two clips or can rest directly on a mesh top. The reflector is covered by a blue protective film that can easily be removed. This blue film is still in place in the following photos.

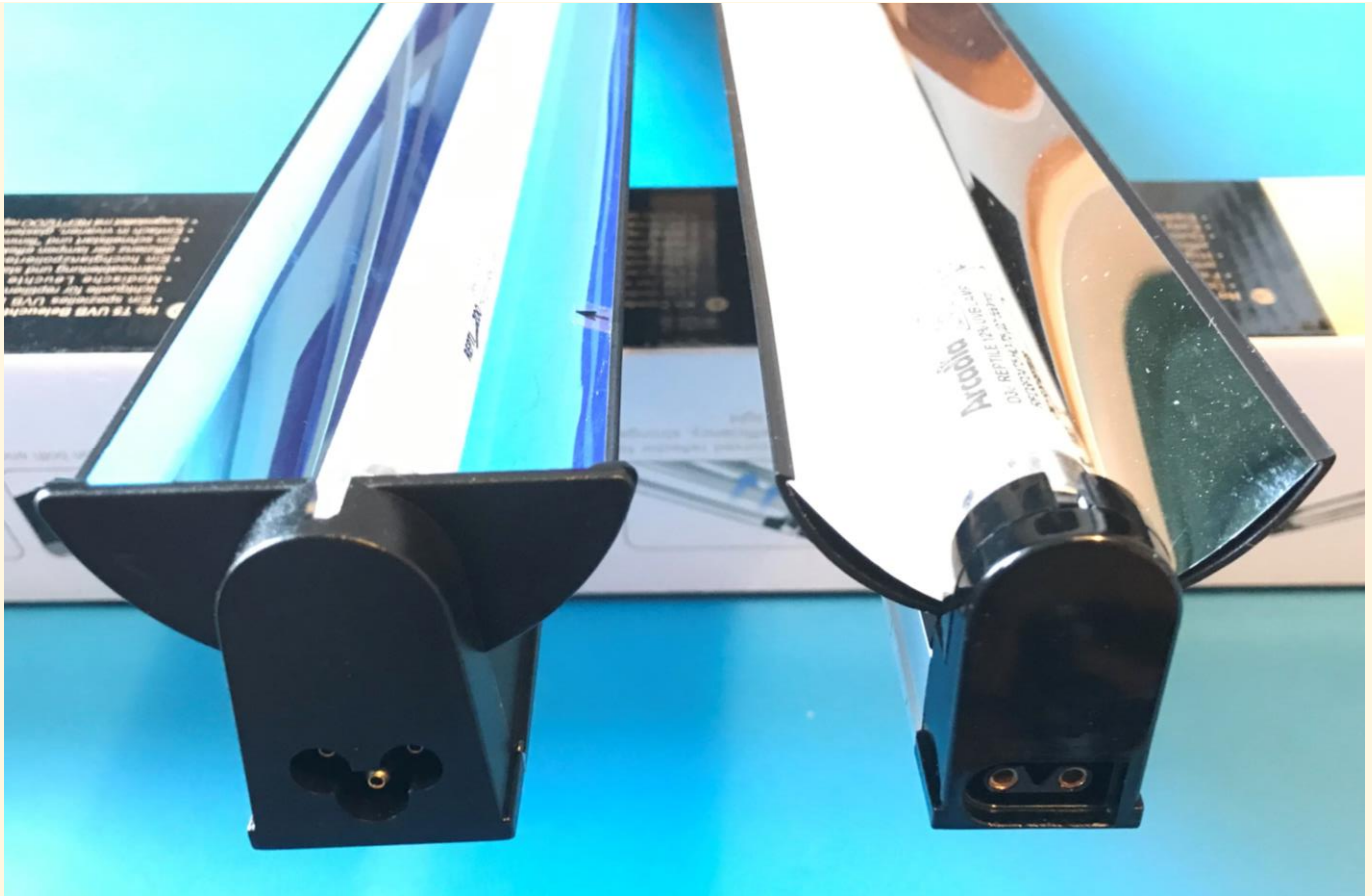




Repti-Zoo ist eine Marke der Dongguan ETAN Pet Supplies Co., Ltd. aus China. Die englische Webseite ist unter <http://www.repti-zoo.com/en/index.php> erreichbar. Die Marke wird aktuell in den USA mehr erhältlich und Fragen zu den Lampen werden häufiger in der „Reptile Lighting“ Facebook-Gruppe gestellt. Speziell die Frage, ob die Lampe und Leuchte vergleich mit der Arcadia Pro T5 sind. Die folgenden Fotos zeigen daher beide Lampen neben einander.

Repti-Zoo is a brand by Dongguan ETAN Pet Supplies Co., Ltd., located in China. Their English website is <http://www.repti-zoo.com/en/index.php>. The brand is becoming more and more available in the USA and questions about their lighting products are arising more often in the “reptile lighting” Facebook group. Especially the question is often asked if the lamp and unit are comparable to the Arcadia Pro T5. The photos therefore show the Repti-Zoo unit next to the Arcadia unit.





2a) Reflektor

Der Reflektor besteht aus einer dünnen Plasticscheibe mit einer reflektierenden Oberfläche. Der Reflektor kann entfernt und ersetzt werden. Ein kleiner Aufkleber dient dazu, den Reflektor anzuheben und zu entfernen. In diesem Fall war der Aufkleber auf der Rückseite, die keinen blauen Schutzfilm hatte.

Reflector

The reflector consists of a thin plastic sheet with reflective coating. It can be removed and replaced. A small sticker is used to remove it from the plastic housing. In my case, the sticker was attached to the back side with no blue protective film.



Obwohl beide Seiten für das bloße Auge nahezu identisch aussehen, reflektiert nur eine von beiden Seiten UV. Es besteht das Risiko, dass die Reflektorfolie falsch herum in das Lampengehäuse eingesetzt wird, entweder vom Anwender oder vom Hersteller. Leuchten mit herstellerseitig falsch herum eingesetztem Reflektor wurden bereits bei anderen Marken entdeckt.

Eine andere von Thomas Griffiths getestete Lampeneinheit hatte den Reflektor in der falschen Richtung eingebaut. Außerdem unterscheiden sich der Schraubensatz, die Farbe der Schutzfolie (blau vs. transparent) und das Verbindungsblockstück in verschiedenen Verpackungen. Insgesamt erweckt dies nicht den Eindruck einer reproduzierbaren Produktionslinie.

Der Bericht von Thomas Griffiths ist hier abrufbar: <https://tomaskas.co.uk/wp-content/uploads/2022/05/t5ho-unit-comparison-v6.24.05.22.pdf>

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 sehr homogen. Es ist leicht bläulich.

4) Temperatur

The temperature of the lamp is measured with a non-contact infrared 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).

Die Leuchte wird nur etwa 40°C warm.

Die Wärmestrahlung der Lampe setzt sich meist aus sichtbarer Strahlung und Infrarotstrahlung zusammen. Sie führt zu einer unterschiedlichen Temperaturerhöhung je nach wie gut die einzelnen Wellenlängen von einem Objekt absorbiert werden. So werden weiße Gegenstände von sichtbarer Wärmestrahlung schlechter erwärmt als schwarze Gegenstände.

Die Wärmestrahlung wird durch Temperaturmessung (Etekcity Lasergrip 1080) an Holzklötzchen (4,5 cm x 2 cm x 0,5 cm) quantifiziert. Die Holzklötzchen sind unbehandelt bzw. matt schwarz oder matt weiß lackiert.

Although both sides of the reflective plastic sheet look almost identical to the naked eye, only one side reflects UV. There is the risk that the reflective sheet is turned in the wrong direction either by the user or by the manufacturer. Lamp units where the reflector sheet has been inserted upside down by the manufacturer have been found in other brands.

Another lamp unit tested by Thomas Griffiths had the reflector in the wrong orientation. Additionally, the set of screws, the colour of the protective film (blue vs. clear), and the joiner block piece different in different packages. Overall, this does not give the impression of a reproducible production line. The report by Thomas Griffiths can be downloaded here: <https://tomaskas.co.uk/wp-content/uploads/2022/05/t5ho-unit-comparison-v6.24.05.22.pdf>

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. The light is slightly blueish.

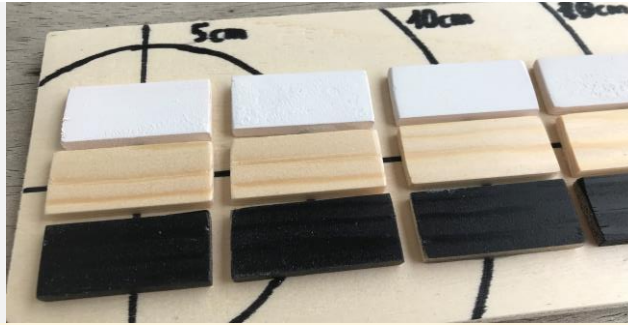
4)Temperature

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).

The lamp unit only heats up to around 40°C.

The radiated heat from a lamp is usually a combination of visible and infrared radiation. Depending on how well the different wavelengths are absorbed by an object, the same radiation leads to a different increase in temperature. White objects are warmed up less by visible heat rays than black objects.

The thermal radiation is quantified by measuring the temperature (Etekcity Lasergrip 1080) of wooden blocks (4.5 cm x 2 cm x 0.5 cm). The wooden blocks are untreated or painted matt black or matt white.



Wie alle Leuchtstofflampen strahlt die Lampe kaum Wärme ab. Es wurde keine Temperaturmessung durchgeführt.

The lamp like all fluorescent lamps does not emit significant heat. No temperature recordings were taken.

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 Leuchte wurde mit einem Spannungswandler betrieben die europäischen 230 V in US-amerikanische 110 V umzuwandeln (auch als Steckeradapter genutzt). Daher wurde kein elektrischer Verbrauch gemessen.

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 lamp was operated on a voltage transformer to convert the European 230V to US-American 110V (also used as plug adapter). Therefore, no power consumption was measured.

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.

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.

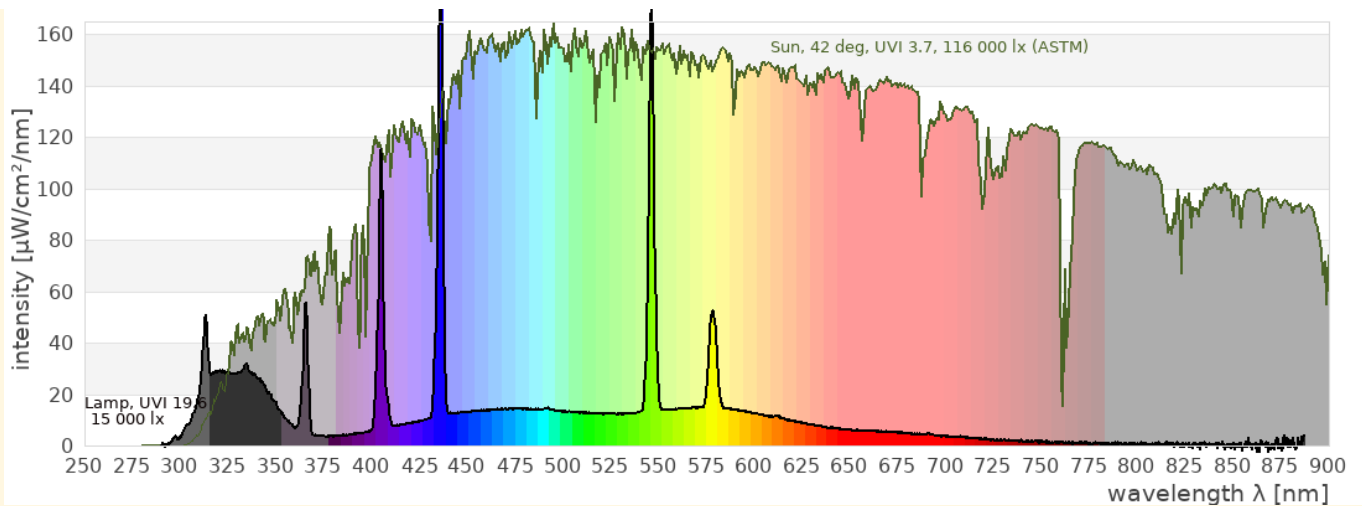
Spectral Measurement

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

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

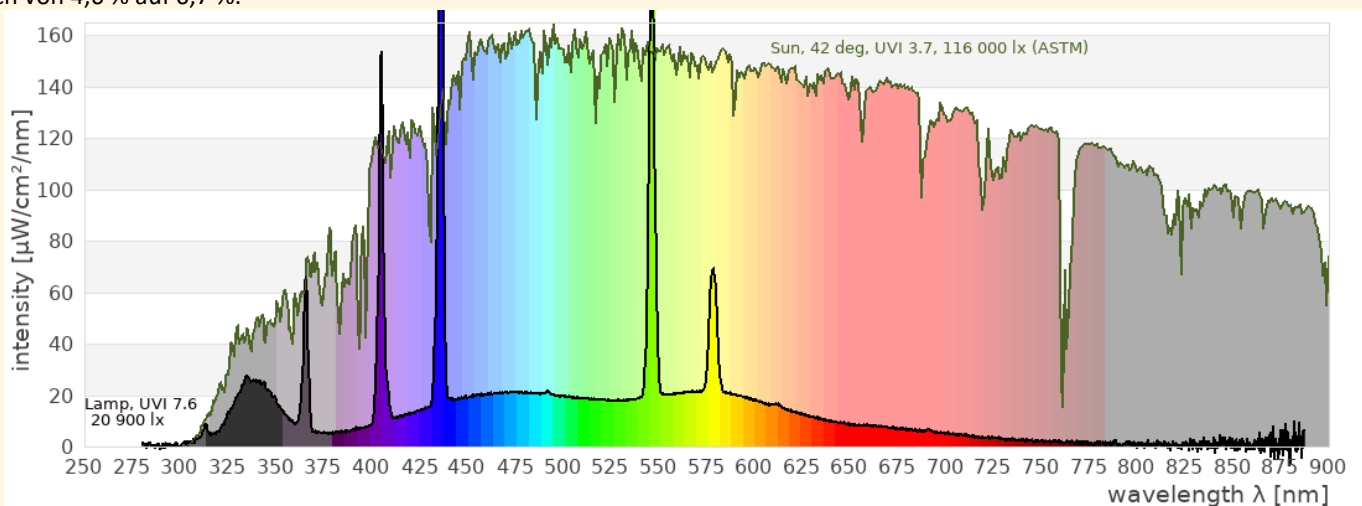
Review of the spectrum

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



Das zweite Spektrum wurde mit der Reflektorfolie in falscher Ausrichtung direkt an der Lampe aufgenommen, wobei das Spektrometer auf den Reflektor gerichtet war, von der Lampe weg. Man sieht deutlich, dass die Menge an UV relativ zur Menge an sichtbarem Licht abnimmt und auch die Höhe der Quecksilber-Emissionslinie bei 313 nm im Vergleich zum Phosphorpeak bei 325 nm viel schwächer wird. UVB reduziert sich von 4,6 % auf 0,7 %.

The second spectrum was recorded with the reflector film in the wrong orientation directly at the lamp with the spectrometer pointing to the reflektor, away from the lamp. You clearly see that the amount of UV relative to the amount of visible light reduces and also the height of the mercury emission line at 313 nm becomes much weaker compared to the phosphor peak at 325 nm. UVB reduces from 4.6% to 0.7%.



	Lamp	#2	ASTM Reference Sun
UVB (280 – 315 nm)	4,6%	0,7%	0,1 %
UVA 1 (315 – 350 nm)	13,7%	7,2%	1,3 %
UVA 2 (350 – 380 nm)	5,2%	4,9%	1,9 %
VIS (380 – 780 nm)	76%	81%	53 %
Full (250 – 880 nm)	100%	100%	100 %
	5 cm		
UV Index	20,1		UVI 3,7
Lux	14 300		116 000 lx

Das Spektrum ist nicht das typische Spektrum aktueller handelsüblicher Leuchtstofflampen mit Dreiband-Leuchtstoff. Der Leuchtstoff hat Ähnlichkeit mit dem älteren Zweiband-Leuchtstoff. Typisch für alle Leuchtstofflampen sind die Quecksilber-Emissionslinien. Die spezifizierten 10 % UVB und 33 % UVA konnten in der Messung nicht reproduziert werden.

The spectrum is not the typical spectrum of current commercial fluorescent lamps with three-band phosphor. The phosphor is similar to the older two-band phosphor. The mercury emission lines are typical for all fluorescent lamps. The specified 10% UVB and 33% UVA could not be reproduced in the measurement.

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.

Spectrum visible to humans

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

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.

Der Farbort des Lichts ist 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.

Das Licht wirkt auf mich bläulich und unangenehm was mit der berechneten hohen Farbtemperatur und dem geringen Farbwiedergabewert übereinstimmt.

(x,y)	(0,29 ; 0,33)
CCT [Kelvin]	7633K
CRI	56,8
R1 (light grayish red)	49,5
R2 (dark grayish yellow)	65,8
R3 (strong yellow green)	68,5
R4 (moderate yellowish green)	62,7
R5 (light buish green)	57,6
R6 (light blue)	48,2
R7 (light violet)	59,9
R8 (light reddish purple)	42,2
R9 (strong red)	-75,
R10 (strong yellow)	12,4
R11 (strong green)	48,8
R12 (strong blue)	43,1
R13 (light yellowish pink, human complexion)	53,1
R14 (moderate olive green)	82,2
R15 (Japanese complexion)	44,5
$DC < 5.4E-3$	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

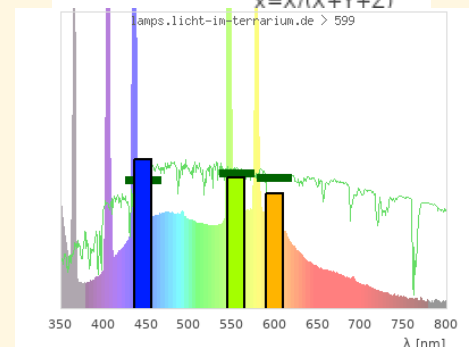
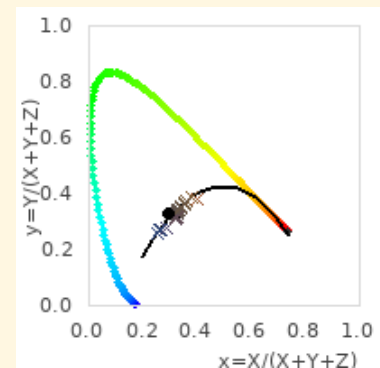
The bar chart indicates the amount of light seen by the three cones in the human eye. For comparison also here the solar spectrum and its action on the three cones is shown.

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 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.

The light gives a blueish slightly unpleasant impression to me, which agrees with the high CCT and low CRI.



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

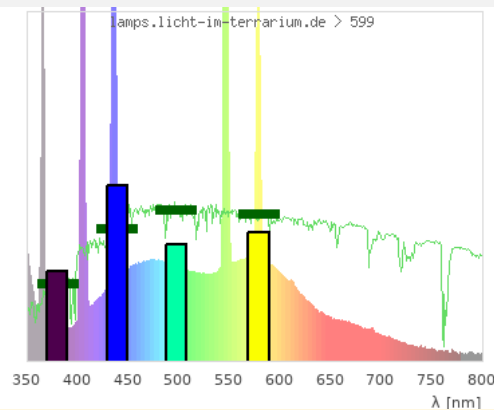
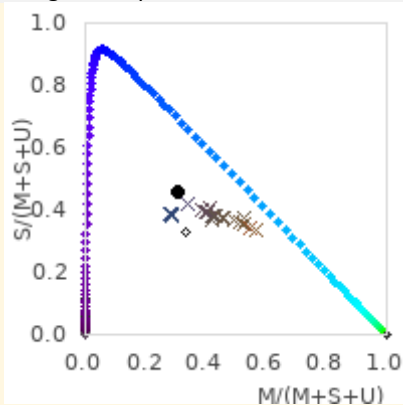
zum Farbsehen von Reptilien. In Grün sind das Spektrum der Sonne und deren Signale auf die Photorezeptoren gezeichnet. Basierend auf den UV-, Blau- und Grün-Rezeptor wird ein Farbraum berechnet analog zum CIE Farbraum des menschlichen Betrachters (siehe 6b). Die farbigen Kreuze kennzeichnen Farborte 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 Farbstick (UVA oder Komplementärfarbe zu UVA). LEDs ohne UVA haben aus Reptiliensicht die gesättigte Komplementärfarbe zu UVA.

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



Aus Reptiliensicht wirkt das Spektrum halbwegs ausbalanciert, so dass das Licht einen weißlichen Eindruck erwecken dürfte.

From a reptile's perspective the spectrum seems to be roughly balanced, likely resulting in whiteish light.

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.

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.

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

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

- Sonnenspektrum bei 20° Sonnenstand (UV-Index 1,0)

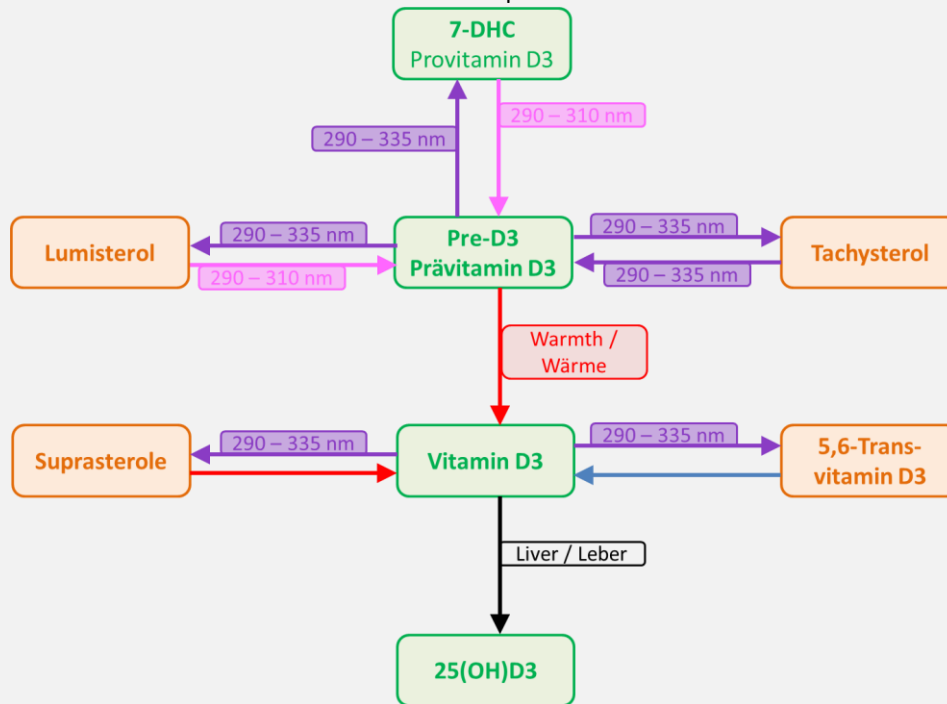
- Solar spectrum for 20° solar altitude (UV index 1.0)

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

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

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

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



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

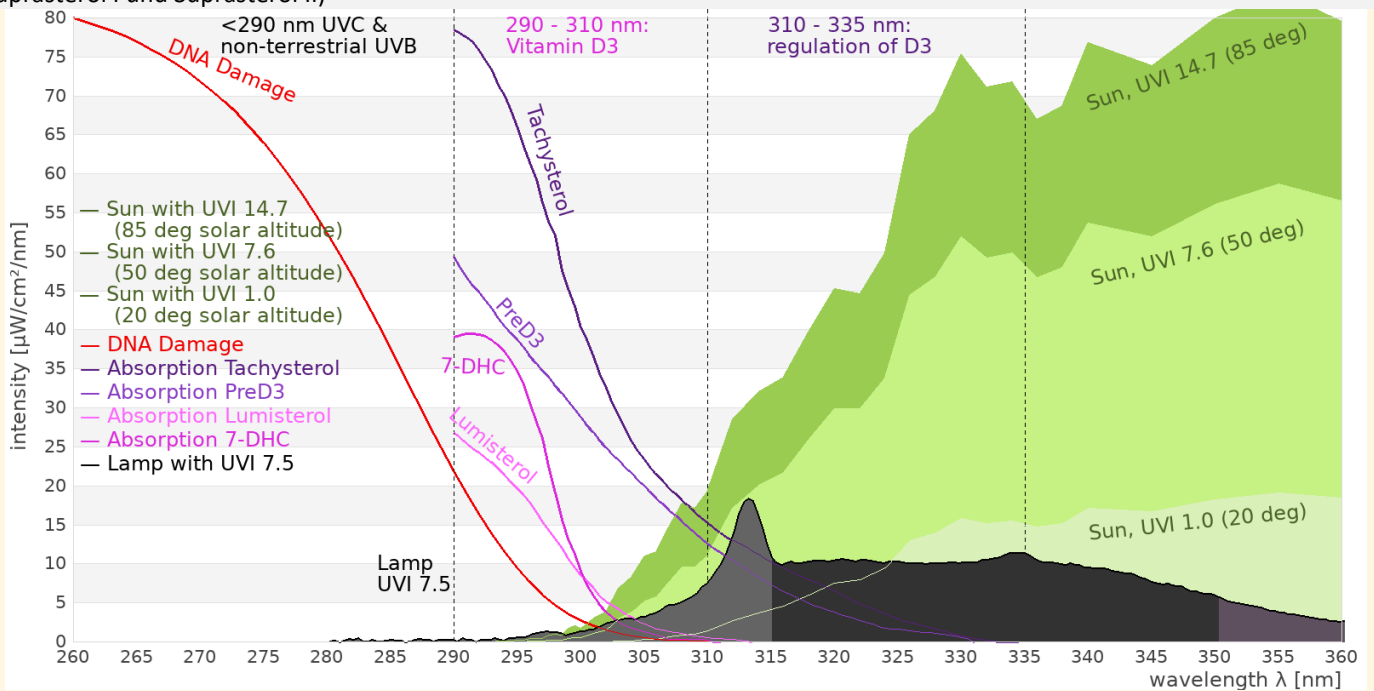
Aber das ist eine starke Vereinfachung. Wie in einem wegweisenden Artikel von MacLaughlin et al. (1982) gezeigt wurde, ist die Bildung von Vitamin D3 ein komplexer Prozess: Vier Photoproducte bilden ein Gleichgewicht, deren Menge von der Form des UV-Spektrums abhängen, das die Haut erreicht. Nur Wellenlängen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

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).

in inerte Moleküle umwandelt (5,6-Trans-Vitamin-D₃,
Suprasterol I und Suprasterol II)



Die Grafik zeigt:

- Die Lampe strahlt kein gefährliches UVC oder nicht-terrestrisches UVB ab.
- Ein Teil der Strahlung ist unterhalb von 300 nm. Das Risiko von DNA-Schädigung ist daher 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 deutlich geringer als bei natürlichem Sonnenlicht. Diese Lampe wird bei gleichem UV-Index wahrscheinlich eine stärkere Vitamin-D₃-Bildung anregen als natürliches Sonnenlicht.

Das UV-Spektrum ist typisch für Reptilien-UV-Lampen, jedoch gibt es andere Lampen, wo das Spektrum stärker dem Spektrum der 50-Grad-Sonne ähnelt. Diese Lampe hat etwas mehr kurzwelliges UVB and weniger UVA als andere Reptilien-UV-Lampen.

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.

The graph shows:

- The lamp does not emit hazardous UVC, or UVB in the non-terrestrial UVB wavelengths.
- A proportion of its output is below 300nm. The risk of DNA damage is therefore greater 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 significantly lower than in natural sunlight. This lamp will likely enable stronger Vitamin D₃ synthesis than natural sunlight at the same UV-index.

The spectrum is typical for reptile UVB lamps, although there are other lamps, where the spectral shape follows the 50-degree-sun better. This lamp has slightly more short-wavelength UVB and less UVA than other reptile UVB lamps.

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.

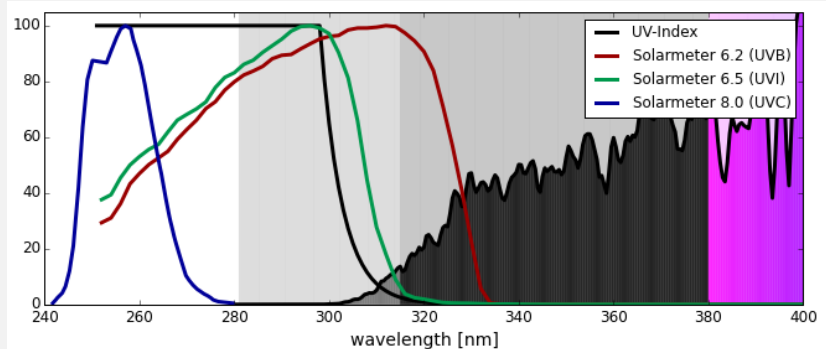
For comparison, direct solar readings only five minutes after sunrise reach 3,000 – 5,000 lux. In clear weather, mid-day direct solar readings of 120,000 to 150,000 lux are often seen.

- 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, Dobbins2016, 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.

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, Dobbins2016, 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.

7a) Maximale Bestrahlungsstärke in verschiedenen Abständen



Maximum irradiance in different distances

Age [h]	40										
Distance [cm]	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	
Luxmeter [lx]	16.271	8.894	5.860	3.889	2.890	2.241	1.469	1.034	760	582	
Solarmeter 6.2 UVB [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]	626	345	218	153	115	88	57	40	29	22	
Solarmeter 6.5 UVI	23	12,7	8	5,6	4,3	3,3	2,2	1,5	1,1	0,8	
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	

Die zweite Tabelle zeigt die Messwerte, nachdem die Reflektorfolie umgedreht wurde (siehe auch 2a). Die Lux-Messwerte sind nahezu unverändert, die UV-Messwerte sind um mehr als einen Faktor 2 reduziert.

The second table shows the readings for after inverting the reflector film (see 2a). The lux readings are almost unchanged, but the UV readings are reduced by more than a factor of 2.

Age [h]	43										
Distance [cm]	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	
Luxmeter [lx]	15.545	7.914	5.323	3.706	2.773	2.158	1.398	986	738	562	
Solarmeter 6.2 UVB [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]	237	124	80	58	44	33	22	16	11	9	
Solarmeter 6.5 UVI	8,5	4,6	3	2,2	1,6	1,2	0,8	0,6	0,4	0,3	
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	

Das Solarmeter 8.0 bestätigt die Messung des Spektrometers: Auch direkt am Glas ist kein UVC messbar.

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

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

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

(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 27, etwas niedriger als für andere UVB Leuchtstofflampen. Das stimmt mit der Spektrometer-Messung überein, wo etwas mehr kurzwellige UVB-Strahlung sichtbar ist.

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.
- 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.

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 27, slightly lower than for other UVB fluorescent lamps. This agrees with the spectrometer measurement, where slightly more short-wavelength UVB is seen.

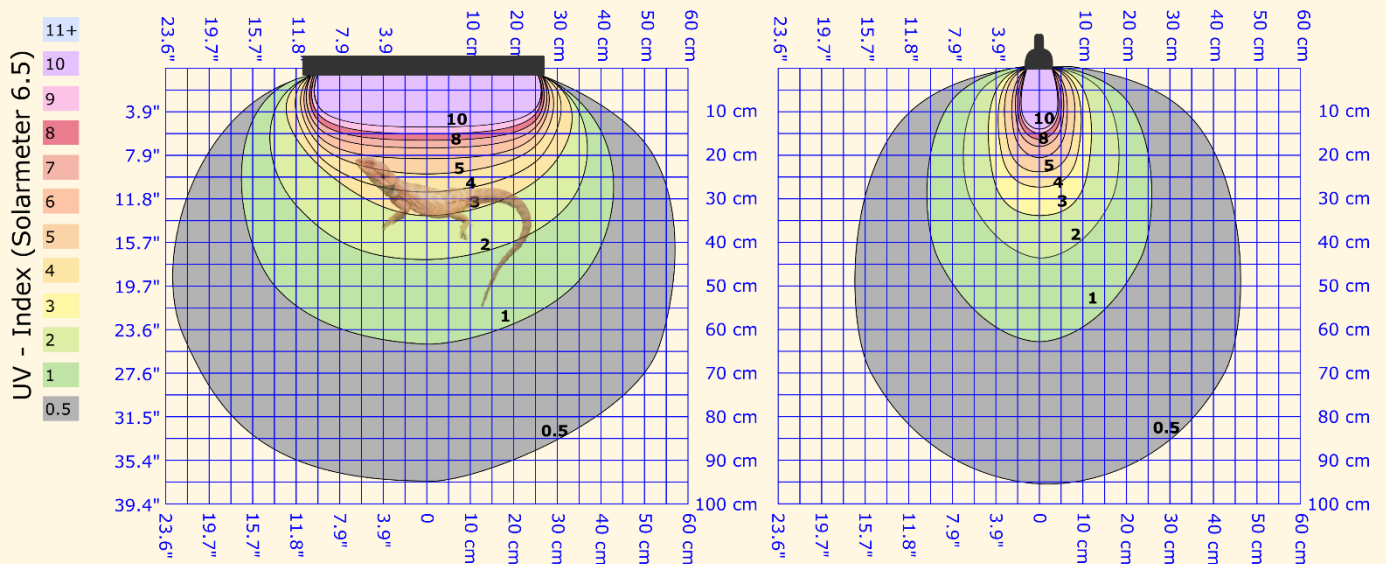
Iso-Irradiance Charts

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 (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.



Repti-Zoo HO T5 Lighting Combo Kit 24 W with Desert UVB Bulb UVB10.0



40 h burn in, 05/2022, ID SW29, © 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.

The spatial distribution is typical for fluorescent lamps. A large basking zone is created.

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. & Brames, H. 2010. Preventive Reptile Medicine and Reptile Lighting. Paper read at 1st International Conference on Reptile and Amphibian Medicine, March 4–7, at München.
- Baines, F. M. (2016) How much UV-B does my reptile need? The UV-Tool, a guide to the selection of UV lighting for reptiles and amphibians in captivity. *Journal of Zoo and Aquarium Research*, 4.
- Barnkob, L. L., Argyraki, A., Petersen, P. M. & Jakobsen, J. (2016) Investigation of the effect of UV-LED exposure conditions on the production of vitamin D in pig skin. *Food Chemistry*, 212 386–391.
- Bernard, J. B., Oftedal, O. T. & Ullrey, D. E. 1996. Idiosyncrasies of Vitamin D Metabolism in the Green Iguana (*Iguana iguana*). Paper read at Comparative Nutrition Society Symposium.
- Cusack, L., Rivera, S., Lock, B., Benboe, D., Brothers, D. & Divers, S. (2017) Effects of a light-emitting diode on the production of cholecalciferol and associated blood parameters in the bearded dragon (*pogona vitticeps*). *Journal of zoo and wildlife medicine*, 48 1120–1126.
- DIN 5031-10: Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik: Photobiologisch wirksame Strahlung, Größen, Kurzzeichen und Wirkungsspektren. Mar 2000. Deutsches Institut für Normung e.V.
- DIRECTIVE 2006/25/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 5 April 2006 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to risks arising from physical agents (artificial optical radiation) (19th individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC).

Literature Cited

- 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., Gehrmann, W. H., Bucklin, S. E., Baines, F. M. & Mackin, S. J. (2009) Voluntary exposure of some western-hemisphere snake and lizard species to ultraviolet-B radiation in the field: how much ultraviolet-B should a lizard or snake receive in captivity? *Zoo Biology*, 28.
- Holick, M. F. (2016) Biological Effects of Sunlight, Ultraviolet Radiation, Visible Light, Infrared Radiation and Vitamin D for Health. *Anticancer Research*, 36 1345–1356.
- Kalajian, T. A., Aldoukhi, A., Veronikis, T.J., Persons, K. & Holick, M. F. (2017) Ultraviolet B Light Emitting Diodes (LEDs) Are More Efficient and Effective in Producing Vitamin D3 in Human Skin Compared to Natural Sunlight. *Scientific Reports*, 7 11489.
- Kelber, A., Vorobyev, M. & Osorio, D. (2003) Animal colour vision - behavioural tests and physiological concepts. *Biological Reviews*, 78 81–118.
- Lindgren, J., Gehrmann, W. H., Ferguson, G. W. & Pinder, J. E. (2008) Measuring Effective Vitamin D3-Producing Ultraviolet B Radiation Using Solartech's Solarmeter® 6.4 Handheld, UVB Radiometer. *Bulletin of the Chicago Herpetological Society*, 43 57–62.
- MacLaughlin, J., Anderson, R. & Holick, M. F. (1982) Spectral character of sunlight modulates photosynthesis of previtamin D3 and its photoisomers in human skin. *Science*, 216 1001–1003.
- Morita, D., Nishida, Y., Higuchi, Y., Seki, T., Ikuta, K., Asano, H. & Ishiguro, N. (2016) Short-range ultraviolet irradiation with LED device effectively increases serum levels of 25(OH)D. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 164 256–263.
- Oonincx, D. G. A. B., Stevens, Y., van den Borne, J. J. G. C., van Leeuwen, J. P. T. M. & Hendriks, W. H. (2010) Effects of vitamin D3 supplementation and UVb exposure on the growth and plasma concentration of vitamin D3 metabolites in juvenile bearded dragons (*Pogona vitticeps*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 156 122–128.
- Setlow, R. B. (1974) The wavelengths in sunlight effective in producing skin cancer: a theoretical analysis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 71 3363–3366.
- Veronikis, A. J., Cevik, M. B., Allen, R. H., Shirvan, A., Sun, A., Persons, K. S. & Holick, M. F. (2020) Evaluation of a Ultraviolet B Light Emitting Diode (LED) for Producing Vitamin D3 in Human Skin. *Anticancer Research*, 7 19–722.
- Wei, Y., Zheng, W., Li, B., Tong, Q., Shi, H. & Li, X. (2020) Effects of B-Wave Ultraviolet Supplementation Using Light-Emitting Diodes on Caged Laying Hens during the Later Phase of the Laying Cycle. *Animals*, 10.
- Guidelines on Limits of Exposure to Broad-Band Incoherent Optical Radiation (0.38 to 3µm). (1997) *Health Physics*, 73 539–554.