

|  |   |
|--|---|
| 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 10/2021

## ZooMed ReptiSun UVB/LED 9W

### 1) Zusammenfassung

- Die ReptiSun UVB/LED ist eine E27 LED-Lampe zum waagrechten Betrieb mit 308-nm-LEDs für UVB.
- **Das Spektrum unterscheidet sich im Vitamin-D3-wirksamen Bereich sehr stark vom Sonnenlicht. Es gibt begründete Sorge, dass das zu gesundheitlichen Gefahren kommen kann (Details siehe Abschnitt 6d). So lange keine wissenschaftlichen Studien vorliegen, die diese Sorge ausräumen, empfehle die Verwendung dieser UVB-LED-Lampen nicht.**
- Sollten die Lampen trotz dieser Warnung verwendet werden, rate ich den UV-Index eher gering zu wählen und die Tiere sorgfältig bezüglich UVB-Schäden, insbesondere einer Vitamin-D3-Überdosierung zu beobachten.
- Die anderen Parameter der Lampe sind überwiegend sehr gut, so dass die Technologie bei Weiterentwicklung des Spektrums Potential hat. E27 LED-Lampen bringen Vorteile für die Reptilienhaltung, da sie ohne externes Vorschaltgerät einfach in der Anwendung sind. Sie enthalten kein Quecksilber und stellen daher keine Gesundheitsgefahr dar, wenn eine Lampe beschädigt wird.
- Die UV-Index-Verteilung ist breit und homogen und bietet einen guten Sonnenplatz bis zu Ferguson-Zone 3 mit 25 cm Durchmesser (falls das Ferguson-Zonen-Konzept für das LED-Spektrum gültig wäre). Die Lampe muss aber mit anderen Lampen für sichtbares Licht und Wärme kombiniert werden. **Andernfalls besteht die Gefahr, dass Reptilien die Lampe entweder nicht annehmen oder zu lange und in zu kleinem Abstand sonnen.**
- Bei anderen LED-Lampen kann es vorkommen, dass einzelne LEDs plötzlich versagen während andere LEDs weiter leuchten. Ich habe Sorge, dass bei dieser Lampe die UVB LEDs plötzlich ausfallen könnten, während die Lampe weiterhin sichtbares Licht abstrahlt. In diesem Fall würde der UVB-Verlust vermutlich unbemerkt bleiben.

### 1) Summary

- The ReptiSun UVB/LED lamp is a E27 LED lamp for horizontal operation 308-nm LEDs for UVB.
- **The spectrum differs significantly from the solar spectrum in the range relevant for vitamin D3. There is profound concern that this can cause health issues (details see 6d). As long as there are no scientific studies that rule out this concern, I do not recommend using this lamp.**
- If the lamps are used despite this warning, I advise choosing the UV index rather low and carefully monitoring the animals for UVB damage, especially a vitamin D3 overdose.
- The other parameters of the lamp are predominantly very good, so that the technology has potential if the spectrum is developed further. E27 LED lamps can bring benefit for reptile husbandry as they are easy to use without an external ballast. They do not contain mercury and therefore do not pose a health risk if a lamp is damaged.
- The UV index is wide and homogenous and offers a good basking zone up to Ferguson Zone 3 with diameter 25cm (if the concept of Ferguson zones is valid for the LED spectrum). However, the lamp must be combined with other lamps for visible light and heat. **Otherwise, there is a risk that reptiles will either not accept the lamp or sunbathe for too long and too close a distance.**
- With other LED lamps it can happen that individual LEDs suddenly fail while other LEDs continue to shine. I am concerned that the UVB LEDs on this lamp could suddenly fail while the lamp continues to emit visible light. In this case, the loss of UVB would probably go unnoticed.

|  |    |   |
|--|----|---|
| 1) Zusammenfassung .....                                       | 1  | ... 1) Summary                                    |
| 2) Beschreibung der Lampe.....                                 | 2  | ... 2) Lamp Description                           |
| 3) Visuelle Lichtverteilung.....                               | 2  | ... 3) Visual Light Distribution                  |
| 4) Temperatur .....  | 3  | ... 4) Temperature                                |
| 5) Elektrischer Verbrauch.....                                 | 3  | ... 5) Power Consumption                          |
| 6) Spektrale Messung.....                                      | 3  | ... 6) Spectral Measurement                       |
| 6a) Beurteilung des Gesamtspektrums .....                      | 4  | ... 6a) Review of the spectrum                    |
| 6b) Für den Menschen sichtbares Spektrum.....                  | 5  | ... 6b) Spectrum visible to humans                |
| 6c) Für Reptilien sichtbares Spektrum .....                    | 6  | ... 6c) Spectrum visible to reptiles              |
| 6d) UV-Spektrum (Vitamin D3).....                              | 7  | ... 6d) UV Spectrum (vitamin D3)                  |
| 6e) Blaulichtgefährdung .....                                  | 10 | ... 6e) Blue Light Hazard                         |
| 7) Intensitätsmessungen .....                                  | 11 | ... 7) Intensity Measurements                     |
| 7a) Maximale Bestrahlungsstärke in verschiedenen Abständen ... | 11 | ... 7a) Maximum irradiance in different distances |
| 7b) Solarmeter-Verhältnis .....                                | 12 | ... 7b) Solarmeter Ratio                          |
| 7c) Iso-Bestrahlungsstärke-Karte .....                         | 12 | ... 7c) Iso Irradiance Chart                      |
| 7d) Einbrennen und Alterung .....                              | 13 | ... 7d) Burn in and Aging                         |
| 8) Einschränkungen.....  | 14 | ... 8) Limitations                                |
| 9) Zitierte Literatur.....                                     | 14 | ... 9) Literature cited                           |

## 2) Beschreibung der Lampe

Die Reptisun UVB/LED 9W ist eine 22cm lange, 3,5 cm breite und 4 cm hohe E27-Lampe zum waagrechten Betrieb. Sie vereint 8 weiße LEDs, 4 UVB LEDs und 1 UVA LED.

Die Lampe lässt sich relativ zur Fassung um ca. 170° drehen. Das hat bei einem ersten Testversuch bei Frances Baines nicht ausgereicht, um die Lampe nach Einschrauben in ein ZooMed Naturalistic Terrarium Hood so zu orientieren, dass sie nach unten strahlt. Ich habe die Lampe in einer flexiblen Fassung frei hängend getestet.

## 2) Lamp Description

The Reptisun UVB / LED 9W is a 22 cm long, 3.5 cm wide and 4 cm high E27 lamp for horizontal operation. It combines 8 white LEDs, 4 UVB LEDs and 1 UVA LED.

The lamp can be rotated by approx. 170 ° relative to the socket. In a first test attempt by Frances Baines this was not enough to orient the lamp facing downwards after screwing it into a ZooMed Naturalistic Terrarium. I tested the lamp hanging freely in a flexible socket.

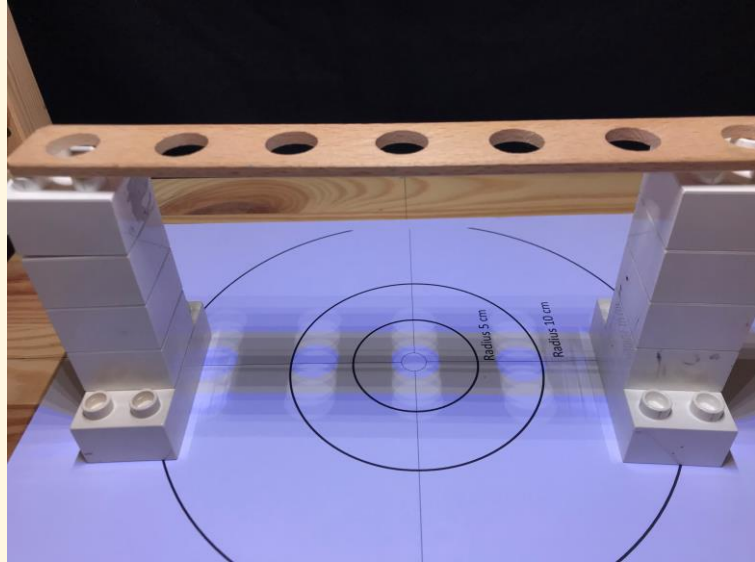
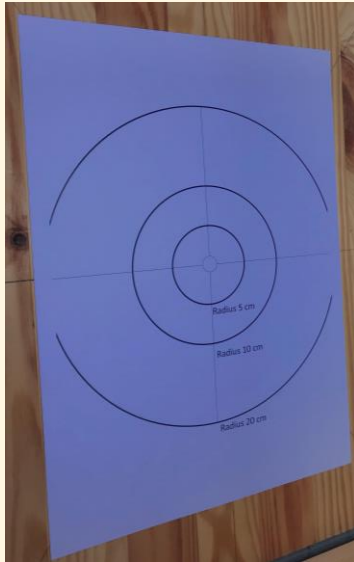


## 3) Visuelle Lichtverteilung

Die Verteilung der sichtbaren Strahlung wird mit einem Foto einer weißen, beleuchteten Fläche visualisiert. Falls Unterschiede im UVA-Spektrum zu erwarten sind wird das Foto auch mit einer UVA-Kamera aufgenommen (Sony NEX-6 mit entferntem UV/IR-Sperrfilter vor dem CCD Sensor; ZEISS Touit 1.8/32 Linse; heliopan UG1 Filter; Empfindlichkeit ca. 360 nm – 380 nm).

## 3) Visible Light Distribution

The distribution of visible light is visualized by a photo of a white illuminated area. If difference between visible and UVA spectrum are expected, this photo is also taken with a UVA camera (Sony NEX-6 with removed UV/IR-cutoff filter in front of the CCD sensor; ZEISS Touit 1.8/32 lens; heliopan UG1 filter; sensitivity approximately ca. 360 nm – 380 nm).



Die sichtbare Lichtverteilung ist sehr homogen. Sobald sich jedoch Objekte zwischen der Lampe und der beleuchteten Fläche befinden, werden die einzelnen LEDs sichtbar. Von den 8 sichtbaren Einzel-LEDs erwartet man 8 getrennte Schatten, die so im Foto auch sichtbar sind. Durch die einzelne UVA-LED erwartet man für Reptilien einen weiteren Schatten mit einer anderen Farbe, der zusammen mit den Schatten der „weißen“ LEDs zu Farbeffekten führt.

The visible light distribution is very homogeneous. However, as soon as there are objects between the lamp and the illuminated surface, the individual LEDs become visible. From the 8 visible single LEDs one expects 8 separate shadows, which are also visible in the photo. Due to the individual UVA-LED, one expects a further shadow with a different color for reptiles, which together with the shadow of the "white" LEDs leads to color effects.

#### 4) Temperatur

The temperature of the lamp is measured with a non-contact infrared thermometer (Etekcity Lasergrip 1080) gemessen. Bei 22°C Umgebungstemperatur erwärmte sich die Lampe auf 48°C. Wie erwartet gibt es keine wahrnehmbare Wärmestrahlung.

#### 4) Temperature

The temperature of the lamp is measured with a non-contact infrared thermometer (Etekcity Lasergrip 1080). At an ambient temperature of 22 ° C, the lamp heated up to 48 ° C. As expected, there is no noticeable heat radiation.

#### 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. Im Rahmen der geringen Messgenauigkeit des Energiemessgerätes bei geringen Leistungen stimmt die Leistung der Lampe mit den Herstellerangaben überein.

#### 5) 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. Within the low measuring accuracy of the energy meter at low power, the power of the lamp matches the manufacturer's specifications.

|                                |      |
|--------------------------------|------|
| Spannung / voltage [V]         | 235  |
| Leistung / power [W]           | 0,05 |
| Strom / current [A]            | 8,2  |
| Leistungsfaktor / Power factor | 70   |

#### 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.

#### 6) 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.

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

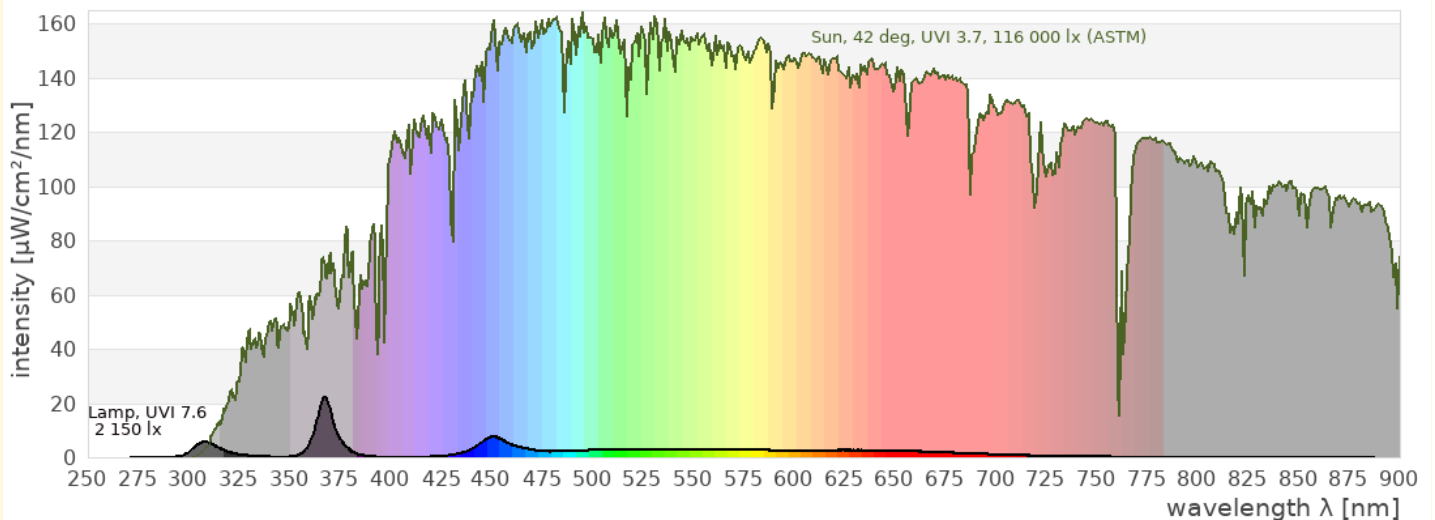
### 6a) Beurteilung des Gesamtspektrums

Das Spektrum wird relative zum ASTM Referenzsonnenspektrum gezeigt. Das ermöglicht den Vergleich des Lampenspektrums mit dem Spektrum von natürlichem Sonnenlicht. Sonnenlicht hat ein völlig kontinuierliches Spektrum ab ca. 295 nm.

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.

### Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. 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.



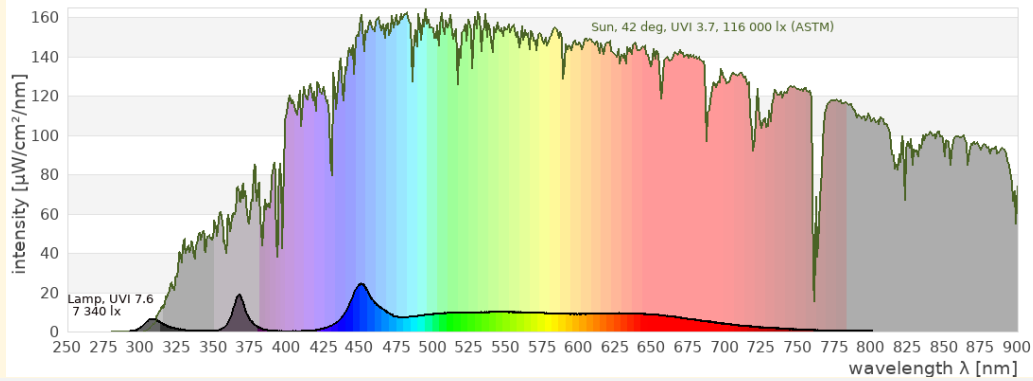
|                      | Lamp    | ASTM Reference Sun |
|----------------------|---------|--------------------|
| UVB (280 – 315 nm)   | 6,4 %   | 0,1 %              |
| UVA 1 (315 – 350 nm) | 2,6 %   | 1,3 %              |
| UVA 2 (350 – 380 nm) | 22 %    | 1,9 %              |
| VIS (380 – 780 nm)   | 69 %    | 53 %               |
| Full (250 – 880 nm)  | 100 %   | 100 %              |
| UVI                  | UVI 7,6 | UVI 3,7            |
| Lux                  | 2170    | 116 000 lx         |

Das Spektrum ist typisch für aktuelle UVB-LED-Lampen. Die Emission der drei einzelnen LED-Typen (UVB Peak ca 308 nm, UVA Peak ca. 370 nm und blaue Primärled Peak 440 nm) sind klar erkennbar. Das Spektrum unterscheidet sich deutlich vom Sonnenlicht mit großen Lücken im Bereich 320 nm – 360 nm und 380 nm – 430 nm und ab ca 700 nm. Außerdem der UVB-Anteil deutlich höher und der sichtbare Anteil deutlich geringer als beim Sonnenlicht.

Es hängt von der Position unter der Lampe ab, wie stark die Einzel-LEDs zum Spektrum beitragen. Stark dezentriert unter der Lampe sinkt der Anteil der UVA-LED (Abbildung unten). Aus Reptiliensicht entspricht das einem Farbverlauf des Lichts (siehe auch 6c).

The spectrum is typical for current UVB LED lamps. The emission of the three individual LED types (UVB peak approx. 308 nm, UVA peak approx. 370 nm and blue primary LED peak 440 nm) are clearly visible. The spectrum differs significantly from sunlight with large gaps in the range 320 nm - 360 nm and 380 nm - 430 nm and from around 700 nm upwards. In addition, the UVB component is significantly higher and the visible component is significantly lower than in sunlight.

It depends on the position under the lamp how much the individual LEDs contribute to the spectrum. The proportion of the UVA LED drops if the measurement is taken decentered under the lamp (figure below). From a reptile's perspective this corresponds to a colour change of the light (see also 6c).



## 6b) Für den Menschen sichtbares Spektrum

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

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.

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. 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.

## 6b) 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 international illumination commission CIE (*Commission Internationale de l'Éclairage*) defines that the range 380 nm to 780 nm shall be used for colour calculations. The spectrometer software “Ocean View” calculates the colour coordinate, correlated colour temperature and colour rendering indices based on that. They are valid for human colour vision only.

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

|  |               |
|--|---------------|
| (x,y)  | (0.31 ; 0.31) |
| CCT [Kelvin]                                 | 6805K         |
| CRI  | 95            |
| R1 (light grayish red)                       | 94            |
| R2 (dark grayish yellow)                     | 97            |
| R3 (strong yellow green)                     | 93            |
| R4 (moderate yellowish green)                | 96            |
| R5 (light bluish green)                      | 96            |
| R6 (light blue)                              | 93            |
| R7 (light violet)                            | 99            |
| R8 (light reddish purple)                    | 94            |
| R9 (strong red)                              | 82            |
| R10 (strong yellow)                          | 95            |
| R11 (strong green)                           | 94            |
| R12 (strong blue)                            | 74            |
| R13 (light yellowish pink, human complexion) | 95            |
| R14 (moderate olive green)                   | 96            |
| R15 (Japanese complexion)                    | 92            |
| DC<5.4E-3                                    | false         |

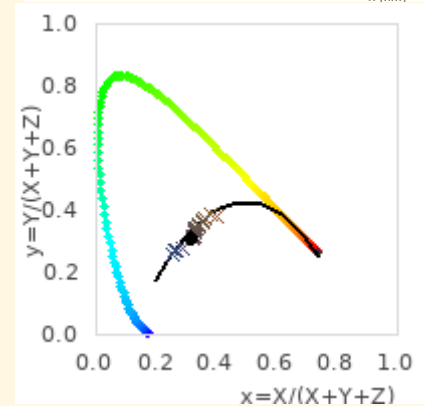
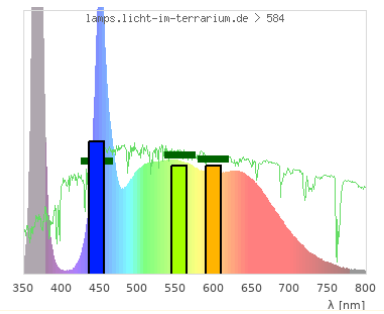
Der Farbort weicht zu stark von der Planckschen Kurve ab, um eine valide Farbberechnung durchzuführen. Die Software versucht dennoch die besten Werte abzuschätzen. Auf mich wirkt das Licht unangenehm bläulich. Ich finde zudem die sehr intensiven und weit entfernten LEDs beim Blick in die Lampe unangenehmer als das Licht von dichter gepackten (aber dafür weniger intensiven und zahlreicheren) LEDs anderer LED-Leisten.

### 6c) Für Reptilien sichtbares Spektrum

Während der Mensch für das Farbsehen drei Photorezeptoren (Blau, Grün, Rot/Orange) besitzt, sind es bei Reptilien je nach Art drei (UV, blau, grün) oder vier (UV, blau, grün, rot). Das Farbsehen von Reptilien unterscheidet sich daher grundlegend vom Farbsehen des Menschen. Insbesondere der UVA-Bereich ist wichtig, damit alle Photorezeptoren Licht sehen. Nur dann erscheint das Licht weiß(lich) und volles Farbsehen ist möglich. Der für Reptilien sichtbare Spektralbereich liegt ja nach Art zwischen 350 nm und 600 nm / 800 nm.

Die folgenden Grafiken zeigen das Spektrum im Bereich, der für Reptilien sichtbar ist, zusammen mit den Signalen, die vier Photorezeptoren erhalten würden. Die Empfindlichkeitskurven der vier Photorezeptoren sind Gaußförmig bei 560 nm, 497 nm, 440 nm und 380 nm. Diese Abschätzung basiert auf Studien zum Farbsehen von Reptilien. In Grün sind das Spektrum der Sonne und deren Signale auf die Photorezeptoren gezeichnet. Basierend auf den UV-, Blau- und Grün-Rezeptor wird ein Farbraum berechnet analog zum CIE Farbraum des menschlichen Betrachters (siehe 6b). Die farbigen Kreuze kennzeichnen Farborte von verschiedenen Tageslichtphasen. Der schwarze Punkt zeigt den Farbort der Lampe.

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



The colour coordinate deviates too much from Planck's curve to do a valid colour calculation. Nevertheless, the software tries to estimate the best values.

The light has an unpleasant bluish cast to me. I also find the very intense and separated LEDs more uncomfortable when looking into the lamp than the light from more densely packed (but less intense and more numerous) LEDs of other LED strips.

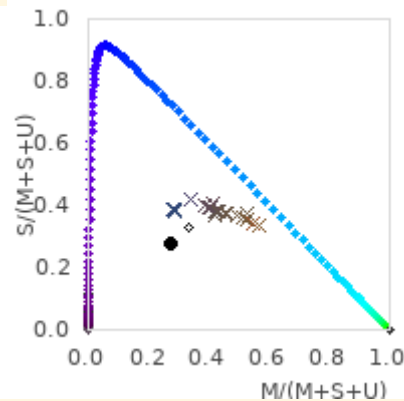
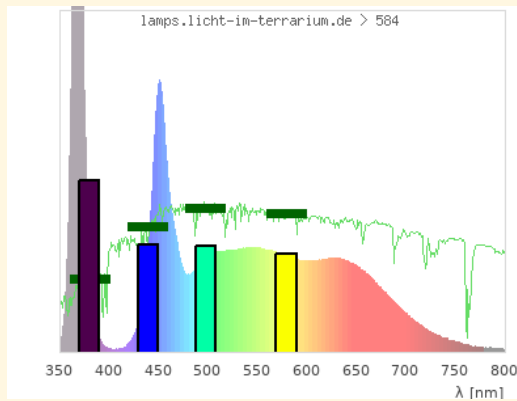
### 6c) Spectrum visible to reptiles

While humans have three photo receptors (blue, green, orange/red), reptiles have three (uva, blue, green) or four (uva, blue, green, red). The colour vision of reptiles therefore differs fundamentally from the colour vision of humans. Especially the UVA range is necessary so that all photo receptors see light. Only then the light looks white(ish) and full colour vision is possible. The spectral range visible to reptiles ranges from 350 nm to 600 nm / 800 nm.

The following graphs show the spectrum in the range visible to reptiles together with the signals that four photo receptors would receive. The photo receptors sensitivity spectra are of gaussian shape at the peak wavelengths 560 nm, 497 nm, 440 nm, and 380 nm. This is an estimate based on studies on reptile colour vision. In green the spectrum and signal of sunlight is shown.

Based on the UV, blue and green photo receptors a colour space is calculated in analogy to the CIE colour space for the human observer (see 6b). The coloured crosses indicate the colour coordinates of different phases of daylight. The black dot shows the colour coordinate of the lamp.

I believe that this adaption of colour space makes sense mathematically and colour spaces are used in scientific research regarding colour vision of animals (Kelber2003), however I have not seen the application to light sources in the scientific literature.



Die Lampe strahlt für Reptilien sichtbares UVA ab, jedoch ist der UVA-Anteil sehr hoch verglichen mit dem Sonnenlicht. Vermutlich wird das Licht für Reptilien weiß mit starkem UVA-Farbstich sein. Es gibt eine deutliche Lücke zwischen ca. 360 nm und 430 nm, die bei Reptilien möglicherweise zu einer schlechten Farbwiedergabe führt. Das Spektrum könnte durch zwei verschiedene UVA-LED-Typen mit z.B. 370 nm und 400 nm sonnenähnlicher gemacht werden.

The lamp emits UVA that is visible to reptiles, but the amount of UVA is very high compared to sunlight. Presumably the light for reptiles will be white with a strong UVA color cast. There is a clear gap between around 360 nm and 430 nm that may result in poor color rendering in reptiles. The spectrum could be made more sun-like by using two different UVA-LED types with e.g. 370 nm and 400 nm.

### 6d) UV-Spektrum (Vitamin D3)

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

Bei der Abwägung zwischen positiven und negativen Eigenschaften der UV-Strahlung erscheint es mir am sinnvollsten auf eine große Ähnlichkeit zum Sonnenspektrum zu achten. Dem liegt die Annahme zugrunde, dass die Evolution die Mechanismen zum Schutz vor UV-Strahlung als auch die Nutzen aus der UV-Strahlung für dieses Spektrum perfekt optimiert hat. Das Sonnenspektrum beginnt bei etwa 300 nm und steigt fast linear bis 400 nm an. Strahlung mit einer Wellenlänge kleiner als 300 nm sollte daher im Lampenspektrum nur zu einem sehr geringen Teil, unter 290 nm gar nicht vorhanden sein. Eine ansteigende Intensität von 300 nm bis mind. 335 nm ist zur Regulierung der Vitamin D3 Produktion sehr empfehlenswert.

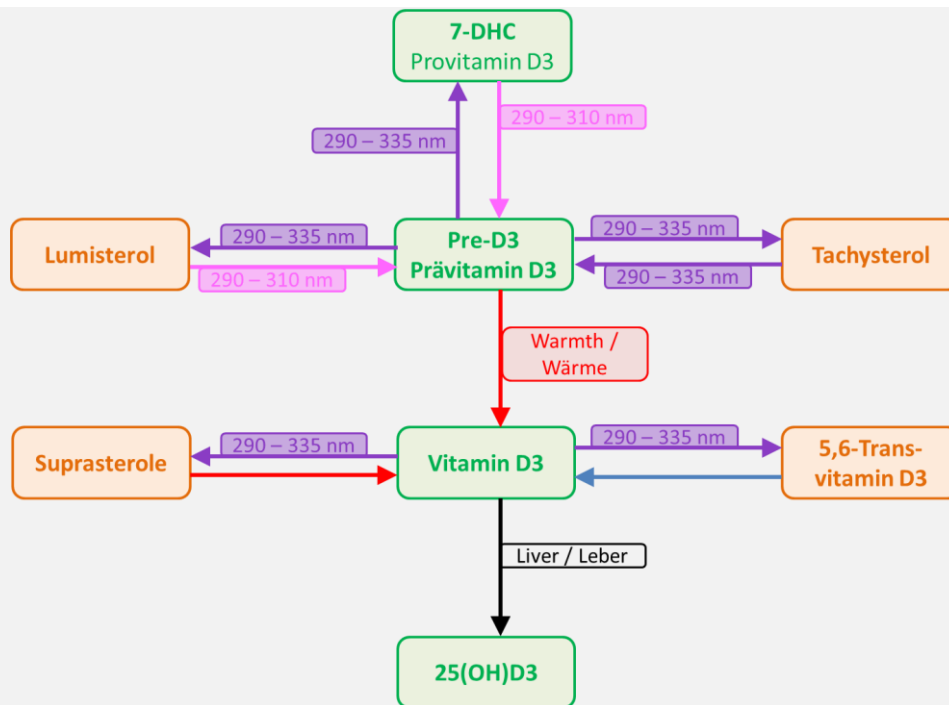
Das einfache Bild der Vitamin D3 Bildung in der Haut ist folgendermaßen: UVB wird benötigt, um 7-DHC in der Haut in Prävitamin D3 umzuwandeln. Dann wandelt Wärme das Prävitamin D3 in Vitamin D3 um. Das Vitamin-D3-bindenden Protein (DBP) bindet an die Vitamin D3 Moleküle und trägt sie in den Blutkreislauf.

### 6d) UV Spectrum (Vitamin D3)

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

When balancing positive and negative effects of UV radiation, to me it seems most sensible to look out for a spectrum that best resembles the solar spectrum. This is based on the assumption that evolution will have optimized the protection strategies against UV and the benefits from UV perfectly for the solar spectrum. The solar UV spectrum starts at around 300 nm and increases almost linearly towards 400 nm. Radiation with a wavelength below 300 nm should therefore be almost absent in a lamp's spectrum and radiation below 290 nm wavelength must never be present. An increase in the intensity from 300 nm to at least 335 nm is strongly recommended to regulate the production of vitamin D3.

The simple picture of Vitamin D3 production in the skin is as follows: UVB is needed to convert the 7-DHC in the skin into pre-D3. Then warmth converts pre-D3 into vitamin D3. Vitamin D3-binding protein (DBP) attaches to the vitamin D3 molecule and the pair are carried into the bloodstream.



Aber das ist eine starke Vereinfachung. Wie in einem wegweisenden Artikel von MacLaughlin et al. (1982) gezeigt wurde, ist die Bildung von Vitamin D3 ein komplexer Prozess: Vier Photoprodukte bilden ein Gleichgewicht, deren Menge von der Form des UV-Spektrums abhängen, das die Haut erreicht. Nur Wellenlängen unter 320 nm – und ganz besonders die unter 310 nm – wandeln 7-DHC-Moleküle in Prävitamin D3 um. Prävitamin D3 kann dann aber auch wieder in 7-DHC oder in Lumisterol oder Tachysterol umgewandelt werden, indem es UV im Bereich unter 335 nm absorbiert. Die längeren Wellenlängen (310 – 335 nm) begrenzen die Menge an Prävitamin D3 und damit Vitamin D3, die in der Haut gebildet werden kann. Diese Wellenlängen wirken im System als „Bremse“ oder „Puffer“. Und Sonnenlicht, wofür dieser Prozess evolutionär optimiert wurde, hat im Bereich 310 – 335 nm eine vielfach höhere Intensität als im Bereich 290 – 310 nm. Es gibt darüber hinaus sogar eine Ausfallsicherung, um überschüssiges Vitamin D3 zu entfernen, wenn sich so viel in der Haut ansammelt, dass DBP es nicht mehr entfernen kann. Webb et al. (1989) fanden heraus, dass Wellenlängen bis zu 330 nm das in der Haut verbleibende Vitamin D3 abbauen und 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)
- — Absorptionsspektrum für DNA-Schädigung (Setlow1974), die Wirkspektren für andere schädigende Auswirkungen von UV-Strahlung, wie Photo-Kerato-Konjunktivitis sind ähnlich.
- — Absorptionsspektrum von Tachysterol (MacLaughlin1982)
- — Absorptionsspektrum von PreD3 (MacLaughlin1982)
- — Absorptionsspektrum von Lumisterol (MacLaughlin1982)
- — Absorptionsspektrum von 7DHC (MacLaughlin1982)

Das Ausmaß, in dem die UV-Spektrum unter jedes Absorptionsspektrum fallen, bestimmt die Stärke der Wirkung

But this is a great simplification. As shown in a key paper by MacLaughlin et al. (1982), Vitamin D3 synthesis is a complex process: Four photoproducts form an equilibrium, the amounts of each depending on the nature of the UV spectrum reaching the skin. Only wavelengths below 320nm – and especially those below 310nm – transform molecules of 7-DHC into preD3. But then pre-D3 can also be converted back to 7-DHC or to Lumisterol or Tachysterol by absorbing UV in the range below 335 nm. All four of these molecules are constantly converted one into another and back again. The longer wavelengths (310 – 335 nm) limit the amount of pre-D3 and thus Vitamin D3 that can be produced in the skin. These wavelengths act as a “brake” or “buffer” in the system. And sunlight has many times more intensity in the range 310 – 335 nm than in the range 290 – 310 nm.

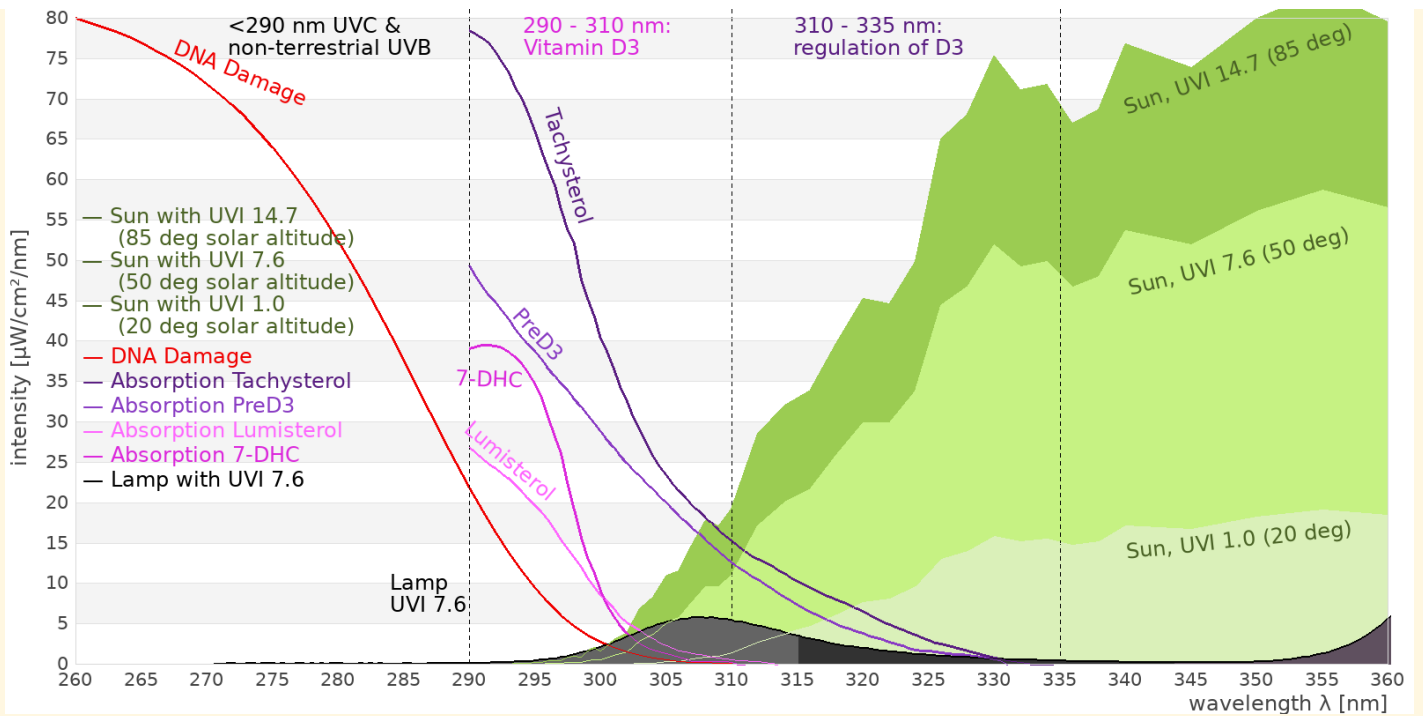
There is even a “back-up” process to remove any excess vitamin D3 if too much of this starts to accumulate for the DBP to take it away. Webb et al. (1989) found that wavelengths up to 330nm would degrade vitamin D3 remaining in skin, breaking it down into inert metabolites (5,6-transvitamin D3, suprasterol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

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)
- — Absorption spectrum for DNA damage (Setlow1974), the action spectra for other damaging effects of UV radiation, such as photo-kerato-conjunctivitis, are similar to this one.
- — Absorption spectrum of Tachysterol (MacLaughlin1982)
- — Absorption spectrum of PreD3 (MacLaughlin1982)
- — Absorption spectrum of Lumisterol (MacLaughlin1982)
- — Absorption spectrum of 7DHC (MacLaughlin1982)

The extent to which each UV spectrum falls under each absorption spectrum determines the strength of the action.

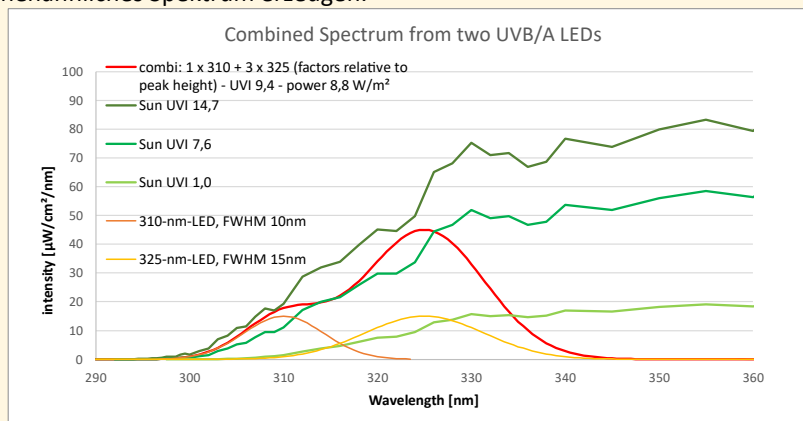




- Die Lampe strahlt kein gefährliches UVC oder nicht-terrestrisches UVB ab.
  - Ein deutlicher Teil der Strahlung liegt unterhalb von 300 nm. Das Risiko von DNA-Schäden ist daher größer als bei natürlichem Sonnenlicht.
  - Es gibt ausreichend Strahlung im Wellenlängenbereich, der Vitamin D3 bildet.
  - Der Anteil von Strahlung im Bereich 310 nm – 335 nm, wichtig für die Begrenzung der Vitamin-D3-Bildung, ist im Vergleich zu Sonnenlicht sehr gering verschwindend gering.
- Im Gegensatz zu anderen UVB-Lampen gibt es mit UVB-LEDs bisher keine langfristigen Erfahrungswerte. Die bewährten UVB-Lampen (Leuchtstofflampen, UV-HQIs, Quecksilberdampflampen) unterscheiden sich von dieser LED-Lampe durch einen wesentlich höheren Anteil an Strahlung im Bereich 310 – 335 nm. Bevor ich diese Lampe in der Reptilienhaltung empfehlen kann, muss entweder das Spektrum deutlich sonnenähnlicher werden oder durch wissenschaftliche Studien die Ungefährlichkeit der Lampe nachgewiesen werden. Eine Kombination einer 310-nm-LED mit einer 325-nm-LED könnte beispielsweise ein sehr sonnenähnliches Spektrum erzeugen.

- The lamp does not emit hazardous UVC, or UVB in the nonterrestrial UVB wavelengths.
- A proportion of its output is below 300nm. The risk of DNA damage is therefore greater than for natural sunlight.
- There is significant UVB in the wavelengths which enable vitamin D3 synthesis in skin.
- The proportion of UVA from 310 - 335nm, important for natural prevention of excessive D3 synthesis, is very low compared to sunlight.

In contrast to other UVB lamps, UVB LEDs are new to animal husbandry. The well-tried UVB lamps (fluorescent lamps, metal halide lamps, mercury vapour lamps) differ from this LED lamp in their much stronger radiation in the range 310 – 335 nm. Before I can recommend using this lamp in reptile husbandry, either the spectrum must be made much more like sunlight, or scientific studies must proof the safety of this lamp. A combination of a 310-nm-LED with a 325-nm-LED could for example result in a very solar-like spectrum.



Wie oben beschrieben ist schon lange bekannt, dass und wie das UV-Spektrum die Vitamin-D3-Bildung beeinflusst und wie das intensive Sonnenlicht im Bereich 310 – 335 nm die Überdosierung von Vitamin D3 verhindert. Zum Einfluss eines

As described above, it has loon been known, that and how the UV spectrum affects the Vitamin D3 production and how the strong solar UV in the range 310 – 335 nm prevents Vitamin D3

LED-Spektrums gibt es bisher aber nur wenige wissenschaftliche Untersuchungen.

In der Humanmedizin gibt es wenige Studien zur Vitamin-D3-Bildung bei UVB-LEDs. Sie sind in einer Phase vor klinischen Studien und werden auf Hautproben oder in Tiermodellen durchgeführt. Das Ziel ist hier eine sehr hohe Vitamin D3 Dosis mit einer nur sehr kurzen Bestrahlungsdauer zu erreichen, wozu der Selbstlimitierende Prozess umgangen wird. Bei einem Behandlungsschema unter medizinischer Überwachung und einer speziellen Patientengruppe, die Vitamin D3 nicht über die Nahrung aufnehmen kann, ist das natürlich erstrebenswert. Die effektivsten LEDs dafür haben eine Maximalwellenlänge von 296 nm (Barnkob2016), ab 318 nm wurde in Schweinehautproben kein Vitamin D3 mehr gebildet. Ein ähnliches Ergebnis in Mäusen erhielten 2016 Morita et al. Im direkten Vergleich mit dem Sonnenlicht fanden Aldoukhi et al. 2017, dass dieselbe UV-Dosis (Solarmeter-6.5-Messwert mal Bestrahlungszeit) einer 297-nm-LED in menschlichen Hautproben die 2,4-fache Menge an Vitamin D3 bildet wie natürliches Sonnenlicht.

Die Ferguson-Zonen basierend auf dem UV-Index wurden als Hilfestellung für passende, „natürliche“ UV-Stärken entwickelt, die sichere Sonnenplätze ermöglichen. Z.B. wird häufig ein UV-Index von 4,0 für Bartagamen empfohlen.

2017 bestrahlten Cusack et al. Bartagamen mit einer UV-LED-Lampe oder einer Leuchtstofflampe. In beiden Fällen war der gewählte UV-Index extrem gering: Im Mittel 0,24 bei der UVB-LED und 0,92 bei der Leuchtstofflampe – zwar 4 x so hoch aber weiterhin extrem gering. Wenig überraschend erhöhten sich die Blutwerte bei den Bartagamen unter der Leuchtstofflampe während der 11 Monate langen Studienzeit nicht. Sehr überraschend hatten jedoch die Tiere der LED-Gruppe am Ende der Studienzeit sehr hohe Vitamin-D3-Bloodwerte.

Dieses Ergebnis ist besonders besorgniserregend, weil die meisten Halter davon ausgehen werden, dass ein UV-Index von 0,24 keine Vitamin D3-Bildung ermöglichen wird und wesentlich höhere Werte wählen werden. Es besteht das Risiko einer gefährlichen unkontrollierten Vitamin-D3-Bildung von UVB-LED-Lampen selbst bei scheinbar geringem UV-Index. Weitere Studien mit speziellem Augenmerk auf die Problematik, dass eine Vitamin-D3-Überdosierung leicht mit einem Vitamin-D3-Mangel verwechselt werden kann, sind dringend notwendig (ausführliche Diskussion und Empfehlungen in Baines2021).

## 6e) Blaulichtgefährdung

Licht mit einer Wellenlänge von etwa 410 nm bis 480 nm mit einem Maximum bei 440 nm kann beim Menschen eine Schädigung der Photorezeptoren in der Netzhaut verursachen (Photoretinitis, Blaulichtgefährdung). Die effektive Bestrahlungsstärke für Blaulichtgefährdung wird mit der Wirkfunktion nach DIRECTIVE 2006/25/EC berechnet. Beim Sonnenlicht beträgt das Verhältnis von effektiver Bestrahlungsstärke für Photoretinitis zu Beleuchtungsstärke ca.  $80 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  pro 1.000 lux. Bei Halogen-Glühlampen ca.  $25 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  pro 1.000 lux.

Mit ca  $92 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  pro 1.000 lux ist der Wert eher hoch und spiegelt die hohe Farbtemperatur des Lichts wider.

overdose. But there only few scientific investigations on the influence of a LED spectrum.

In human medicine there are few studies on UVB LEDs for vitamin D3 production. This are still in a phase before clinical trial and performed on skin samples or in animal models. The aim here is to ensure a high vitamin d3 dose from a very short exposure by overcoming the self-limitation of the process. Of course, for treatment regimens under medical supervision and in a special group of patients, that are unable to absorb oral vitamin d3, this is desirable. The most effectives LEDs have a peak wavelength of 296 nm (Barnkob2016), above 318 nm there was no Vitamin D3 production in pig skin. A similar result was obtained 2016 bei Morita et al for mice. A direct comparison of LEDs and sunlight was done by Aldoukhi et al. 2017, who found that the same UV dose (Solarmeter 6.5 reading times exposure time) from a 297-nm-LED resulted in the 2.4 fold amount of Vitamin D3 in human skin samples.

The UV Index has been developed as a useful guide to suitable, “natural” UV ranges for creating safe basking zones. For example, UVI 4.0 in the basking zone is often suggested as appropriate for bearded dragons

In 2017 Cudack et al illuminated bearded dragons with an UV-LED lamp or a fluorescent lamp. In both cases the UV index chosen was extremely low: On average 0.24 for the UVB LEDs and 0.92 for the fluorescent lamp – 4 x as high but still extremely low. It is not surprising that the vitamin d3 blood levels of the bearded dragons kept under the fluorescent lamp did not rise during the 11 month study period. However very surprisingly the animals in the LED group had very high vitamin d3 blood levels at the end of the study.

This result is in particular alarming, since most reptile keepers would not expect a UVI of 0.24 to enable any significant vitamin d3 production and would choose much higher values. There is a risk of hazardous uncontrolled vitamin D3 synthesis from these lamps even from apparently low UV index. Further studies with special attention to the problem that a vitamin D3 overdose can easily be confused with a vitamin D3 deficiency are urgently needed (see detailed discussion and recommendations in Baines2021).

## 6e) Blue Light Hazard

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

At about  $92 \mu\text{W} / \text{cm}^2$  per 1,000 lux, the value is rather high and reflects the high color temperature of the light.

## 7) Intensitätsmessungen

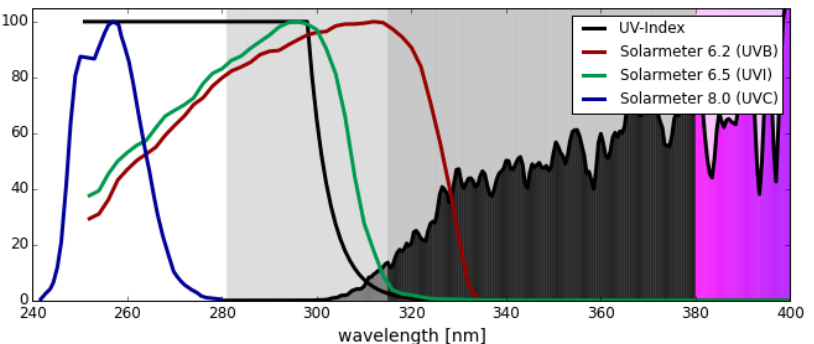
Intensitätsmessungen werden mit Breitbandmessgeräten durchgeführt. Gegenüber dem Spektrometer sind sie einfacher in der Anwendung und haben ein robustes Signal-zu-Rausch-Verhältnis und sind einfach in der Anwendung. Sie eignen sich daher gut, die räumliche Verteilung der UV-Strahlung und die Alterung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



| Age [h]  | 17,5   |       |       |       |       |       |     |     |     |     |  |
|--|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|--|
| Distance [cm]                                    | 5      | 10    | 15    | 20    | 25    | 30    | 40  | 50  | 60  | 70  |  |
| Luxmeter [lx]                                    | 15.560 | 6.710 | 3.532 | 2.132 | 1.432 | 1.038 | 617 | 409 | 292 | 218 |  |
| Solarmeter 6.2 UVB [ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ] | 1101   | 385   | 255   | 167   | 119   | 84    | 47  | 31  | 21  | 15  |  |
| Solarmeter 6.5 UVI                               | 53,8   | 17,5  | 12,8  | 8     | 6,1   | 4,2   | 2,5 | 1,5 | 1,1 | 0,8 |  |
| Solarmeter 8.0 UVC [ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ] | 0,0    | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |  |

Copyright: Dr. rer. nat. Sarina Wunderlich, [www.licht-im-terrarium.de](http://www.licht-im-terrarium.de)

Weitergabe nur als vollständige pdf-Datei gestattet – Only the complete pdf file may be circulated.

11/15

## 7) 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.

### 7a) Maximum irradiance in different distances

Der UV-Index entspricht ungefähr den Angaben zu den Ferguson-Zonen auf der Verpackung. Der Hersteller empfiehlt 8" (20 cm) Mindestabstand, was gut zum gemessenen Wert UVI 8,0 passt. Die Lampe wird bis 40" / 102 cm Abstand für Ferguson-Zone 1 beworben, was ebenfalls mit meinen Messungen übereinstimmt.

## 7b) Solarmeter-Verhältnis

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

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

Das Solarmeter-Verhältnis wird berechnet in dem der Messwert des Solarmeter 6.2 (z.B. 300  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) durch den Messwert des Solarmeter 6.5 (z.B. UVI 6) geteilt wird.

Natürliches Sonnenlicht hat ein Solarmeter-Verhältnis von ca. 50-60. Künstliche UV-Quellen mit einem Solarmeter-Verhältnis  $>20$  sind häufig und bisher nicht negativ aufgefallen. Auffällige Leuchtstofflampen zeichneten sich durch ein Solarmeter-Verhältnis  $< 15$  aus.

Aufgrund der Fertigungstoleranzen variieren die Solarmeter-Verhältnisse, die aus unterschieden Messgeräten berechnet werden. Ich weiß, dass mein Solarmeter 6.5 vergleichsweise kleine Messwerte für Lampen mit nur kurzwelliger UVB Strahlung (UVB-LEDs) liefert.

Das Solarmeter-Verhältnis beträgt 20.

Eine zweite Lampe wurde von Frances Baines getestet, dort war das Solarmeter-Verhältnis deutlich geringer. Das spiegelt die Fertigungstoleranzen der Solarmeter wider, wobei mein Solarmeter 6.5 besonders geringe Werte (und damit hohe Solarmeter-Verhältnisse) bei UVB-LEDs liefert.

Das Solarmeter-Verhältnis ist in Einklang mit dem gemessenen Spektrum mit wenig Intensität im Bereich 310 – 335 nm.

## 7c) Iso-Bestrahlungsstärke-Karte

Die Bestrahlungsstärke wird in einer senkrechten Ebene unter der Lampe mit dem Solarmeter 6.5 gemessen und Linien gleicher Bestrahlungsstärke ermittelt. Diese Iso-Bestrahlungsstärke-Karten zeigen an, für Tiere welcher Körpergröße die Lampe geeignet ist. Nach dem Konzept der Ferguson-Zonen gibt es hauptsächlich vier Varianten bei der UV-Bestrahlung (Baines2016):

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

The UV index roughly matches the information about the Ferguson zones on the packaging. The manufacturer recommends a minimum distance of 8" (20 cm), which fits well with the measured value of UVI 8.0. The lamp is advertised up to 40" (102 cm) distance for Ferguson zone 1, which also agrees with my measurements.

## 7b) Solarmeter Ratio

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

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

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

Natural sunlight has a Solarmeter ratio of 50 to 60. Artificial UV sources with a Solarmeter ratio  $> 20$  are common and up to now have not shown negative effects. Fluorescent lamps that have been associated with eye and skin damage had Solarmeter ratios  $< 15$ .

Due to production tolerances the Solarmeter ratios calculated from different meters vary. I know that my Solarmeter 6.5 gives comparably low readings for lamps with only short wavelength UVB emission (UVB LEDs).

The Solarmeter ratio is 20.

A second lamp was tested by Frances Baines, where the Solarmeter ratio was significantly lower. This reflects the manufacturing tolerances of the Solarmeters, whereby my Solarmeter 6.5 measures particularly low values (and thus high Solarmeter ratios) for UVB LEDs.

The Solarmeter ratio is consistent with the measured spectrum with little intensity in the range 310 – 335 nm.

## 7c) 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

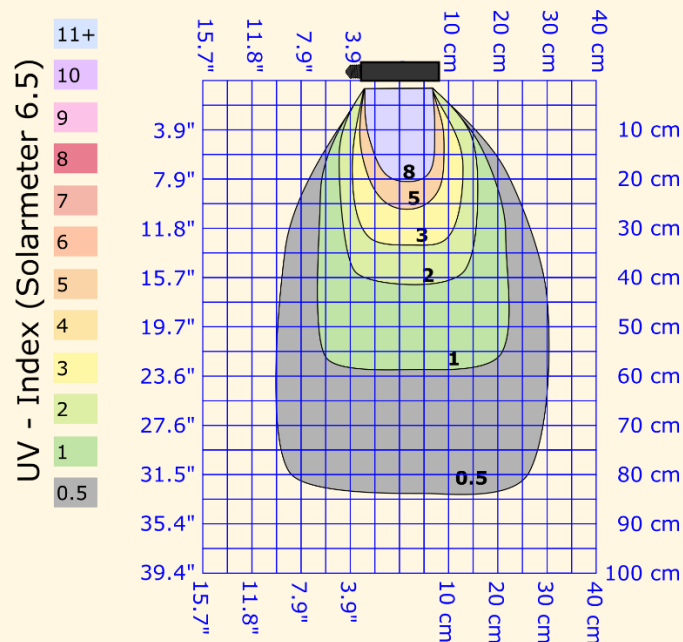
- Ferguson Zone 3 (Sonnenmethode): UV-Index 2,9 – 7,4 auf einer Fläche, die der Körpergröße des Tieres entspricht, zusammen mit hellem Licht und Wärmestrahlung für Tierarten, die zurückgezogen zur Thermoregulation sonnen.
- Ferguson Zone 4 (Sonnenmethode): UV-Index 4,5 – 8,0 auf einer Fläche, die der Körpergröße des Tieres entspricht, zusammen mit hellem Licht und Wärmestrahlung für Tierarten, die auch zur Mittagszeit in der vollen Sonne zur Thermoregulation sonnen.

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.



### ZooMed ReptiSun UVB LED 9 W



28 h burn in, 10/2021, ID BZCU2,  
© Sarina Wunderlich, [www.licht-im-terrarium.de](http://www.licht-im-terrarium.de)

Die Lampe hat eine breite und gleichmäßige Verteilung der UV-Strahlung. Sofern das Ferguson-Zonen-Konzept auf UVB-LEDs mit nicht-sonnenähnlichem Spektrum angewendet werden kann, bietet die Lampe auch Tieren der Ferguson-Zone 3 mit 20-25 cm Körperlänge noch einen ausreichend großen Sonnenplatz.

The lamp has a wide and even distribution of the UV radiation. If the Ferguson zone concept can be applied to UVB LEDs with a spectrum that is like sunlight, the lamp can provide a sufficiently large basking zone for animals in Ferguson zone 3 with a body length up to 20-25 cm.

### 7d) Einbrennen und Alterung

Die kurzzeitige Alterung bzw. das Einbrennverhalten in den ersten Betriebsstunden werden mit einem fixierten Messgerät unter der Lampe gemessen.

Messwerte für die Alterung über einen längeren Zeitraum werden genauso wie die anderen Bestrahlungsstärke-Messungen in 7a) als maximaler Messwert in einer Ebene unter der Lampe aufgenommen.

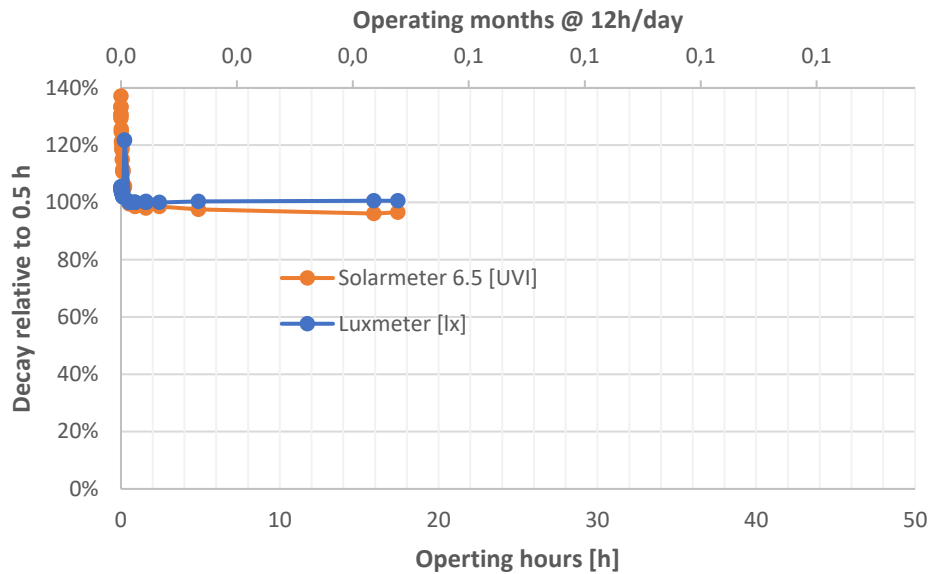
### 7d) Burning in and Aging



Short term aging within the first hours of operation is measured with a fixed position of the Solarmeter relative to the lamp.

Measurements for longer term aging are taken as the other irradiance measurements in 7a) as the maximum in a fixed plane under the lamp

## ZooMed Reptisun UVB/LED 9W (ID:BZCU2)



Während der ersten 15 Minuten verliert die Lampe etwa 40% ihres anfänglichen UV-Index durch Aufwärmen, danach war die Lampe in den ersten 20 Betriebsstunden sehr stabil in ihrem UV-Ausstoß. Die Messungen werden fortgeführt und das Protokoll zu gegebener Zeit aktualisiert.

During the first 15 minutes, the lamp loses around 40% of its initial UV index through warming up, after which the lamp was very stable in its UV output for the first 20 hours of operation. The measurements will continue, and the protocol will be updated in due course.

## 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.

## 8) Limitations

The measurements have been performed to my best knowledge as a physicist and all sources and parameters have been given. I believe that the measurements are meaningful and reliable. Nevertheless, the measurement devices and methods do not correspond to that of professional and certified test laboratories.

Test of a limited number of lamps do not allow general statements. There are variations from lamp to lamp because of age, operating conditions like voltage or temperature, and production fluctuations from lot to lot but also within one lot.

I encourage verification of my results by a certified test laboratory and discussion with experts. I am open to feedback.

## 9) Zitierte Literatur

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

## 9) Literature Cited

- 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., Gehrmann, W. H., Bucklin, S. E., Baines, F. M. & Mackin, S. J. (2009) Voluntary exposure of some western-hemisphere snake and lizard species to ultraviolet-B radiation in the field: how much ultraviolet-B should a lizard or snake receive in captivity? *Zoo Biology*, 28.
- Holick, M. F. (2016) Biological Effects of Sunlight, Ultraviolet Radiation, Visible Light, Infrared Radiation and Vitamin D for Health. *Anticancer Research*, 36 1345–1356.
- Kalajian, T. A., Aldoukhi, A., Veronikis, T.J., Persons, K. & Holick, M. F. (2017) Ultraviolet B Light Emitting Diodes (LEDs) Are More Efficient and Effective in Producing Vitamin D3 in Human Skin Compared to Natural Sunlight. *Scientific Reports*, 7 11489.
- Kelber, A., Vorobyev, M. & Osorio, D. (2003) Animal colour vision - behavioural tests and physiological concepts. *Biological Reviews*, 78 81–118.
- Lindgren, J., Gehrmann, W. H., Ferguson, G. W. & Pinder, J. E. (2008) Measuring Effective Vitamin D3-Producing Ultraviolet B Radiation Using Solartech's Solarmeter® 6.4 Handheld, UVB Radiometer. *Bulletin of the Chicago Herpetological Society*, 43 57–62.
- MacLaughlin, J., Anderson, R. & Holick, M. F. (1982) Spectral character of sunlight modulates photosynthesis of previtamin D3 and its photoisomers in human skin. *Science*, 216 1001–1003.
- Morita, D., Nishida, Y., Higuchi, Y., Seki, T., Ikuta, K., Asano, H. & Ishiguro, N. (2016) Short-range ultraviolet irradiation with LED device effectively increases serum levels of 25(OH)D. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 164 256–263.
- Oonincx, D. G. A. B., Stevens, Y., van den Borne, J. J. G. C., van Leeuwen, J. P. T. M. & Hendriks, W. H. (2010) Effects of vitamin D3 supplementation and UVb exposure on the growth and plasma concentration of vitamin D3 metabolites in juvenile bearded dragons (*Pogona vitticeps*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 156 122–128.
- Setlow, R. B. (1974) The wavelengths in sunlight effective in producing skin cancer: a theoretical analysis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 71 3363–3366.
- Veronikis, A. J., Cevik, M. B., Allen, R. H., Shirvan, A., Sun, A., Persons, K. S. & Holick, M. F. (2020) Evaluation of a Ultraviolet B Light Emitting Diode (LED) for Producing Vitamin D3 in Human Skin. *Anticancer Research*, 719–722.
- Wei, Y., Zheng, W., Li, B., Tong, Q., Shi, H. & Li, X. (2020) Effects of B-Wave Ultraviolet Supplementation Using Light-Emitting Diodes on Caged Laying Hens during the Later Phase of the Laying Cycle. *Animals*, 10.
- Guidelines on Limits of Exposure to Broad-Band Incoherent Optical Radiation (0.38 to 3µm). (1997) *Health Physics*, 73 539–554.