

# Test-Report 04/2023

## MegaRay UV T5 24W

### 1) Zusammenfassung

- Die MegaRay UV Leuchtstoffröhren Zone 2 und Zone 3 sind zur Vitamin-D3-Versorgung von Reptilien gut geeignet.
- Der UV-Index der Zone3-Röhren ist höher (UVI 7,4 in 30 cm, UVI 1 in 90 cm) als der der Zone-2-Röhren (UVI 6,6 in 20 cm, UVI 1 in 70cm). Alle Angaben beziehen sich auf die Verwendung des Arcadia ProT5 Reflektors.
- Die UV-Indizes stimmen nicht mit der auf der Verpackung abgedruckten Tabelle überein. Die Lampen sind deutlich schwächer als auf der Verpackung angegeben (bei Verwendung des Arcadia ProT5 Reflektors, der allgemein als sehr effizient bekannt ist). Es besteht die Gefahr, dass Halter die Lampen in viel zu großem Abstand verwenden, wenn sie sich auf die Verpackung verlassen.
- Das Spektrum der Zone-2-Röhren hat etwas mehr UV-Strahlung im Bereich um 330 nm und ist damit sonnenähnlicher.
- Das sichtbare Licht der Leuchtstoffröhren ist gering. Die Röhren haben eine sehr gute Farbwiedergabe und bläulichiges Licht mit hoher Farbtemperatur.

### Summary

- The MegaRay UV fluorescent tubes Zone 2 and Zone 3 are well suited for supplying reptiles with vitamin D3.
- The UV index of Zone3 tubes is higher (UVI 7.4 at 30cm, UVI 1 at 90cm) than that of Zone 2 tubes (UVI 6.6 at 20cm, UVI 1 at 70cm). All values relate to the use of the Arcadia ProT5 reflector.
- The UV indices do not match the table printed on the packaging. The lamps are significantly weaker than stated on the packaging (when using the Arcadia ProT5 reflector which is generally known to be very efficient). There is a risk that holders will use the lamps far too far apart if they rely on the packaging.
- The spectrum of Zone 2 tubes has slightly more UV radiation in the range around 330 nm and is therefore closer to sunlight.
- The visible light from the fluorescent tubes is low. The tubes have very good color rendering and bluish light with a high color temperature.

|     |  |    |   |
|-----|--|----|---|
| 1)  | Zusammenfassung .....                                      | 1  | ... Summary                                     |
| 2)  | Testanlass.....  | 1  | ... Reason for Test                             |
| 3)  | Beschreibung der Lampe.....                                | 2  | ... Lamp Description                            |
| 4)  | Visuelle Lichtverteilung.....                              | 4  | ... Visual Light Distribution                   |
| 5)  | Elektrischer Verbrauch.....                                | 5  | ... Power Consumption                           |
| 6)  | Spektrale Messung.....                                     | 5  | ... Spectral Measurement                        |
| 6a) | Variation der Spektren der einzelnen Lampen.....           | 6  | ..... Variation of the individual lamps spectra |
| 6b) | Beurteilung des Gesamtspektrums .....                      | 7  | ..... Review of the spectrum                    |
| 6c) | Für den Menschen sichtbares Spektrum.....                  | 9  | ..... Spectrum visible to humans                |
| 6d) | Für Reptilien sichtbares Spektrum .....                    | 9  | ..... Spectrum visible to reptiles              |
| 6e) | UV-Spektrum (Vitamin D3).....                              | 10 | ..... UV Spectrum (vitamin D3)                  |
| 6f) | Blaulichtgefährdung .....                                  | 13 | ..... Blue Light Hazard                         |
| 7)  | Intensitätsmessungen .....                                 | 14 | ... Intensity Measurements                      |
| 7a) | Maximale Bestrahlungsstärke in verschiedenen Abständen ... | 14 | ..... Maximum irradiance in different distances |
| 7b) | Solarmeter – Spektrometer – Vergleich .....                | 17 | ..... Solarmeter-Spectrometer-Comparison        |
| 7c) | Solarmeter-Verhältnis .....                                | 17 | ..... Solarmeter Ratio                          |
| 7d) | Iso-Bestrahlungsstärke-Karte .....                         | 18 | ..... Iso Irradiance Chart                      |
| 8)  | Einschränkungen.....                                       | 21 | ... Limitations                                 |
| 9)  | Zitierte Literatur .....                                   | 21 | ... Literature cited                            |

### 2) Testanlass

Der Test von 10 MegaRay T5 UV Leuchtstofflampen (5x Zone2, 5x Zone3) wurden von der SP Lighting GmbH (Zoxy-Platz 2 D-09633 Halsbrücke, sp-lighting.de) in Auftrag gegeben. Die Lampen wurden direkt von SP Lighting zur Verfügung gestellt.

Es war auffällig, dass alle Zone-2-Lampen in den Verpackungen der Zone-3-Lampen waren und umgekehrt.

### Reason for Test

The test of 10 MegaRay T5 UV fluorescent lamps (5x Zone2, 5x Zone3) was commissioned by SP Lighting GmbH (Zoxy-Platz 2 D-09633 Halsbrücke, sp-lighting.de). The lamps were provided directly by SP Lighting.

It was noticeable that all Zone 2 lamps were in the boxes of Zone 3 lamps and vice versa.

### 3) Beschreibung der Lampe

Die Lampen werden intern unter den Bezeichnungen SW53, SW54, SW55, SW56, SW57 (Zone2) und SW58, SW59, SW60, SW61, SW62 (Zone3) geführt.

Die Tabelle listet einen Teil der Parameter laut Verpackung auf. Es ist auffällig, dass die empfohlenen Abstände für Zone 2 und Zone 3 identisch sind. Ein Austausch der Röhren nach 8-12 Monaten wird empfohlen.

### Lamp Description

The lamps were given reference numbers SW53, SW54, SW55, SW56, SW57 (Zone2) and SW58, SW59, SW60, SW61, SW62 (Zone3).

The table lists part of the parameters according to the packaging. It is noticeable that the recommended distances for zone 2 and zone 3 are identical. UV lamps in Annex III, 3c.

|                             | Zone 2       | Zone 3       |
|-----------------------------|--------------|--------------|
| Colour Temperature (Kelvin) | 9 000        | 9 000        |
| Colour Rendering Index      | > 90         | > 90         |
| UVI max                     | 1.4 – 3.0    | 3.0 – 7.4    |
| Danger (UV 10 – 20)         | 60 – 75 cm   | 60 – 75 cm   |
| Zone 4 (UVI 7.4-8.4)        | 80 – 85 cm   | 80 – 85 cm   |
| Zone 3 (UVI 3-7.4)          | 90 – 100 cm  | 90 – 100 cm  |
| Zone 2 (UVI 1.4-3.0)        | 105 – 125 cm | 105 – 125 cm |
| Zone 1 (UVI 0 – 1.4)        | 130 – 145 cm | 130 – 145 cm |





**24 W**  
550 mm

**FERGUSON ZONE 3**

**UV-LEUCHTSTOFFLAMPE – UV FLUORESCENT LAMP – 24W**

**FERGUSON ZONE 3**

**UVI max.**

**24 W**  
550 mm

**UVI max. 3.0-7.4**

**FERGUSON ZONE 3**

**Consider the correct UVI for your reptile species.**

**UVI**

**10-20**

**ZONE 4**  
UVI max. 7.4-8.4  
Sonneneinstrahlung „Mid-Day“ open sun/baskers

**ZONE 3**  
UVI max. 3.0-6.0  
Vollschatten/teilweise Halbschatten  
Open or partial sun/basker

**ZONE 2**  
UVI max. 1.4-3.0  
Gelegentliche Halbschatten/Sonner  
Partial sun or occasional basker

**ZONE 1**  
UVI max. 0-1.4  
Nacht- oder dämmerungspassiv  
Schatten/ohne tropischer or shade/avoider

**SUNBATH METHOD**

**DISTANCE from lamp\***

| inch | cm  |
|------|-----|
| 24   | 60  |
| 26   | 65  |
| 28   | 70  |
| 30   | 75  |
| 32   | 80  |
| 34   | 85  |
| 36   | 90  |
| 38   | 95  |
| 40   | 100 |
| 42   | 105 |
| 44   | 110 |
| 46   | 115 |
| 48   | 120 |
| 50   | 125 |
| 52   | 130 |
| 54   | 135 |
| 56   | 140 |
| 58   | 145 |

**Features:**  
- excellent high colour rendering optimized for the synthesis of vitamin D3  
- strengthens the bone structure please take care to build also shady spots for the animals

**Las lámparas fluorescentes Mega-Ray TS UVB están diseñadas para los más altos requisitos en iluminación de reptiles y para uso en luces con balastos electrónicos. Tenga en cuenta los requisitos técnicos de los dispositivos. Para la buena salud de los animales, recomendamos reemplazar las lámparas regularmente después de 8 a 12 meses de uso normal.**

**Características:**  
- excelente reproducción cromática optimizado para la síntesis de vitamina D3  
- fortalece la estructura ósea tenga cuidado de construir también lugares con sombra para los animales

**Special Lamp for terraria. Not suitable for household room illumination.**

**Speziallampe für Terrarien. Nicht für Raumbeleuchtung im Haushalt geeignet.**

**FOR REPTILES ONLY**

**BURNING POSITION ± 90°**

**Electrical Data:**  
Lamp Base: G5  
UVA+UVB: >2 mW/Klm  
Colour Temp (K): 9,000  
Colour Rendering Index (Ra) > 90

**ALWAYS CHECK BASKING AREA UV AND TEMPERATURES**

**24 W**  
550 mm

**FERGUSON ZONE 2**

**UV-LEUCHTSTOFFLAMPE – UV FLUORESCENT LAMP – 24W**

**FERGUSON ZONE 2**

**UVI max.**

**24 W**  
550 mm

**UVI max. 1.4-3.0**

**FERGUSON ZONE 2**

**Consider the correct UVI for your reptile species.**

**UVI**

**10-20**

**ZONE 4**  
UVI max. 7.4-8.4  
Sonneneinstrahlung „Mid-Day“ open sun/baskers

**ZONE 3**  
UVI max. 3.0-6.0  
Vollschatten/teilweise Halbschatten  
Open or partial sun/basker

**ZONE 2**  
UVI max. 1.4-3.0  
Gelegentliche Halbschatten/Sonner  
Partial sun or occasional basker

**ZONE 1**  
UVI max. 0-1.4  
Nacht- oder dämmerungspassiv  
Schatten/ohne tropischer or shade/avoider

**SUNBATH METHOD**

**DISTANCE from lamp\***

| inch | cm  |
|------|-----|
| 24   | 60  |
| 26   | 65  |
| 28   | 70  |
| 30   | 75  |
| 32   | 80  |
| 34   | 85  |
| 36   | 90  |
| 38   | 95  |
| 40   | 100 |
| 42   | 105 |
| 44   | 110 |
| 46   | 115 |
| 48   | 120 |
| 50   | 125 |
| 52   | 130 |
| 54   | 135 |
| 56   | 140 |
| 58   | 145 |

**Features:**  
- excellent high colour rendering optimized for the synthesis of vitamin D3  
- strengthens the bone structure please take care to build also shady spots for the animals

**Las lámparas fluorescentes Mega-Ray TS UVB están diseñadas para los más altos requisitos en iluminación de reptiles y para uso en luces con balastos electrónicos. Tenga en cuenta los requisitos técnicos de los dispositivos. Para la buena salud de los animales, recomendamos reemplazar las lámparas regularmente después de 8 a 12 meses de uso normal.**

**Características:**  
- excelente reproducción cromática optimizado para la síntesis de vitamina D3  
- fortalece la estructura ósea tenga cuidado de construir también lugares con sombra para los animales

**Special Lamp for terraria. Not suitable for household room illumination.**

**Speziallampe für Terrarien. Nicht für Raumbeleuchtung im Haushalt geeignet.**

**FOR REPTILES ONLY**

**BURNING POSITION ± 360°**

**Electrical Data:**  
Lamp Base: G5  
UVA+UVB: >2 mW/Klm  
Colour Temp (K): 9,000  
Colour Rendering Index (Ra) > 90

**ALWAYS CHECK BASKING AREA UV AND TEMPERATURES**

Auf den Zone-2-Röhren ist auf einer Seite „MegaRay 22“/549mm T5 24W 6.0; MADE IN GERMANY; Warning. UVB Radiation – for Reptile Use Only; UVB Zone2 RG2; CE Hg” aufgedruckt sowie ein Feld in dem das Datum der ersten

The Zone 2 tubes have "MegaRay 22"/549mm T5 24W 6.0; MADE IN GERMANY; Warning. UVB Radiation - for Reptile Use Only; UVB Zone2 RG2; CE Hg” on one side and a field in which the date of first use can be entered. On the same side there is also the imprint "II V []; 24W 22".



Verwendung eingetragen werden kann. Auf der gleichen Seite befindet sich auch der Aufdruck „II V []; 24W Z2“.

Auf den Zone-3-Röhren ist auf einer Seite „MegaRay 22“/549mm T5 24W 12.0; MADE IN GERMANY; Warning. UVB Radiation – for Reptile Use Only; UVB Zone3 RG2; CE Hg“ aufgedruckt sowie ein Feld in dem das Datum der ersten Verwendung eingetragen werden kann. Auf der gleichen Seite befindet sich auch der Aufdruck „II V []; 24W Z3“.

Auf der anderen Seite befindet sich bei allen Röhren eine zweistellige Zahl, eine Buchstaben-Zahl-Kombi sowie eine weitere zweistellige Zahl, die auf den meisten Röhren aber alle schlecht lesbar sind.

The Zone 3 tubes have "MegaRay 22"/549mm T5 24W 12.0; MADE IN GERMANY; Warning. UVB Radiation - for Reptile Use Only; UVB Zone3 RG3; CE Hg" on one side and a field in which the date of first use can be entered. On the same side there is also the imprint 'II V []; 24W Z3".

On the other side, all tubes have a two-digit number, a combination of letters and numbers, and another two-digit number, but these are all difficult to read on most tubes.



#### 4) Visuelle Lichtverteilung

Die Verteilung der sichtbaren Strahlung wird mit einem Foto einer weißen, beleuchteten Fläche visualisiert. Falls

#### Visible Light Distribution

The distribution of visible light is visualized by a photo of a white illuminated area. If difference between visible and UVA

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 – typisch für Leuchtstofflampen – sehr gleichmäßig verteilt.

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).

As is typical for fluorescent lamps, the visible light is very evenly distributed.

## 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 Lampe wurde in einer Arcadia Pro T5 Betriebseinheit betrieben. Diese bestimmt auch den Stromverbrauch.

## 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 in an Arcadia Pro T5 unit. This also determines the power consumption.

|                                |      |
|--------------------------------|------|
| Spannung / voltage [V]         | 236  |
| Leistung / power [W]           | 0,1  |
| Strom / current [A]            | 23,4 |
| Leistungsfaktor / Power factor | 99   |

## 6) Spektrale Messung

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

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

## Spectral Measurement

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

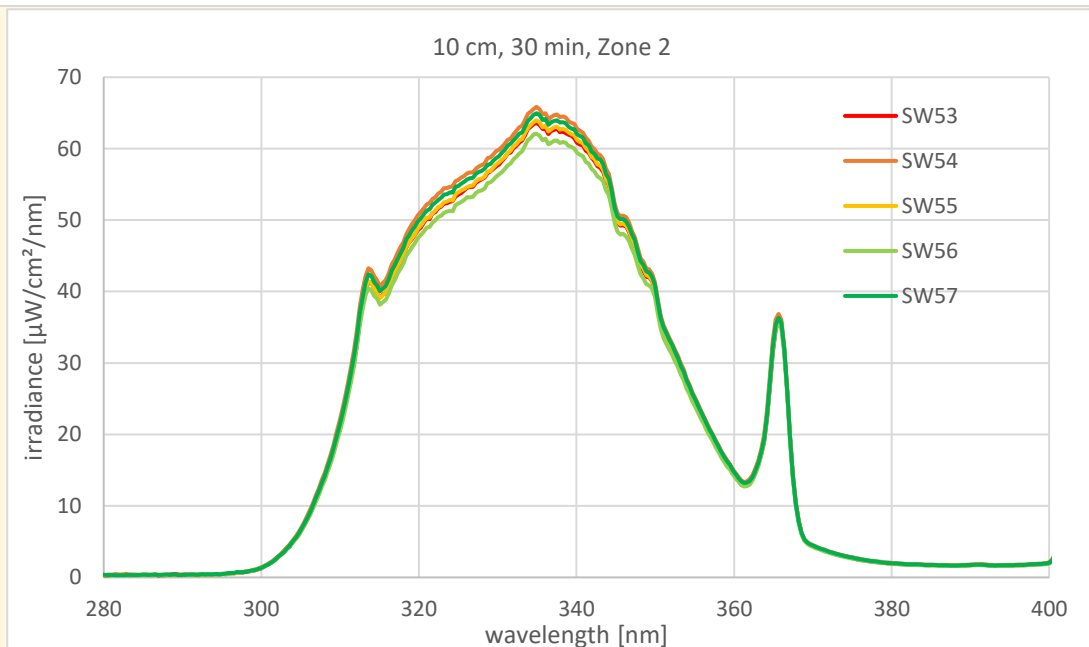
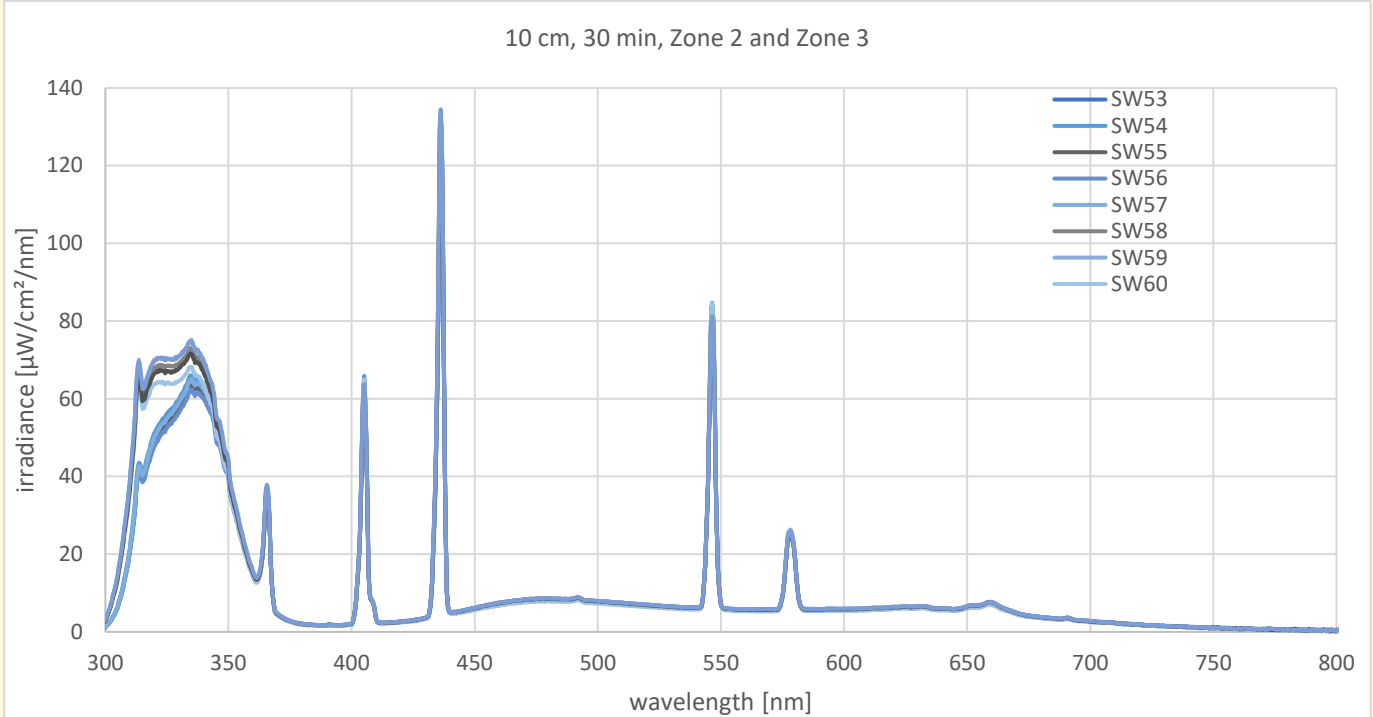
Professional photometric tests include the usage of an integrating sphere (Ulbricht sphere). This is not the case here and can adulterate the results. Without an integrating sphere it is not possible to determine the total luminous flux (lumen). The spectral measurements are taken in an individual distance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

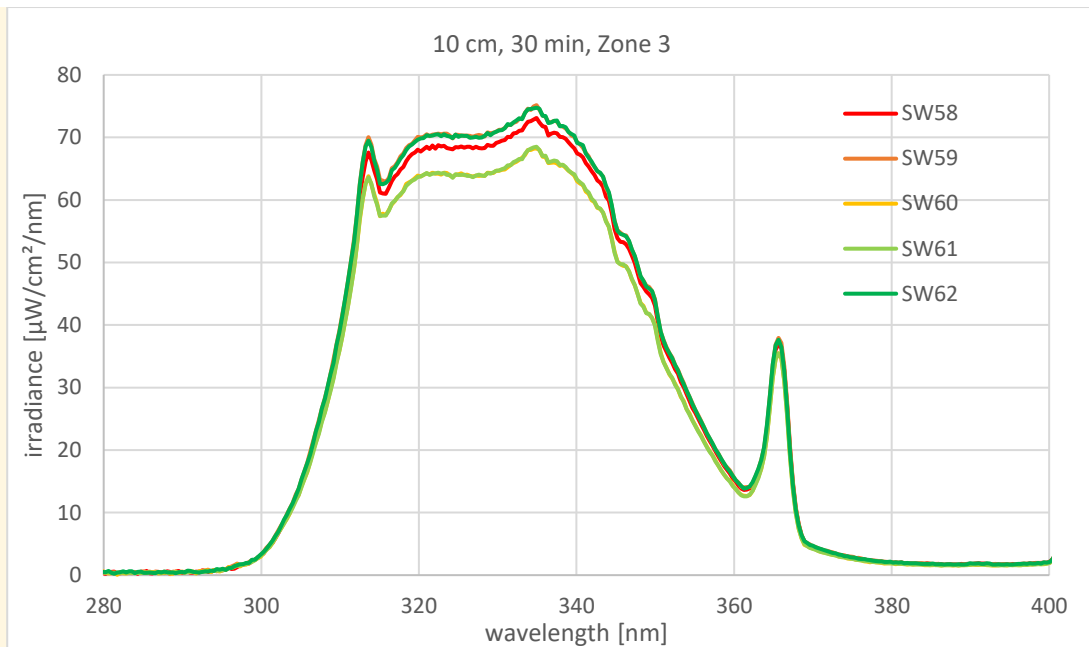
## 6a) Variation der Spektren der einzelnen Lampen

Alle Lampen wurden nach 30 Minuten Einbrenndauer im Abstand von 10 cm getestet um die Variation der Lampen zu ermitteln. Siehe dazu auch 7a). Das Spektrum im sichtbaren Bereich ist bei allen Lampen identisch und hat auch nahezu keine Intensitätsschwankungen. Die Form der Spektren im UV ist nahezu identisch mit sehr geringen Intensitätsschwankungen.

## Variation of the spectra of the individual lamps

All lamps were tested after 30 minutes burn-in at a distance of 10 cm to determine the variation of the lamps. See also 7a). The spectrum in the visible range is identical for all lamps and has almost no intensity fluctuations. The shape of the spectra in the UV is almost identical with very small intensity fluctuations.





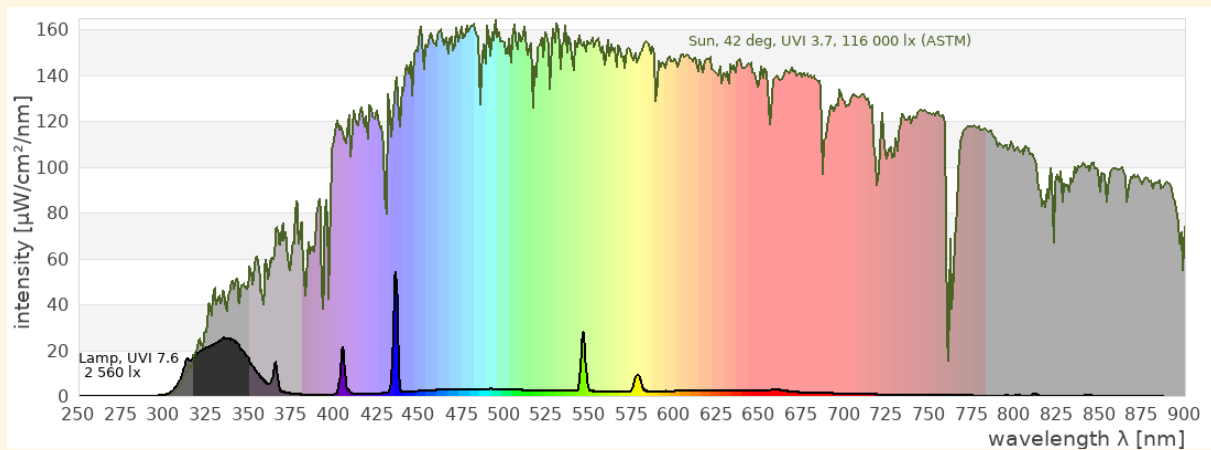
### 6b) Beurteilung des Gesamtspektrums

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.

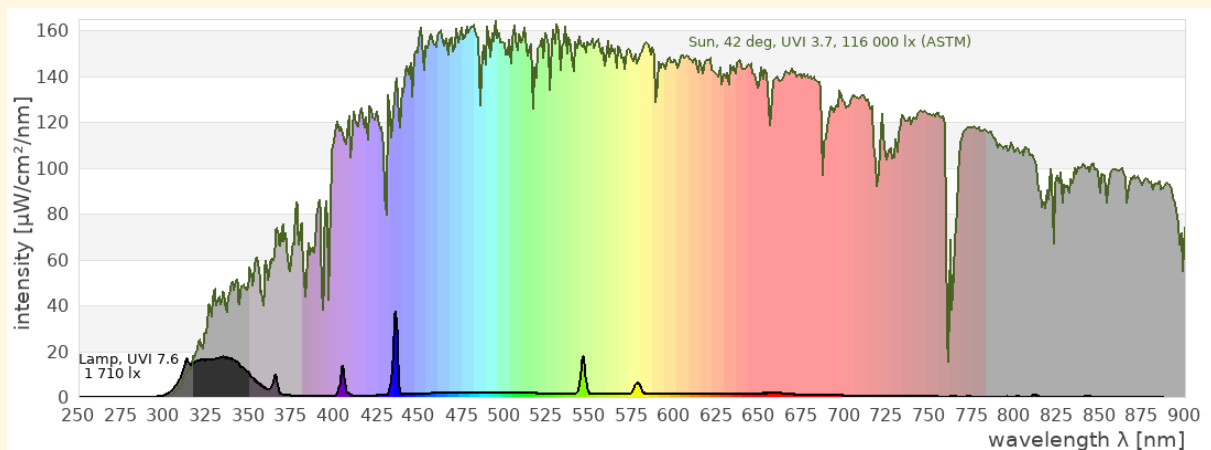
### Review of the spectrum

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.

SW53 (Zone 2)



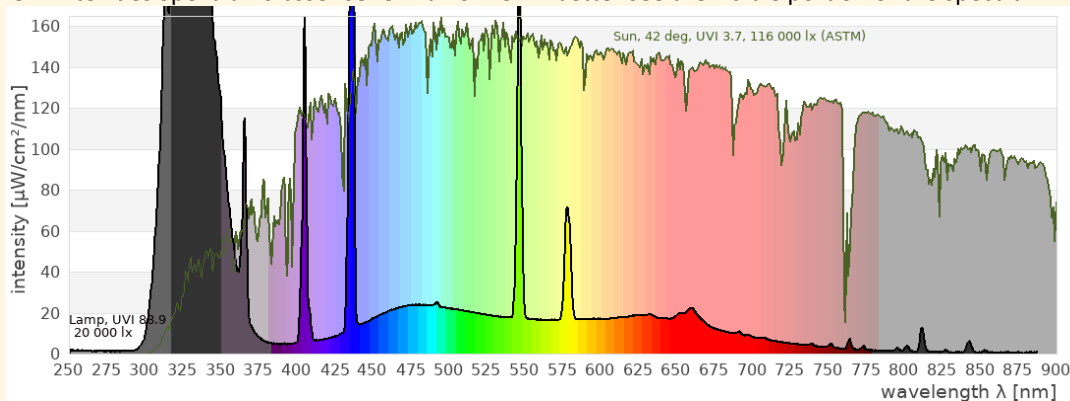
SW58 (Zone 3)



|                          | Zone 2                | Zone 3                | ASTM Reference Sun    |
|--------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| UVB (280 – 315 nm)       | 4,8%                  | 7,4%                  | 0,1 %                 |
| UVA 1 (315 – 350 nm)     | 20,1%                 | 22,0%                 | 1,3 %                 |
| UVA 2 (350 – 380 nm)     | 8,7%                  | 7,9%                  | 1,9 %                 |
| VIS (380 – 780 nm)       | 20,1%                 | 22,0%                 | 53 %                  |
| Full (250 – 880 nm)      | 100%                  | 100%                  | 100 %                 |
|                          | 10 cm                 | 10 cm                 |                       |
| UV Index                 | 18.1                  | 27.9                  | UVI 3.7               |
| Lux                      | 6080                  | 6290                  | 116 000 lx            |
| UVA + UVB (280 – 380 nm) | 24.7 W/m <sup>2</sup> | 28.6 W/m <sup>2</sup> | 32.3 W/m <sup>2</sup> |

In den obigen Diagrammen sieht es so aus, als hätte die Zone-2-Lampe mehr UV-Strahlung als die Zone-3-Lampe. Das liegt aber daran, dass beide Spektren auf den UV-Index 7,6 skaliert sind. Da das Spektrum der Zone 3 in diesem Sinne „stärker“ ist, braucht diese Lampe weniger Intensität, um den gleichen UV-Index zu erreichen.

Die folgende Grafik zeigt das Spektrum skaliert auf 20.000 lux um den sichtbaren Anteil des Spektrums besser sehen zu können.

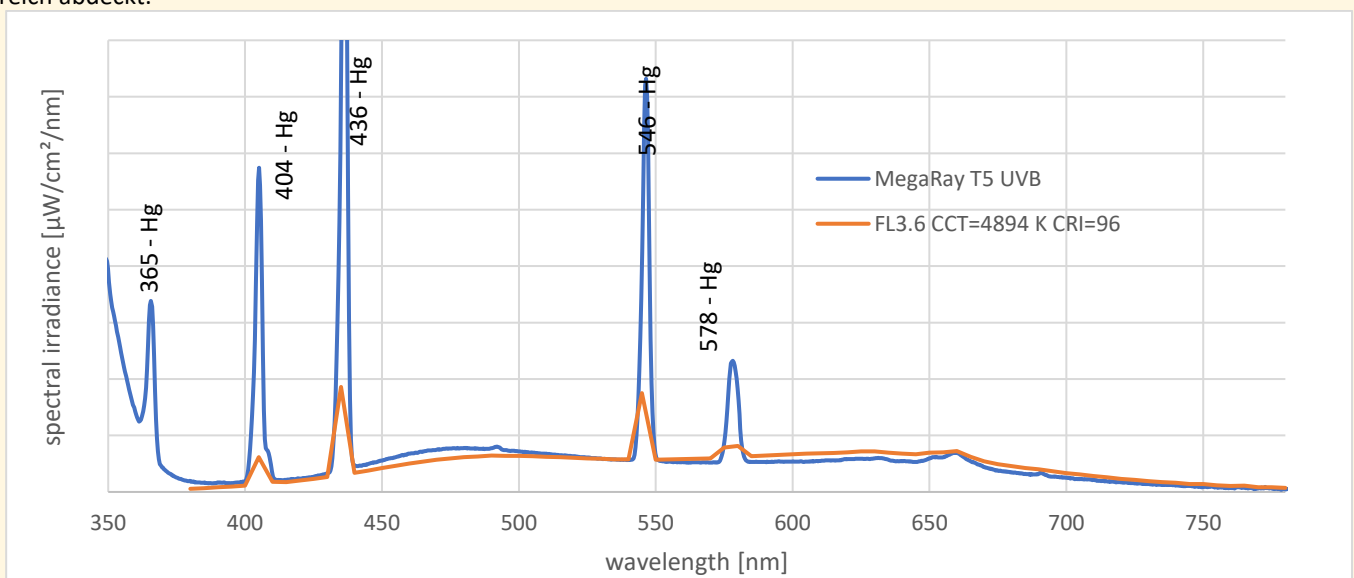


Die Lampe verwendet keinen Dreibandleuchtstoff, wie er bei handelsüblichen Leuchtstofflampen zur Allgemeinbeleuchtung und auch anderen UVB-Leuchtstoffröhren eingesetzt wird. Das Spektrum hat Ähnlichkeit mit dem „CIE Standard Illuminant FL3.6“, einem Deluxe-Leuchtstoff mit hoher Farbwiedergabe. Zusätzlich zum Leuchtstoff sind die Quecksilberemissionslinien bei 313, 334, 365, 405, 436, 546 und 578 nm zu sehen. (Die Höhe der Quecksilberlinien im FL3.6 Spektrum scheint geringer zu sein, das liegt jedoch an der Mittelung über einen größeren Wellenlängenbereich)  
Die Lampe hat einen zusätzlichen Leuchtstoff, der den UV-Bereich abdeckt.

In the above graphs it seems like the Zone 2 lamp has more UV than the Zone 3 lamp. But that is because both spectra are scaled to UV index 7.6. Because the spectrum of the Zone 3 is in that sense “stronger” it needs less intensity to achieve the same UV-index.

The graph shows the following spectrum scaled to 20,000 lux to better see the visible portion of the spectrum.

The lamp does not use a three-band phosphor as is used in commercially available fluorescent lamps for general lighting and also in other UVB fluorescent tubes. The spectrum is similar to the “CIE Standard Illuminant FL3.6”, a deluxe phosphor with high color rendering. In addition to the phosphor, the mercury emission lines can be seen at 313, 334, 365, 405, 436, 546 and 578 nm. (The height of the mercury lines in the FL3.6 spectrum appears to be lower, but this is due to averaging over a larger range of wavelengths)  
The lamp has an additional phosphor that covers the UV range.





## 6c) Für den Menschen sichtbares Spektrum

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
















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

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

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

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

Das Licht wirkt auf mich angenehm, aber dunkel und leicht bläulich. Das entspricht auch der berechneten Farbwiedergabe und Farbtemperatur.

|  |               |
|--|---------------|
| (x,y)  | (0,29 ; 0,29) |
| <b>CCT [Kelvin]</b>  | <b>9259K</b>  |
| <b>CRI</b>   | <b>81,0</b>   |
|  R1 (light grayish red)                       | 96,2          |
|  R2 (dark grayish yellow)                     | 89,4          |
|  R3 (strong yellow green)                     | 75,6          |
|  R4 (moderate yellowish green)                | 80,1          |
|  R5 (light buish green)                       | 80,6          |
|  R6 (light blue)                              | 70,2          |
|  R7 (light violet)                            | 75,6          |
|  R8 (light reddish purple)                    | 80,5          |
|  R9 (strong red)                              | 87,3          |
|  R10 (strong yellow)                          | 62,4          |
|  R11 (strong green)                           | 81,0          |
|  R12 (strong blue)                            | 69,2          |
|  R13 (light yellowish pink, human complexion) | 93,5          |
|  R14 (moderate olive green)                   | 85,6          |
|  R15 (Japanese complexion)                    | 91,7          |
| DC<5.4E-3  | true          |

## 6d) 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.

## Spectrum visible to humans

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

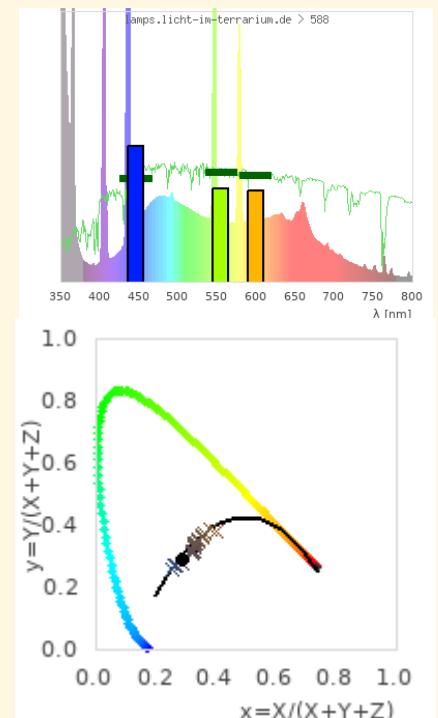
The bar chart indicates the amount of light seen by the three cones in the human eye. For comparison also here the solar spectrum and its action on the three cones is shown.

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

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

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

The light gives a pleasant but dim and slightly blueish impression to me. This matches the calculated CRI and CCT.

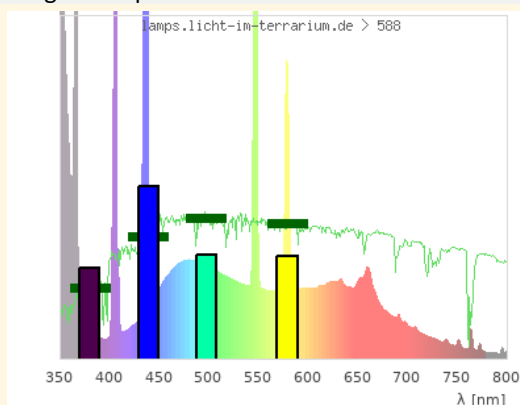


## Spectrum visible to reptiles

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.

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 6c). Die farbigen Kreuze kennzeichnen Farborte von verschiedenen Tageslichtphasen. Der schwarze Punkt zeigt den Farbort der Lampe. Ich glaube, dass diese Adaption des Farbortes mathematisch sinnvoll ist und Farbräume werden auch in der wissenschaftlichen Forschung zum Farbsehen von Tieren gemacht (Kelber2003), ich habe jedoch noch keine Anwendung auf Lichtquellen in der wissenschaftlichen Literatur gesehen. Nur sehr wenige Lampen bilden den sichtbaren Spektralbereich für Reptilien sonnenähnlich nach. Das sind manche Metallhalogeniddampflampen ohne UVB und sehr wenige Vollspektrum-Leuchtstofflampen. Die meisten UVB-Metallhalogeniddampflampen haben einen zu hohen UVA-Anteil, die meisten Leuchtstoffröhren einen zu geringen UVA-Anteil. Sie haben aus Reptiliensicht einen Farbstich (UVA oder Komplementärfarbe zu UVA). LEDs ohne UVA haben aus Reptiliensicht die gesättigte Komplementärfarbe zu UVA.



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

### 6e) 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.

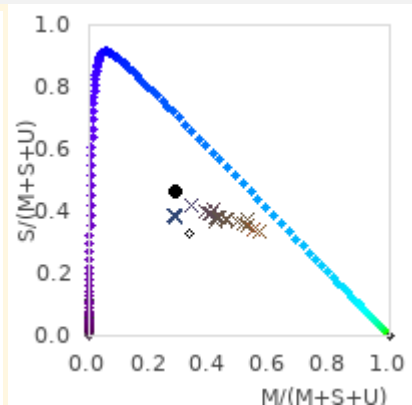
Bei der Abwägung zwischen positiven und negativen Eigenschaften der UV-Strahlung erscheint es mir am sinnvollsten auf eine große Ähnlichkeit zum Sonnenspektrum zu achten. Dem liegt die Annahme zugrunde, dass die Evolution die Mechanismen zum Schutz vor UV-Strahlung als auch die Nutzen aus der UV-Strahlung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

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 6c). 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.



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

### 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.

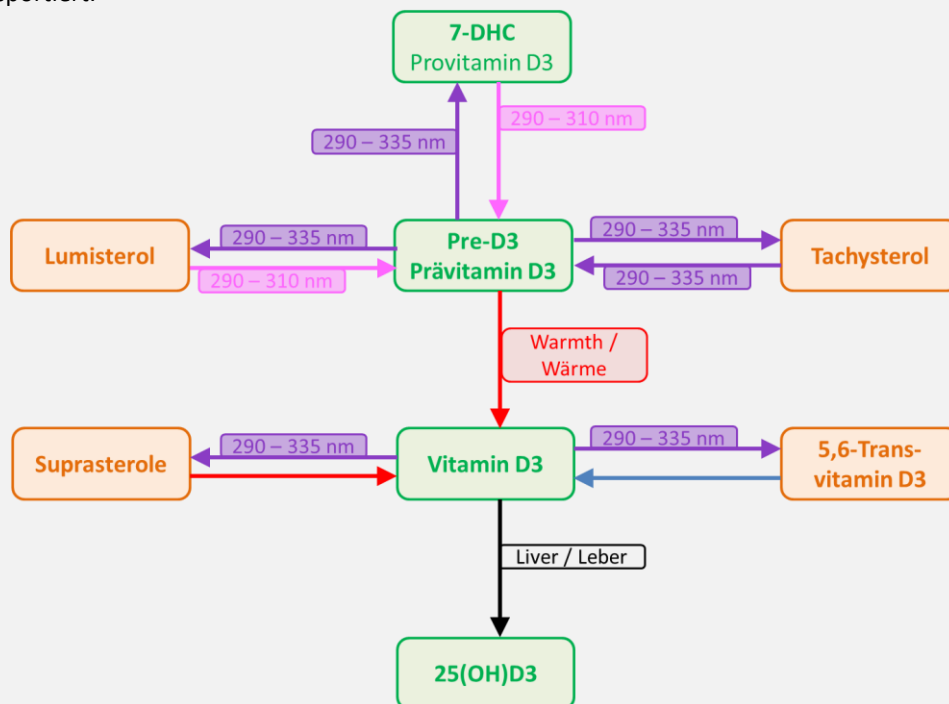
When balancing positive and negative effects of UV radiation, to me it seems most sensible to look out for a spectrum that best resembles the solar spectrum. This is based on the assumption that evolution will have optimized the protection strategies against UV and the benefits from UV perfectly for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

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 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.

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 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.

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

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.



Prozess evolutionär optimiert wurde, hat im Bereich 310 – 335 nm eine vielfach höhere Intensität als im Bereich 290 – 310 nm. Es gibt darüber hinaus sogar eine Ausfallsicherung, um überschüssiges Vitamin D3 zu entfernen, wenn sich so viel in der Haut ansammelt, dass DBP es nicht mehr entfernen kann. Webb et al. (1989) fanden heraus, dass Wellenlängen bis zu 330 nm das in der Haut verbleibende Vitamin D3 abbauen und in inerte Moleküle umwandelt (5,6-Trans-Vitamin-D3, Suprasterol I und Suprasterol II)

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

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

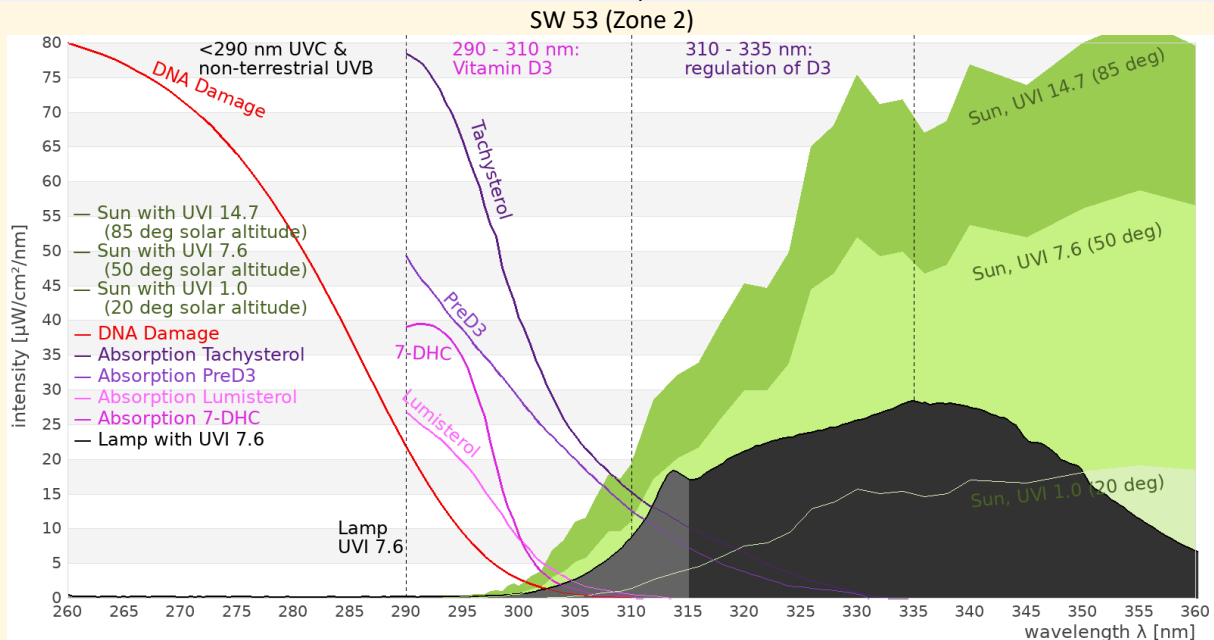
And sunlight has many times more intensity in the range 310 – 335 nm than in the range 290 – 310 nm.

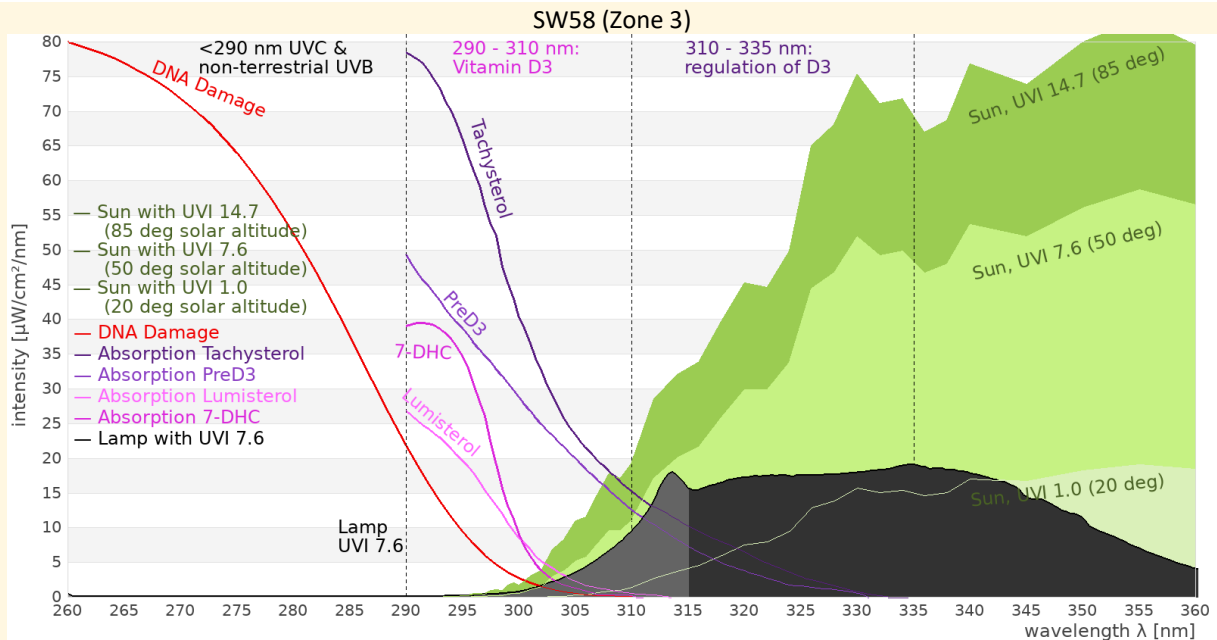
There is even a “back-up” process to remove any excess vitamin D3 if too much of this starts to accumulate for the DBP to take it away. Webb et al. (1989) found that wavelengths up to 330nm would degrade vitamin D3 remaining in skin, breaking it down into inert metabolites (5,6-transvitamin D3, suprasterol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

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

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

- Die Lampen strahlen kein gefährliches UVC oder nicht-terrestrisches UVB ab.
- Nur ein winziger Teil der Strahlung ist unterhalb von 300 nm. Das Risiko von DNA-Schädigung ist daher vergleichbar wie 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). Dieser Teil ist bei der Zone-2-Lampe stärker. Diese Lampe hat daher das sonnenähnlichere Spektrum.

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

## 6f) Blaulichtgefährdung

Licht mit einer Wellenlänge von etwa 410 nm bis 480 nm mit einem Maximum bei 440 nm kann beim Menschen eine Schädigung der Photorezeptoren in der Netzhaut verursachen (Photoretinitis, Blaulichtgefährdung). Die effektive Bestrahlungsstärke für Blaulichtgefährdung wird mit der Wirkfunktion nach DIRECTIVE 2006/25/EC berechnet. Bei mittlerem Sonnenlicht beträgt das Verhältnis von effektiver Bestrahlungsstärke für Photoretinitis zu Beleuchtungsstärke ca.  $80 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  pro 1.000 lux, steigt aber im Schatten durch das blaue Himmelslicht auf  $130 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  pro 1.000 lx an. Bei Halogen-Glühlampen ist der Wert ca.  $25 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  pro 1.000 lux. Werte bis  $100 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  pro 1.000 lux halte ich im Terraristik-Kontext für unproblematisch. Für eine vollständige Beurteilung der Blaulichtgefährdung muss auch die Leuchtdichte der einbezogen werden, was mir messtechnisch nicht möglich ist. Der spektral berechnete Wert liegt bei ca.  $125 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  pro 1.000 lux. Das entspricht der hohen Farbtemperatur der Lampe.

The graphs show:

- The lamps do not emit hazardous UVC, or UVB in the non-terrestrial UVB wavelengths.
- Only a tiny proportion of its output is below 300 nm. The risk of DNA damage is therefore comparable to 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). This part is stronger for the zone 2 lamp, which therefore have a spectrum closer to sunlight.

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

## Blue Light Hazard

Light with wavelengths between 410 nm and 480 nm with a maximum at 400 nm can cause damage in the photo receptors in the retina of humans (photo retinitis, blue light hazard). The effective irradiance for blue light hazard is calculated with the action spectrum from DIRECTIVE 2006/25/EC. For average sunlight, the ratio of the effective irradiance for photo retinitis to illuminance is approximately  $80 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  per 1,000 lux, but can rise to  $130 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  per 1,000 lux in the shade due to the blue light from the sky. Halogen lights have a ratio of approximately  $25 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  per 1,000 lux.

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

The spectrally calculated value is around  $125 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  per 1,000 lux. This corresponds to the high colour temperature of the lamp.

## 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 sind einfach in der Anwendung. Sie eignen sich daher gut, die räumliche Verteilung der UV-Strahlung und die Alterung der Lampen zu messen.

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

- Die UV-Bestrahlungsstärke wird mit Solarmeter UV-Radiometern gemessen. Diese Messgeräte haben sich in den letzten Jahren aufgrund des Preis-Leistungs-Verhältnisses durchgesetzt und werden von zahlreichen Terrarianern aber auch in der Wissenschaft und Feldforschung eingesetzt (Ferguson2009, 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.

### 7a) Maximale Bestrahlungsstärke in verschiedenen Abständen



## Intensity measurements

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

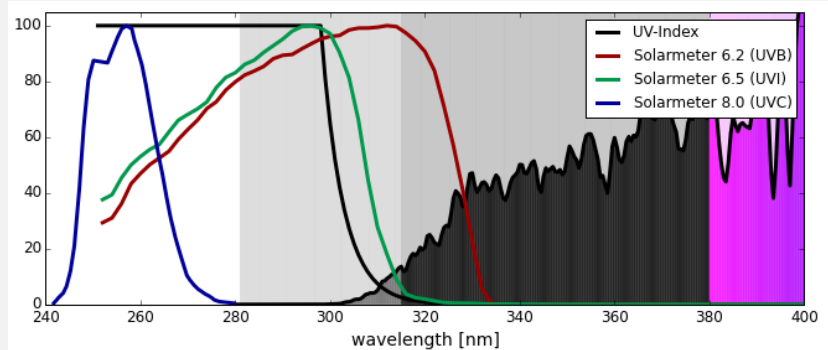
The illuminance is measured with a “Voltcraft MS-200LED” lux meter. This meter measures the visible irradiance weighted with the sensitivity of the human eye. The meter measures up to 400,000 lux.

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

The irradiance of UV light is measured with Solarmeter UV broadband meters. These broadband meters have become widely accepted within reptile keepers and scientific research due to their cost-performance ratio (Ferguson2009, 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.

### Maximum irradiance in different distances





Alle Lampen wurden nach 30 Minuten in 10 cm Abstand getestet, um die Variation der Lampen zu ermitteln. Die Variation der Lampen war sehr gering: Die Standardabweichung der Luxmeter und Solarmetermessungen betrug nur etwa 3% oder weniger – dieser Anteil kann auch gut durch die nicht völlig reproduzierbaren Messbedingungen verursacht sein.

All lamps were tested at 10 cm distance after 30 minutes to determine lamp variation. The variation of the lamps was very small: The standard deviation of the lux meter and solar meter measurements was only about 3% or less - this proportion can also be caused by the not completely reproducible measurement conditions.

| Distance [cm]                                    | 10    | Age [h] |       | 0,5   |       |             |                           |
|--|-------|---------|-------|-------|-------|-------------|---------------------------|
| Lampe ID   | SW53  | SW54    | SW55  | SW56  | SW57  | <i>mean</i> | <i>standard deviation</i> |
| Lampe Zone                                       | Zone2 | Zone2   | Zone2 | Zone2 | Zone2 |             |                           |
| Luxmeter [lx]                                    | 7.898 | 8.041   | 7.930 | 7.898 | 7.914 | 7.936       | 0,8%                      |
| Solarmeter 6.2 UVB [ $\mu\text{w}/\text{cm}^2$ ] | 681   | 703     | 665   | 658   | 680   | 677,4       | 2,6%                      |
| Solarmeter 6.5 UVI                               | 15,6  | 15,9    | 15,1  | 15,2  | 15,5  | 15,5        | 2,1%                      |

| Lampe ID   | SW58  | SW59  | SW60  | SW61  | SW62  | <i>mean</i> | <i>standard deviation</i> |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|---------------------------|
| Lampe Zone                                       | Zone3 | Zone3 | Zone3 | Zone3 | Zone3 |             |                           |
| Luxmeter [lx]                                    | 8.056 | 8.234 | 7.930 | 7.962 | 8.080 | 8.052       | 1,5%                      |
| Solarmeter 6.2 UVB [ $\mu\text{w}/\text{cm}^2$ ] | 1073  | 1097  | 1018  | 1071  | 1106  | 1073        | 3,2%                      |
| Solarmeter 6.5 UVI                               | 30,6  | 31,2  | 29    | 30,3  | 31    | 30,4        | 2,9%                      |

Nach 100 Einbrennzeit wurden die Lampen SW53 (Zone2) und SW58 (Zone3) in verschiedenen Abständen getestet:

After 100 burn-in, lamps SW53 (Zone2) and SW58 (Zone3) were tested at different distances:

SW53 (Zone 2)

| Age [h]  | 100    |       |       |       |       |       |       |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Distance [cm]                                    | 5      | 10    | 15    | 20    | 25    | 30    | 40    | 50  | 60  | 70  | 80  | 90  | 100 | 110 | 120 |
| Luxmeter [lx]                                    | 10.047 | 6.872 | 3.086 | 3.136 | 2.351 | 1.806 | 1.167 | 827 | 612 | 466 | 370 | 297 | 245 | 206 | 170 |
| Solarmeter 6.2 UVB [ $\mu\text{w}/\text{cm}^2$ ] | 837    | 583   | 394   | 282   | 213   | 165   | 106   | 73  | 53  | 40  | 32  | 25  | 20  | 17  | 14  |
| Solarmeter 6.5 UVI                               | 19,1   | 13,5  | 9,1   | 6,6   | 5     | 3,9   | 2,5   | 1,7 | 1,3 | 1   | 0,7 | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,3 |

SW58 (Zone 3)

| Age [h]  | 100   |       |       |       |       |       |       |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Distance [cm]                                    | 5     | 10    | 15    | 20    | 25    | 30    | 40    | 50  | 60  | 70  | 80  | 90  | 100 | 110 | 120 |
| Luxmeter [lx]                                    | 9.842 | 6.966 | 4.200 | 3.180 | 2.386 | 1.847 | 1.192 | 831 | 610 | 466 | 369 | 294 | 245 | 205 | 172 |
| Solarmeter 6.2 UVB [ $\mu\text{w}/\text{cm}^2$ ] | 1280  | 914   | 614   | 443   | 334   | 259   | 166   | 114 | 83  | 62  | 49  | 39  | 32  | 26  | 22  |
| Solarmeter 6.5 UVI                               | 36,2  | 25,7  | 17,5  | 12,6  | 9,6   | 7,4   | 4,7   | 3,3 | 2,4 | 1,8 | 1,4 | 1,1 | 0,9 | 0,7 | 0,7 |

Die beiden Lampen haben im Vergleich zu ihrem Messwert nach 30 Minuten in den ersten 100 Betriebsstunden ca. 15% Intensität sowohl im sichtbaren als auch im UV verloren.

The two lamps have lost approximately 15% intensity in both visible and UV for the first 100 hours of operation compared to their reading after 30 minutes.

Die auf der Verpackung angegebenen UV-Indizes und Abstände stimmen überhaupt nicht mit den gemessenen Werten überein. Während die Verpackung für die Zone-2-Lampe in 85-90 cm Abstand UV-Index 7,4 verspricht, habe ich nur UV-Index 0,6 gemessen. Auch für die Zone-3-Lampe verspricht die Packung UV-Index 7,4 in 85-90 cm Abstand. Hier habe ich nur UV-Index 1,1-1,2 gemessen.

The UV indices and distances indicated on the packaging do not correspond at all to the measured values. While the packaging for the zone 2 lamp promises a UV index of 7.4 at a distance of 85-90 cm, I only measured a UV index of 0.6. The packaging also promises a UV index of 7.4 at a distance of 85-90 cm for the Zone 3 lamp. Here I only measured UV index 1.1-1.2.

SW53 (Zone 2)

| Measurement | packaging            | packaging    | Measurement   |
|-------------|----------------------|--------------|---------------|
| 5 – 15 cm   | Danger (UV 10 – 20)  | 60 – 75 cm   | UVI 1,3 – 0,8 |
| 15 cm       | Zone 4 (UVI 7.4-8.4) | 80 – 85 cm   | UVI 0,7       |
| 35 – 15 cm  | Zone 3 (UVI 3-7.4)   | 90 – 100 cm  | UVI 0,5       |
| 35 – 60 cm  | Zone 2 (UVI 1.4-3.0) | 105 – 125 cm | UVI 0,5 – 0,3 |
| > 60 cm     | Zone 1 (UVI 0 – 1.4) | 130 – 145 cm | UVI < 0,3     |

SW58 (Zone 3)

| Measurement | packaging            | packaging    | Measurement   |
|-------------|----------------------|--------------|---------------|
| 15 – 20 cm  | Danger (UV 10 – 20)  | 60 – 75 cm   | UVI 2,4 – 1,5 |
| 25 – 30 cm  | Zone 4 (UVI 7.4-8.4) | 80 – 85 cm   | UVI 1,4 – 1,2 |
| 30 – 55 cm  | Zone 3 (UVI 3-7.4)   | 90 – 100 cm  | UVI 1,1 – 0,9 |
| 55 – 80 cm  | Zone 2 (UVI 1.4-3.0) | 105 – 125 cm | UVI 0,8 – 0,6 |
| 80 – 95 cm  | Zone 1 (UVI 0 – 1.4) | 130 – 145 cm | UVI < 0,5     |

Die folgende Tabelle zeigt die Messwerte in 20cm Abstand im Vergleich zu anderen 24W T5 Röhren: Arcadia T5 ([Test 10/2022](#)), der VivaLite T5 ([Test 04/2023](#)) und der ReptiZoo ([Test 10/2022](#)). Im sichtbaren Bereich verwenden die Arcadia und VivaLite Lampen einen Dreiband-Leuchtstoff, die ReptiZoo einen Leuchtstoff, der mich an einen Halophosphat erinnert.

The following table shows the measured values at a distance of 20 cm in comparison to other 24W T5 tubes: Arcadia T5 ([Test 10/2022](#)), the VivaLite T5 ([Test 04/2023](#)) and ReptiZoo ([Test 10/2022](#)). In the visible range, the Arcadia and VivaLite lamps use a three-band phosphor, the ReptiZoo a phosphor that reminds me of a halophosphate.

| Distance [cm]                                    | 20            |             |             |          |              |               |               |       |
|--|---------------|-------------|-------------|----------|--------------|---------------|---------------|-------|
| Lamp   | Arcadia 6%    | Arcadia 12% | Arcadia 14% | VivaLite | ReptiZoo10.0 | MegaRay Zone2 | MegaRay Zone3 |       |
| ID   | SW27          | SW26        | SW28        | SW50     | SW29         | SW53          | SW58          |       |
| Age  | 100 h         | 100 h       | 100 h       | 0,5 h    | 100 h        | 100 h         | 100 h         |       |
| Reflector  | Arcadia ProT5 |             |             |          | ReptiZoo     | Arcadia ProT5 |               |       |
| Luxmeter [lx]                                    | 7.488         | 6.287       | 5.134       | 8.530    | 3.889        | 4.344         | 3.136         | 2.386 |
| Solarmeter 6.2 UVB [ $\mu\text{w}/\text{cm}^2$ ] | 196           | 331         | 398         | 22       | 153          | 163           | 282           | 334   |
| Solarmeter 6.5 UVI                               | 6,5           | 10,5        | 12          | 0,8      | 5,6          | 6             | 6,6           | 9,6   |

Es fällt auf, dass die MegaRay Lampen deutlich dunkler sind als die Lampen mit Dreiband-Leuchtstoff. Der UV-Anteil ist ähnlich hoch.

It is noticeable that the MegaRay lamps are significantly darker than the lamps with three-band phosphor. The UV is similar.

## 7b) 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 extrem gut anzusehen.

|              | SW 53 |      |      | SW 58 |      |      |
|--------------|-------|------|------|-------|------|------|
| 10 cm        | lux   | UVI  | UVC  | lux   | UVI  | UVC  |
| Spektrometer | 6080  | 18,1 | 12.1 | 6290  | 27,9 | 13.4 |
| Radiometer   | 6872  | 13,5 | 0    | 6966  | 25,7 | 0    |
| Delta        | 13%   | -25% |      | 11%   | -8%  |      |

## 7c) Solarmeter-Verhältnis

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

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

Das Solarmeter-Verhältnis wird berechnet in dem der Messwert des Solarmeter 6.2 (z.B. 300  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) durch den Messwert des Solarmeter 6.5 (z.B. UVI 6) geteilt wird. Natürliches Sonnenlicht hat ein Solarmeter-Verhältnis von ca. 50-60. 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, 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 der Zone-2-Lampen ist etwa 44, das Solarmeter-Verhältnis der Zone-3-Lampen etwa 35. Das ist in gutem Einklang mit der spektralen Beurteilung.

## 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 extremely good for the quality of the measuring devices.

## Solarmeter Ratio

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

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

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

Natural sunlight has a Solarmeter ratio of 50 to 60. 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. I know that my Solarmeter 6.5 gives comparably low readings for lamps with only short wavelength UVB emission (UVB LEDs).

The solar meter ratio for the zone 2 lamps is about 44, the solar meter ratio for the zone 3 lamps is about 35. This is in good agreement with the spectral assessment.



## 7d) 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.

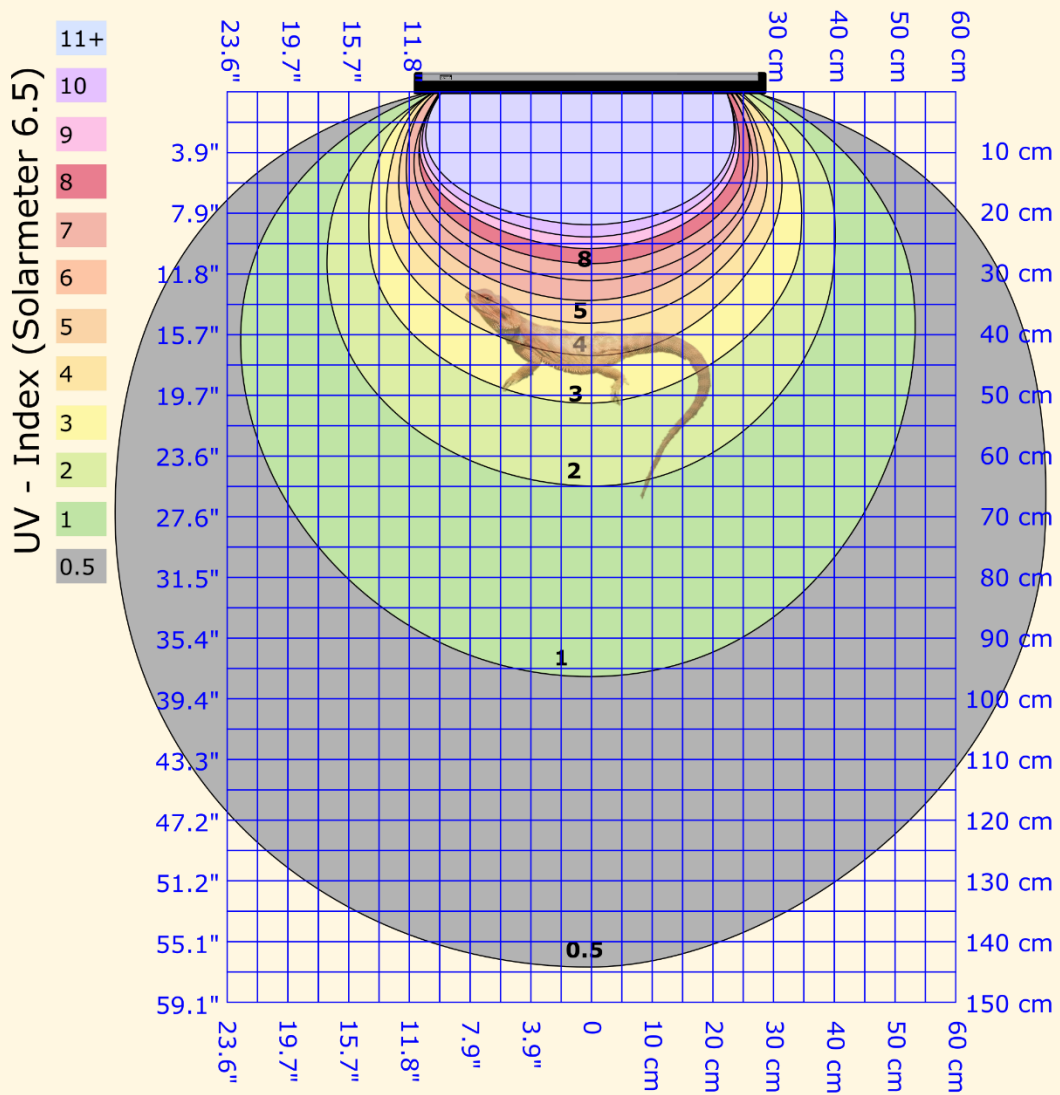
## Iso-Irradiance Charts

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.

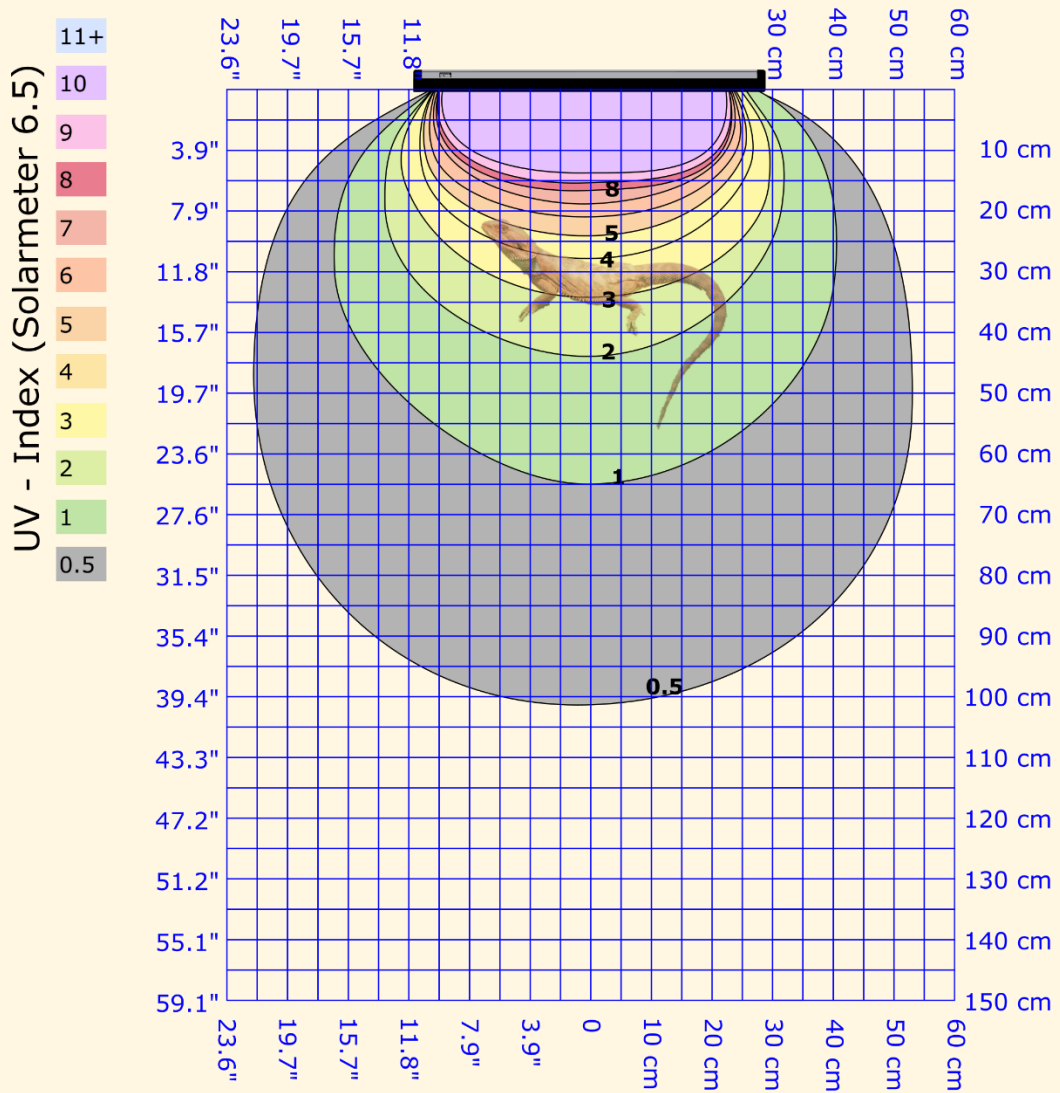


# MegaRay T5 UVB Zone 3, 24W, in Arcadia Pro T5 UVB Kit



100 h burn in, 04/2023, ID SW58, © Sarina Wunderlich, [www.licht-im-terrarium.de](http://www.licht-im-terrarium.de)  
 Bearded Dragon / Bartagame: 25 cm SVL / KRL

## ZooMed T5 UVB Zone 2, 24W, in Arcadia Pro T5 UVB Kit



100 h burn in, 04/2023, ID SW53, © Sarina Wunderlich, [www.licht-im-terrarium.de](http://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. 2010. Photo-Kerato-Conjunctivitis in Reptiles. Paper read at 1st International Conference on Reptile and Amphibian Medicine, March 4–7, at München.
- Baines, F. M. (2016) How much UV-B does my reptile need? The UV-Tool, a guide to the selection of UV lighting for reptiles and amphibians in captivity. *Journal of Zoo and Aquarium Research*, 4.
- DIN 5031-10: Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik: Photobiologisch wirksame Strahlung, Größen, Kurzzeichen und Wirkungsspektren. Mar 2000. Deutsches Institut für Normung e.V.
- DIRECTIVE 2006/25/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 5 April 2006 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to risks arising from physical agents (artificial optical radiation) (19th individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC).
- Dobbinson, S., Niven, P., Buller, D., Allen, M., Gies, P. & Warne, C. (2016) Comparing Handheld Meters and Electronic Dosimeters for Measuring Ultraviolet Levels under Shade and in the Sun. *Photochemistry and Photobiology*, 92 208–214.
- Ferguson, G. W., Brinker, A. M., Gehrman, W. H., Bucklin, S. E., Baines, F. M. & Mackin, S. J. (2009) Voluntary exposure of some western-hemisphere snake and lizard species to ultraviolet-B radiation in the field: how much ultraviolet-B should a lizard or snake receive in captivity? *Zoo Biology*, 28.
- Holick, M. F. (2016) Biological Effects of Sunlight, Ultraviolet Radiation, Visible Light, Infrared Radiation and Vitamin D for Health. *Anticancer Research*, 36 1345–1356.
- Kelber, A., Vorobyev, M. & Osorio, D. (2003) Animal colour vision - behavioural tests and physiological concepts. *Biological Reviews*, 78 81–118.
- 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.

## Literature Cited