

Test-Report 09/2022

3W UVB-LED 10.0

1) Zusammenfassung

- Die Lampe kombiniert je zwei 370-nm-LEDs (UVA) und 300-nm-LEDs (UVB) mit einer weißen LED.
- Die UVA-LEDs sind im Vergleich zum übrigen sichtbaren Bereich des Spektrums zu intensiv und werden für Reptilien zu einer deutlichen Farbverfälschung führen.
- Die UVB-LEDs emittieren kleine Mengen nicht-terrestrischer UVB-Strahlung (< 290 nm) und haben den Großteil ihrer Strahlung im Bereich < 300 nm. Das Spektrum wird aller Erwartung nach damit deutlich zellschädigender sein als das Sonnenlicht.
- Die UVB-LEDs emittieren keine Strahlung im Bereich 310 – 335 nm, der für die Regulation der Vitamin-D3-Bildung verantwortlich ist. Ich habe die Sorge, dass dies zu einer Vitamin-D3-Überdosierung führen könnte. Es gibt einige Studien, die Hinweise geben, dass dies der Fall sein könnte, aber keine Studien an Reptilien, die diese Sorge ausräumen.
- Ich halte das Spektrum für ungeeignet zur naturnahen Vitamin-D3-Synthese im Terrarium.
- Für eine Weiterentwicklung des Produkts rate ich 310-nm-LEDs mit weiteren LEDs mit Maxima im Bereich 320 – 340 nm zu kombinieren, um das Spektrum an das Sonnenlicht anzupassen. Die Intensität der UVA-Strahlung im sichtbaren Bereich der Reptilien sollte reduziert werden.
- Nach dem Test hat Logoterrarien.ch entschieden, die Lampe nicht in den Verkauf zu bringen. Ich gehe jedoch davon aus, dass dieses Produkt bei anderen Händlern oder (asiatischen) Verkaufsplattformen verfügbar sein wird.

1) Zusammenfassung	1
2) Beschreibung der Lampe.....	1
3) Visuelle Lichtverteilung.....	2
4) Elektrischer Verbrauch.....	3
5) Spektrale Messung.....	3
5a) Beurteilung des Gesamtspektrums	3
5b) Für den Menschen sichtbares Spektrum.....	4
5c) Für Reptilien sichtbares Spektrum	5
5d) UV-Spektrum (Vitamin D3).....	6
5e) Sorgen bzgl UVB-LEDs	9
5f) Blaulichtgefährdung	10
6) Intensitätsmessungen	10
6a) Maximale Bestrahlungsstärke in verschiedenen Abständen ...	11
6b) Solarmeter-Verhältnis	11
7) Einschränkungen	12
8) Zitierte Literatur	12

Summary

- The lamp combines two 370 nm LEDs (UVA) and 300 nm LEDs (UVB) with one white LED.
- The UVA LEDs are too intense compared to the rest of the visible part of the spectrum and will cause significant color distortion for reptiles.
- The UVB LEDs emit small amounts of non-terrestrial UVB radiation (< 290 nm) and have most of their radiation in the range < 300 nm. The spectrum is expected to be significantly more damaging to cells than sunlight.
- The UVB LEDs do not emit any radiation in the 310 – 335 nm range, which is responsible for the regulation of vitamin D3 formation. I am concerned that this could lead to a vitamin D3 overdose. There are some studies that suggest this may be the case, but no studies in reptiles address this concern.
- I consider the spectrum to be unsuitable for natural vitamin D3 synthesis in the terrarium.
- For a further development of the product, I recommend combining 310 nm LEDs with other LEDs with maxima in the 320 – 340 nm range in order to adapt the spectrum to sunlight. The intensity of UVA radiation in the visible range of reptiles should be reduced.
- After the test, Logoterrarien.ch decided not to sell the lamp. However, I assume that this product will be available at other retailers or (Asian) sales platforms.

... Summary
... Lamp Description
... Visual Light Distribution
... Power Consumption
... Spectral Measurement
..... Review of the spectrum
..... Spectrum visible to humans
..... Spectrum visible to reptiles
..... UV Spectrum (vitamin D3)
..... Concerns about UVB-LEDs
..... Blue Light Hazard
... Intensity Measurements
..... Maximum irradiance in different distances
..... Solarmeter Ratio
... Limitations
... Literature cited

2) Beschreibung der Lampe

Eine UVB-LED Lampe wurden von <http://logoterrarien.ch/> mit Bitte um einen Test vor Verkaufsstart zur Verfügung gestellt.

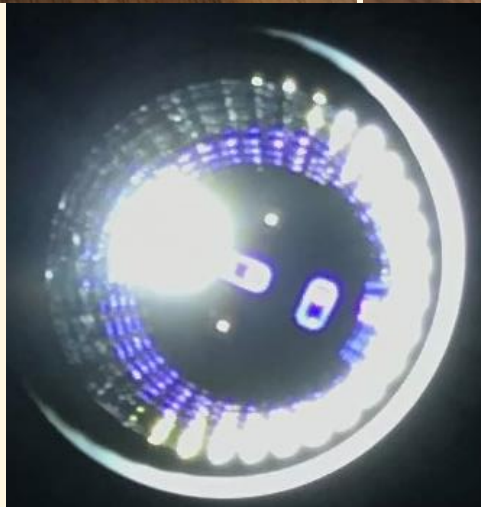
Lamp Description

A UVB LED lamp was provided by <http://logoterrarien.ch/> with a request for a test before sales start.

Die Lampe ist eine E-27-Lampe bestückt mit einer sichtbaren, zwei UVA- und zwei UVB-LEDs. Die Lampe hat ein Gehäuse aus schwarzem Kunststoff und auf den weißen Sockelhals ist die Bezeichnung „3W LED UVB 10.0“ gedruckt. Die Lampe ist in einem unbeschrifteten weißen Karton verpackt. Weitere Spezifikationen zur Lampe liegen mir nicht vor. Im Betrieb sind die UVA-LEDs sehr schwach bläulich sichtbar. Die Lampe erhielt die interne ID SW36.

The lamp is an E-27 lamp fitted with one visible, two UVA and two UVB LEDs. The lamp has a black plastic housing and the designation "3W LED UVB 10.0" is printed on the white base neck. I don't have any other specifications for the lamp. The lamp is packed in an unlabeled white cardboard box. During operation, the UVA LEDs are visible with a very faint bluish tinge.

The lamp was given the internal ID SW36.



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).

Das sichtbare Licht ist – typisch für LEDs – sehr gleichmäßig verteilt. Da nur eine geringe Zahl von sichtbaren und weißen LEDs verwendet werden, entstehen aus Reptiliensicht deutliche farbige Schatten. Diesen Effekt habe ich in Abschnitt 3 im Testbericht der UVB-LEDs der Marke VivTech beschrieben.

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).

As is typical for LEDs, the visible light is very evenly distributed. Since only a small number of visible and white LEDs are used, clear colored shadows are produced from the reptile's point of view. I described this effect in section 3 in the test report of the UVB LEDs from the VivTech brand.

4) Elektrischer Verbrauch

Der elektrische Verbrauch wird mit einem „Brennenstuhl Primera-Line Energiemessgerät PM 231 E“ gemessen.

Die Spannung ist durch die Netzspannung vorgegeben. Leistung und Strom sind durch die Lampe bestimmt. Der Leistungsfaktor ist definiert als „reale absorbierte Leistung“ / „Scheinbare Leistung im Stromnetz“. Wegen der Belastung des Stromnetzes werden Industriekunden oft höhere Kosten berechnet, wenn der Leistungsfaktor klein ist. Für Privatkunden hat der Leistungsfaktor nur sehr geringe Bedeutung.

Spannung / voltage [V]	235
Leistung / power [W]	0,01
Strom / current [A]	1,9
Leistungsfaktor / Power factor	82

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

Power Consumption

Electrical parameters are measured with a “Brennenstuhl Primera Line PM 231 E Power Meter”.

The voltage is determined by the line voltage. Power and current are given by the lamp. The power factor = real absorbed power / apparent power flowing in the circuit. Because of the strain on the electric network, industrial customers are often charged a higher cost when the power factor is low. For private customers, the power factor is of little importance.

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

5) 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.

5a) 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.

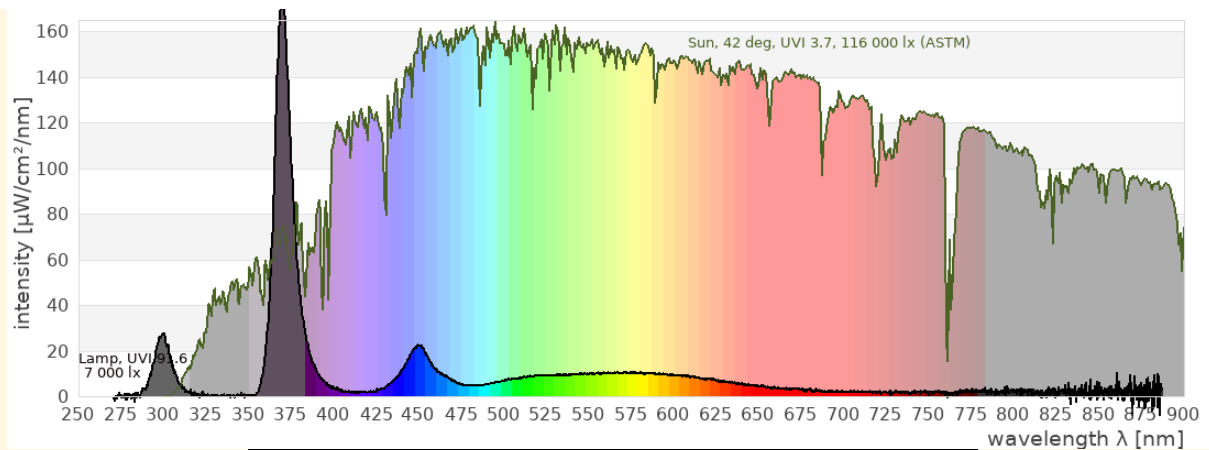
Spectral Measurement

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

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

Review of the spectrum

The spectrum is shown relative to the ASTM solar reference spectrum. This enables comparison of the spectral power distribution of the lamp with that of natural sunlight. Natural sunlight has a completely continuous spectrum from a threshold around 295 nm.



	Lamp	ASTM Reference Sun
UVB (280 – 315 nm)	6,5%	0,1 %
UVA 1 (315 – 350 nm)	0,4%	1,3 %
UVA 2 (350 – 380 nm)	39,4%	1,9 %
VIS (380 – 780 nm)	49%	53 %
Full (250 – 880 nm)	100%	100 %
	30 cm	
UV Index	2,54	UVI 3,7
Lux	194	116 000 lx

Das Spektrum im sichtbaren Bereich ist typisch für eine weiße LED mit blauer Primär-LED und Leuchtstoff für den grün-gelb-orange Farbbereich.

Zusätzlich sind im Spektrum die Emission der UVA-LEDs mit Maximum bei 370 nm und der UVB-LEDs mit Maximum bei 300 nm zu sehen.

5b) Für den Menschen sichtbares Spektrum

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

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

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

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

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

Das Licht wirkt auf mich angenehm. Das entspricht auch der berechneten Farbwiedergabe und Farbtemperatur.

The spectrum in the visible range is typical for a white LED with a blue primary LED and phosphor for the green-yellow-orange color range.

In addition, the emission of the UVA LEDs with peak at 370 nm and the UVB LEDs with peak at 300 nm can be seen in the spectrum.

Spectrum visible to humans

The international illumination comission 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.

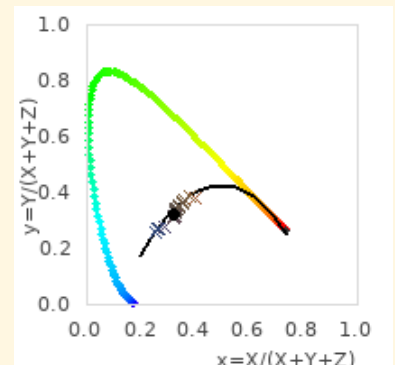
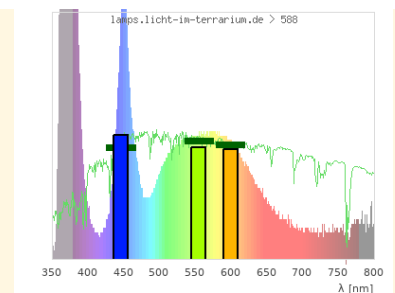
The spectrometer software “Ocean View” calculates the colour coordinate, correlated colour temperature and colour rendering indices based on that. They are valid for human colour vision only.

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

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

The light gives a pleasant. This matches the calculated CRI and CCT.

(x,y)	(0,32 ; 0,32)
CCT [Kelvin]	6272K
CRI	84,5
R1 (light grayish red)	83,4
R2 (dark grayish yellow)	87,1
R3 (strong yellow green)	88,8
R4 (moderate yellowish green)	86,6
R5 (light buish green)	85,7
R6 (light blue)	83,6
R7 (light violet)	87,6
R8 (light reddish purple)	73,4
R9 (strong red)	19,8
R10 (strong yellow)	69,3
R11 (strong green)	86,3
R12 (strong blue)	63,5
R13 (light yellowish pink, human complexion)	83,8
R14 (moderate olive green)	93,8
R15 (Japanese complexion)	79,9
DC<5.4E-3	true



5c) 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 5b). Die farbigen Kreuze kennzeichnen Farborte von verschiedenen Tageslichtphasen. Der schwarze Punkt zeigt den Farbort der Lampe.

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

Spectrum visible to reptiles

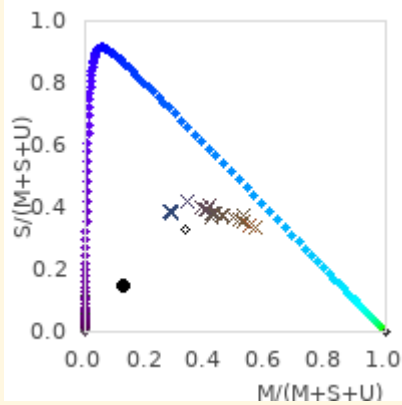
While humans have three photo receptors (blue, green, orange/red), reptiles have three (uva, blue, green) or four (uva, blue, green, red). The colour vision of reptiles therefore differs fundamentally from the colour vision of humans. Especially the UVA range is necessary so that all photo receptors 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 5b). The coloured crosses indicate the colour coordinates of different phases of daylight. The black dot shows the colour coordinate of the lamp.

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

Only very few lamps the visible spectral range for reptiles in a sun-like manner. These are some metal halide lamps without UVB and very few full spectrum fluorescent lamps. Most UVB metal halide vapor lamps emit too much UVA, most fluorescent tubes not enough UVA. From a reptile's perspective, they have a color cast (UVA or complementary color to UVA). From the reptile point of view, LEDs without UVA have the saturated complementary color to UVA.



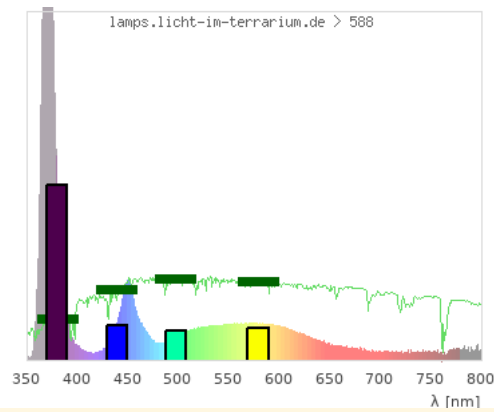
Aus Reptiliensicht tragen die UVA-LEDs zum Farbsehen bei, jedoch ist die Intensität der UVA-LEDs im Vergleich zum restlichen Spektrum viel zu hoch. Die Lampe wird für Reptilien stark UV-farbig sein.

5d) 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 7DHC umzuwandeln. Gleichzeitig hat die UV-Strahlung aber auch zellschädigende Wirkung. Die Zellschädigende Wirkung nimmt mit kürzerer Wellenlänge zu.

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

Bei der Bildung von Vitamin D3 in der Haut durch UV-Strahlung findet eine komplexe chemische Gleichgewichtsreaktion statt. In der Haut liegen 7DHC-Moleküle vor. Wenn ein 7DHC-Molekül ein UV-Photon mit kurzer Wellenlänge absorbiert, ändert es seine chemische Struktur und wandelt sich so in preD3 um. In einer warmen Umgebung wandelt sich das preD3-Molekül mit einer geringen Wahrscheinlichkeit (d.h. nach einiger Zeit) in Vitamin D3 um. Während dieser Zeit kann es aber auch passieren, dass das preD3-Molekül ein weiteres UV-Photon absorbiert und sich dann entweder in 7DHC, Tachysterol oder Lumisterol umwandelt. Wichtig ist, dass preD3 im Gegensatz zu 7DHC auch UV-Photonen mit einer recht großen Wellenlänge bis 335 nm absorbieren kann. Davon gibt es im Sonnenlicht sehr viele. Es ist bei natürlichem Sonnenlicht daher recht unwahrscheinlich, dass ein preD3-Molekül sich in Vitamin-D3 umwandeln kann. Sofern das jedoch gelingt, bindet das Vitamin-D3-Molekül dann an das Vitamin-D3-bindenden Protein (DBP) und wird über den Blutkreislauf abtransportiert.



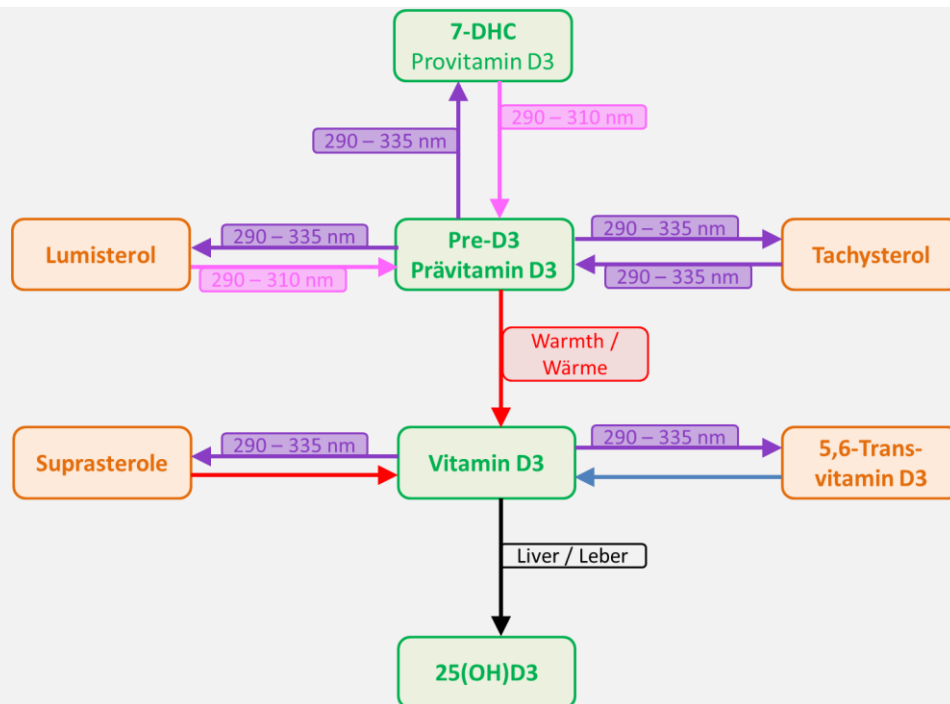
From a reptile's point of view, the UVA LEDs contribute to color vision, but the intensity of the UVA LEDs is far too high compared to the rest of the spectrum. The lamp will be strongly UV colored for reptiles.

UV Spectrum (Vitamin D3)

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

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

A complex chemical equilibrium reaction takes place when vitamin D3 is formed in the skin as a result of UV radiation. 7DHC molecules are present in the skin. When a 7DHC molecule absorbs a short-wavelength UV photon, it changes its chemical structure, turning into preD3. In a warm environment, the preD3 molecule converts to vitamin D3 with a low probability (i.e. after some time). However, during this time it can also happen that the preD3 molecule absorbs another UV photon and then converts to either 7DHC, Tachysterol or Lumisterol. It is important that preD3, in contrast to 7DHC, can also absorb UV photons with a larger wavelength of up to 335 nm. There are a lot of them in sunlight. It is therefore quite unlikely that a preD3 molecule can convert into vitamin D3 in natural sunlight. However, if this is successful, the vitamin D3 molecule then binds to the vitamin D3-binding protein (DBP) and is transported away via the bloodstream.



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

Die längeren Wellenlängen (310 – 335 nm) begrenzen somit die Menge an Prävitamin D3 und damit Vitamin D3, die in der Haut gebildet werden kann. Diese Wellenlängen wirken im System als „Bremse“ oder „Puffer“. Und Sonnenlicht, wofür dieser Prozess evolutionär optimiert wurde, hat im Bereich 310 – 335 nm eine vielfach höhere Intensität als im Bereich 290 – 310 nm. Es gibt darüber hinaus sogar eine Ausfallsicherung, um überschüssiges Vitamin D3 zu entfernen, wenn sich so viel in der Haut ansammelt, dass DBP es nicht mehr entfernen kann. Webb et al. (1989) fanden heraus, dass Wellenlängen bis zu 330 nm das in der Haut verbleibende Vitamin D3 abbauen und in inerte Moleküle umwandelt (5,6-Trans-Vitamin-D3, Suprasterol I und Suprasterol II)

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

- Sonnenspektrum bei 20° Sonnenstand (UV-Index 1,0)
- Sonnenspektrum bei 50° Sonnenstand (UV-Index 7,6)
- Sonnenspektrum bei 85° Sonnenstand (UV-Index 14,7)
- Wirkspektrum für die DNA-Schädigung (Setlow1974, DIN 5031-10), die Wirkspektren für andere schädigende Auswirkungen von UV-Strahlung, wie Photo-Kerato-Konjunktivitis sind ähnlich.
- 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 Lumisterol and Tachysterol molecules can also absorb another UV photon and convert back into preD3. In the skin, there is a constant “dance” of the molecules between the four different stages. After some time a chemical equilibrium is formed in which the individual molecules continue to constantly convert, but the total number of 7DHC/preD3/Lumisterol/Tachysterol molecules remains constant. MacLaughlin et al. (1982) showed that the spectrum of sunlight results in the ratio 10-20% 7DHC / 15-20% preD3 / 50-60% Lumisterol / 3-6% Tachysterol.

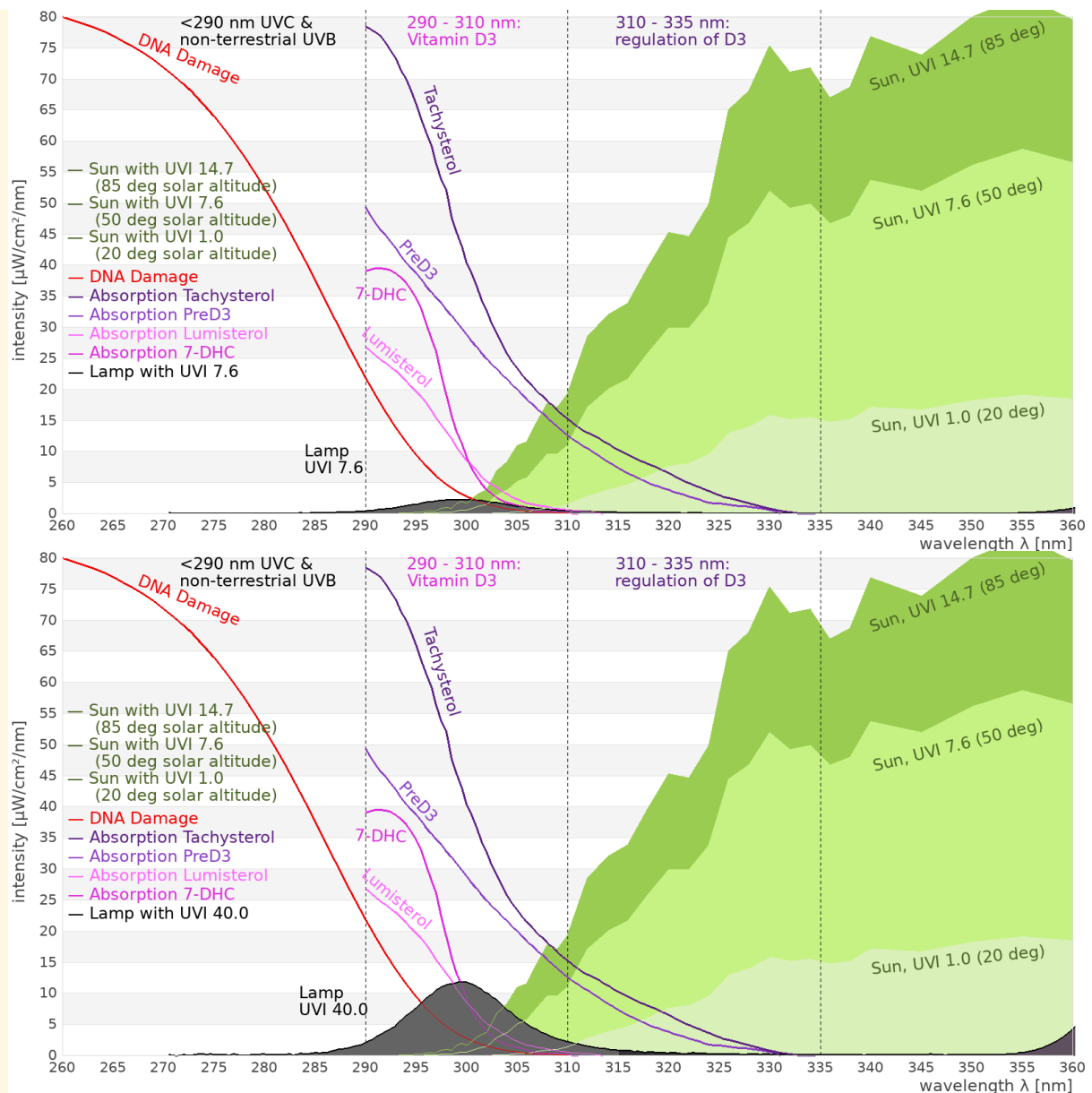
The longer wavelengths (310 – 335 nm) limit the amount of pre-D3 and thus Vitamin D3 that can be produced in the skin. These wavelengths act as a “brake” or “buffer” in the system. And sunlight has many times more intensity in the range 310 – 335 nm than in the range 290 – 310 nm.

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

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

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



Die Grafiken zeigen das Spektrum einmal skaliert auf UV-Index 7.6, so dass es gut mit dem Sonnenspektrum bei gleichem UV-Index verglichen werden kann. Da die Lampe aufgrund ihres Spektrums nur eine sehr geringe Intensität benötigt, um diesen UV-Index zu erreichen, sieht man in diesem Bild nur wenig. Daher ist das Spektrum zusätzlich skaliert auf UV-Index 40 gezeigt. Die Grafiken zeigen:

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

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

The graphs show the spectrum once scaled to UV index 7.6, so that it can be easily compared with the solar spectrum with the same UV index. Since the lamp only needs a very low intensity due to its spectrum to reach this UV index, you can see very little in this graph. Therefore, the spectrum is also shown scaled to UV index 40. The graphs show:

- The lamp does not emit hazardous UVC, or UVB in the non-terrestrial UVB wavelengths.
- A proportion of its output is below 300nm. The risk of DNA damage is therefore greater than for natural sunlight.
- There is UVB in the wavelengths which enable vitamin D3 synthesis in skin (290 – 315 nm).
- There is no UVB in the wavelengths which regulate the vitamin D3 synthesis in skin (310 – 335 nm). This lamp will likely enable stronger Vitamin D3 synthesis than natural sunlight at the same UV-index. There is a risk of Vitamin-D3 overdose.

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

5e) Sorgen bzgl UVB-LEDs

Das Spektrum der derzeit erhältlichen UVB-LEDs weicht stark vom Sonnenspektrum ab: Selbst wenn 310-nm-LEDs eingesetzt werden, die im Bereich < 310 nm fast exakt mit dem Sonnenspektrum übereinstimmen (in einem Abstand in dem UV-Index 7,6 erreicht wird), ist nahezu keine Intensität im Bereich 310 – 335 nm vorhanden, der wichtig für die Begrenzung der Vitamin-D3-Bildung ist (siehe detaillierte Erklärung in 5d)5d). Das wird auch durch das Solarmeter-Verhältnis < 30 widerspiegelt (siehe 6b)6b).

Anhand des Spektrums erwartet man daher, dass die natürlichen Schutzmechanismen vor einer Vitamin-D3-Überdosierung ausgehebelt werden könnten. Wenn das Spektrum von 310-nm-LEDs in der Terraristik eingesetzt werden soll, sind dringend Studien notwendig, bei denen verschiedene Reptilienarten mit realistischen UV-Indizes (entsprechend der Ferguson-Zonen z.B. UV-Index 5,0 für Bartagamen) für einen längeren Zeitraum von mehreren Monaten bestrahlt werden. Regelmäßige Blutuntersuchungen aller Parameter des Vitamin-D3-Kalzium-Komplexes (Parathormon, Serum-Kalzium, ionisiertes Kalzium, Vitamin D3, 25OHD3; letztere gemessen mit der verlässlicheren LC-MS/MS-Methode) können die Sorge vor Vitamin-D3-Überdosierung entkräften oder bestätigen.

Die Sorgen vor einer Vitamin-D3-Überdosierung stützen sich nicht nur auf die oben genannte Theorie. Die bisher einzige Studie an Reptilien stammt von Cusack2014: Juvenile Bartagamen wurden mit einem Prototyp einer UVB-LED-Lampe von ZooMed bestrahlt. Als Vergleich diente eine Gruppe von Tieren ganz ohne UVB und eine Gruppe mit einer UVB-Leuchtstofflampe. Die LED-Lampe bestand aus mehreren UVB-LEDs mit unterschiedlicher Wellenlänge (300, 310, 320, 355 nm), so dass die Ergebnisse sicherlich nicht auf die aktuell typischen UVB-Terrarienlampen übertragbar sind. In der LED-Gruppe war der UV-Index im Mittel 0,24, in der Leuchtstofflampen-Gruppe 0,92. In beiden Fällen also ein extrem geringer UV-Index, obwohl Bartagamen in Ferguson-Zone 3 sonst ein UV-Index zwischen 3 und 7 empfohlen wird. Wenig überraschend blieben die Vitamin-D3-Blutwerte der Gruppe ohne UV konstant niedrig (um 120 nmol/l) und auch die Blutwerte der Tiere mit der Leuchtstoffröhre mit viel zu geringem UV-Index stiegen nur minimal auf 130 nmol/l. Völlig überraschend hatten die Tiere der LED-Gruppe, trotz fast nicht messbarem UV-Index (0,24) sehr hohe Blutwerte von fast 200 nmol/l, die während der gesamten Studiendauer von 11 Monaten auch kontinuierlich stiegen.

Dieses Spektrum sollte nicht nur mehr preD3 und Tachysterol sondern auch deutlich weniger Lumisterol bilden. Es ist auch denkbar, dass die geänderte Menge an Lumisterol und Tachysterol gesundheitliche Auswirkungen haben. Bei Lumisterol wird diskutiert, ob es vor Krebserkrankungen schützt (Dixon2011). Sakich2022 wirft die Hypothese auf, Lumisterol könnte von Reptilien genutzt werden, um die UVB-Intensität zu erkennen. Nach ersten Versuchen scheinen Reptilien sehr gut in der Lage zu sein, sich der korrekten Menge an UV auszusetzen. Welche Methode sie nutzen, um die UV-Stärke zu erkennen, ist noch ungeklärt. Falls Lumisterol hierbei eine Rolle spielt, würden sich Reptilien unter 310-nm-LEDs deutlich länger sonnen, da weniger Lumisterol gebildet wird.

Concerns about UVB-LEDs

The spectrum of the currently available UVB LEDs deviates strongly from the solar spectrum: Even if 310 nm LEDs are used, which in the range < 310 nm almost exactly match the solar spectrum (at a distance in which the UV index is 7.6), there is almost no intensity in the 310 – 335 nm range, which is important for limiting vitamin D3 formation (see detailed explanation in 5d)5d). This is also reflected by the solar meter ratio < 30 (see 6b)6b).

Based on the spectrum, it is therefore expected that the natural protective mechanisms against a vitamin D3 overdose could be undermined. If the spectrum of 310 nm LEDs is to be used in terraristics, studies are urgently needed in which various reptile species are exposed to realistic UV indices (corresponding to the Ferguson zones, e.g. UV index 5.0 for bearded dragons) for a longer period of time for several months. Regular blood tests of all parameters of the vitamin D3-calcium complex (parathyroid hormone, serum calcium, ionized calcium, vitamin D3, 25OHD3; the latter measured with the more reliable LC-MS/MS method) can allay concerns about vitamin D3 overdose or confirm.

Concerns about vitamin D3 overdose aren't just based on the above theory. The only study on reptiles to date comes from Cusack2014: juvenile bearded dragons were exposed to a prototype UVB LED lamp from ZooMed. A group of animals without any UVB and a group with a UVB fluorescent lamp served as a comparison. The LED lamp consisted of several UVB LEDs with different wavelengths (300, 310, 320, 355 nm), so the results are certainly not transferrable to the currently typical UVB terrarium lamps. The average UV index in the LED group was 0.24, in the fluorescent lamp group it was 0.92. In both cases an extremely low UV index was used, although a UV index between 3 and 7 is otherwise recommended for bearded dragons in Ferguson zone 3. Unsurprisingly, the vitamin D3 blood levels in the group without UV remained constantly low (around 120 nmol/l) and the blood levels of the animals with the fluorescent tube, which had a UV index that was far too low, rose only minimally to 130 nmol/l. Completely surprisingly, the animals in the LED group had very high blood values of almost 200 nmol/l, despite an almost immeasurable UV index (0.24), which also increased continuously over the entire study period of 11 months.

The LEDs spectrum is not only expected to form more preD3 and tachysterol but also significantly less lumisterol. It might be, the changed amounts of lumisterol and tachysterol have health effects. In the case of lumisterol, there is debate as to whether it protects against cancer (Dixon2011). Sakich2022 hypothesizes that lumisterol could be used by reptiles to detect UVB intensity. Recent trials suggest that reptiles are very capable of exposing themselves to the correct amount of UV. The method they use to detect the UV intensity is still unclear. If lumisterol plays a role, reptiles might bask under 310 nm LEDs much longer because less lumisterol is formed. And that where because of the stronger formation of vitamin D3, a

Und dass wo wegen der stärkeren Vitamin-D3-Bildung eigentlich eine deutlich geringere Sonnendauer notwendig ist.

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.

Dixon, K. M., Norman, A. W., Sequeira, V. B., Mohan, R., Rybchyn, M. S., Reeve, V. E., Halliday, G. M. & Mason, R. S. (2011) $1\alpha,25(\text{OH})_2$ -Vitamin D and a Nongenomic Vitamin D Analogue Inhibit Ultraviolet Radiation–Induced Skin Carcinogenesis. *Cancer Prevention Research*, 4 1485–1494.

Sakich, N. B. & Tattersall, G. J. (2022) Regulation of Exposure to Ultraviolet Light in Bearded Dragons (*Pogona vitticeps*) in Relation to Temperature and Scalation Phenotype. *Ichthyology & Herpetology*, 110 477–488.

5f) 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 (Photoretininitis, Blaulichtgefährdung). Die effektive Bestrahlungsstärke für Blaulichtgefährdung wird mit der Wirkfunktion nach DIRECTIVE 2006/25/EC berechnet. Bei mittlerem Sonnenlicht beträgt das Verhältnis von effektiver Bestrahlungsstärke für Photoretininitis zu Beleuchtungsstärke ca. $80 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ pro 1.000 lux, steigt aber im Schatten durch das blaue Himmelslicht auf $130 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ pro 1.000 lx an. Bei Halogen-Glühlampen ist der Wert ca. $25 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ pro 1.000 lux. Werte bis $100 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ pro 1.000 lux halte ich im Terraristik-Kontext für unproblematisch. Für eine vollständige Beurteilung der Blaulichtgefährdung muss auch die Leuchtdichte der einbezogen werden, was mir messtechnisch nicht möglich ist. Der spektral berechnete Wert liegt bei ca. $90 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ pro 1.000 lux.

significantly shorter duration of sun exposure is actually necessary.

Blue Light Hazard

Light with wavelengths between 410 nm and 480 nm with a maximum at 400 nm can cause damage in the photo receptors in the retina of humans (photo retinitis, blue light hazard). The effective irradiance for blue light hazard is calculated with the action spectrum from DIRECTIVE 2006/25/EC. For average sunlight, the ratio of the effective irradiance for photo retinitis to illuminance is approximately $80 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ per 1,000 lux, but can rise to $130 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ per 1,000 lux in the shade due to the blue light from the sky. Halogen lights have a ratio of approximately $25 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ per 1,000 lux. I consider ratios up to $100 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ in the context of reptile husbandry as non-problematic. For a full evaluation of the blue light hazards also the luminance must be taken into account, which is not possible with my measurement equipment.

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

6) Intensitätsmessungen

Intensitätsmessungen werden mit Breitbandmessgeräten durchgeführt. Gegenüber dem Spektrometer sind sie einfacher in der Anwendung und haben 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-

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

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.

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.

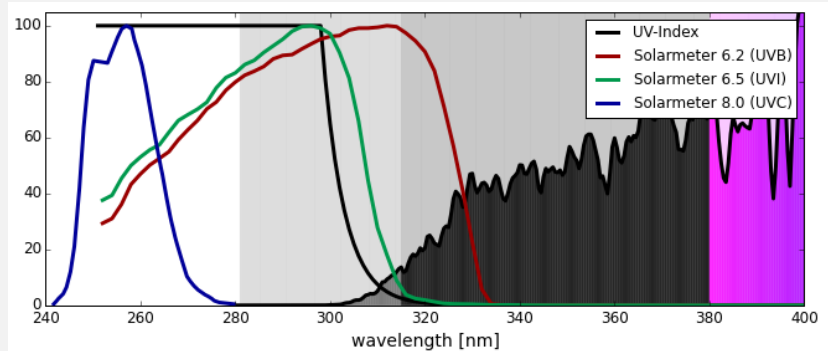
- Solarmeter 8.0: UVC

It measures UVC. To rule out faulty measurements due to UVA leakage, the measured value is checked again with a Schott UG11-filter.

6a) Maximale Bestrahlungsstärke in verschiedenen Abständen



Maximum irradiance in different distances



Age [h]	0,5									
Distance [cm]	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70
Luxmeter [lx]	4.092	1.540	758	400	300	220	130	86	60	45
Solarmeter 6.2 UVB [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]	432	158	77	45	30	20	11	8	5	4
Solarmeter 6.5 UVI	55,7	20,8	10,2	5,8	3,7	2,5	1,4	1	0,7	0,5
Solarmeter Ratio	7,8	7,6	7,5	7,8	8,1	8,0	7,9	8,0	7,1	8,0

Das Solarmeter 8.0 bestätigt die Messung des Spektrometers: Auch direkt am Glas ist kein UVC messbar.

In 5 cm Abstand berechnet das Spektrometer UV-Index 64.2, was etwas höher ist als der Solarmeter-6.5-Messwert. Das Solarmeter 6.5 unterschätzt – wie erwartet – die UV-Strahlung dieser Lampe leicht.

Bezogen auf die geringe Leistung ist die Lampe sehr intensiv (UV-Index 2,5 in 30 cm Abstand). Dies ist auch dadurch bedingt, dass die UV-Strahlung sehr kurzwellig ist. Der UV-Index ist so definiert, dass kürzere Wellenlängen stärker zum UV-Index beitragen.

The Solarmeter 8.0 confirms the spectrometer measurement: Even directly at the glass no UVC could be detected.

At a distance of 5 cm, the spectrometer calculates UV index 64.2, which is slightly higher than the solar meter 6.5 reading. As expected, the Solarmeter 6.5 underestimated the UV radiation emitted by this lamp.

In relation to the low power, the lamp is very intense (UV index 2.5 at 30 cm). This is also caused by the UV radiation having very short wavelengths. The UV Index is defined such that shorter wavelengths contribute more to the UV Index.

6b) 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.

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.

Das Solarmeter-Verhältnis wird berechnet in dem der Messwert des Solarmeter 6.2 (z.B. 300 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$) durch den Messwert des Solarmeter 6.5 (z.B. UVI 6) geteilt wird. Natürliches Sonnenlicht hat ein Solarmeter-Verhältnis von ca. 50-60. Leuchtstofflampen mit einem Solarmeter-Verhältnis 25-30 sind häufig und bisher nicht negativ aufgefallen. Auffällige Leuchtstofflampen zeichneten sich durch ein Solarmeter-Verhältnis < 15 aus. Auch UV-HQI-Strahler haben typischerweise Werte um 30. UV-Quecksilberdampflampen haben teilweise niedrige Werte, ohne negativ aufgefallen zu sein.

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 ist 7,9. Das stimmt mit der Spektrometer-Messung überein, die keine Strahlung im Vitamin-D3-regulierenden Bereich (310-335-nm) zeigt.

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

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

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 the is 7.9. This agrees with the spectrometer measurement, which shows no radiation in the vitamin D3-regulating range (310-335 nm).

7) Einschränkungen

Die Messungen wurden von mir als Physikerin nach bestem Wissen durchgeführt und Quellen und Rahmenbedingungen angegeben. Ich glaube, dass die Messungen aussagekräftig und zuverlässig sind. Trotzdem entsprechen die Messgeräte und Methoden nicht denen zertifizierter Testlabore.

Messungen an einer geringen Anzahl von Lampen lassen keine generellen Aussagen zu. Von Lampe zu Lampe gibt es Schwankungen aufgrund des Alters der Lampe, Betriebsbedingungen wie Spannung oder Temperatur sowie Produktionsschwankungen von Charge zu Charge und innerhalb einer Charge.

Ich rege eine Überprüfung meiner Ergebnisse durch zertifizierte Testlabore und Diskussion mit Experten an. Ich bin dankbar für Feedback.

Limitations

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

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

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

8) Zitierte Literatur

- Baines, F. M. 2010. Photo-Kerato-Conjunctivitis in Reptiles. Paper read at 1st International Conference on Reptile and Amphibian Medicine, March 4—7, at München.
- Baines, F. M. (2016) How much UV-B does my reptile need? The UV-Tool, a guide to the selection of UV lighting for reptiles and amphibians in captivity. Journal of Zoo and Aquarium Research, 4.
- DIN 5031-10: Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik: Photobiologisch wirksame Strahlung, Größen, Kurzzeichen und Wirkungsspektren. Mar 2000. Deutsches Institut für Normung e.V.
- DIRECTIVE 2006/25/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 5 April 2006 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to risks arising from physical agents (artificial optical radiation) (19th individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC).
- Dobbinson, S., Niven, P., Buller, D., Allen, M., Gies, P. & Warne, C. (2016) Comparing Handheld Meters and Electronic Dosimeters for Measuring Ultraviolet Levels under Shade and in the Sun. Photochemistry and Photobiology, 92 208–214.
- Ferguson, G. W., Brinker, A. M., 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.

Literature Cited

- Holick, M. F. (2016) Biological Effects of Sunlight, Ultraviolet Radiation, Visible Light, Infrared Radiation and Vitamin D for Health. *Anticancer Research*, 36 1345–1356.
- Kelber, A., Vorobyev, M. & Osorio, D. (2003) Animal colour vision - behavioural tests and physiological concepts. *Biological Reviews*, 78 81–118.
- Lindgren, J., 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.
- Setlow, R. B. (1974) The wavelengths in sunlight effective in producing skin cancer: a theoretical analysis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 71 3363–3366.
- Guidelines on Limits of Exposure to Broad-Band Incoherent Optical Radiation (0.38 to 3µm). (1997) *Health Physics*, 73 539–554.