

|  |   |
|--|---|
| DE: Allgemeine Information, identisch in allen Testreports | EN: General information, identical for all test reports |
| DE: Messwerte und Beurteilung dieser Lampe                 | EN: Measurement and analysis of specific lamp           |

# Test-Report 06/2024

## Exo Terra UVB 150 13 W

### 1) Zusammenfassung

- Die Lampen wurden mir zum Test geschickt, nachdem eine Zwergbartagame unter dieser Lampe eine Augenentzündung entwickelt hat. Eine solche Augenentzündung kann durch schwache kurzwellige UV-Strahlung, zu intensive sonnenähnliche UV-Strahlung, aber auch z.B. durch eine bakterielle Infektion verursacht werden. Der Fallverlauf spricht nicht eindeutig für einen Zusammenhang mit der Lampe.
- Das Spektrum der Lampe ist etwas kurzwelliger als bei anderen hochwertigen UVB-Leuchtstofflampen, es ist jedoch nicht so kurzwellig, wie bei den Lampen, die um 2007 herum mit gehäuften Fällen von Photo-Kerato-Konjunktivitis in Verbindung gebracht wurden. Ich halte es für möglich, dass das Spektrum der Lampe zumindest einen Beitrag zu den gesundheitlichen Problemen der Zwergbartagame hatte (siehe 7e).
- Andererseits wäre es für mich auch denkbar, dass das Spektrum an sich nicht zu Verbrennungen führt, wenn es korrekt eingesetzt wird: Auf einer Fläche größer als das Tier müssen Wärmestrahlung, Helligkeit und UV-Index sonnenähnlich sein. UVB-Kompaktleuchtstofflampen erzeugen nur sehr wenig Licht und Wärmestrahlung. Das führt dazu, dass viele Reptilien sich zu lange und zu nahe an der Lampe aufhalten, was UV-Verbrennungen verursachen kann.
- Da Lampen mit einem sonnenähnlicheren Spektrum auf dem Markt verfügbar sind, empfehle ich diese Produkte anstelle der Exo Terra 150.

### Summary

- The lamps were sent to me for testing after a Rankin's bearded dragon developed an eye inflammation under the lamp. Such eye inflammation can be caused by weak short-wave UV radiation, too strong solar-like UV-radiation, but also, for example, by a bacterial infection. The case history does not directly indicate a connection with the lamp.
- The spectrum of the lamp is slightly shorter-wavelength than other high-quality UVB fluorescent lamps, however not as short-wavelength as for lamps that have been associated with an increased number of photo-cerato-conjunctivitis around 2007. I think it is possible that the spectrum of the lamp had at least some contribution to the Rankin's bearded dragon health problems (see 7e).
- On the other hand, it also seems possible to me, that the spectrum itself does not cause burns if it is used correctly: in an area larger than the animal, the heat radiation, brightness and UV index must be similar to sunlight. UVB compact fluorescent lamps produce very little light and heat radiation. This causes many reptiles to spend time too long and too close to the lamp, which can cause UV burns.
- Since lamps with a spectrum more like sunlight are available on the market, I recommend using these products instead of the Exo Terra 150.

|  |    |
|--|----|
| 1) Zusammenfassung .....                                       | 1  |
| 2) Testanlass.....   | 2  |
| 3) Stellungnahme von Exo Terra .....                           | 2  |
| 4) Beschreibung der Lampe.....                                 | 2  |
| 5) Visuelle Lichtverteilung und Flicker .....                  | 3  |
| 6) Elektrischer Verbrauch .....                                | 4  |
| 7) Spektrale Messung.....                                      | 4  |
| 7a) Beurteilung des Gesamtspektrums .....                      | 5  |
| 7b) Für den Menschen sichtbares Spektrum.....                  | 6  |
| 7c) Für Reptilien sichtbares Spektrum .....                    | 6  |
| 7d) UV-Spektrum (Vitamin D3).....                              | 7  |
| 7e) Photo-Kerato-Konjunktivitis.....                           | 10 |
| 8) Intensitätsmessungen .....                                  | 10 |
| 8a) Maximale Bestrahlungsstärke in verschiedenen Abständen ... | 12 |
| 8b) Solarmeter – Spektrometer – Vergleich.....                 | 12 |
| 8c) Solarmeter-Verhältnis .....                                | 13 |
| 9) Einschränkungen.....  | 13 |
| 10) Zitierte Literatur .....                                   | 14 |

|   |
|---|
| ... Summary                                     |
| ... Reason for Test                             |
| ... Statement by Exo Terra                      |
| ... Lamp Description                            |
| ... Visual Light Distribution and Flicker       |
| ... Power Consumption                           |
| ... Spectral Measurement                        |
| ..... Review of the spectrum                    |
| ..... Spectrum visible to humans                |
| ..... Spectrum visible to reptiles              |
| ..... UV Spectrum (vitamin D3)                  |
| ..... Photo Cerato Konjunktivitis               |
| ... Intensity Measurements                      |
| ..... Maximum irradiance in different distances |
| ..... Solarmeter – Spectrometer – Comparison    |
| ..... Solarmeter Ratio                          |
| ... Limitations                                 |
| ... Literature cited                            |

## 2) Testanlass

Die Lampe wurde mir im Mai 2024 von Krzysztof Lis aus Polen für einen Test geschickt. Die Lampe wurde ab 2. November 2023 von einem Halter einer Zwergbartagame genutzt und das Tier entwickelte um den 22. Februar 2024 eine Augenentzündung, die mit Antibiotika behandelt wurde, ohne Verbesserung. Um den 8. März wurde die Lampe entfernt und die Pilzinfektion diagnostiziert. Nach einem Monat hatte sich das Tier vollständig erholt. Die Fallgeschichte zeigt keinen eindeutigen Zusammenhang mit der Lampe. Da eine solche Augenentzündung auch durch nicht-terrestrische UVB- und UVC-Strahlung verursacht werden kann, wurde ich um einen Test gebeten. Der Test erfolgte kostenlos.

## Reason for Test

The lamp was sent to me for testing by Krzysztof Lis from Poland in May 2024. The lamp was used by a Rankin's bearded dragon keeper starting November 2, 2023. Around February 22, 2024 the animal developed an eye infection. The eye was treated with antibiotics with no improvement. Around March 8 the lamp was removed a fungal infection diagnosed. The animal fully recovered after a month. The case history shows no clear connection with the lamp. Since such eye inflammation can also be caused by non-terrestrial UVB and UVC radiation, I was asked for a test. The test was free.

## 3) Stellungnahme von Exo Terra

Der Testbericht wurde Exo Terra vor Veröffentlichung zugesendet. Exo Terra hat mir geantwortet, dass Sie das Problem ernst nehmen daran arbeiten, das Spektrum aller Kompaktlampen (Energiesparlampen) in naher Zukunft zu verbessern.

## Statement by Exo Terra

The test report was sent to Exo Terra prior to publication. Exo Terra responded that they are taking the issue seriously and are working on upgrading the spectrum of all compact bulbs (energy savers) in the near future.

## 4) Beschreibung der Lampe

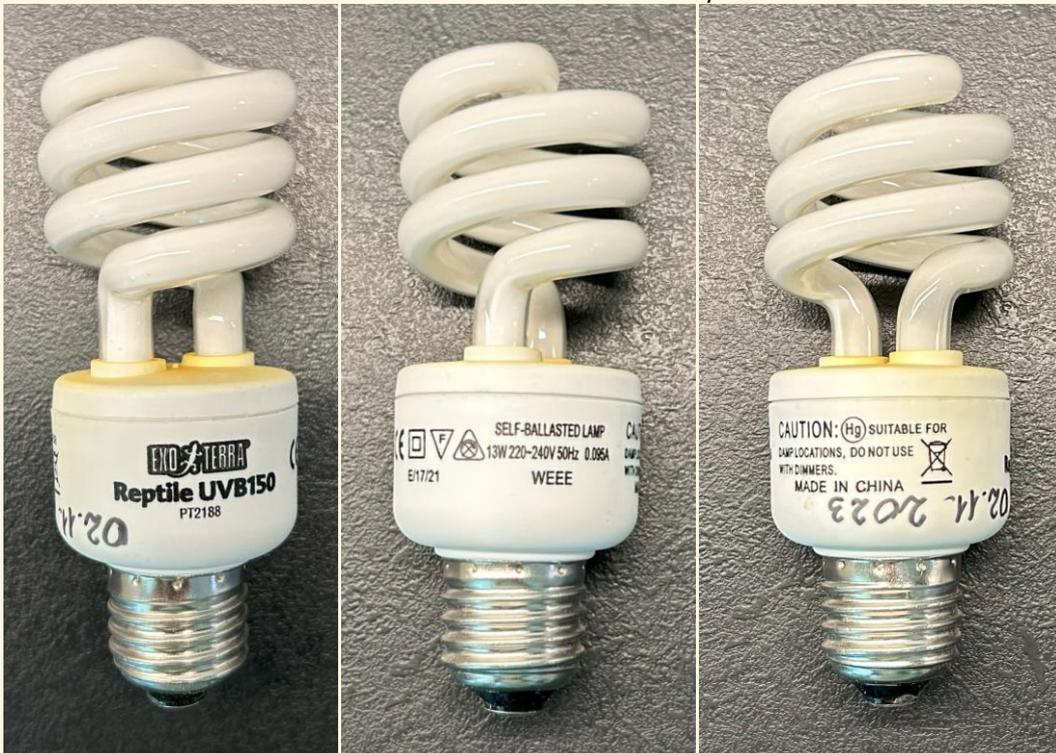
Es handelt sich um eine 13 W UV Kompaktleuchtstofflampe. Auf der Verpackung sind Lux und UV-Bestrahlungsstärken in verschiedenen Abständen angegeben. Die Lampe wird intern (auch in der Messdatenbank) unter der Bezeichnung SW90 ([Link](#)) geführt.

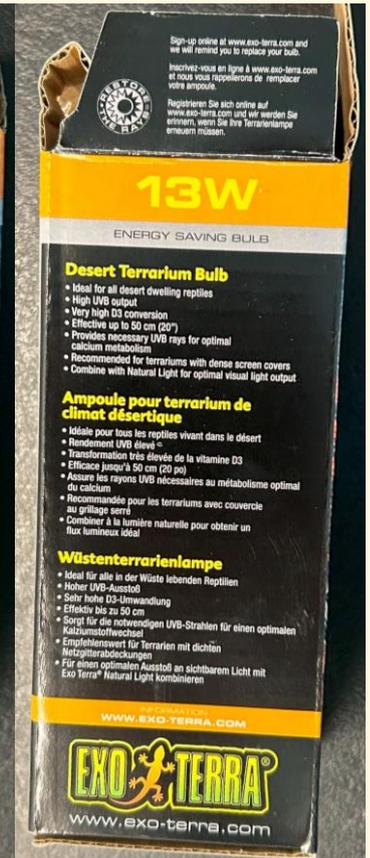
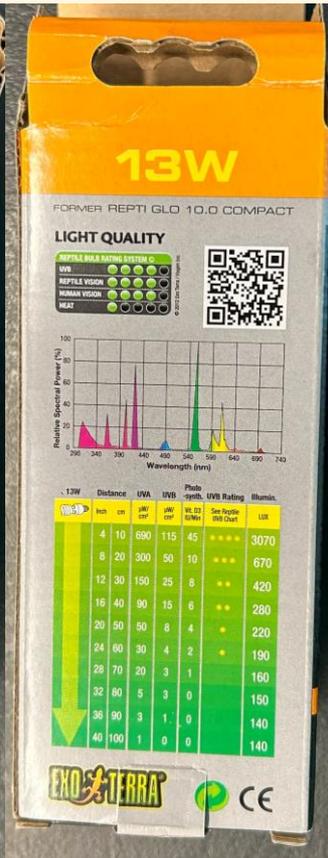
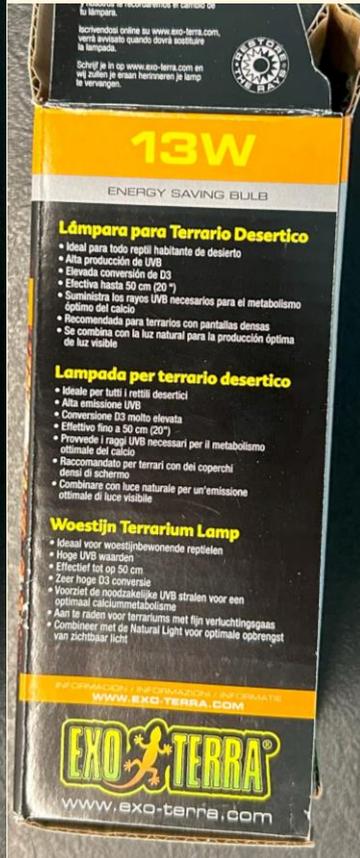
Die Lampe wurde bei dem Tierhalter vom 02.11.2023 bis zum 08.03.2024 genutzt und war somit bereits 127 Tage im Betrieb, bevor ich sie getestet hatte.

## Lamp Description

The lamp is a 13-W UV emitting compact fluorescent lamp. The box gives lux and UV irradiances in different distances. The lamps were given the reference number SW90 ([Link](#))

The lamp had been in use by the pet owner from November, 2, 2023 until March, 8, 2024 and had therefore already been in use for 127 days before I tested it.





## 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 Opplé 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

## 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 Opplé 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  $M \leq$

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.

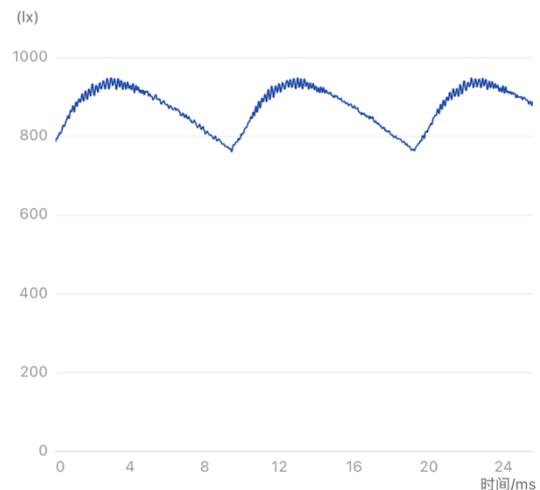
Das sichtbare Licht ist sehr gleichmäßig verteilt. Die 50Hz Netzspannung ist deutlich sichtbar.

|                  |        |
|------------------|--------|
| CCT              | 3027   |
| CRI              | 80,3   |
| Flicker Index    | 0,0265 |
| Modulation depth | 10,6 % |
| Frequency        | 100 Hz |

$f \cdot 0.08\%/Hz$  (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.

The visible light distribution is very homogenous. The residual fluctuation of the 50 Hz mains voltage can be clearly seen



## 6) 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]         | 230  |
| Strom / current [A]            | 0,08 |
| Leistung / power [W]           | 11,8 |
| Leistungsfaktor / Power factor | 64   |

Die Leistungsaufnahme ist etwas geringer gemessen als angegeben, jedoch ist die Messgenauigkeit des Geräts bei so kleinen Leistungen auch gering.

## 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 measured power consumption is a little lower than specified, but the measurement accuracy of the device is also low with such low power.

## 7) 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

## 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

Signal-zu-Rausch-Verhältnis durch eine hohe Intensität optimiert werden. Das Spektrum in verschiedenen Abständen hat die gleiche Form, lediglich die Gesamtintensität ändert sich.

### 7a) 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.

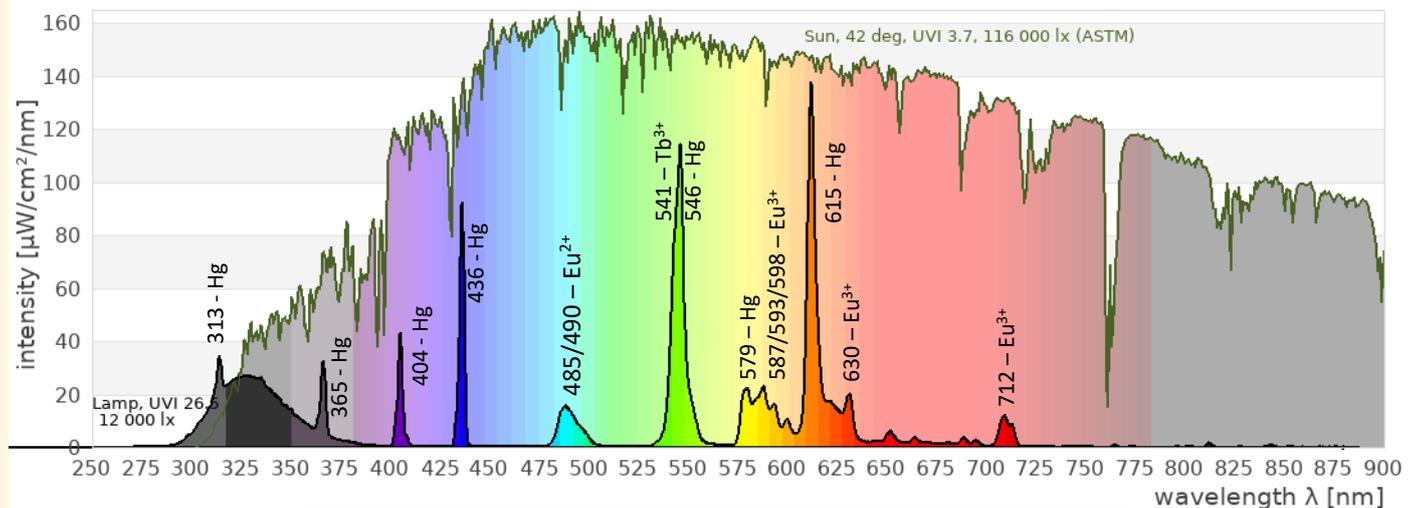
the spectrum does not depend on the distance, only the absolute intensity changes.

### 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)         | 5.9 %  | 0.1 %   |
| UVB USA (280 – 320 nm)        | 8.7 %  | 0.2 %   |
| UVA EU (315 – 380 nm)         | 23.7 % | 4.7 %   |
| UVA USA (320 – 380 nm)        | 20.9 % | 4.6 %   |
| UVA D3 regul. (315 – 335 nm)  | 11.4 % | 0.9 %   |
| UVA rept. vis. (350 – 380 nm) | 6 %    | 2.8 %   |
| VIS (380 – 780 nm)            | 69.9 % | 80,2%   |
| Full (250 – 880 nm)           | 100 %  | 100,0%<br>(as reference, sunlight has intensity outside 250 – 880 nm) |
|                               | 5 cm   |   |
| UV Index                      | 10     | UVI 3,7   |
| Lux                           | 4520   | 116 000 lx  |

Das Spektrum ist typisch für eine moderne Dreiband-Leuchtstofflampe. Zusätzlich zum Leuchtstoff sind die Quecksilberemissionslinien bei 297, 313, 334, 365, 405, 436, 546 und 578 nm zu sehen. Die Quecksilberlinien sind bei dieser Lampe sehr deutlich.

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

The spectrum is typical for a current commercial triphosphor lamp. Additionally to the phosphor the emission lines from mercury (297, 313, 334, 365, 405, 436, 546, und 578 nm) are visible. The mercury lines are very pronounced in this lamp.

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

## 7b) 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.

|  |               |
|--|---------------|
| (x,y)  | (0,44 ; 0,41) |
| <b>CCT [Kelvin]</b>                          | <b>3062K</b>  |
| <b>CRI</b>                                   | <b>76,4</b>   |
| R1 (light grayish red)                       | 90,9          |
| R2 (dark grayish yellow)                     | 89,6          |
| R3 (strong yellow green)                     | 48,6          |
| R4 (moderate yellowish green)                | 86,3          |
| R5 (light bluish green)                      | 82,5          |
| R6 (light blue)                              | 73,0          |
| R7 (light violet)                            | 79,1          |
| R8 (light reddish purple)                    | 61,5          |
| R9 (strong red)                              | -9,7          |
| R10 (strong yellow)                          | 39,5          |
| R11 (strong green)                           | 71,4          |
| R12 (strong blue)                            | 35,8          |
| R13 (light yellowish pink, human complexion) | 95,1          |
| R14 (moderate olive green)                   | 65,3          |
| R15 (Japanese complexion)                    | 87,9          |
| DC<5.4E-3                                    | true          |

## 7c) 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 je nach Art zwischen 350 nm und 600 nm / 800 nm.

## Spectrum visible to humans

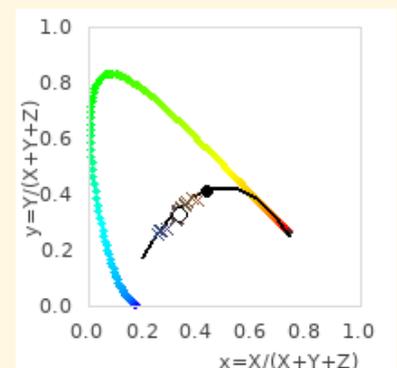
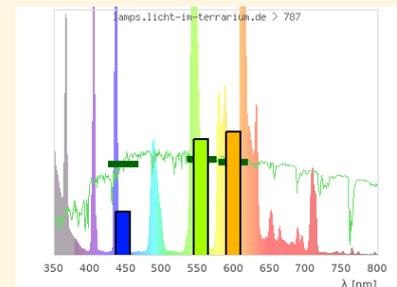
The international illumination commission CIE (*Commission Internationale de l'Éclairage*) defines that the range 380 nm to 780 nm shall be used for colour calculations.

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.

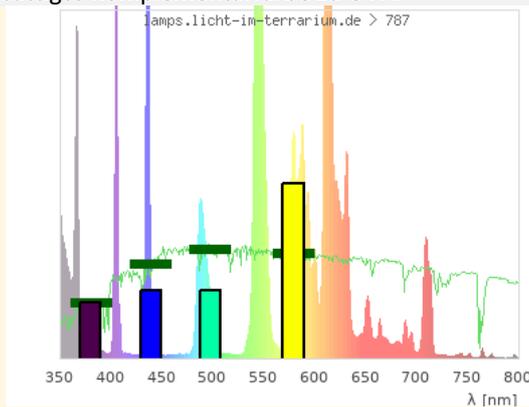
The calculation of the color properties of a lamp should be done with a calibrated spectrometer and an integrating sphere. The integrating sphere mixes the light emitted by the lamp under different directions and prevents the spectrum from being distorted by reflections from the surroundings. I can not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



## 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.

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 7b). 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.

#### 7d) 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.

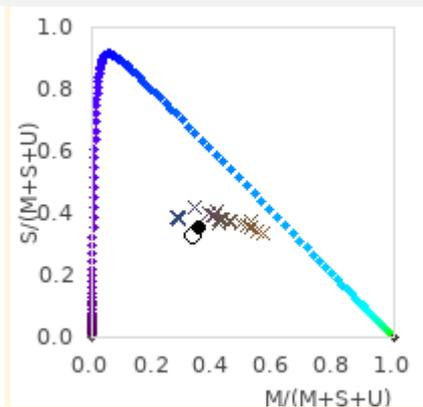
Bei der Abwägung zwischen positiven und negativen Eigenschaften der UV-Strahlung erscheint es mir am sinnvollsten auf eine große Ähnlichkeit zum Sonnenspektrum zu achten. Dem liegt die Annahme zugrunde, dass die Evolution die Mechanismen zum Schutz vor UV-Strahlung als auch die Nutzen aus der UV-Strahlung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

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 7b). 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.

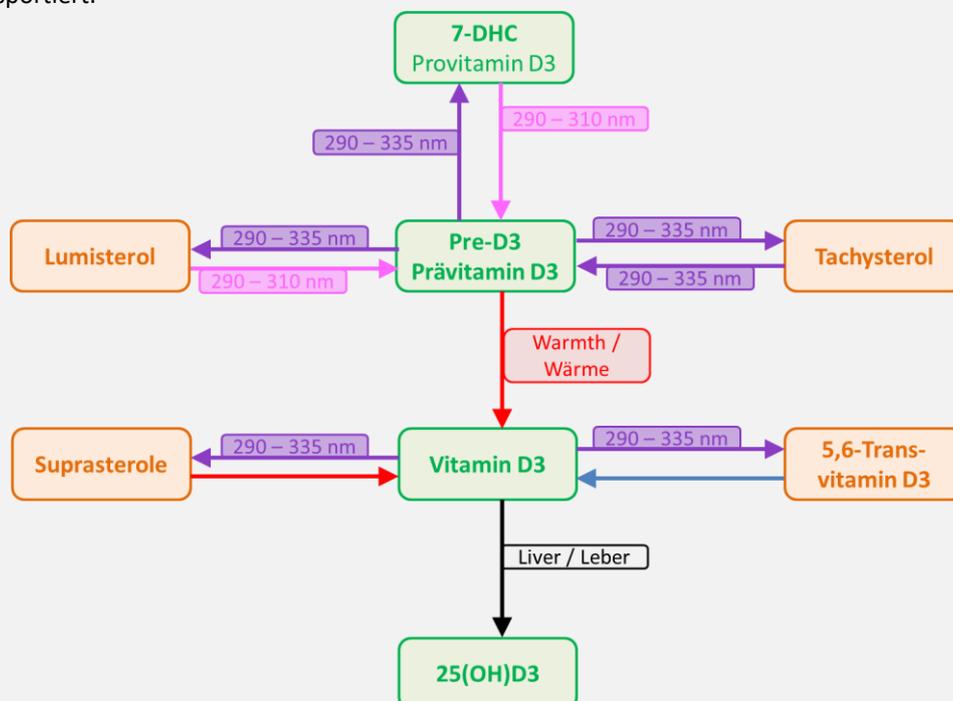
When balancing positive and negative effects of UV radiation, to me it seems most sensible to look out for a spectrum that best resembles the solar spectrum. This is based on the assumption that evolution will have optimized the protection strategies against UV and the benefits from UV perfectly for 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 wavelength must never be present. An increase in the intensity

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.

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 Prozess evolutionär optimiert wurde, hat im Bereich 310 – 335 nm eine vielfach höhere Intensität als im Bereich 290 – 310 nm.

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.

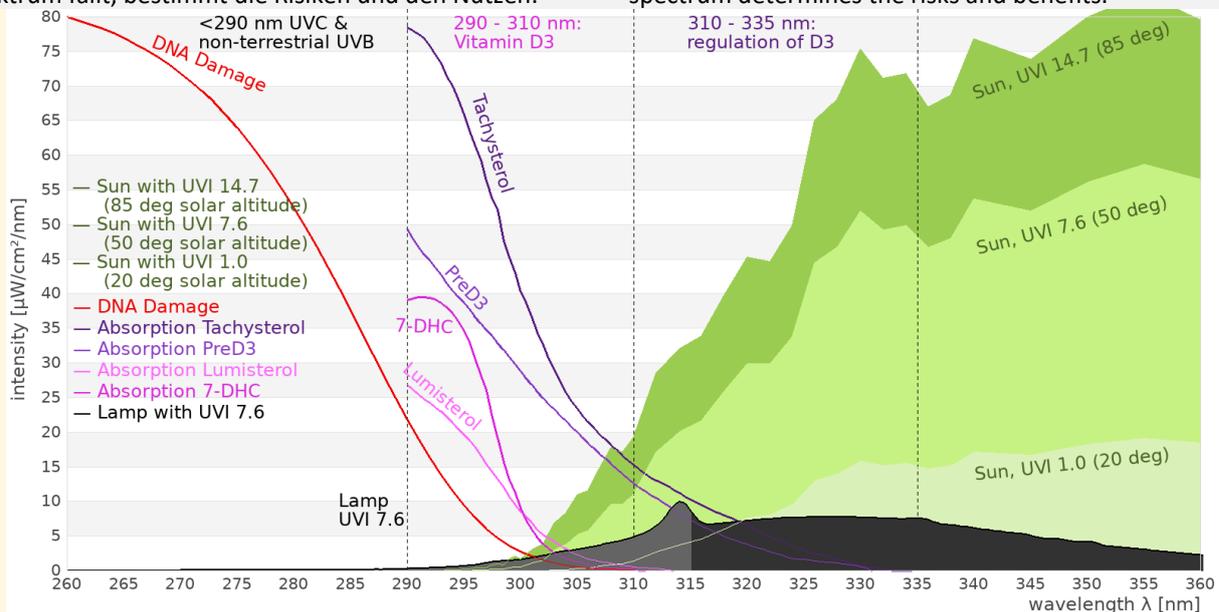
The longer wavelengths (310 – 335 nm) limit the amount of pre-D3 and thus Vitamin D3 that can be produced in the skin. These wavelengths act as a “brake” or “buffer” in the system. And sunlight has many times more intensity in the range 310 – 335 nm than in the range 290 – 310 nm.

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)

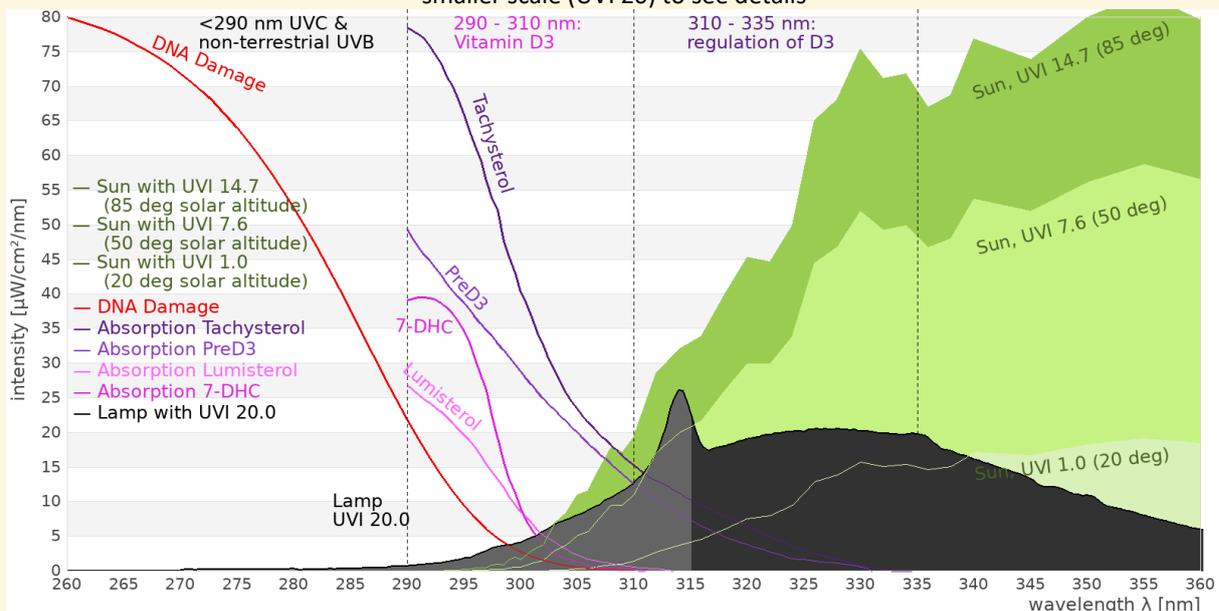
Die folgende Grafik zeigt das Spektrum der Lampe im Vergleich zu anderen Spektren:

- 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.



smaller scale (UVI 20) to see details



Die Grafik zeigt:

The graph shows:

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 Lampe strahlt einen sehr geringen Anteil nicht-terrestrisches UVB ab.
- Ein Teil der Strahlung ist unterhalb von 300 nm. Das Risiko von DNA-Schädigung ist daher größer als bei natürlichem Sonnenlicht.
- Es ist Strahlung im Wellenlängenbereich vorhanden, durch den Vitamin D3 in der Haut gebildet wird (290 – 315 nm).
- Es ist Strahlung im Wellenlängenbereich vorhanden, durch den die Vitamin D3 Bildung reguliert wird (310 – 335 nm). Allerdings ist der Anteil geringer als bei natürlichem Sonnenlicht. Diese Lampe wird bei gleichem UV-Index wahrscheinlich eine stärkere Vitamin-D3-Bildung anregen als natürliches Sonnenlicht. Es besteht das Risiko einer Vitamin-D3-Überdosierung.

Da Leuchtstofflampen mit einem sonnenähnlicheren Spektrum auf dem Markt verfügbar sind, empfehle ich diese Produkte anstelle der Exo Terra 150 zu verwenden.

## 7e) Photo-Kerato-Konjunktivitis

Zwischen 2006 und 2009 hat Frances Baines Fälle von mutmaßlichen Augen- und Hautverbrennungen in 65 Fällen (175 Reptilien) gesammelt (Baines2010, Gardiner2009). Die Lampen, die bei den betroffenen Tieren verwendet wurden, zeichneten sich durch einen UV-Leuchtstoff aus, der sehr kurzwellige UV-Strahlung erzeugte.

Die folgenden Grafiken zeigen das Spektrum der „Reptile Nova Extra Strong“ in blau im Vergleich zu den betroffenen Leuchtstofflampen (linke Grafik) und den damals nicht betroffenen Lampen (rechte Grafik). Die Strahlung der Reptile Nova Lampe ist deutlich weniger kurzwellig und viel sonnenähnlicher als die damals betroffenen Lampen. Allerdings hat die Lampe mehr kurzwellige Strahlung als die damals nicht betroffenen Lampen.

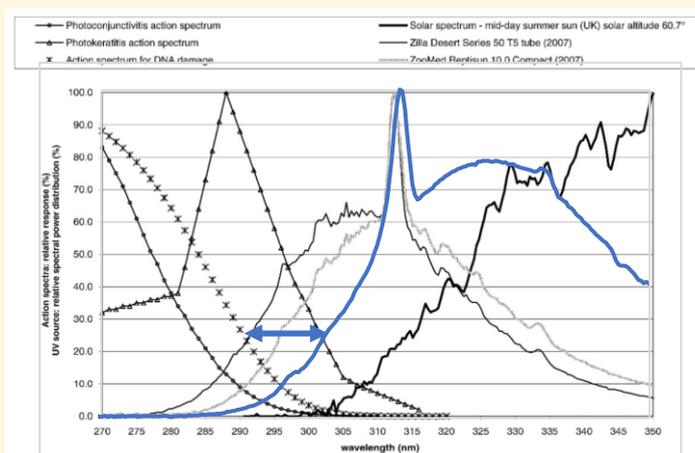


Figure 5. Spectral power distribution of the sun and two lamps associated with cases of photokeratoconjunctivitis, in relation to the action spectra for photoconjunctivitis, photokeratitis, and DNA damage. Spectral power distribution measured with the Ocean Optics USB2000 Spectrometer and expressed as percent relative power distribution for wavelengths between 270–350 nm. Photoconjunctivitis, photokeratitis, and DNA damage spectra were derived from published references and depicted as percent relative response.<sup>7,32</sup>

Gardiner, D. W., Baines, F. M., & Pandher, K. (2009). Photodermatitis and photokeratoconjunctivitis in a ball python (*python regius*) and a blue-tongue skink (*tiliqua* spp.). *Journal of zoo and wildlife medicine*, 40(4), 757–766.

## 8) 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

- The lamp does emit a tiny amount of UVB in the non-terrestrial UVB wavelengths.
- A proportion of its output is below 300nm. The risk of DNA damage is therefore greater than for natural sunlight.
- There is UVB in the wavelengths which enable vitamin D3 synthesis in skin (290 – 315 nm).
- There is UVB in the wavelengths which regulate the vitamin D3 synthesis in skin (310 – 335 nm). However, the proportion is lower than in natural sunlight. This lamp will likely enable stronger Vitamin D3 synthesis than natural sunlight at the same UV-index. There is a risk of Vitamin-D3 overdose.

Since lamps with a spectrum more like sunlight are available on the market, I recommend using these products instead of the Exo Terra 150.

## Photo-Kerato-Conjunctivitis

Between 2006 and 2009, Frances Baines collected cases of suspected eye and skin burns in 65 cases (175 reptiles) (Baines2010, Gardiner2009). The lamps used on the affected animals were characterized by a UV phosphor that produced very short-wave UV radiation.

The following graphs show the spectrum of the “Reptile Nova Extra Strong” in blue compared to the affected fluorescent lamps (left graphic) and the lamps that were not affected at the time (right graphic). The radiation from the Reptile Nova lamp is significantly less short-wave and much more sun-like than the lamps affected at the time. However, the lamp has more short-wave radiation than the lamps that were not affected at the time.

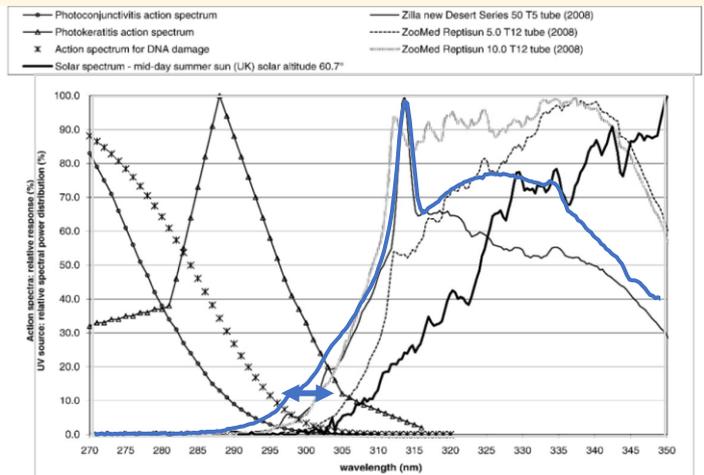


Figure 6. Spectral power distribution of the sun and three lamps not associated with cases of photokeratoconjunctivitis, in relation to the action spectra for photoconjunctivitis, photokeratitis, and DNA damage. Spectral power distribution measured with Ocean Optics USB2000 Spectrometer and expressed as percent relative power distribution for wavelengths between 270–350 nm. Photoconjunctivitis, photokeratitis, and DNA damage spectra were derived from published references and are depicted as percent relative response.<sup>7,32</sup>

## 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.

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.

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.

### Illuminance

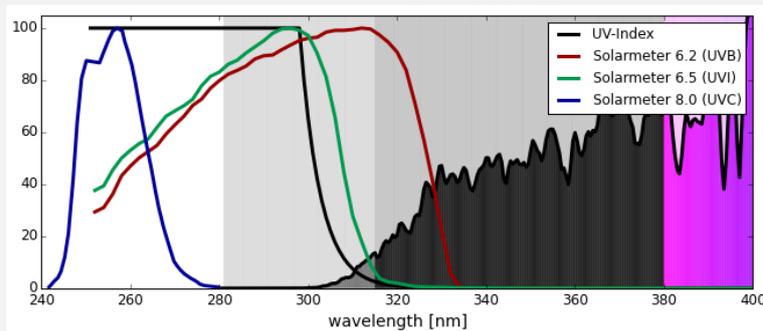
The illuminance is measured with a “Voltcraft MS-200LED” lux meter. This meter measures the visible irradiance weighted with the sensitivity of the human eye. The meter measures up to 400,000 lux.

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-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, Dobbins2016, Lindgreen2008). UV-Index-Werte im Jahres- und Tagesverlauf sind häufig aus dem Wetterbericht bekannt.

### 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, Dobbins2016, 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 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

• **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.

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.

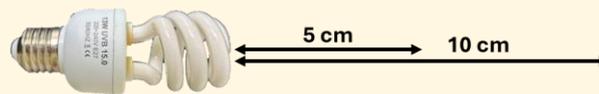
UVA leakage, the measured value is checked again with a Schott UG11-filter.

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         |

8a) Maximale Bestrahlungsstärke in verschiedenen Abständen

Maximum irradiance in different distances



| Distance [cm]                                    | 5     | 10    | 15   | 20   | 25   | 30   | 40   |
|--|-------|-------|------|------|------|------|------|
| Luxmeter [lx]                                    | 4.140 | 1.697 | 938  | 599  | 428  | 316  | 200  |
| Lux (Box)  |       | 3.070 |      | 670  |      | 420  | 280  |
| Solarmeter 6.2 UVB [ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ] | 204   | 82    | 43   | 27   | 19   | 13   | 8    |
| UVB (Box)  |       | 115   |      | 50   |      | 25   | 15   |
| Solarmeter 6.5 UVI                               | 10    | 4,0   | 2,2  | 1,3  | 0,9  | 0,6  | 0,4  |
| Solarmeter 6.4 / 7.14 (Krzystof Lis)             | 20,3  | 7,8   |      | 2,8  |      | 1,4  |      |
| VitD3 / 7.14 (Box)                               |       | 6,3   |      | 1,4  |      | 1,1  | 0,8  |
| Solarmeter Ratio                                 | 20,4  | 20,5  | 19,5 | 20,8 | 21,1 | 21,7 | 20,0 |

Der Solarmeter 8.0 Messwert (UVC) war direkt an der Lampe Null.

Meine Messwerte sind sowohl bei Lux als auch UV etwas niedriger als vom Hersteller angegeben. Das könnte zum einen an einer anderen Orientierung der Lampe zum Messgerät liegen, zum anderen am Alter der Lampe.

Wie auch bei der ReptileNova Lampe sind auch hier die Messwerte von Krzystof Lis höher als meine Messwerte.

The Solarmeter 8.0 reading (UVC) was zero directly at the lamp.

My readings for both lux and UV are slightly lower than those stated by the manufacturer. This could be due to a different orientation of the lamp to the measuring device, or to the age of the lamp.

As with the ReptileNova lamp, Krzystof Lis' readings are higher than my readings.

8b) 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

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

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.

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.

| cm           | Lux  | UV-Index | UVC |
|--------------|------|----------|-----|
| Spectrometer | 4520 | 9,97     | 0   |
| Radiometer   | 4140 | 10,0     | 0   |
| Deviation    | -8%  | 0%       | ✓   |

### 8c) 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. Bei meinem Messgeräte-Paar erhalte ich für verschiedene Lampen folgende Werte:

| 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 24, etwas niedriger als für andere UVB-Leuchtstofflampen. Das stimmt mit der Spektrometer-Messung überein, wo etwas mehr kurzwellige UVB-Strahlung sichtbar ist.

### 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. For my pair of meters I receive the following ratios for various lamps:

The Solarmeter ratio is 24, slightly lower than for other UVB fluorescent lamps. This agrees with the spectrometer measurement, where slightly more short-wavelength UVB is seen.

## 9) Einschränkungen

Die Messungen wurden von mir als Physikerin nach bestem Wissen durchgeführt und Quellen und Rahmenbedingungen angegeben. Ich glaube, dass die Messungen aussagekräftig und

## 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

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.

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.

## 10) 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).
- Dobbison, 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.