

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

## DRAGON Drago-Lux LED UV

### 1) Zusammenfassung

- 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 Drago-Lux LED UV Lampen geben kein UVC (<280 nm) und kein nicht-terrestrisches UVB (<290 nm) ab. Von diesem Gesichtspunkt aus können die Lampen als sicher betrachtet werden.**
- Allerdings unterscheidet sich das gesamte UV-Spektrum im Vitamin-D3-aktiven Bereich deutlich vom Sonnenlicht (auch wenn es für Reptilien UVB-LEDs eines der sonnenähnlichsten Spektren ist). Die Intensität der LEDs konzentriert sich auf den kurzwelligen UVB-Bereich < 310 nm wohingegen das Sonnenlicht die meiste Intensität bei Wellenlängen > 310 nm hat und stark ansteigt bis 350 nm. Die Wellenlängen zwischen 310 nm und 335 nm, die wichtig sind um die Umwandlung in Prävitamin D3 zu begrenzen und die Umwandlung in Lumisterol zu fördern, sind bei der LED unterrepräsentiert. Ich gehe daher davon aus, dass diese Lampe deutlich mehr Vitamin D3 bilden wird, als man anhand des UV-Index erwarten würde. Wenn diese Lampe verwendet wird, rate ich dazu den UV-Index im unteren Bereich der Ferguson-Zonen zu wählen. **Ich würde es lieber sehen, wenn zuerst mehr wissenschaftliche Studien über den langfristigen Effekt dieses unnatürlichen UV-Spektrums vorhanden wären. Details siehe Abschnitt 6d)**
- Der UV-Index der 8W Desert ist beeindruckend hoch, die UV-Index Verteilung kann mit manchen 50W oder 70W UV-HQI-Lampen problemlos mithalten. Allerdings strahlt die Lampe nicht nur kein längerwelliges UVB für die Vitamin D3 Synthese ab, sondern auch keine Wärmestrahlung und kaum sichtbares Licht. **Das kann gefährlich sein, da Reptilien so zu lange und bei zu geringerem Abstand zur Lampe sonnen könnten.**
- Da die Lampe keine Wärme oder signifikant Licht abstrahlt muss sie mit einer Infrarot- und Lichtquelle kombiniert werden.
- 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

- E27 LED lamps can add benefit to the reptile husbandry because they are easy to use without external ballast. They are mercury-free, so the lamps bear no health risk when they are damaged.
- **The Drago-Lux LED UV lamps emit no UVC (<280 nm) and no non-terrestrial UVB (<290 nm). From this point of view the LED can be considered safe.**
- However, the total spectrum in the vitamin-d3-active range (290 nm – 335 nm) differs strongly from sunlight (although it is among the most solar-like UV spectrum found in commercial reptile UVB LED lamps tested so far). The LED's intensity is concentrated in the short-wavelength region below 310 nm whereas sunlight has the most intensity above 310 nm with strong increase towards 350 nm. The wavelengths between 310 nm and 335 nm that are important to limit the conversion to previtamin D3 and increase the conversion to lumisterol are underrepresented in the LED. I therefore assume that this UV lamp will produce significantly more vitamin D3 than one might expect based on the UV index. If this lamp is used, I advise to keep the UV index at the lower range of the Ferguson zones. **I would prefer to see more scientific studies on the long-term effects of this unnatural UV spectrum before advising to use the lamps in reptile husbandry. Details: See section 6d)**
- The UV index from the 8 W Desert lamp is remarkably strong, the UV index distribution of the 3 W lamp can easily compete with some 50W or 70W metal halide lamps. However, the lamp emits not only no longer wavelength UV to regulate vitamin D3 synthesis, but also very little visible light and no detectable heat rays. **This can be dangerous as reptiles might come closer to the lamp and bask longer than appropriate for the UV index.**
- Because the lamp does not emit heat or significant light, it needs to be paired with an infrared and visible light source.
- In other LED products it sometimes happens that some individual LEDs fail suddenly while the others are still operative. I have the concern that in this product the UVB LEDs might fail but the lamp still emits visible light. In that case, there is the risk that the loss of UVB will not be noticed.

1) Zusammenfassung .....	1	... 1) Summary
2) Beschreibung der Lampe.....	2	... 2) Lamp Description
3) Visuelle Lichtverteilung.....	3	... 0 Visual Light Distribution
4) Temperatur .....	3	... 4) Temperature
5) Elektrischer Verbrauch.....	3	... 5) Power Consumption
6) Spektrale Messung.....	4	... 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 .....	15	... 9) Literature cited

## 2) Beschreibung der Lampe



Zwei E27 LED Strahler wurden regulär im Handel gekauft und zum Test zur Verfügung gestellt: Forest 4 W (SW13) und Desert 8W (SW12).

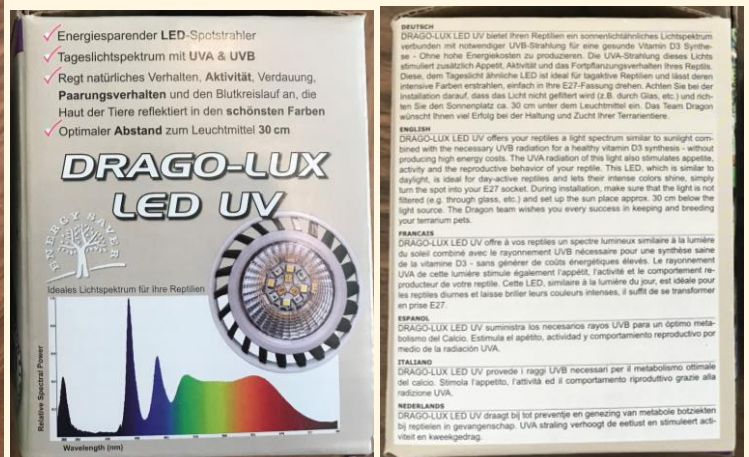
Die Lampen besitzen kein Schutzglas, haben 6 cm Durchmesser und 8,5 cm Kompletthöhe, 77g Gewicht, und sind zum Betrieb an 220-240V Wechselspannung gedacht. Der Abstand zum Sonnenplatz ist mit 30 cm für beide Lampen angegeben.

Die Bestückung der LEDs stimmt nicht mit dem Foto auf der Verpackung überein.

4W Forest (LX-F04): 1 x UVB, 2 x UVA, 2 x VIS, „5.0“

8W Desert (LX-D08): 3 x UVB, 4 x UVA, 2 x VIS, „10.0“

## 2) Lamp Description



Two lamps were bought regularly and provided for the test: Forest 4W (SW13) and Desert 8W (SW12).

The lamps are E27 base LED Spot lamps, 6 cm diameter, 8.5 cm total height, 77 g weight. They are intended for operation on 220-240V AC. 30cm distance is recommended. The lamps hold a combination of individual LEDs, which does not conform with the picture on the box:

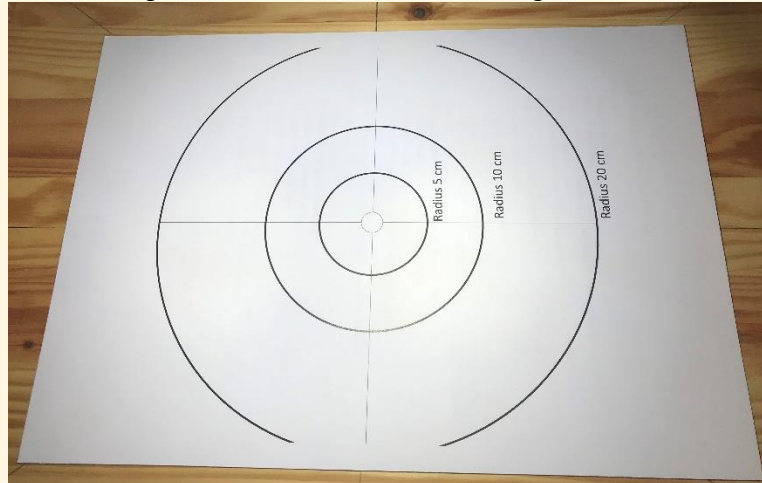
4W Forest (LX-F04): 1 x UVB, 2 x UVA, 2 x VIS, „5.0“

8W Desert (LX-D08): 3 x UVB, 4 x UVA, 2 x VIS, „10.0“

### 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).

Die sichtbare Lichtverteilung ist sehr homogen.



Da sich für Reptilien sichtbare Licht aus getrennten 5500 K LEDs und UVA LEDs zusammensetzt, kann es zu farbigen Schatten und anderen Farbeffekten kommen, die nur für Reptilien sichtbar sind.

### 1)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).

The visible light distribution is very homogenous.

Because the light visible to reptiles is composed from different 5500 K LEDs and UVA LEDs, coloured shadows and other colour effects can occur that are only visible to reptiles.

### 4) Temperatur

The temperature of the lamp is measured with a non-contact infrared thermometer (Etekcity Lasergrip 1080) gemessen. Die Lampen erwärmen sich im Betrieb auf 41°C und 55°C bei 23°C Umgebungstemperatur. Es wird keine wahrnehmbare Wärme abgestrahlt.

### 4) Temperature

The temperature of the lamp is measured with a non-contact infrared thermometer (Etekcity Lasergrip 1080). The lamps heated up to 41°C and 55°C surface temperature at 23°C air temperature. No detectable heat radiation was emitted.

### 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.

### 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.

	Desert 8W	Forest 4W
Spannung / voltage [V]	235	230
Leistung / power [W]	0,04	0,02
Strom / current [A]	5,3	3,3
Leistungsfaktor / Power factor	56	71

Im Rahmen der geringen Messgenauigkeit des Energiemessgeräts bei so geringen Leistungen stimmt der Energieverbrauch mit den Herstellerangaben überein.

Within the low measurement accuracy at such low power levels, the power usage matches the specification on the box.

## 6) Spektrale Messung

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

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

### 6a) Beurteilung des Gesamtspektrums

Das Spektrum wird relative zum ASTM Referenzsonnenspektrum gezeigt. Das ermöglicht den Vergleich des Lampenspektrums mit dem Spektrum von natürlichem Sonnenlicht. Sonnenlicht hat ein völlig kontinuierliches Spektrum ab ca. 295 nm. Das Verhältnis von UVB (290-315nm) zu UVA (315nm-400nm) zu sichtbarem Licht / PAR (400-700nm) beträgt im ASTM-Spektrum

UVB : UVA : PAR = 0,14 % : 9,5 % : 90,3 %

## 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.

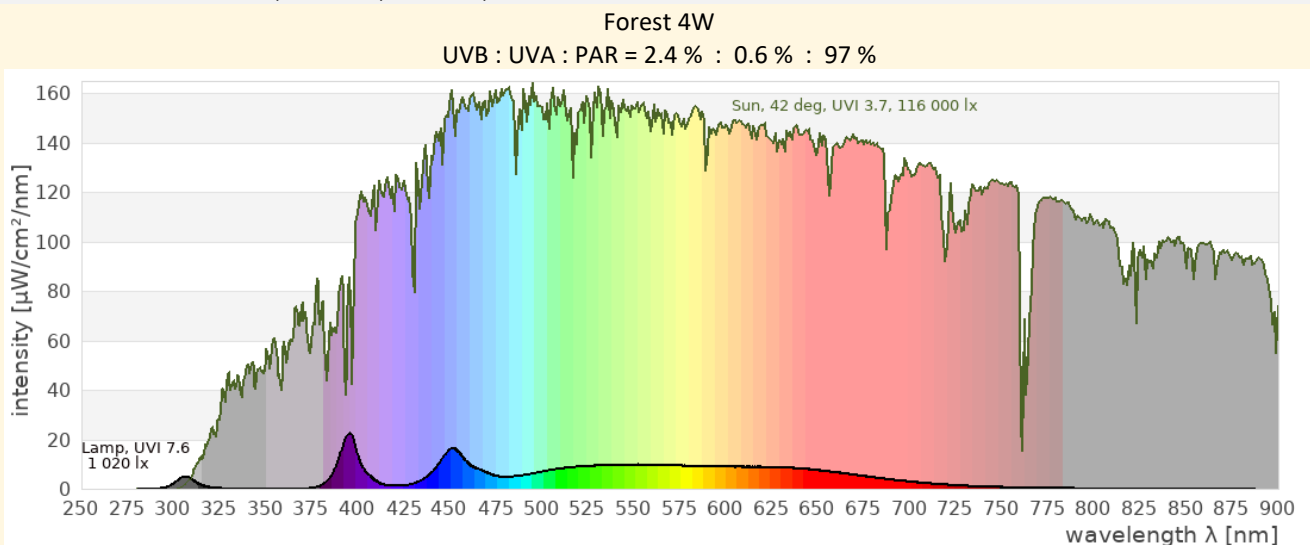
Professional photometric tests include the usage of an integrating sphere (Ulbricht sphere). This is not the case here and can adulterate the results. Without an integrating sphere it is not possible to determine the total luminous flux (lumen). The spectral measurements are taken in an individual distance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

### 6a) 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 proportions of UVB (290-315nm) to UVA (315nm-400nm) to visible light / PAR (400-700nm) for the ASTM spectrum is:

UVB : UVA : PAR = 0,14 % : 9,5 % : 90,3 %

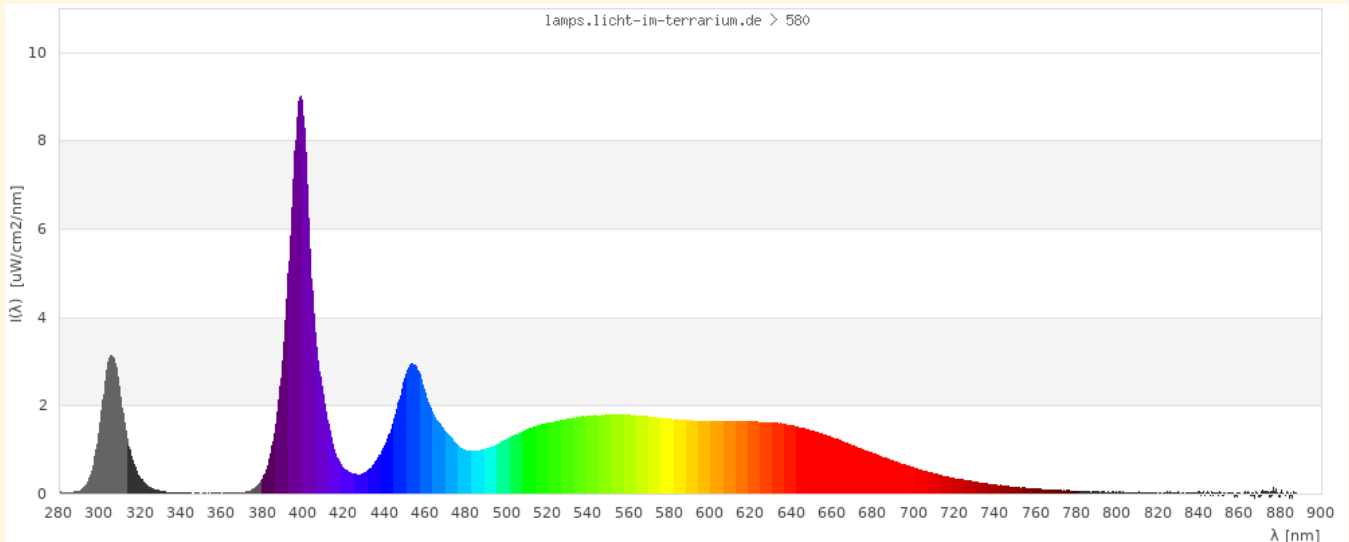




## Desert 8W

UVB : UVA : PAR = 6.6 % : 1.1 % : 92 %

lamps.licht-im-terrarium.de > 580



Das Gesamtspektrum stimmt mit der Grafik auf der Verpackung gut überein. Wie bei allen LED Lampen variiert die Höhe Maxima der einzelnen LEDs je nach dem wo unter der LED Lampe das Spektrum gemessen wird. Ohne Ulbrichtkugel ist es nicht möglich, das tatsächliche Leistungsverhältnis der unterschiedlichen LEDs zu bestimmen.

Die Spektren der beiden Lampen stimmen bis auf die unterschiedliche Intensität der sichtbaren, UVA und UVB-LEDs überein.

Im Vergleich zum Sonnenspektrum hat die Lampe sehr wenig sichtbare Strahlung, da die Hauptleistung im UVB-Spektralbereich liegt. Im Terrarium müssen daher zwischend weitere Lichtquellen für sichtbares Licht genutzt werden.

### 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.

Die gleiche sichtbare LED ist in allen Lampen verbaut, so dass nur eine Analyse des sichtbaren Spektrums gezeigt ist. Das Licht ist angenehm mit hoher Farbwiedergabe und für LEDs sehr guten Rot-Anteil.

The spectrum matches the spectrum given on the box. Like with all LED lamps the height of the maxima from the individual LEDs (visible, UVA, UVB) depends on where in relation to the LED position the spectrum is recorded. Without an integrating sphere it is not possible to determine the absolute ratio of the power of the different LEDs.

The spectra of both lamps agree with the exception of the different intensity of the LEDs for visible, UVA and UVB.

Compared to sunlight, this lamp emits very little visible radiation, because the main emission lies in the UVB region. In a terrarium additional light sources have to be used to add visible light.

### 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.

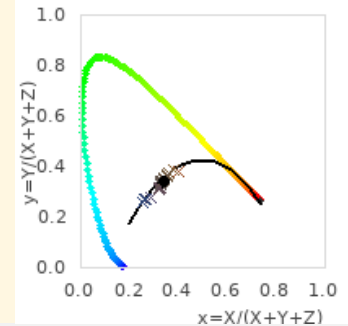
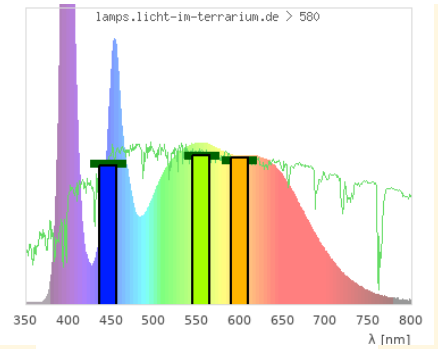
The bar chart indicates the amount of light seen by the three cones in the human eye. For comparison also here the solar spectrum and its action on the three cones is shown.

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 same visible light LED is used in both products, so only one analysis of the visible light spectrum is shown. The light is very pleasing to the human eye with high colour rendering index and very good proportion of red in the spectrum compared to other LEDs.

(x,y)	(0.34 ; 0.34)
CCT [Kelvin]	5230 K
CRI	94
R1 (light grayish red)	95
R2 (dark grayish yellow)	94
R3 (strong yellow green)	91
R4 (moderate yellowish green)	94
R5 (light buish green)	95
R6 (light blue)	93
R7 (light violet)	95
R8 (light reddish purple)	94
R9 (strong red)	79
R10 (strong yellow)	84
R11 (strong green)	94
R12 (strong blue)	79
R13 (light yellowish pink, human complexion)	93
R14 (moderate olive green)	94
R15 (Japanese complexion)	95



### 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 je 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.

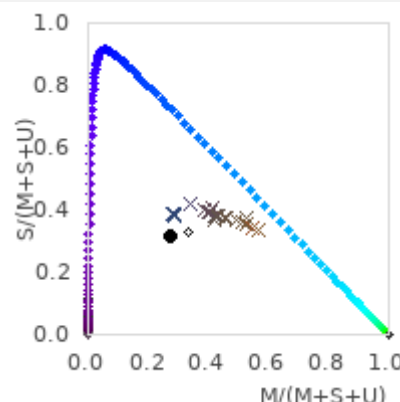
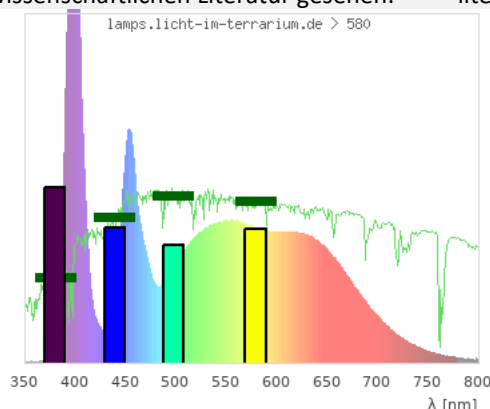
### 6c) Spectrum visible to reptiles

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 emittiert auch im für Reptilien sichtbaren UVA-Bereich. Allerdings erscheint der UVA-Anteil etwas zu hoch, so dass die Farbe für Reptilien vermutlich weiß mit einem UVA-Farbstich sein wird. Die 400-nm-LED deckt außerdem nur den langwelligen Bereich des sichtbaren UVA ab, so dass eine Lücke unterhalb von ca. 380 nm bleibt. Mit einer weniger intensiven UVA LED bzw. zwei UVA LEDs mit Maximum bei ca. 375 nm und 400 nm würde das für Reptilien sichtbare Spektrum besser abgedeckt.

### 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.

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.
- — Wirkspektrum für die Vitamin-D3-Bildung (MacLaughlin1982, DIN 5031-10)

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

The lamp emits light in the UVA region visible to reptiles. However, from a reptile's perspective the amount of UVA seems a bit too large, so the light will likely be white with a UVA-coloured cast to reptile eyes. Additionally, the 400-nm-LED only covers the long-wavelength range of the visible UVA, so that a gap remains below 380 nm. The range visible to reptiles could be covered better by using a less intense UVA LED or two UVA LEDs with emission maximum at 375 nm and 400 nm

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

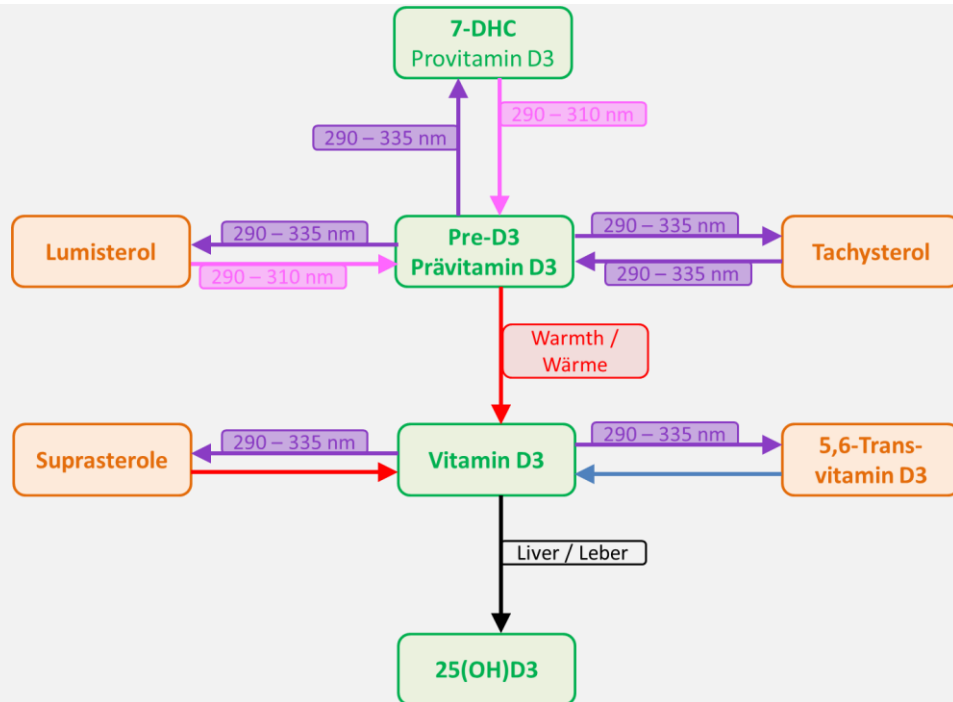
The spectrum in the UV range is of special importance in reptile husbandry because lamps are used as vitamin d3 supply. UV radiation in the range 250 nm to 320 nm is able to convert 7DHC to Vitamin D3. At the same time, UV radiation is damaging to cells. This cell-damaging effect increases with shorter 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 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.
- — Action spectrum for Vitamin D3 production (MacLaughlin1982, DIN 5031-10)

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



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

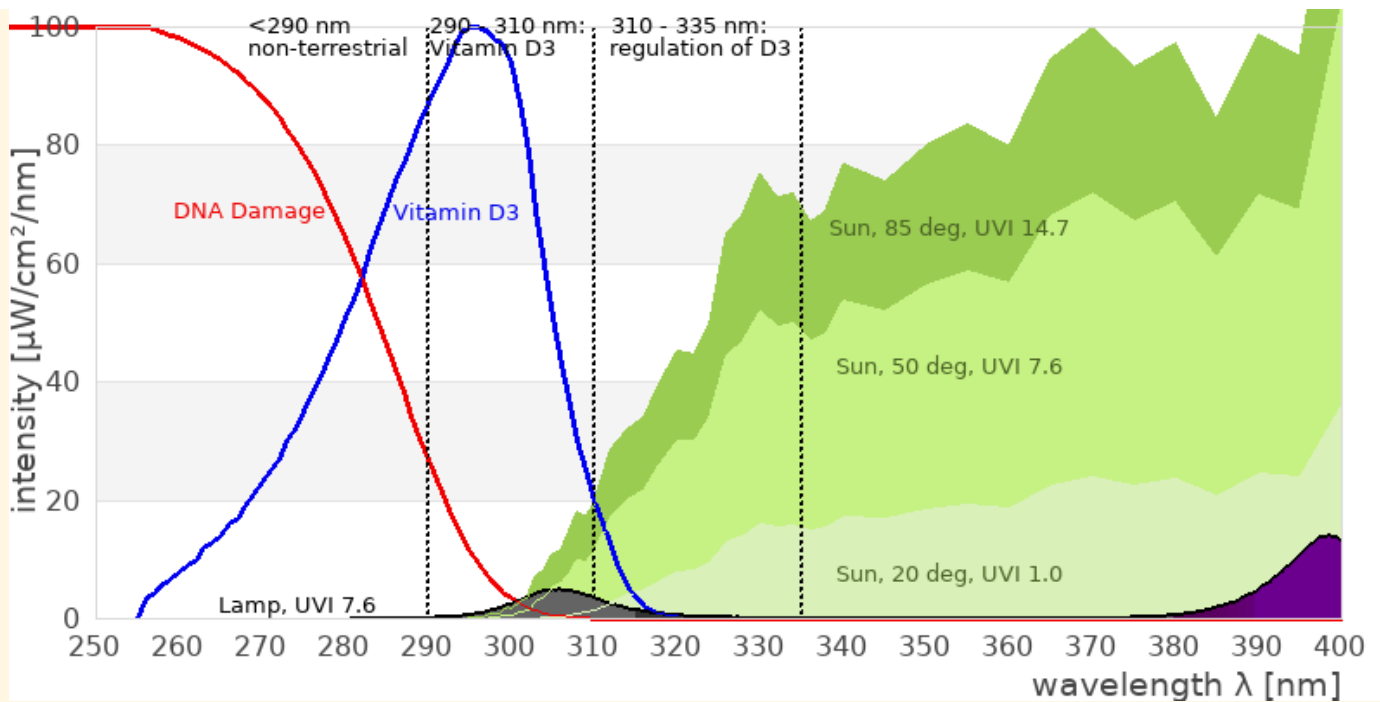
Aber das ist eine starke Vereinfachung. Wie in einem wegweisenden Artikel von MacLaughlin et al. (1982) gezeigt wurde, ist die Bildung von Vitamin D3 ein komplexer Prozess: Vier Photoprodukte bilden ein Gleichgewicht, deren Menge von der Form des UV-Spektrums abhängen, das die Haut erreicht. Nur Wellenlängen 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 „Bremsen“ 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 umwandeln (5,6-Trans-Vitamin-D3, Suprasterol I und Suprasterol II)

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

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

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



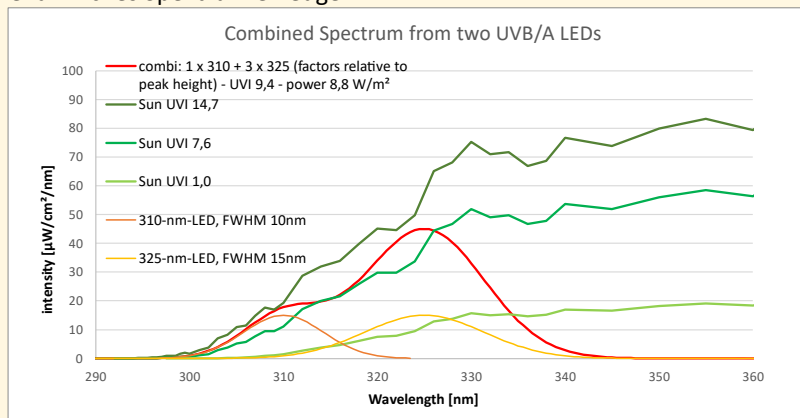


- Die Lampe strahlt kein gefährliches UVC oder nicht-terrestrisches UVB ab.
- Ein deutlicher Teil der Strahlung liegt unterhalb von 300 nm. Das Risiko von DNA-Schäden ist daher größer als bei natürlichem Sonnenlicht.
- Im Vergleich zu Sonnenlicht liegt ein großer Teil der Strahlung im Bereich 300-320 nm, daher ist eine deutlich größere Photobiologische Aktivität zu erwarten.
- 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 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.
- Compared to sunlight, a far greater proportion of the total emission in this range is between 300 – 320nm, hence much greater photobiological activity is to be expected. Care must be taken to prevent over-exposure.
- 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.

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 to use this lamp in reptile husbandry, either the spectrum must be made much more like sunlight, or scientific studies have to 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 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 (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.

As described above, it has long 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 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. These 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 effective 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 is 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 (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.

Mit ca. 80  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  pro 1.000 lux ist der Wert typisch für Tageslicht-LEDs.

The approximately 80  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  pro 1.000 lux is typical for daylight LEDs

## 7) Intensitätsmessungen

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

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

Die UV-Bestrahlungsstärke wird mit Solarmeter UV-Radiometern gemessen. Diese Messgeräte haben sich in den letzten Jahren aufgrund des Preis-Leistungs-Verhältnisses durchgesetzt und werden von zahlreichen Terrarianern aber auch in der Wissenschaft und Feldforschung eingesetzt (Ferguson2009, Dobbinson2016, Lindgreen2008). UV-Index-Werte im Jahres- und Tagesverlauf sind häufig aus dem Wetterbericht bekannt.

- 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



## 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.

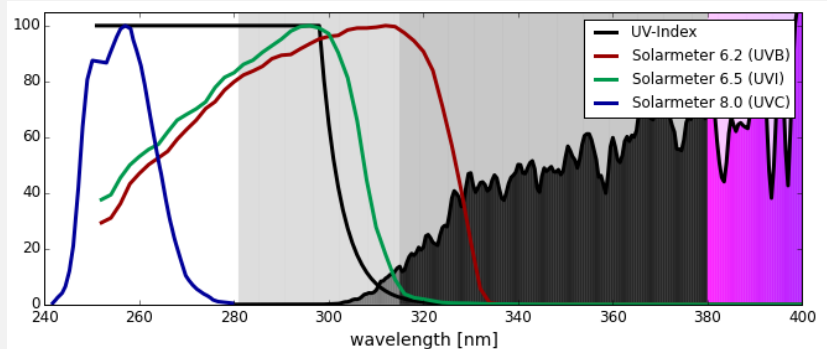
The illuminance is measured with a “Voltcraft MS-200LED” lux meter. This meter measures the visible irradiance weighted with the sensitivity of the human eye. The meter measures up to 400,000 lux.

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, Dobbinson2016, 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



Desert 8W

Distance [cm]	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70
Luxmeter [lx]	21.990	7.503	3.932	2.385	1.592	1.145	681	450	320	210
Solarmeter 6.2 UVB [ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ]	1744	600	300	181	119	85	49	32	22	16

Solarmeter 6.5 UVI	114,8	39,4	19,4	11,7	7,7	5,5	3,2	2,1	1,5	1
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

Forest 4W

Distance [cm]	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70
Luxmeter [lx]	26.400	10.100	5.240	3.175	2.110	1.523	900	600	430	320
Solarmeter 6.2 UVB [ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ]	630	212	105	63	40	29	16	10	7	5
Solarmeter 6.5 UVI	38,6	12,9	6,4	3,9	2,5	1,8	1	0,7	0,5	0,3
Solarmeter 8.0 UVC [ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Die Messwerte zeigen die sehr geringe Menge an sichtbarem Licht, die im Terrarium durch andere Lichtquellen ergänzt werden muss.

The measurement shows the very small amount of visible light that has to be completed by other light sources in the terrarium.

## 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 von 15 ist typisch für UVB-LEDs denen Intensität im Bereich 310 – 335 nm fehlt.

## 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.

## 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 of 15 is typical for UVB LEDs that lack 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.

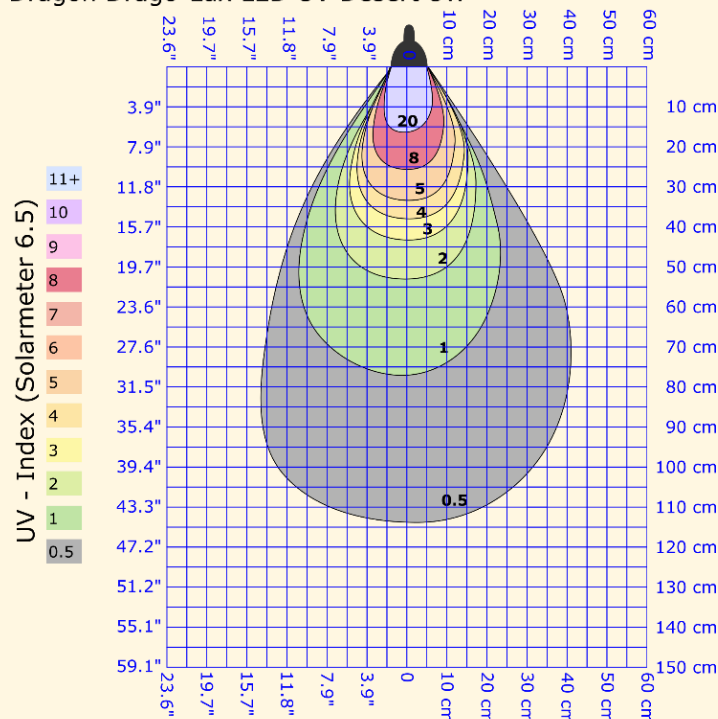


- Ferguson Zone 3 (Sonnenmethode): UV-Index 2,9 – 7,4 auf einer Fläche, die der Körpergröße des Tieres entspricht, zusammen mit hellem Licht und Wärmestrahlung für Tierarten, die zurückgezogen zur Thermoregulation sonnen.
- Ferguson Zone 4 (Sonnenmethode): UV-Index 4,5 – 8,0 auf einer Fläche, die der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

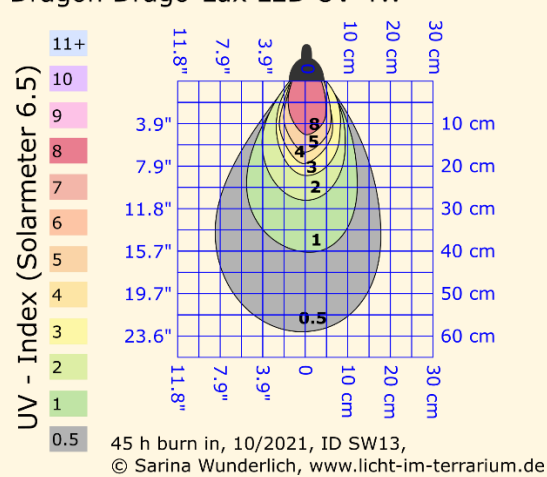
- Ferguson zone 3 (sunbeam method): UV index 2.9 – 7.4 on an area matching the size of the animal together with bright light and thermal radiation for open or partial sun baskers.
- Ferguson zone 4 (sunbeam method): UV index 4.5 – 8.0 on an area matching the size of the animal together with bright light and thermal radiation for mid-day sun baskers.



Dragon Drago-Lux LED UV Desert 8W



Dragon Drago-Lux LED UV 4W



5 h burn in, 09/2021, ID SW12, © Sarina Wunderlich, www.licht-im-terrarium.de

Die UV-Verteilung ist sehr breit. Die 8W Desert erreicht in 30 cm Abstand UV-Index > 5 auf einem Durchmesser von 20 cm, was die Lampe auch für etwas größere Tiere der Ferguson-Zone 3 tauglich macht. Für Ferguson-Zone 1 kann die Lampe bis in über 1m Abstand verwendet werden.

Die 4W Desert ist nur für sehr kleine Tiere der Ferguson Zone 1-2 in 30 bis 60 cm Abstand sinnvoll.

The UV spread is very broad, which is good. The 8W Desert lamp reaches UV-Index > 5 in 30 distance at a diameter of 20 cm which makes the lamps usable also for larger reptiles of Ferguson zone 3. For Ferguson zone 1 the lamp can be used in more than 1m distance.

The 4W Forest is only suitable for very small animals of Ferguson zone 1 and 2 in 30 to 60 cm distance.

### 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.

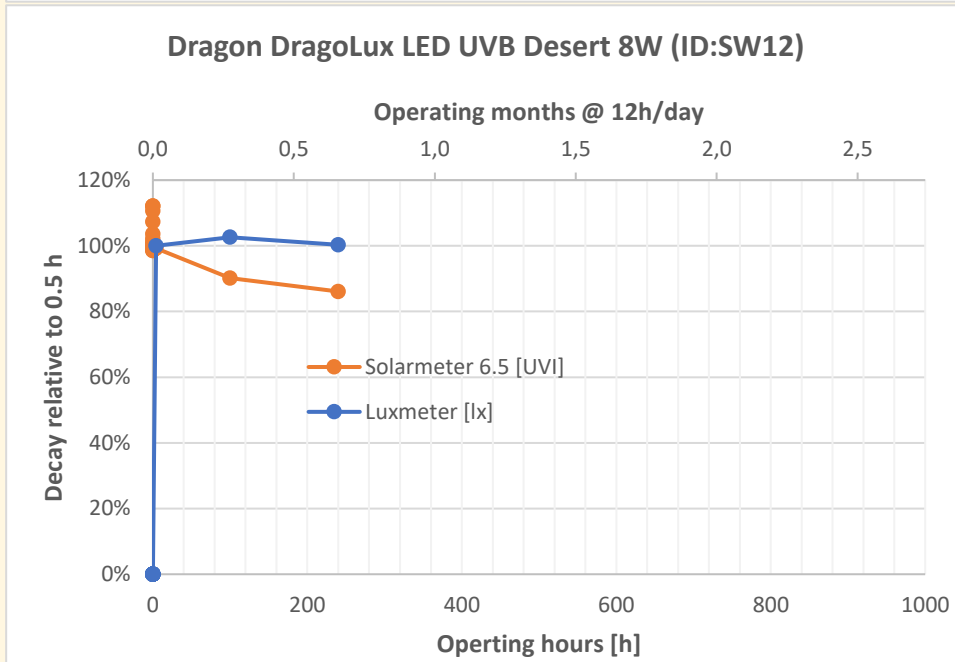
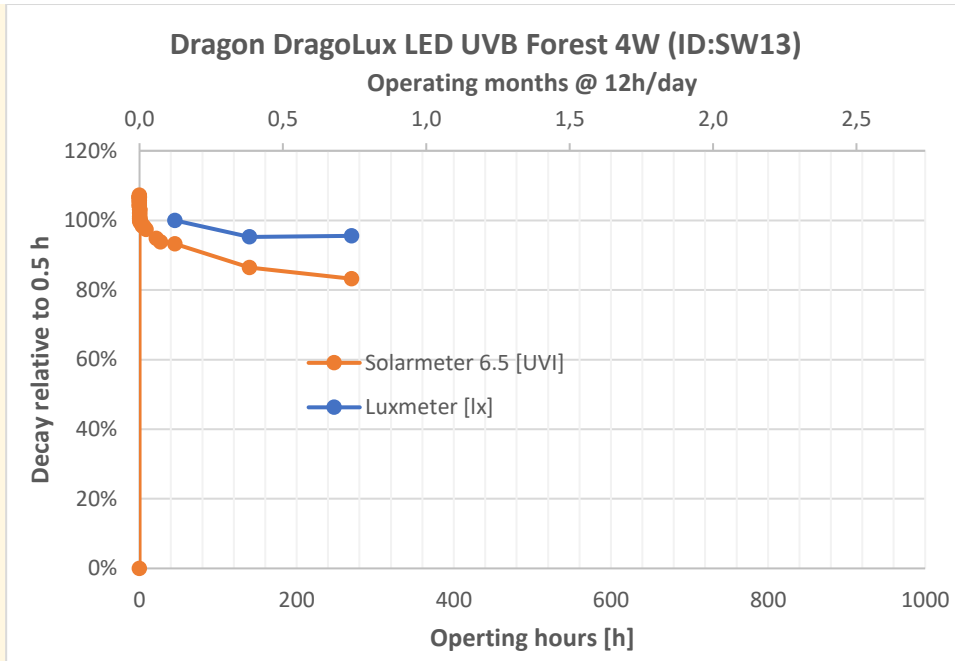
### 7d) Burning in and Aging

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 like the other irradiance measurements in 7a) as the maximum in a fixed plane under the lamp







Die Messungen zur Alterung sind noch nicht abgeschlossen. Aktuell erscheint es unwahrscheinlich, dass die Lampen das Versprechen von 20 000h Betriebsstunden (4 ½ Jahre) von UV-LEDs erfüllen.

Eine besondere Gefahr bei LED-Lampen besteht darin, dass die UVB LEDs defekt werden können, ohne dass die sichtbaren LEDs an Leistung verlieren. Für den Anwender ohne Messgerät ist eine solche plötzliche Alterung nicht erkennbar.

## 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

Aging measurements are not complete yet. At this time it seems unlikely that the lamps fulfill the promised 20 000 h (4 ½ years) operation time of UVB LEDs.

There is a special risk for LED lamps because it might be the case that the UVB LEDs fail while the visible LEDs still operate normally. In that case a reptile keeper without Solarmeter will not be able to recognize such a sudden drop in UVB output.

## 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

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.

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.
- Baines, F. M. (2021) Vitamin D3 Synthesis: A self-limiting process in natural sunlight.
- Barnkob, L. L., Argyraki, A., Petersen, P. M. & Jakobsen, J. (2016) Investigation of the effect of UV-LED exposure conditions on the production of vitamin D in pig skin. *Food Chemistry*, 212 386–391.
- Bernard, J. B., Oftedal, O. T. & Ullrey, D. E. 1996. Idiosyncrasies of Vitamin D Metabolism in the Green Iguana (*Iguana iguana*). Paper read at Comparative Nutrition Society Symposium.
- Cusack, L., Rivera, S., Lock, B., Benboe, D., Brothers, D. & Divers, S. (2017) Effects of a light-emitting diode on the production of cholecalciferol and associated blood parameters in the bearded dragon (*pogona vitticeps*). *Journal of zoo and wildlife medicine*, 48 1120–1126.
- DIN 5031-10: Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik: Photobiologisch wirksame Strahlung, Größen, Kurzzeichen und Wirkungsspektren. Mar 2000. Deutsches Institut für Normung e.V.
- DIRECTIVE 2006/25/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 5 April 2006 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to risks arising from physical agents (artificial optical radiation) (19th individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC).
- Dobbins, S., Niven, P., Buller, D., Allen, M., Gies, P. & Warne, C. (2016) Comparing Handheld Meters and Electronic Dosimeters for Measuring Ultraviolet Levels under Shade and in the Sun. *Photochemistry and Photobiology*, 92 208–214.
- Ferguson, G. W., Brinker, A. M., Gehrman, W. H., Bucklin, S. E., Baines, F. M. & Mackin, S. J. (2009) Voluntary exposure of some western-hemisphere snake and lizard species to ultraviolet-B radiation in the field: how much ultraviolet-B should a lizard or snake receive in captivity? *Zoo Biology*, 28.
- Holick, M. F. (2016) Biological Effects of Sunlight, Ultraviolet Radiation, Visible Light, Infrared Radiation and Vitamin D for Health. *Anticancer Research*, 36 1345–1356.
- 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., 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.
- 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.

## 9) Literature Cited