

# Test-Report 03/2025

## Reptiles Expert 70 W Flood Zoo version

### 1) Zusammenfassung

- Es handelt sich um eine 70 W PAR38 UV-Metallhalogeniddampflampe, die von einem Reptilienhalter zum Test zur Verfügung gestellt wurde.
- ⊕ Durch den klaren Glaskolben ist die Strahlung sehr ungleichmäßig verteilt. Das ist bereits mit bloßem Auge sichtbar und auch die Wärmestrahlung und UV-Strahlung sind sehr inhomogen. Bei der UV-Strahlung sind z.B. in 30 cm Abstand maximal UVI 8.5 und zentral UVI 2.4 vorhanden. Dadurch besteht gleichzeitig die Gefahr von UV-Verbrennungen und zu wenig UV für eine ausreichende Vitamin D3 Bildung. Ich rate vom Einsatz der Lampe ab.
- ⊕ Das Spektrum der Lampe ist typisch für UV-Metalllampen mit Solarmeter-Verhältnis 32 und nur sehr schwach ausgeprägter Linie bei 297 nm.

1)	Zusammenfassung.....	1
2)	Testanlass.....	2
3)	Beschreibung der Lampe.....	2
4)	Visuelle Lichtverteilung und Flicker.....	3
5)	Temperatur.....	4
6)	Elektrischer Verbrauch.....	6
7)	Spektrale Messung.....	6
7a)	Beurteilung des Gesamtspektrums.....	6
7b)	Für den Menschen sichtbares Spektrum.....	7
7c)	Für Reptilien sichtbares Spektrum.....	8
7d)	UV-Spektrum (Vitamin D3).....	9
7e)	Blaulichtgefährdung.....	11
8)	Intensitätsmessungen.....	12
8a)	Maximale Bestrahlungsstärke in verschiedenen Abständen.....	14
8b)	Solarmeter – Spektrometer – Vergleich.....	15
8c)	Solarmeter-Verhältnis.....	15
8d)	Infrarot-Verhältnisse.....	16
9)	Einschränkungen.....	16
10)	Zitierte Literatur.....	17

### Summary

- It is a 70 W PAR38 UV metal halide lamp that was provided for testing by a reptile owner.
- ⊕ The radiation is very unevenly distributed because of the clear glass bulb. This is visible to the naked eye and the heat radiation and UV radiation are also very inhomogeneous. For example, UV radiation has a maximum of UVI 8.5 at a distance of 30 cm and UVI 2.4 in the center. This means there is a risk of UV burns and too little UV for sufficient vitamin D3 formation. I advise against using the lamp.
- ⊕ The spectrum of the lamp is typical for UV metal halide lamps with a solarmeter ratio of 32 and only a very weak line at 297 nm.

... Summary
... Reason for Test
... 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 – Spectrometer – Comparison
..... Solarmeter Ratio
..... Infrared Ratios
... Limitations
... Literature cited

### 2) Stellungnahme von Reptiles Expert

Das Frontglas der 70 Watt Flood (PAR38) Zoo Version unterscheidet sich vom Frontglas der normalen 70 Watt Flood. Es ist durchlässiger für UVB-Strahlung im Vergleich zur normalen Lampe. Das mattierte Frontglas unterscheidet sich nicht nur durch die höhere UVB-Durchlässigkeit. Die normale Lampe hat ein facettiertes Glas / honigwabeförmige Struktur, die das Licht besser streut. Deshalb sollte die Lampe in Abständen von über 40 oder 50 cm eingesetzt werden. Die Zoos verwenden sie für größere Tiere mit höherem Abstand.

### Response by Reptiles Expert

The front glass of the 70 Watt Flood (PAR38) Zoo version is different from the front glass of the normal 70 Watt Flood. It is more permeable to UVB radiation compared to the normal lamp. The frosted front glass is not only different in terms of its higher UVB permeability. The normal lamp has a faceted glass / honeycomb structure that scatters the light better. Therefore, the lamp should be used at distances of more than 40 or 50 cm. Zoos use it for larger animals at greater distances.

### 3) Testanlass

Eine Reptiles Expert Premium UVB MD-Lampe 70 Watt Flood Zoo Version Lampe wurden von einem Reptilienhalter zur Verfügung gestellt, der die Lampe vor kurzem gekauft hatte. Die Lampe war durch eine sehr inhomogene Strahlungsverteilung aufgefallen. Die Lampe brannte nur wenige Stunden und wurde von den Tieren gemieden.



### Reason for Test

One Reptiles Expert Premium UVB MD-Lampe 70 Watt Flood Zoo Version lamp was supplied by a reptile keeper that bought the lamp recently. The lamp was suspicious due to its very inhomogeneous light distribution. The lamp only burned for a few hours and was avoided by the animals.

### 4) Beschreibung der Lampe

Die Lampe ist eine UV-Metallhalogeniddampflampe mit E27 Sockel und PAR38 Reflektor. Laut Hersteller hat sie 70 Watt, weitere Werte sind auf der Verpackung nicht spezifiziert. Auf der Webseite wird die UVB-Bestrahlungsstärke als  $600 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  in 20 cm Abstand und  $130 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  in 40 cm Abstand angegeben. Die Lampe wird als „extra stark“ durch ein Spezialglas mit höherer UV-Durchlässigkeit beworben.

Die Lampe wird intern (auch in der Messdatenbank) unter der Bezeichnung SW98 ([Link](#)) geführt.

### Lamp Description

The lamp is UV metal halide lamp with E27 socket and PAR38 reflector. It is specified as 70 watts but nor further details are given on the box. On the website the UVB irradiance is given as  $600 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  in 20 cm distance and  $130 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  in 40 cm distance. The lamps are advertised as “extra strong” due to a special glass that is more UV transparent. The lamp was given reference numbers SW98 ([Link](#))





## 5) Visuelle Lichtverteilung und Flicker

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).

Zur Beurteilung des Flickerns der Lampen wird ein Oppl Lightmaster G3 genutzt, das Frequenz, Modulationstiefe und Flickerindex berechnet. Aufgrund der 50 Hz Netzspannung haben alle Lampen eine Intensitätsvariation mit 100 Hz Frequenz. Durch eine geeignete elektronische Schaltung kann die Amplitude dieser Variation minimiert werden. Lampen mit elektronischen Vorschaltgeräten können zusätzlich mit höherer Frequenz flimmern. Bei >90Hz schlägt die IEEE als Grenzwert für den Menschen  $M \leq f \cdot 0.08\%/Hz$  (biologisch unbedenklich) bzw.  $M \leq f \cdot 0.033\%/Hz$  (nicht wahrnehmbar) vor.

Reptilien und Amphibien scheinen nach verschiedenen Studien eine geringere oder ähnlich große Flimmerfusionsfrequenz wie der Mensch zu haben. Ich gehe daher davon aus, dass für die meisten Reptilien die Beurteilung des OpplLightmaster gültig ist. Vögel haben jedoch eine sehr viel höhere Flimmerfusionsfrequenz.

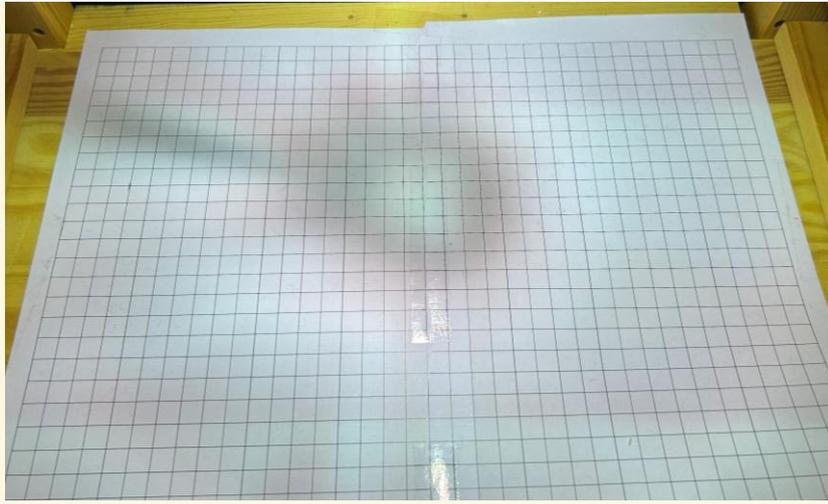
## Visible Light Distribution and Flicker

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).

For flicker evaluation an Oppl Lightmaster G3 is used, which calculates frequency, modulation depth and flicker index. Because of the 50 Hz line voltage frequency all lamps will have intensity fluctuations with 100 Hz frequency. Electronics can be used to minimize the amplitude of this fluctuation. Lamps with electronic ballasts can have an additional intensity fluctuation at higher frequencies. At >90Hz, the IEEE suggests  $M \leq f \cdot 0.08\%/Hz$  (biologically harmless) or  $M \leq f \cdot 0.033\%/Hz$  (imperceptible) as the limit value for humans.

According to various studies, reptiles and amphibians appear to have a lower or similar fibrillation fusion frequency to humans. I therefore assume that the assesment of the OpplLightmaster is valid for most reptiles. However, birds have a much higher flicker fusion frequency.

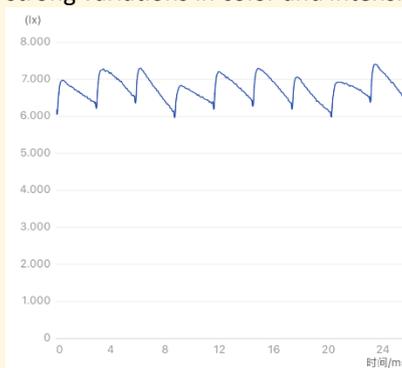
35 cm distance, grid size 1cm



Das sichtbare Licht ist sehr ungleichmäßig verteilt mit starken Helligkeits- und Farbvariationen.

The visible light distribution is very inhomogeneous with strong variations in color and intensity.

CCT	5095K
CRI	51
Flicker Index	0.02
Modulation depth	0.09 %
Frequency	340 Hz

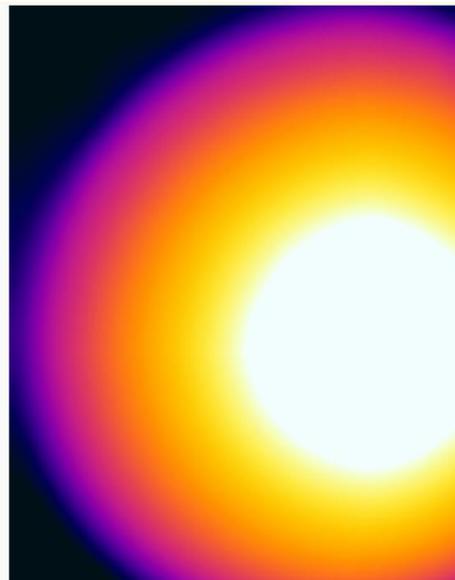
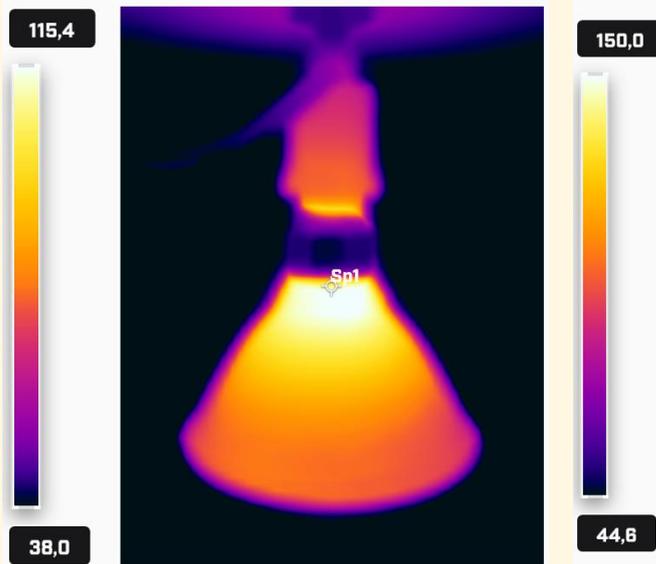


## 6) Temperatur

Die Temperatur der Lampe wird mit einer FLIR ONE Gen3 Wärmebildkamera aufgezeichnet. Diese IR Kamera misst mit 8-14  $\mu\text{m}$  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 Kamera misst bis maximal 120°C mit einer Auflösung von 60 x 80 Pixel.

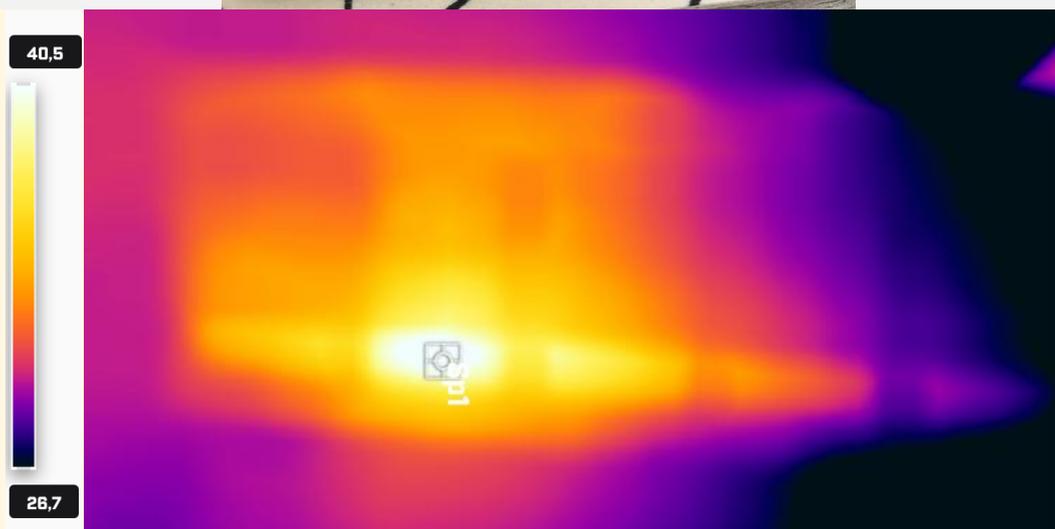
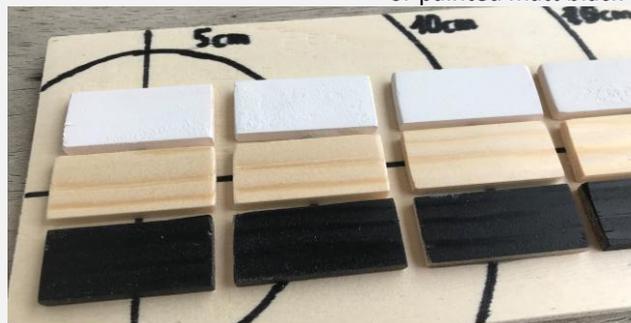
## 6)Temperature

The temperature of the lamp is recorded with a FLIR ONE Gen3 thermal imaging camera. This IR camera measures at 8-14  $\mu\text{m}$  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 camera measures up to 120°C with a resolution of 60 x 80 pixels.



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.

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.



Auf den schwarzen Holzplättchen werden in 33 cm Abstand 40°C erreicht. Allerdings ist die Wärmestrahlung für die Tiere nicht sinnvoll nutzbar, da der UV-Index zentral unter der Lampe nur 2.4 aber maximal 8.5 ist. Auch in der Wärmeverteilung ist die sehr inhomogene Strahlungsverteilung deutlich sichtbar.

The temperature on the black wooden plates reaches 40°C at a distance of 33 cm. However, the heat rays is not useful for the animals, as the UV index in the center under the lamp is only 2.4 but a maximum of 8.5. The very inhomogeneous radiation distribution is also clearly visible in the heat distribution.

## 7) 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.

Spannung / voltage [V]	231
Strom / current [A]	0,34
Leistung / power [W]	77,5
Leistungsfaktor / Power factor	98

## 8) 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.

### 8a) Beurteilung des Gesamtspektrums

Das Spektrum wird relativ 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.

Die Grenzen der Wellenlängenbereiche sind je nach Fachbereich und Land unterschiedlich. DIN 5030 Teil 7 legt die Grenzen 280 – 315 nm (UVB) und 315 – 380 nm (UVA) fest. ISO 21348 definiert abweichend UVA als 315 – 400 nm. In den USA ist 320 nm als Grenze zwischen UVB und UVA gebräuchlicher. Ich werte zusätzlich die zur Regulation der Vitamin-D3-Bildung relevante UVA-Strahlung im Bereich 315 – 335 nm (ähnlich zu UVA2 = 320 – 340 nm) und das für Reptilien sichtbare UVA (je nach Art) etwa im Bereich 350 – 380 nm (ähnlich zu UVA1 = 340 – 400 nm) aus.

## 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.

## 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.

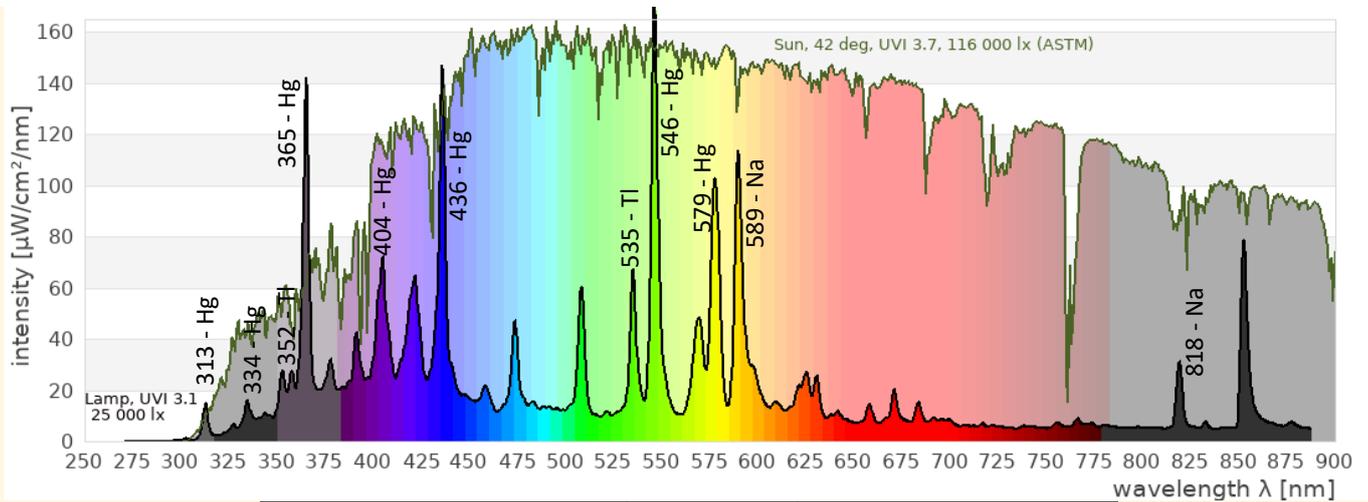
Professional photometric tests include the usage of an integrating sphere (Ulbricht sphere). This is not the case here and can adulterate the results. Without an integrating sphere it is not possible to determine the total luminous flux (lumen).

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. The limits of the wavelength ranges differ depending on the discipline and country. DIN 5030 Part 7 defines the limits 280 - 315 nm (UVB) and 315 - 380 nm (UVA). ISO 21348 defines UVA differently as 315 – 400 nm. In the USA 320 nm is more common as the boundary between UVB and UVA.

I also evaluate the UVA radiation relevant to the regulation of vitamin D3 synthesis in the range 315 - 335 nm (similar to UVA2 = 320 - 340 nm) and the UVA visible to reptiles (depending on the species) in the range 350 - 380 nm (similar to UVA1 = 340 – 400 nm).



	Lamp	ASTM Reference Sun
UVB EU (280 – 315 nm)	0.5 %	0.1 %
UVB USA (280 – 320 nm)	0.6 %	0.2 %
UVA EU (315 – 380 nm)	12 %	4.7 %
UVA USA (320 – 380 nm)	11.9 %	4.6 %
UVA D3 regul. (315 – 335 nm)	1 %	0.9 %
UVA rept. vis. (350 – 380 nm)	9.7 %	2.8 %
VIS (380 – 780 nm)	78.6 %	80,2%
Full (250 – 880 nm)	100 %	100,0%
		(set as 100% for comparison, sunlight has intensity outside that range)
	30 cm	
UV Index	2.6	UVI 3,7
Lux	21 400	116 000 lx

Das Spektrum ist typisch für eine handelsübliche UV-Metallhalogeniddampflampe. Zusätzlich zu den Entladungslinien von Quecksilber (297, 313, 334, 365, 405, 436, 546, und 578 nm) sind Linien von Thallium (532 und 535 nm) und Natrium (589 und 318 nm) sowie weiteren Metallhalogeniden sichtbar.

Vier früher getestete Lampen von Reptiles Expoert ([lamptestreport reptilesexpert metalhalide.pdf](#)) hatten 0,5% UVB (280-315 nm) und 9,4-13,1 % UVA (315-380 nm). Das Frontglas scheint nicht selektiv eine höhere Transmission im UV-Bereich zu haben, transmittiert aber möglicherweise durch die fehlende Strukturierung alle Wellenlängen stärker.

## 8b) 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.

The spectrum is typical for a current commercial UV metal halide lamp. Additionally the emission lines from mercury (297, 313, 334, 365, 405, 436, 546, and 578 nm) the lines from Thallium (532 and 535 nm) and Sodium (589 and 318 nm) as well as other metal halides are visible.

Four lamps previously tested by Reptiles Expoert ([lamptestreport reptilesexpert metalhalide.pdf](#)) had 0.5% UVB (280-315 nm) and 9.4-13.1% UVA (315-380 nm). The front glass does not appear to have a selectively higher transmission in the UV range, but may transmit all wavelengths more strongly due to the lack of structuring.

## 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.

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.

Der Farbwiedergabewert liegt nur bei 60, trotzdem wirkt das Licht auf mich angenehm.

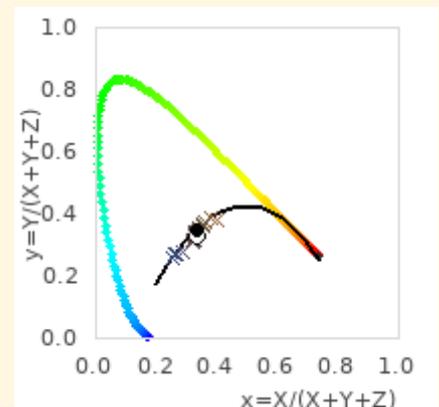
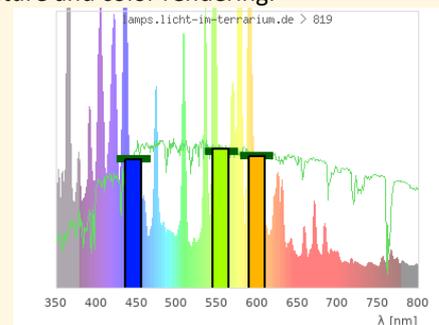
Wegen der großen Inhomogenität der Strahlungsverteilung mit deutlichem Farbverläufen ist das Spektrum bzgl. Farbtemperatur und Farbwiedergabe an einem zentralen Punkt nur bedingt aussagekräftig.

(x,y)	(0,33 ; 0,35)
<b>CCT [Kelvin]</b>	<b>5597K</b>
<b>CRI</b>	<b>60,1</b>
R1 (light grayish red)	52,4
R2 (dark grayish yellow)	69,6
R3 (strong yellow green)	75,8
R4 (moderate yellowish green)	57,8
R5 (light bluish green)	56,5
R6 (light blue)	58,6
R7 (light violet)	72,1
R8 (light reddish purple)	37,9
R9 (strong red)	-102,0
R10 (strong yellow)	24,0
R11 (strong green)	50,7
R12 (strong blue)	44,3
R13 (light yellowish pink, human complexion)	57,2
R14 (moderate olive green)	85,9
R15 (Japanese complexion)	38,4
DC<5.4E-3	true

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.

Although the CRI is only 60, the light appears not unpleasant to me.

Due to the large inhomogeneity of the radiation distribution with clear color gradients, the spectrum at a central point is only partially meaningful with regard to color temperature and color rendering.



### 8c) 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 8b). Die farbigen Kreuze kennzeichnen Farborte von verschiedenen Tageslichtphasen. Der schwarze Punkt zeigt den Farbort der Lampe.

### Spectrum visible to reptiles

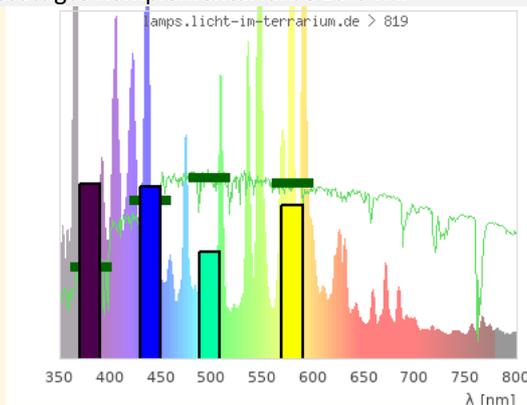
While humans have three photo receptors (blue, green, orange/red), reptiles have three (uva, blue, green) or four (uva, blue, green, red). The colour vision of reptiles therefore differs fundamentally from the colour vision of humans. Especially the UVA range is necessary so that all photo receptors 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 8b). The coloured crosses indicate the colour coordinates of different phases of

Ich glaube, dass diese Adaption des Farbortes mathematisch sinnvoll ist und Farb Räume werden auch in der wissenschaftlichen Forschung zum Farbsehen von Tieren gemacht (Kelber2003), ich habe jedoch noch keine Anwendung auf Lichtquellen in der wissenschaftlichen Literatur gesehen.

Nur sehr wenige Lampen bilden den sichtbaren Spektralbereich für Reptilien sonnenähnlich nach. Das sind manche Metallhalogeniddampflampen ohne UVB und sehr wenige Vollspektrum-Leuchtstofflampen. Die meisten UVB-Metallhalogeniddampflampen haben einen zu hohen UVA-Anteil, die meisten Leuchtstoffröhren einen zu geringen UVA-Anteil. Sie haben aus Reptiliensicht einen Farbstich (UVA oder Komplementärfarbe zu UVA). LEDs ohne UVA haben aus Reptiliensicht die gesättigte Komplementärfarbe zu UVA.

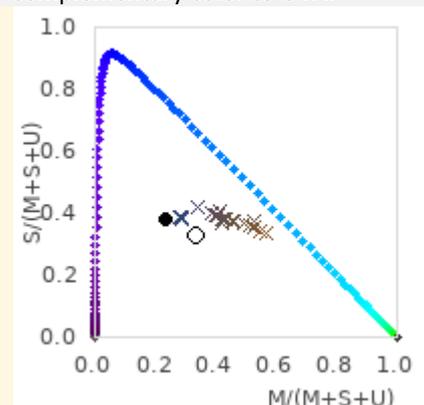


Aus Reptiliensicht wirkt das Spektrum halbwegs ausbalanciert, so dass das Licht einen weißlichen Eindruck erwecken dürfte. Der UVA1-Anteil ist jedoch so hoch, dass das Licht aus Reptiliensicht eine sehr hohe Farbtemperatur haben muss.

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.



From a reptile's perspective the spectrum seems to be roughly balanced, likely resulting in whiteish light. The UVA1 proportion of the spectrum is so strong, that the colour temperature from a reptile's perspective must be very high.

## 8d) UV-Spektrum (Vitamin D3)

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

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

Bei der Bildung von Vitamin D3 in der Haut durch UV-Strahlung findet eine komplexe chemische Gleichgewichtsreaktion statt. In der Haut liegen 7DHC-Moleküle vor. Wenn ein 7DHC-Molekül ein UV-Photon mit kurzer Wellenlänge absorbiert, ändert es seine chemische Struktur und wandelt sich so in preD3 um. In einer

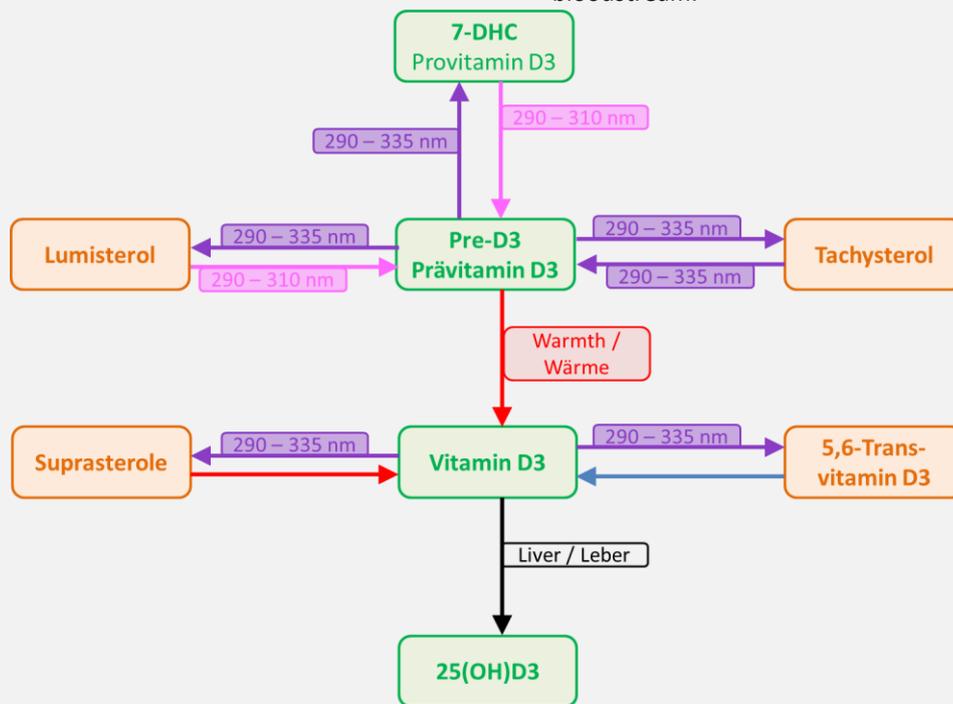
## UV Spectrum (Vitamin D3)

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

When balancing positive and negative effects of UV radiation, to me it seems most sensible to look out for a spectrum that best resembles the solar spectrum. This is based on the assumption that evolution will have optimized the protection strategies 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. A complex chemical equilibrium reaction takes place when vitamin D3 is formed in the skin as a result of UV radiation. 7DHC molecules are present in the skin. When a 7DHC molecule absorbs a short-wavelength UV photon, it changes its chemical structure, turning into preD3. In a

warmen Umgebung wandelt sich das preD3-Molekül mit einer geringen Wahrscheinlichkeit (d.h. nach einiger Zeit) in Vitamin D3 um. Während dieser Zeit kann es aber auch passieren, dass das preD3-Molekül ein weiteres UV-Photon absorbiert und sich dann entweder in 7DHC, Tachysterol oder Lumisterol umwandelt. Wichtig ist, dass preD3 im Gegensatz zu 7DHC auch UV-Photonen mit einer recht großen Wellenlänge bis 335 nm absorbieren kann. Davon gibt es im Sonnenlicht sehr viele. Es ist bei natürlichem Sonnenlicht daher recht unwahrscheinlich, dass ein preD3-Molekül sich in Vitamin-D3 umwandeln kann. Sofern das jedoch gelingt, bindet das Vitamin-D3-Molekül dann an das Vitamin-D3-bindenden Protein (DBP) und wird über den Blutkreislauf abtransportiert.

warm environment, the preD3 molecule converts to vitamin D3 with a low probability (i.e. after some time). However, during this time it can also happen that the preD3 molecule absorbs another UV photon and then converts to either 7DHC, Tachysterol or Lumisterol. It is important that preD3, in contrast to 7DHC, can also absorb UV photons with a larger wavelength of up to 335 nm. There are a lot of them in sunlight. It is therefore quite unlikely that a preD3 molecule can convert into vitamin D3 in natural sunlight. However, if this is successful, the vitamin D3 molecule then binds to the vitamin D3-binding protein (DBP) and is transported away via the bloodstream.



Auch die Lumisterol- und Tachysterol-Moleküle können erneut ein UV-Photon absorbieren und sich zurück in preD3 umwandeln. In der Haut findet somit ein ständiger „Tanz“ der Moleküle zwischen den vier verschiedenen Stadien statt. Nach einiger Zeit bildet sich ein chemisches Gleichgewicht, bei dem die einzelnen Moleküle sich weiterhin ständig umwandeln, die Gesamtzahl der 7DHC/preD3/Lumisterol/Tachysterol-Moleküle aber konstant bleibt. MacLaughlin et al. (1982) haben gezeigt, dass das Spektrum des Sonnenlichts zum Verhältnis 10-20% 7DHC / 15-20% preD3 / 50-60% Lumisterol / 3-6% Tachysterol führt.

The Lumisterol and Tachysterol molecules can also absorb another UV photon and convert back into preD3. In the skin, there is a constant “dance” of the molecules between the four different stages. After some time a chemical equilibrium is formed in which the individual molecules continue to constantly convert, but the total number of 7DHC/preD3/Lumisterol/Tachysterol molecules remains constant. MacLaughlin et al. (1982) showed that the spectrum of sunlight results in the ratio 10-20% 7DHC / 15-20% preD3 / 50-60% Lumisterol / 3-6% Tachysterol. 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.

Die längeren Wellenlängen (310 – 335 nm) begrenzen somit 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.

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). The following graph shows the lamp’s spectrum in comparison to other spectrums:

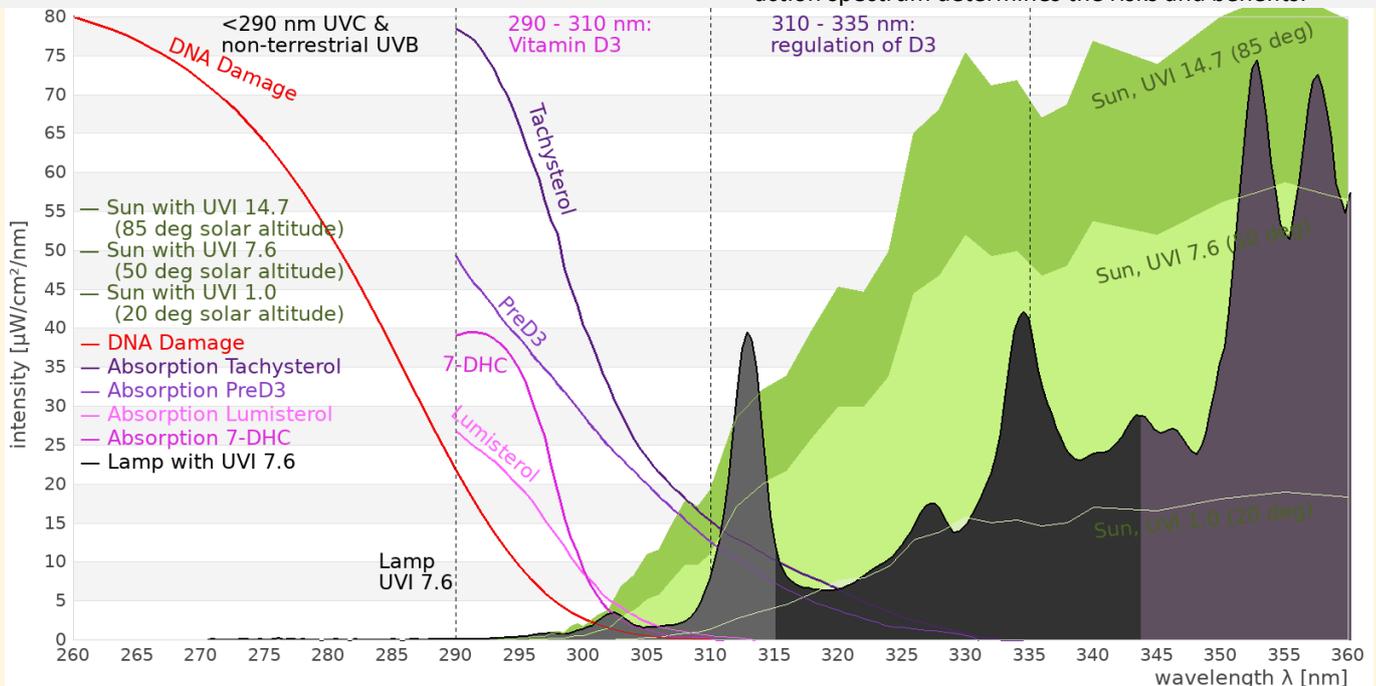
Es gibt darüber hinaus sogar eine Ausfallsicherung, um überschüssiges Vitamin D3 zu entfernen, wenn sich so viel in der Haut ansammelt, dass DBP es nicht mehr entfernen kann. Webb et al. (1989) fanden heraus, dass Wellenlängen bis zu 330 nm das in der Haut verbleibende Vitamin D3 abbauen und in inerte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

- 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.
  - Molare Absorptionsspektren der 4 Moleküle, die an der Vitamin-D3-Bildung beteiligt sind (MacLaughlin1982)
- 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.
  - Molar absorption spectra of the 4 molecules involved in vitamin d3 synthesis (MacLaughlin1982)
- The extent to which each UV spectrum falls under each action spectrum determines the risks and benefits.



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).

Ich halte das Spektrum für geeignet zur naturnahen Vitamin-D3-Synthese im Terrarium.

Anders als bei manchen anderen UV-Metall dampflampen ist die Emissionslinie bei 297 nm nur zu erahnen. Bei der Werbung mit stärker UV-durchlässigem Glas habe ich befürchtet, dass diese stärker unnatürliche Linie, dominanter wäre. Das kann aber von Lampe zu Lampe je nach Glasdicke und Druckverhältnissen der Metalle unterschiedlich sein.

## 8e) 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

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).

I think the spectrum is suitable for natural vitamin D3 synthesis in the terrarium.

Unlike some other UV metal halide lamps, the emission line at 297 nm can only be guessed at. When I saw the advertisement for glass that was more UV-permeable, I was afraid that this more unnatural line would be more dominant. However, this can vary from lamp to lamp depending on the thickness of the glass and the pressure conditions of the metals.

## 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

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.

Der spektral berechnete Wert liegt bei ca.  $90 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  pro 1.000 lux.

$130 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  per 1,000 lux in the shade due to the blue light from the sky. Halogen lights have a ratio of approximately  $25 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  per 1,000 lux.

I consider ratios up to  $100 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  in the context of reptile husbandry as non-problematic. For a full evaluation of the blue light hazards also the luminance must be taken into account, which is not possible with my measurement equipment.

The spectrally calculated value is around  $90 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  per 1,000 lux.

## 9) Intensitätsmessungen

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

Um die Sensoren der unterschiedlichen Messgeräte in derselben definierten Position zur Lampe zu halten, dienen 3D-gedruckte Halterungen für die Messgeräte, die an einer Holzleiste angelegt werden.

## 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.

In order to keep the sensors of the different meters in the same defined position relative to the lamp, 3D-printed holders are used for the meters, which are aligned to a wooden ridge



### Beleuchtungsstärke

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.

### UV-Bestrahlungsstärke

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.

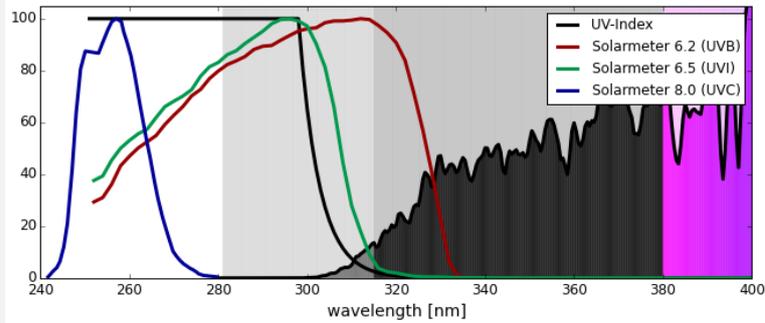
### Illuminance

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.

### UV Irradiance

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**

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.

• **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.

Im März 2023 fand auf der Tagung der British Herpetological Society (BHS) und Advancing Herpetological Husbandry (AHH) ein großer Solarmeter-Vergleich statt (Griffiths & Wunderlich 2023). Die 69 Messgeräte hatten eine Standardabweichung von 12% (310-nm-LED), 16% (Mischlichtlampen), 16% (HQI) und 19% (Leuchtstofflampe). Von 13 Solarmeter UVB-Messgeräten war die Standardabweichung 20%, 18%, 11%, 11%. Meine eigenen Messgeräte messen nahe am Mittelwert.

In March 2023, a major Solarmeter comparison took place at the meeting of the British Herpetological Society (BHS) and Advancing Herpetological Husbandry (AHH) (Griffiths & Wunderlich 2023). The 69 meters had a standard deviation of 12% (310 nm LED), 16% (self-ballasted mercury vapour lamp), 16% (metal halide) and 19% (fluorescent lamp). From 13 Solarmeter UVB meters, the standard deviation was 20%, 18%, 11%, 11%. My own meters read close to the mean.

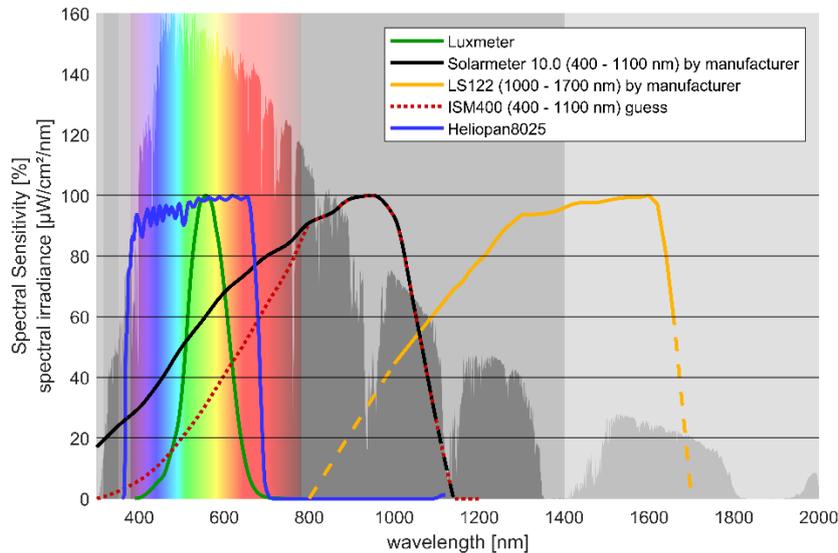
		LED 310 nm	MLR	HQI	Fluorescent
Solarmeter UV-Index	n	69	69	69	69
	my meter	15,1	10,8	5,5	6,4
	std	12%	16%	16%	19%
	mean	16,5	13,1	5,1	7,9
	min	9,5	6,9	4,3	2,0
	max	21,5	20,0	10,4	10,3
Solarmeter $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ UVB	n	13	13	13	13
	my meter	275	183	215	121
	std	20%	18%	11%	11%
	mean	245	170	201	117
	min	165	119	164	98
	max	334	244	240	152

**Infrarotstrahlung**

Infrarotstrahlung führt zusammen mit sichtbarer Strahlung zu einer Temperaturerhöhung. Infrarot-A-Strahlung hat darüber hinaus aber eine Wirkung auf zellulärer Ebene (z.B. Wundheilung) und hat eine besondere Tiefenwirkung, so dass tiefe Gewebsschichten erwärmt werden. Auch hierfür gibt es Messgeräte. Die Interpretation der Messwerte ist jedoch deutlich schwieriger als bei den Messgeräten für Lux, UVI oder UVB: Die Messgeräte sind „Solar Power Messgeräte“, die für das Sonnenlicht einen Wert von etwa 1000  $\text{W}/\text{m}^2$  anzeigen, also den gemessenen Wert im Infrarot umrechnen auf das gesamte Sonnenspektrum. Diese Umrechnung führt natürlich zu völlig bedeutungslosen Zahlen für künstliche Lichtquellen.

**Infrared Radiation**

Infrared radiation, together with visible radiation, leads to an increase in temperature. Infrared A radiation also has an effect on a cellular level (e.g. wound healing) and has a special “heat penetration” effect, so that deep layers of tissue are heated. There are meters for this too. However, interpreting the measured values is much more difficult than with meters for Lux, UVI or UVB: The meters are “solar power meters” that show a value of around 1000  $\text{W}/\text{m}^2$  for sunlight, i.e. convert the measured value in the infrared to the estimated radiation in the entire solar spectrum. Of course, this conversion leads to completely meaningless numbers for artificial light sources.



- **RS PRO Solar Power Meter ISM400:** Misst im Bereich 400 – 1100 nm mit einer maximalen Empfindlichkeit bei ca. 950 nm. Zufällig(!) stimmt der angezeigte Wert bei Glühlampen ungefähr mit dem tatsächlichen IRA-Wert (700 – 1400 nm) überein. Manchmal nutze ich aus den ISM400 Messwert nach einem Filter, der nur sichtbare, aber keine Infrarotstrahlung, transmittiert (heliopan digital UV/IR Sperrfilter).
- **Linshang LS122 Solar Power Meter:** Misst im Bereich 1000 nm - 1700 nm mit einer maximalen Empfindlichkeit bei ca. 1400 nm.

- **RS PRO Solar Power Meter ISM400:** Measures in the range 400 - 1100 nm with a maximum sensitivity at approx. 950 nm. Coincidentally (!) the displayed value for incandescent lamps approximately corresponds to the actual IRA value (700 - 1400 nm). Sometimes I use the ISM400 reading after a filter that only transmits visible radiation but no infrared radiation (heliopan digital UV/IR cutoff filter).
- **Linshang LS122 Solar Power Meter:** Measures in the range 1000 nm - 1700 nm with a maximum sensitivity at approximately 1400 nm.

### 9a) Maximale Bestrahlungsstärke in verschiedenen Abständen

### Maximum irradiance in different distances

Distance [cm]	15	20	25	30	40	50
Luxmeter [lx]	324.000	125.300	41.100	23.300	13.200	9.100
ISM400 [W/m²]	OL	760	255	128	68	45
Solarmeter 10.0 [W/m²]	1.280,0	826,0	276,0	144,0	77,0	53,0
LS122 [W/m²]	1.320	486	175	80	38	26
Solarmeter 6.2 UVB [µW/cm²]	>OL	660	171	79	42	26
Solarmeter 6.2 maximum		804,0		273,0	140,0	
Solarmeter 6.5 UVI	75,7	20,8	5,3	2,4	1,2	0,9
Solarmeter 6.5 maximum		25,2	14	8,5	4,5	
Solarmeter Ratio		31,7	32,3	32,9	35,0	28,9

Die zentral unter Lampe gemessenen Werte sind überraschend gering, insbesondere bei einem Abstand ab 25 cm. Das ist durch die stark inhomogene Strahlungsverteilung verursacht. In 25 cm Abstand ist der Maximalwert (UVI 14) deutlich höher als der zentrale Wert (UVI 5,3).

The values measured centrally under the lamp are surprisingly low, especially at a distance of 25 cm or more. This is caused by the highly inhomogeneous radiation distribution. At a distance of 25 cm, the maximum value (UVI 14) is significantly higher than the central value (UVI 5.3).

Mit den Herstellerangaben (UVB 600 µW/cm² in 20 cm Abstand und 130 µW/cm² in 40 cm Abstand) stimmen die gemessenen Maximalwerte gut überein. Die UV-Strahlung ist für die Tiere nicht nutzbar, da sehr hohe UV-Intensitäten auf sehr kleinen Fläche („Brennpunkte“) zu UV-Verbrennungen führen können und gleichzeitig die gesamte Leistung auf einer größeren Fläche zu gering für eine ausreichende Vitamin-D3-Versorgung sein kann. Ab 40 cm Abstand ist der maximale UV-Index 4.5 und damit für Tiere in Ferguson Zone 3

The measured maximum values agree well with the manufacturer's specifications (UVB 600 µW/cm² at a distance of 20 cm and 130 µW/cm² at a distance of 40 cm). The UV radiation is not usable for the animals because very high UV intensities on a very small area ("focal points") can lead to UV burns and at the same time the total output on a larger area can be too low for an adequate vitamin D3 supply. From a distance of 40 cm onwards, the maximum UV index is 4.5 and is therefore

sicher, der UV-Index außerhalb des "Brennpunktes" aber so gering, dass vermutlich keine ausreichende Vitamin-D3-Bildung möglich ist. Dieses Problem ist typisch für UV-Metallampfen mit einem klaren Glaskolben und kann auch ohne Messgeräte anhand der inhomogenen sichtbaren Lichtverteilung mit bloßem Auge erkannt werden (Abschnitt 5)

safe for animals in Ferguson Zone 3, but the UV index outside the "hot spot" is so low that sufficient vitamin D3 production might not be possible. This problem is typical for UV metal halide lamps with a clear glass bulb and can be recognized with the naked eye even without measuring devices based on the inhomogeneous visible light distribution (section 5)

### 9b) Solarmeter – Spektrometer – Vergleich

Es ist nicht zu erwarten, dass die Solarmeter- und Luxmeter-Messungen exakt mit den effektiven Bestrahlungsstärken übereinstimmen, die aus der spektralen Messung berechnet werden. Dafür gibt es mehrere Gründe: Die Position der Messgeräte unter der Lampe stimmt nicht exakt überein. Die Kosinuskorrektur der Messgeräte, also der Winkelbereich, unter dem sie das Licht der Lampe erkennen, stimmt nicht überein. Es gibt unterschiedliches zufälliges Messrauschen bei jeder Messung. Ein weiterer sehr relevanter Grund ist die spektrale Empfindlichkeit der Solarmeter und des Luxmessgeräts, die nicht exakt mit der gewünschten Kurve für z.B. Lux oder UV-Index übereinstimmt. Abweichungen von weniger als 10% sind für die Qualität der Messgeräte bereits als sehr gut anzusehen. Größere Abweichungen können darauf hindeuten, dass die spektrale Empfindlichkeit der Radiometer nicht gut genug für dieses Lampenspektrum ist.

### Solarmeter – Spectrometer - Comparison

It is not to be expected that the solar meter and lux meter measurements will correspond exactly to the effective irradiance calculated from the spectral measurement. There are several reasons for this: The position of the measuring devices under the lamp does not match exactly. The cosine correction of the meters, i.e. the angle range under which they detect the light from the lamp, does not match. There is different random noise in each measurement. Another very relevant reason is the spectral sensitivity of the Solarmeters and the lux meter, which does not exactly match the desired curve for e.g. lux or UV index. Deviations of less than 10% are considered very good for the quality of the measuring devices. Larger deviations might indicate that the spectral sensitivity of the radiometers is not good enough for this kind of lamp spectrum.

	Lux	UV-Index	UVC
cm			
Spectrometer	21400	2,61	0
Radiometer	23300	2,4	0
Deviation	9%	-8%	✓

### 9c) 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 µW/cm²) durch den Messwert des Solarmeter 6.5 (z.B. UVI 6) geteilt wird.

Natürliches Sonnenlicht hat ein Solarmeter-Verhältnis von ca. 50-60. Leuchtstofflampen mit einem Solarmeter-Verhältnis 25-30 sind häufig und bisher nicht negativ aufgefallen. Auffällige Leuchtstofflampen zeichneten sich durch ein Solarmeter-Verhältnis < 15 aus. Auch UV-HQI-Strahler haben typischerweise Werte um 30. UV-Quecksilberdampflampen haben teilweise niedrige Werte, ohne negativ aufgefallen zu sein.

Aufgrund der Fertigungstoleranzen variieren die Solarmeter-Verhältnisse. Bei meinem Messgeräte-Paar erhalte ich für verschiedene Lampen folgende Werte:

### 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 µW/cm²) by the reading of the Solarmeter 6.5 (e.g. UVI 6).

Natural sunlight has a Solarmeter ratio of 50 to 60. Fluorescent lamps with a Solarmeter ratio of 25-30 are common and have not been associated with negative effects so far. Conspicuous fluorescent lamps were characterized by a Solarmeter ratio < 15. UV-metal-halide lamps also typically have values around 30. UV mercury vapor lamps sometimes have low values without being noticed negatively.

Due to production tolerances the Solarmeter ratios calculated from different meters vary. For my pair of meters I receive the following ratios for various lamps:

Lamp	Solarmeter Ratio
275-nm-LED	7.6
279-nm-LED	7.3
307-nm-LED	11.5
310-nm-LED	17
T5 Arcadia	29
T5 MegaRay Zone3	35
T5 MegaRay Zone2	42
Sunlight	50-60

Das Solarmeter-Verhältnis ist 32. 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.

The Solarmeter ratio is 32. 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.

## 9d) Infrarot-Verhältnisse

Das Verhältnis Lux : ISM400 zeigt an, wie die Strahlung im Bereich 400-800 nm relativ zur Strahlung im Bereich 800 – 1100 nm verteilt ist. Je größer die Zahl, desto stärker ist die Strahlung im sichtbaren Bereich konzentriert.

Auch das Verhältnis von Solarmeter 10.0 zu ISM400 gibt eine Auskunft über das Verhältnis von Strahlung im sichtbaren Bereich und Strahlung im kurzwelligen Infrarot-A-Bereich. Je größer das Verhältnis, desto mehr sichtbare Strahlung ist vorhanden.

Das Verhältnis LS122 : ISM400 zeigt an, wie die Strahlung im Bereich 1000 – 1700 nm relativ zur Strahlung im Bereich 400 – 1100 nm verteilt ist. Je größer die Zahl, desto mehr Strahlung ist im langwelligeren Infrarotbereich.

Referenzwerte für typische Lampen mit sehr unterschiedlichen Infrarotspektren sind:

	LUX : ISM400	SM10.0 : ISM400	LS122 : ISM400
Sonnenlicht / Sunlight	90 – 120	0.99 – 1.03	0.35 – 0.50
White LED	450 – 500	1.5 – 2.0	0.10 – 0.20
Glühlampe / incandescent	8 – 16	0.5 – 0.8	1.0 – 1.4
Carbon Emitter	0.01	0.4	20 – 60
Red/IRA LED (600 – 880 nm)	40	1.6	0.15
Metal Halide	80 – 200	0.9 – 1.0	0.3 – 0.5
Reptiles Expert	180	1.1	0.6

## Infrared-Ratios

The Lux : ISM400 ratio shows how the radiation is distributed in the 400-800 nm range relative to the 800 - 1100 nm range. The larger the number, the more concentrated the radiation is in the visible range.

The ratio of Solarmeter 10.0 to ISM400 also provides information about the ratio of radiation in the visible range and radiation in the short-wave infrared A range. The larger the ratio, the more visible radiation is present.

The ratio LS122 : ISM400 shows how the radiation is distributed in the 1000 - 1700 nm range relative to the 400 - 1100 nm range. The larger the number, the more radiation there is in the longer wavelength infrared range.

Reference values for typical lamps with very different infrared spectra are:

## 10) 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.

## 11) Zitierte Literatur

## Literature Cited

- 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.
- Griffiths, T., Wunderlich, S. 2023 Radiometer Test data review <https://bit.ly/42b2Jdr>
- 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.
- 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.