

Test-Report 01/2023

Leap[®]

UVB T5 Bars 12in, 36in, 46in 220V T5 HO/HE UVB Bulb "UVB5" and "UVB10"

1) Zusammenfassung

- Die leap T5 Einheiten machen einen sehr robusten Eindruck und können sowohl von oben auf einen Gazedeckel gelegt werden als auch mit den Befestigungsclips von unten angeschraubt werden.
- Die verschiedenen Intensitäten ermöglichen den Einsatz bei Terrarien unterschiedlicher Größe und für Tiere unterschiedlicher UV-Anforderungen.
- Das Spektrum der „UVB5“-Röhren ist sehr sonnenähnlich im Bereich unter 340 nm.
- Das Spektrum der „UVB10“-Röhren ist typisch für viele sonnenähnliche UVB-Leuchtstofflampen und hat etwas weniger Intensität im Bereich 320 – 340 nm.
- Ich halte die Lampen für gut geeignet, um Reptilien mit UV zur Vitamin-D3-Synthese zu versorgen.

1)	Zusammenfassung	1
2)	Beschreibung der Lampe.....	1
3)	Visuelle Lichtverteilung.....	7
4)	Temperatur	7
5)	Elektrischer Verbrauch	8
6)	Spektrale Messung.....	9
6a)	Beurteilung des Gesamtspektrums	9
6b)	Für den Menschen sichtbares Spektrum.....	13
6c)	Für Reptilien sichtbares Spektrum	13
6d)	UV-Spektrum (Vitamin D3).....	14
6e)	Blaulichtgefährdung	17
7)	Intensitätsmessungen	18
7a)	Maximale Bestrahlungsstärke in verschiedenen Abständen ...	18
7b)	Solarmeter – Spektrometer – Vergleich.....	20
7c)	Solarmeter-Verhältnis	20
7d)	Iso-Bestrahlungsstärke-Karte	21
7e)	Einbrennen und Alterung	24
8)	Einschränkungen	26
9)	Zitierte Literatur	26

Summary

- The leap T5 units make a very robust impression and can be placed on a mesh cover from above or screwed on from below using the fastening clips.
- The different intensities enable use in terrariums of different sizes and for animals with different UV requirements.
- The spectrum of the "UVB5" tubes is very similar to that of the sun in the range below 340 nm.
- The spectrum of the "UVB10" tubes is typical of many sun-like UVB fluorescent lamps and has somewhat less intensity in the 320 - 340 nm range.
- I think the lamps are well suited to provide reptiles with UV for Vitamin D3 synthesis.

...	Summary
...	Lamp Description
...	Visual Light Distribution
...	Temperature
...	Power Consumption
...	Spectral Measurement
.....	Review of the spectrum
.....	Spectrum visible to humans
.....	Spectrum visible to reptiles
.....	UV Spectrum (vitamin D3)
.....	Blue Light Hazard
...	Intensity Measurements
.....	Maximum irradiance in different distances
.....	Solarmeter – Spectrometer – Comparison
.....	Solarmeter Ratio
.....	Iso Irradiance Chart
.....	Burn in and Aging
...	Limitations
...	Literature cited

2) Beschreibung der Lampe

Der Test von insgesamt sechs „Leap T5 Bar“ mit T5 UV-Leuchtstoffröhren der Stärke UVB5 und UVB10 wurde von Leap (2675 Commerce Center Blvd, Suite 101, Bethlehem, PA 18015, <https://leaphabitats.com>) in Auftrag gegeben und die Lampen direkt von leap zur Verfügung gestellt.
In meinem Fall waren die Leuchtstoffröhren in den Betriebseinheiten vorinstalliert und mit Schaumstoff geschützt.

Lamp Description

The test of in total six Leap T5 Bars with T5 UV fluorescent lamps of strength "UVB5" and "UVB10" was commissioned by leap (2675 Commerce Center Blvd, Suite 101, Bethlehem, PA 18015, <https://leaphabitats.com>) and the lamps were directly supplied by leap.
In my case, the fluorescent tubes were pre-installed in the operating units and protected with styrofoam. The tube

Die gelieferten Verpackungen der Röhren waren leer. Das ist auf dem interkontinentalen Transportweg deutlich stabiler.

Den T5-Leuchtstoffröhren wurden folgende internen IDs gegeben

- 12" (30,5 cm), 8W, T5HE, UVB5 (SW43)
- 12" (30,5 cm), 8W, T5HE, UVB10 (SW44)
- 36" (91,4 cm), 39W, T5HO, UVB5 (SW45)
- 36" (91,4 cm), 39W, T5HO, UVB10 (SW46)
- 46" (116,8 cm), 54W, T5HO, UVB5 (SW47)
- 46" (116,8 cm), 54W, T5HO, UVB10 (SW48)

Es gibt keine Angaben zu Farbtemperatur (Kelvin/CCT), Farbwiedergabe (Ra/CRI) oder Helligkeit (Lumen).

Betriebseinheiten mit ihren Abmessungen:

- 2 x 12", 8W, 220V, 50Hz
31,7 cm x 4,6 cm x 6,5 cm
- 2 x 36", 39W, 220V, 50Hz
87,7 cm x 4,6 cm x 6,5 cm
- 2 x 46", 54W, 220V, 50Hz
117,8 cm x 4,6 cm x 6,5 cm

packaging was empty. This is significantly more stable on the intercontinental transport route.

The T5 fluorescent tubes were given the following internal ids:

- 12" (30,5 cm), 8W, T5HE, UVB5 (SW43)
- 12" (30,5 cm), 8W, T5HE, UVB10 (SW44)
- 36" (91,4 cm), 39W, T5HO, UVB5 (SW45)
- 36" (91,4 cm), 39W, T5HO, UVB10 (SW46)
- 46" (116,8 cm), 54W, T5HO, UVB5 (SW47)
- 46" (116,8 cm), 54W, T5HO, UVB10 (SW48)

No specifications for correlated colour temperature (CCT), colour rendering index (CRI) or brightness (Lumen) are given.

Lamp units and their dimensions:

- 2 x 12", 8W, 220V, 50Hz
31,7 cm x 4,6 cm x 6,5 cm = 12,5" x 1,8" x 2,6"
- 2 x 36", 39W, 220V, 50Hz
87,7 cm x 4,6 cm x 6,5 cm = 34,5" x 1,8" x 2,6"
- 2 x 46", 54W, 220V, 50Hz
117,8 cm x 4,6 cm x 6,5 cm = 46,4" x 1,8" x 2,6"







Auf einer Seite haben alle Lampen eine Beschriftung des Lampentyps z.B. „leap, 46"/1168mm, LEAP 10.0 UVB, MADE IN GERMANY, WARNING: UVB Radiation – for Reptile Use Only, CE, Hg“. Außerdem bietet ein Textfeld mit „First use date, replace yearly“ die Möglichkeit die erste Nutzung der Lampe zu notieren.

Auf der anderen Seite sind mit schwarzer Farbe je zwei Zahlen und drei Buchstaben aufgedruckt: 35 CKF (46"10), 04 CLA (46"5), 08 DNC (36"10), 26 DNI (36"5), 19 EIG (12"10), 21 EJO (12"5)

All lamps are labeled with the lamp type on one side, e.g. "leap, 46"/1168mm, LEAP 10.0 UVB, MADE IN GERMANY, WARNING: UVB Radiation - for Reptile Use Only, CE, Hg". In addition, a text field with "First use date, replace yearly" offers the possibility to note the first use of the lamp.

On the other side two numbers and three letters are printed in black: 35 CKF (46"10), 04 CLA (46"5), 08 DNC (36"10), 26 DNI (36"5), 19 EIG (12"10), 21 EJO (12"5)



Jeder Packung liegt eine Bedienungsanleitung bei.



Each pack comes with an instruction manual.



Mehrere Betriebseinheiten können durch Kabel verbunden werden und so an einer einzigen Steckdose betrieben werden.



Im Gegensatz zu anderen T5 Beleuchtungseinheiten mit Reflektor für die Reptilienhaltung (Arcadia®, reptizoo®) sind diese quaderförmig. Das Gewicht der Einheit ist damit höher: Inklusive Röhre aber ohne Kabel wiegen die Einheiten 400 g (12"8W), 995 g (36",39W), und 1290 g (46",54W) – im Vergleich zu 274 g (Arcadia 24W) und 287 g (reptizoo® 24W). Allerdings machen sie auch einen sehr robusten Eindruck. Die Einheit kann von oben auf ein UV-durchlässiges Spezialglas oder Gaze gelegt werden, oder von innen mit speziellen Clips am Deckel des leap Terrariums befestigt werden. Die Clips lassen sich sehr leicht an die Leisten anklicken und auch wieder entfernen. Befestigt man an den Clips eine Kette lässt sich die Höhe der Röhre auch flexibel an die Alterung der Lampen anpassen.

Several operating units can be connected by cables and thus be operated from a single socket.



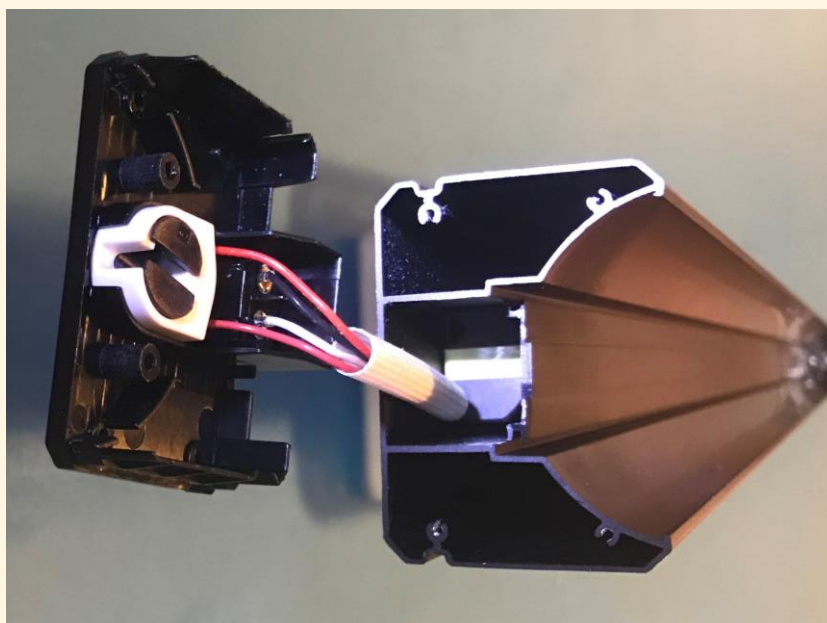
In contrast to other T5 lighting units with reflectors for reptile keeping (Arcadia®, reptizoo®), these are cuboid. The weight of the unit is therefore higher: including the tube but without the cable, the units weigh 400 g (12"8W), 995 g (36",39W), and 1290 g (46",54W) - compared to 274 g (Arcadia 24W) and 287g (reptizoo® 24W). However, they also give a very stable impression.

The unit can be placed on top of a UV-permeable special glass or mesh, or attached to the lid of the leap terrarium from the inside with special clips. The clips can be easily clicked onto the bars and removed again. If you attach a chain to the clips, you can also flexibly adjust the height of the tube to the aging of the lamps.



Schraubt man die Kappen an den kurzen Seiten ab, kann man in Richtung des elektronischen Vorschaltgeräts blicken, das sich in einer 20,9 mm x 24,5 mm großen Leiste befindet. Um das Vorschaltgerät herauszuziehen wäre es nötig die Kabel an der Fassung zu durchtrennen.

If you unscrew the caps on the shorter sides, you can look in the direction of the electronic ballast, which is located in a 20.9 mm x 24.5 mm hollow space. In order to pull out the ballast, it would be necessary to cut the cables at the socket.



3) Visuelle Lichtverteilung

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

Das sichtbare Licht ist – typisch für Leuchtstoffröhren - sehr gleichmäßig verteilt.

4) Temperatur

Die Temperatur der Lampe wird mit einem Infrarot-Thermometer (Etekcity Lasergrip 1080) gemessen. Dieses IR-Thermometer misst mit 8-14 μm Wellenlänge und hat einen voreingestellten Emissionskoeffizienten von 0,95. 0,95 ist der korrekte Wert für eine Vielzahl von Oberflächen (Lehm, Holz, Asphalt, Keramik). Je stärker der reale Emissionskoeffizient abweicht, desto größer ist der Fehler in der angezeigten Temperatur. Im Extremfall bei Aluminium (Emissionskoeffizient 0,3) entspricht eine gemessene Temperatur von 100°C einer realen Temperatur von 255°C. Auch für Glas (Emissionskoeffizient 0.85) wird die Temperatur unterschätzt (z.B. 100°C statt 110°C).

Zusätzlich wird die Temperaturverteilung ggfs. mit einer FLIR ONE Gen3 Wärmebildkamera aufgezeichnet. Dieses misst ebenfalls im Wellenlängenbereich 8-14 μm mit Emissionskoeffizient 0,95 bis zu 120°C mit einer Auflösung von 60 x 80 Pixel.

Die Betriebseinheit der 12"-HE-Röhren (Hohe Effizienz) erwärmt sich im Betrieb auf knapp 30°C, die Röhren selbst auf 52,9°C.



Wie erwartet erreichen die HO-Röhren (Hoher Output) eine höhere Temperatur: 32,5°C bei der Betriebseinheit und 70,9°C auf der Röhre.

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 as it is typical for fluorescent tubes.

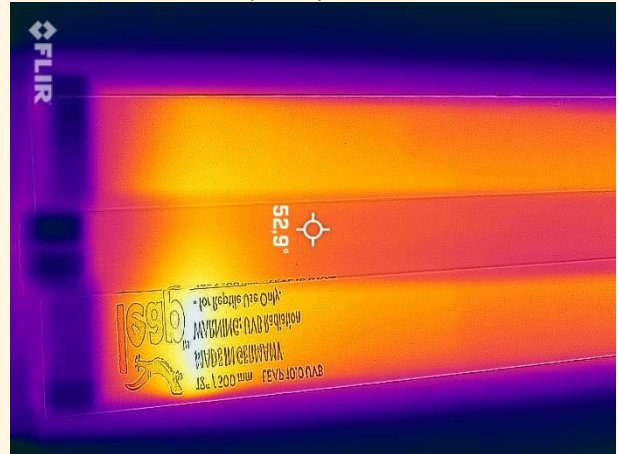
4)Temperature

The temperature of the lamp is measured with a non-contact infrared thermometer (Etekcity Lasergrip 1080).

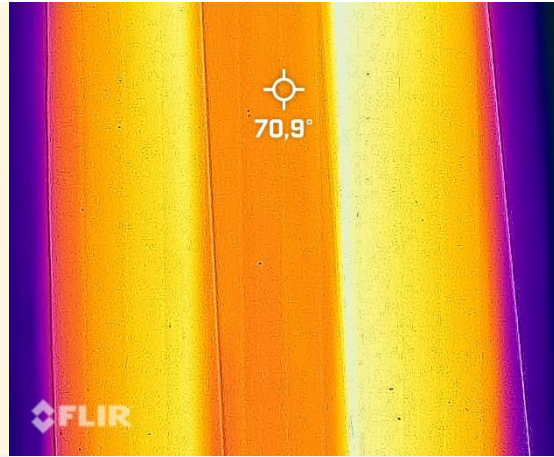
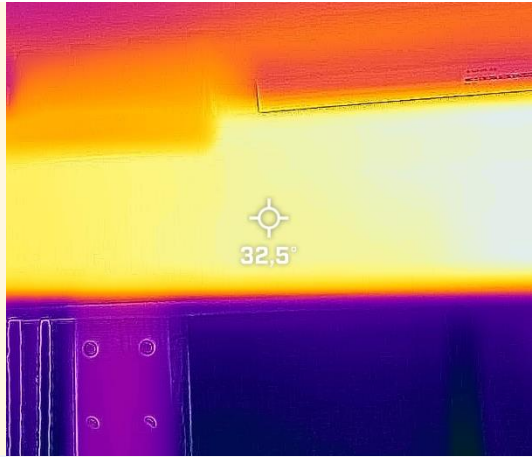
This IR thermometer measures at 8-14 μm wavelength and has a pre-set emissivity of 0.95. 0.95 is the correct value for a large range of surfaces (clay, wood, asphalt, ceramic). The larger the difference in emissivity, the larger is the error in the temperature reading. An extreme case is aluminum (emissivity 0.3), where a measured temperature of 100°C corresponds to a real temperature of 255°C. Also, for glass (emissivity 0.85) the temperature is underestimated (e.g., 100°C instead of 110°C).

In addition, the temperature distribution is recorded with a FLIR ONE Gen3 thermal imaging camera if necessary. This also measures in the wavelength range 8-14 μm with an emission coefficient of 0.95 up to 120°C with a resolution of 60 x 80 pixels.

The operating unit of the 12" HE (high efficiency) tubes heats up to almost 30°C (86°F) during operation, the tubes themselves to 52,9°C (127°F).



As expected, the HO (High Output) tubes reach a higher temperature: 32.5°C (90.5°F) on the operating unit and 70.9°C (160°F) on the tube.



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.

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.

	12" UVB5	12" UVB10	36" UVB5	36" UVB10	46" UVB5	46" UVB10
Spannung / voltage [V]	234	234	232	233	234	236
Leistung / power [W]	0,07	0,08	0,18	0,18	0,25	0,25
Strom / current [A]	10,0	10,1	40,7	40,6	57,6	58,1
Leistungsfaktor / Power factor	61	54	97	97	98	89

Die gemessenen Werte für Leistungsaufnahme der Röhre inklusiven Verlusten im Vorschaltgerät entsprechen der Erwartung.

The values measured for the power consumption of the tube, including losses in the ballast, correspond to expectations.

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

Spectral Measurement

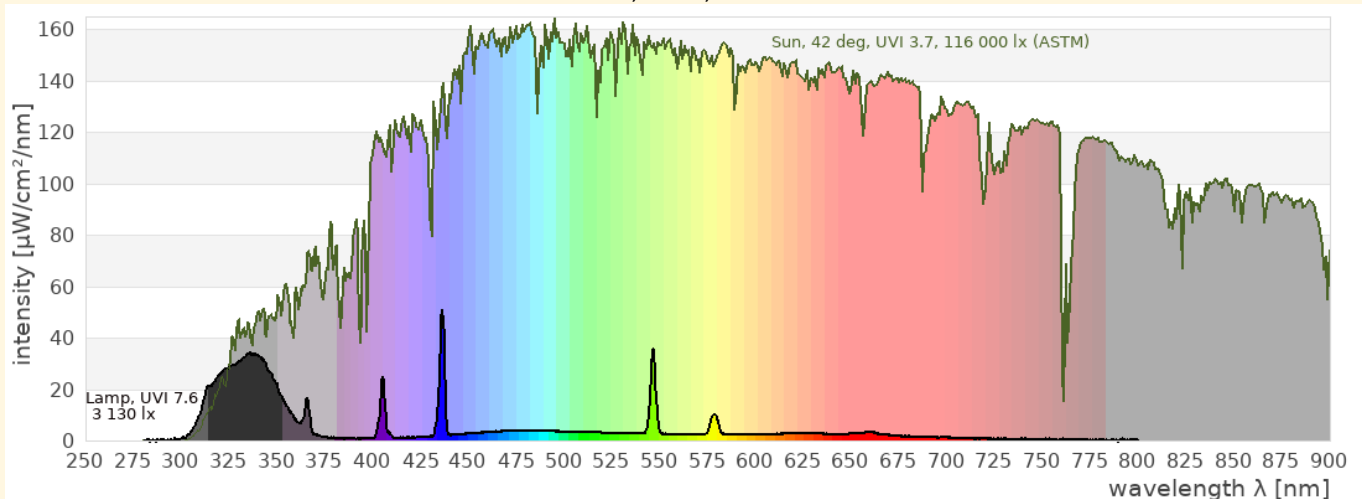
Spectral measurements are taken with an “Ocean Optics USB 2000+” spectrometer with cosine corrector. It is calibrated for wavelength and absolute irradiance. The measurement range is 250 nm to 880 nm with a resolution of 0.38 nm.

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.

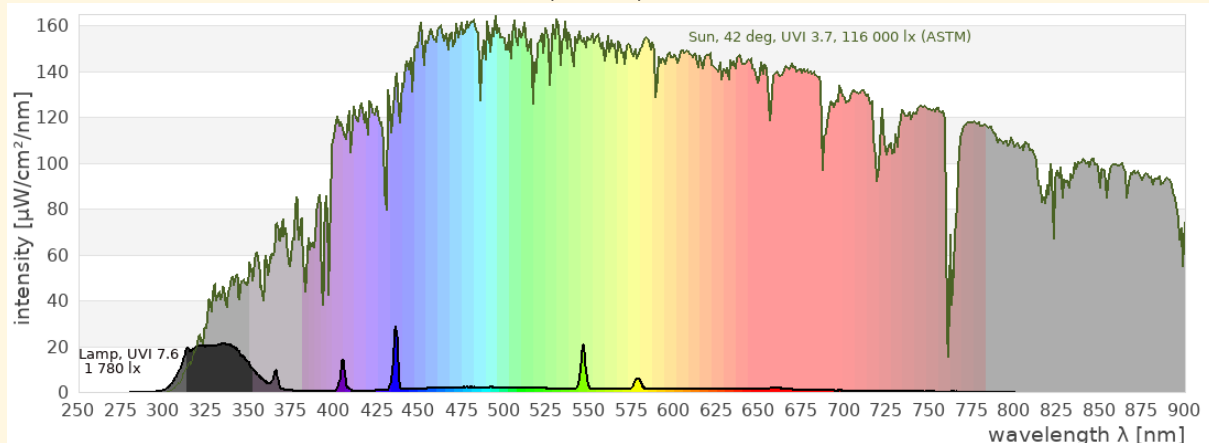
Review of the spectrum

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.

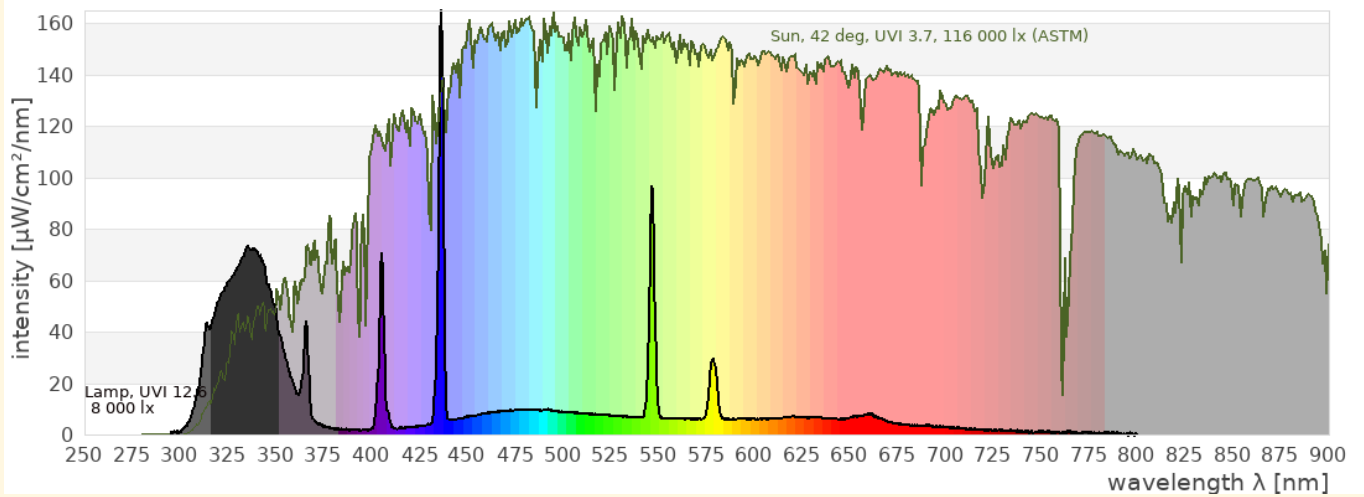
12", UVB5, 100 h



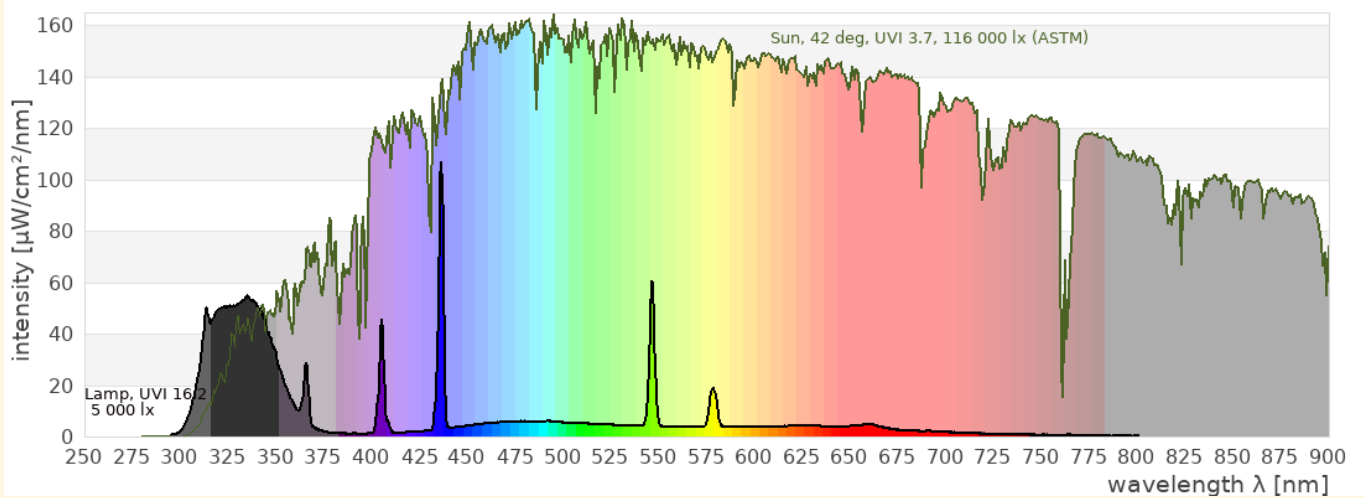
12", UVB10, 100 h



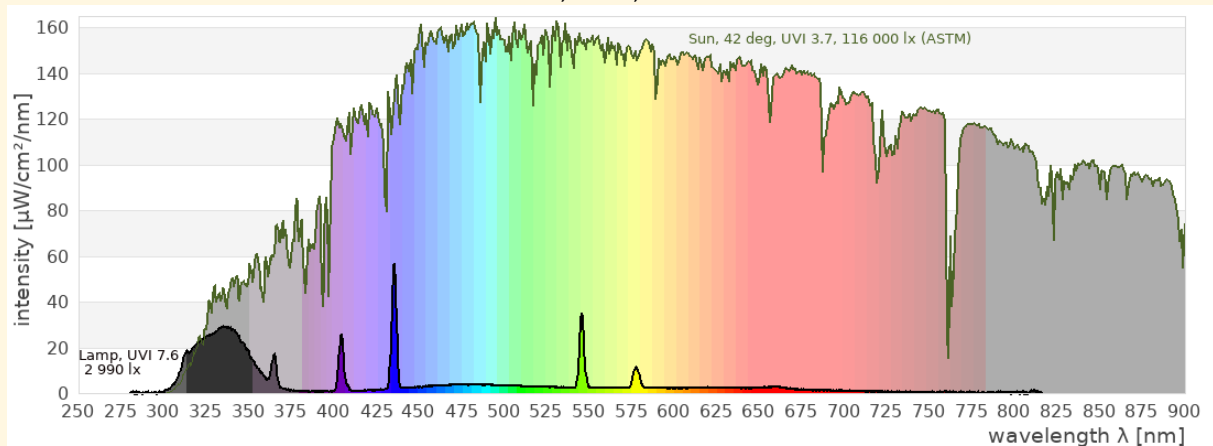
36", UVB5, 100 h

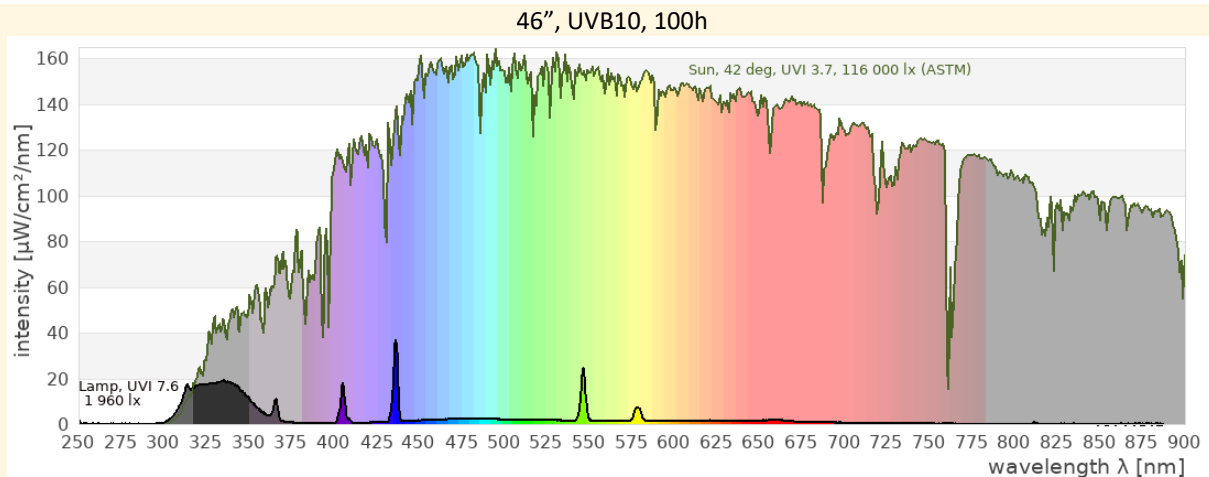


36", UVB10, 100 h



46", UVB5, 100h





	12" UVB5	12" UVB10	36" UVB5	36" UVB10	46" UVB5	46" UVB10	ASTM Reference Sun
UVC (<280 nm)	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0 %
UVB (280 – 315 nm)	5,2%	8,1%	4,2%	7,4%	5,3%	7,1%	0,1 %
UVB (280 – 320 nm)	9,9%	14,1%	8,1%	13,0%	9,6%	12,3%	0,2 %
UVA 1 (315 – 350 nm)	48,7%	49,2%	44,8%	47,6%	45,3%	45,8%	1,3 %
UVA 2 (350 – 380 nm)	44,2%	43,2%	40,9%	42,2%	40,9%	40,6%	1,9 %
VIS (380 – 780 nm)	21,9%	24,4%	19,4%	23,3%	20,4%	22,0%	53 %
Full (250 – 880 nm)	8,9%	8,0%	8,9%	8,2%	8,6%	8,2%	100 %
	5 cm	5 cm	10 cm	10 cm	10 cm	10 cm	
UV Index	16.3	29.0	10.1	21.1	8.59	25.0	UVI 3,7
Lux	6690	6790	6380	6530	3380	7800	116 000 lx

Die Lampe verwendet keinen Dreiband-Leuchtstoff, wie er bei handelsüblichen Leuchtstofflampen zur Allgemeinbeleuchtung und auch vielen UVB-Leuchtstoffröhren eingesetzt wird. Das Spektrum hat Ähnlichkeit mit dem CIE Standard Illuminant FL3.6, einem Deluxe-Leuchtstoff mit hoher Farbwiedergabe. Zusätzlich zum Leuchtstoff sind die Quecksilberemissionslinien bei 313, 334, 365, 405, 436, 546 und 578 nm zu sehen.

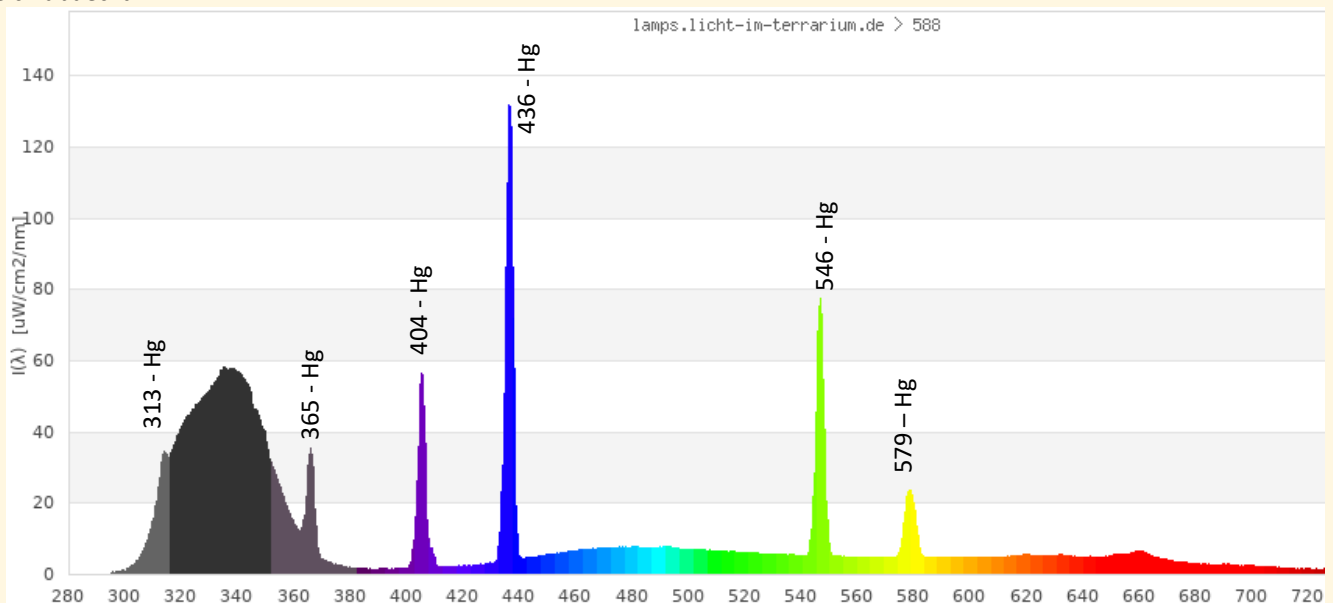
(Die Höhe der Quecksilberlinien im FL3.6 Spektrum scheint geringer zu sein, das liegt jedoch an der Mittelung über einen größeren Wellenlängenbereich)

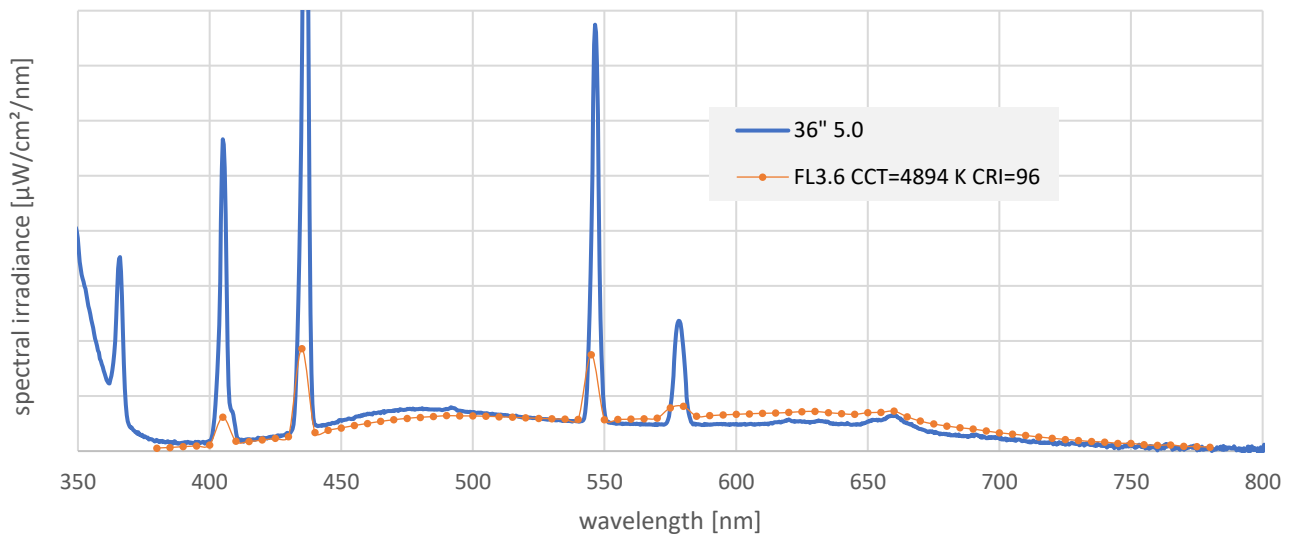
Die Lampe hat einen zusätzlichen Leuchtstoff der den UV-Bereich abdeckt.

The lamp does not use a three-band phosphor as is used in commercially available fluorescent lamps for general lighting and also in many UVB fluorescent tubes. The spectrum is similar to the CIE Standard Illuminant FL3.6, a deluxe phosphor with high color rendering. In addition to the phosphor, the mercury emission lines can be seen at 313, 334, 365, 405, 436, 546 and 578 nm.

(The height of the mercury lines in the FL3.6 spectrum appears to be lower, but this is due to averaging over a larger range of wavelengths)

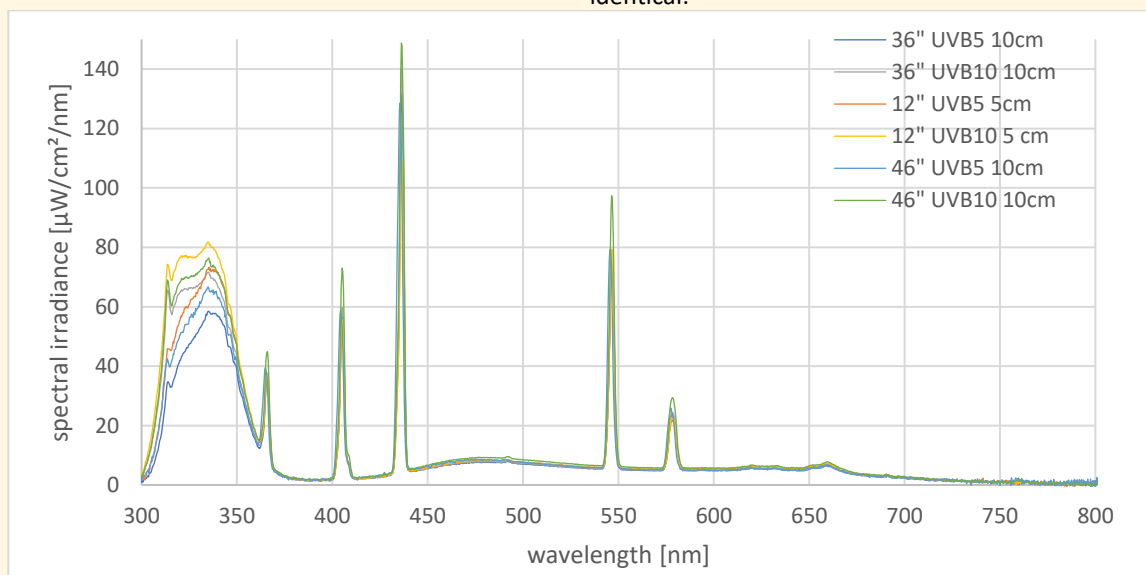
The lamp has an additional phosphor that covers the UV range.





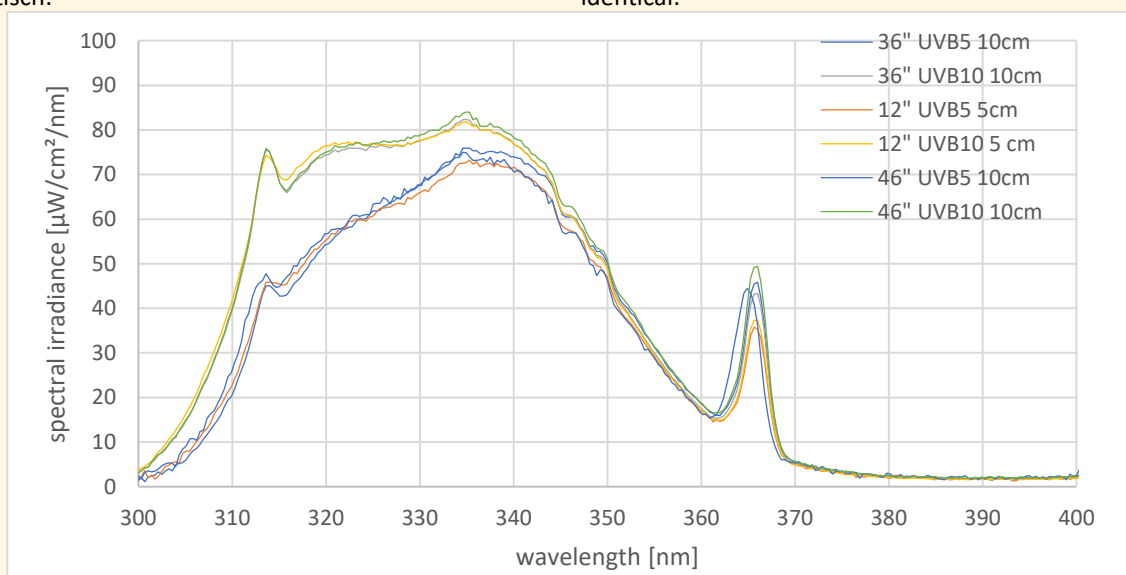
Die Spektren der Lampen im sichtbaren Bereich sind nahezu identisch:

The spectra of the lamps in the visible range are almost identical:



Die UV-Spektren der UVB5- und UVB10-Lampen ist ebenfalls nahezu identisch:

The UV-spectra of the UVB5 and UVB10 lamps are also almost identical:



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 Farbart, 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 Farbart der Lampe als schwarzer Punkt.

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

Das Licht wirkt auf mich angenehm aber leicht bläulich. Das entspricht auch der berechneten Farbwiedergabe und Farbtemperatur. Da die Spektren identisch sind, sind nur die Werte für die 12“ UVB5 Lampe gezeigt.

(x,y)	(0,29 ; 0,31)
CCT [Kelvin]	8261K
CRI	81,5
R1 (light grayish red)	90,8
R2 (dark grayish yellow)	90,5
R3 (strong yellow green)	81,0
R4 (moderate yellowish green)	74,5
R5 (light bluish green)	73,4
R6 (light blue)	69,6
R7 (light violet)	82,8
R8 (light reddish purple)	89,1
R9 (strong red)	65,8
R10 (strong yellow)	65,0
R11 (strong green)	70,4
R12 (strong blue)	67,8
R13 (light yellowish pink, human complexion)	92,2
R14 (moderate olive green)	88,1
R15 (Japanese complexion)	90,5
DC<5.4E-3	true

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

Spectrum visible to humans

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

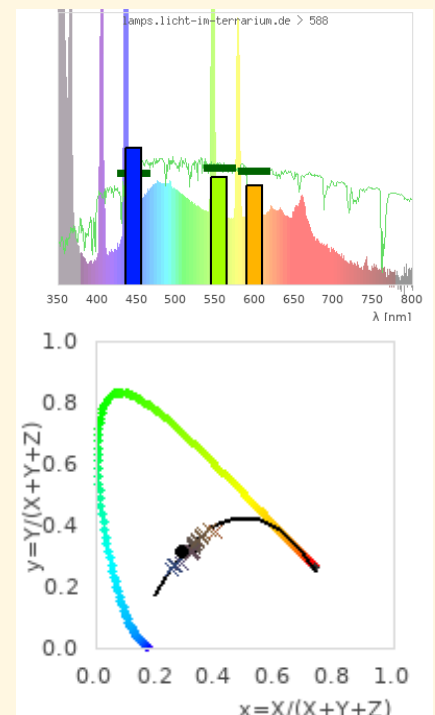
The bar chart indicates the amount of light seen by the three cones in the human eye. For comparison also here the solar spectrum and its action on the three cones is shown.

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

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

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

The light gives a pleasant but slightly blueish impression to me. This matches the calculated CRI and CCT. As the spectra are identical in the visible range, only the results for the 12% UVB5 lamp are shown.

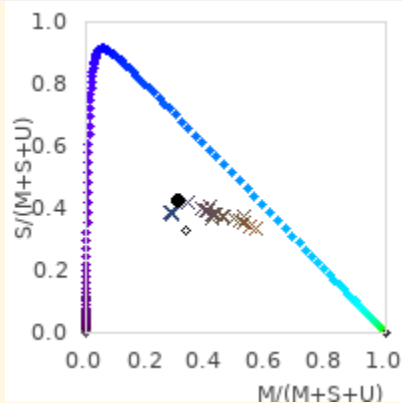


Spectrum visible to reptiles

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

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



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

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

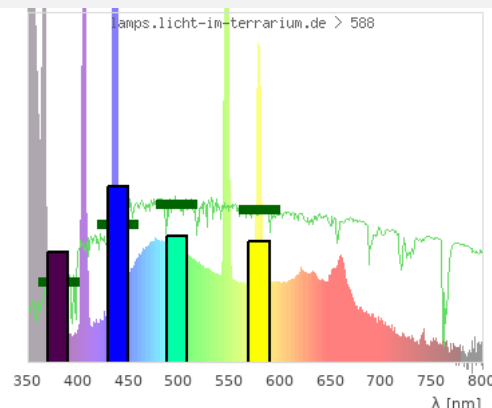
possible. The spectral range visible to reptiles ranges from 350 nm to 600 nm / 800 nm.

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 0. The coloured crosses indicate the colour coordinates of different phases of daylight. The black dot shows the colour coordinate of the lamp.

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

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



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

UV Spectrum (Vitamin D3)

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

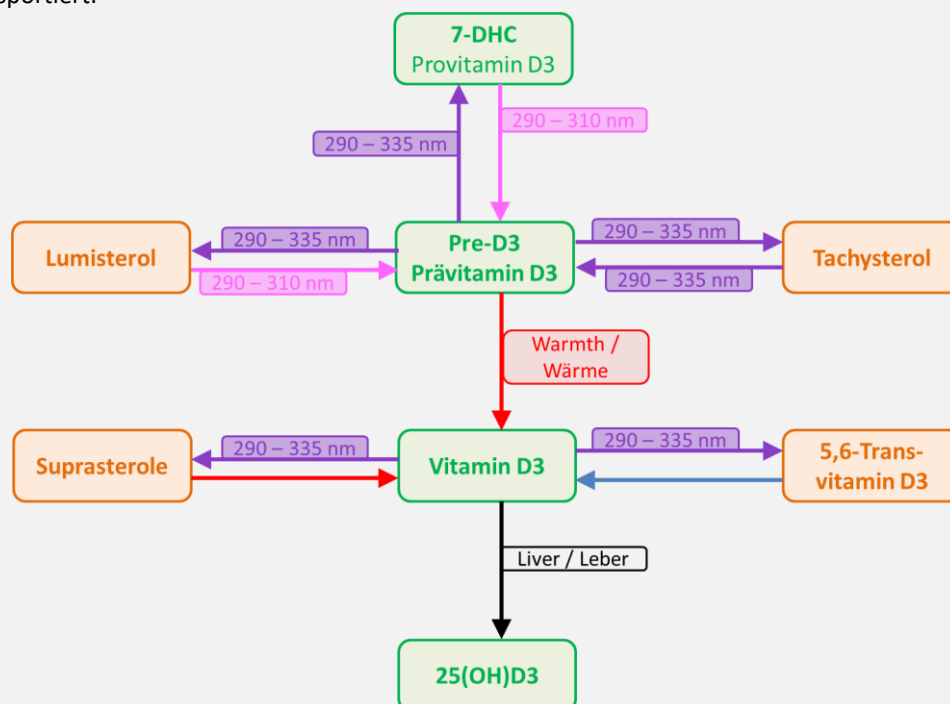
When balancing positive and negative effects of UV radiation, to me it seems most sensible to look out for a spectrum that best resembles the solar spectrum. This is based on the assumption that evolution will have optimized the protection strategies against UV and the benefits from UV perfectly for the solar spectrum. The solar UV spectrum starts at around 300 nm and increases almost linearly towards 400 nm. Radiation

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.

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.

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.

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.
- Molare Absorptionsspektren der 4 Moleküle, die an der Vitamin-D3-Bildung beteiligt sind (MacLaughlin1982)

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

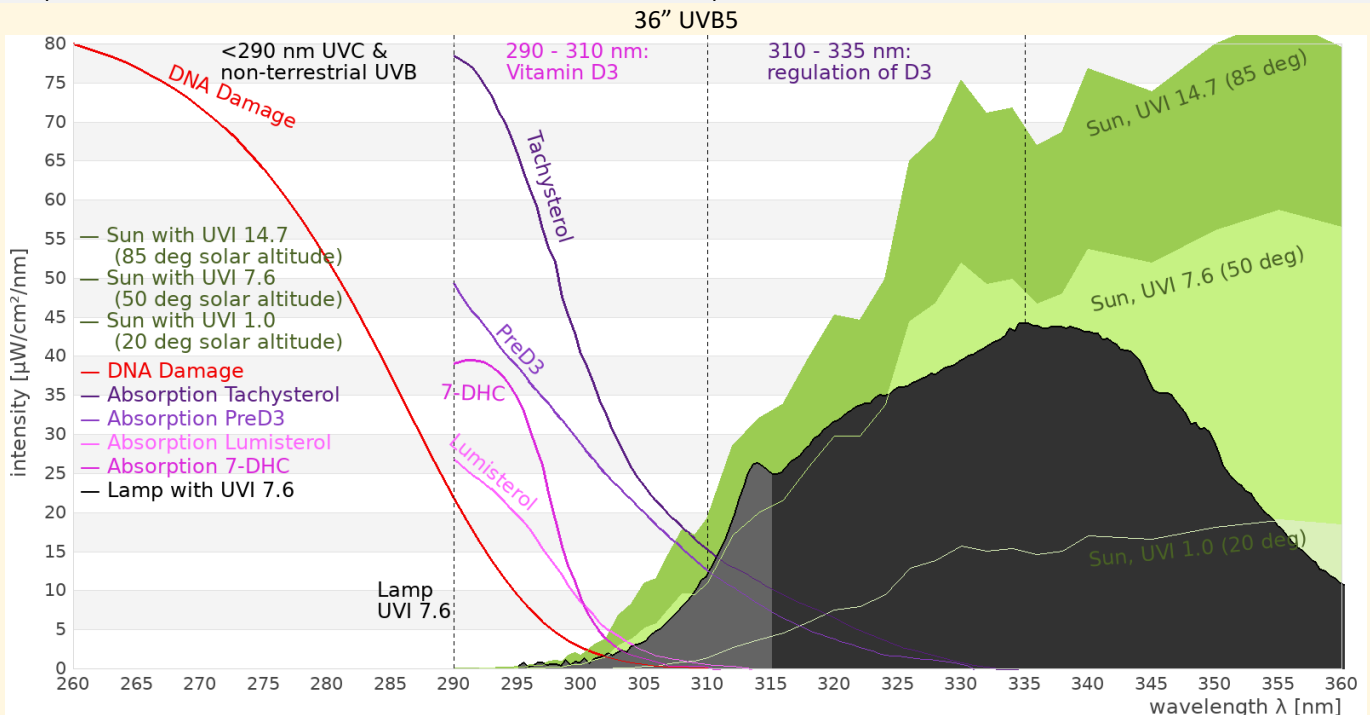
The longer wavelengths (310 – 335 nm) limit the amount of pre-D3 and thus Vitamin D3 that can be produced in the skin. These wavelengths act as a “brake” or “buffer” in the system. And sunlight has many times more intensity in the range 310 – 335 nm than in the range 290 – 310 nm.

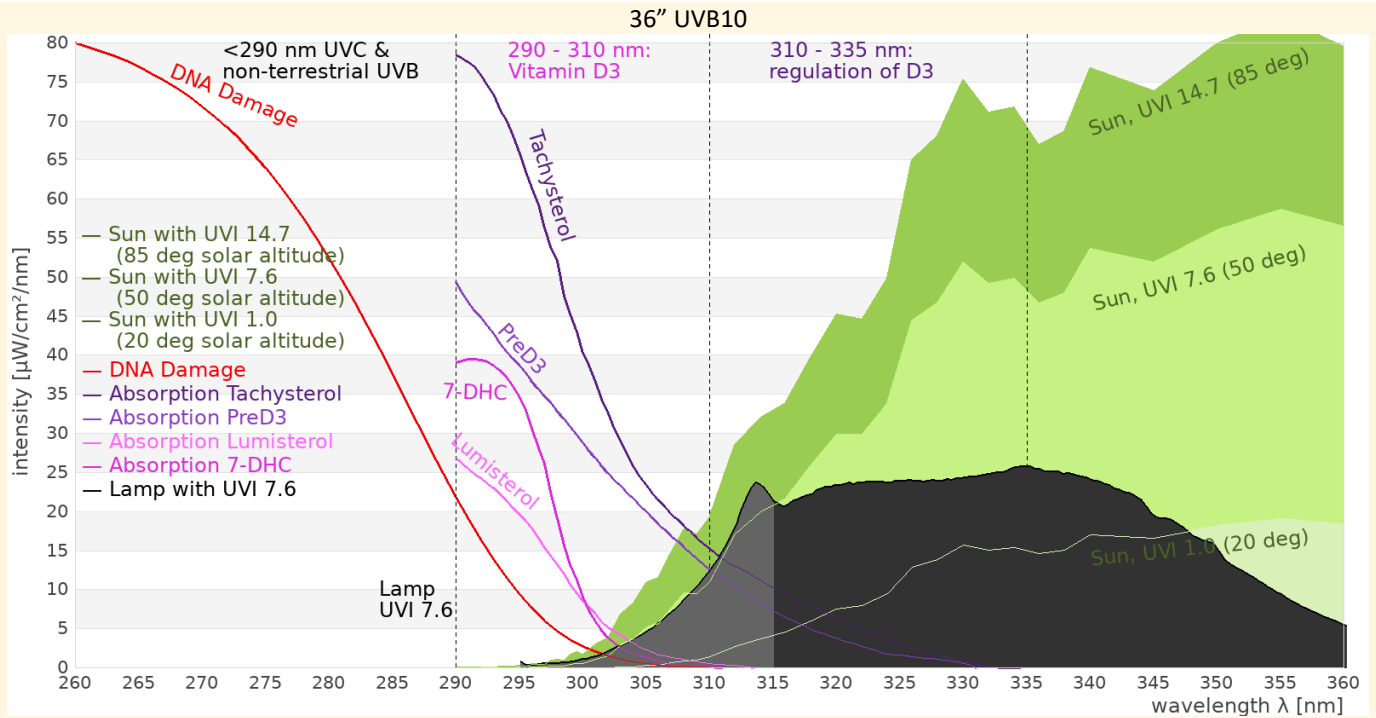
There is even a “back-up” process to remove any excess vitamin D3 if too much of this starts to accumulate for the DBP to take it away. Webb et al. (1989) found that wavelengths up to 330nm would degrade vitamin D3 remaining in skin, breaking it down into inert metabolites (5,6-transvitamin D3, suprasterol 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.
- Molar absorption spectra of the 4 molecules involved in vitamin d3 synthesis (MacLaughlin1982)

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





Die Grafik zeigt:

- Die Lampe strahlt kein gefährliches UVC oder nicht-terrestrisches UVB ab.
 - Ein kleiner Teil der Strahlung ist unterhalb von 300 nm. Das Risiko von DNA-Schädigung ist daher etwas größer als bei natürlichem Sonnenlicht.
 - Es ist Strahlung im Wellenlängenbereich vorhanden, durch den Vitamin D3 in der Haut gebildet wird (290 – 315 nm).
 - Es ist Strahlung im Wellenlängenbereich vorhanden, durch den die Vitamin D3 Bildung reguliert wird (310 – 335 nm).
- Ich halte das Spektrum für sehr gut geeignet zur naturnahen Vitamin-D3-Synthese im Terrarium.
- Das „UVB5“-Spektrum hat einen größeren Anteil an Strahlung im Bereich 315 – 335 nm und folgt dem Sonnenspektrum besser als das „UVB10“-Spektrum.

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 (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. $110 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ pro 1.000 lux, was die Höhe Farbtemperatur widerspiegelt.

The graph shows:

- The lamp does not emit hazardous UVC, or UVB in the non-terrestrial UVB wavelengths.
- A small proportion of its output is below 300nm. The risk of DNA damage is therefore slightly greater than for natural sunlight.
- There is UVB in the wavelengths which enable vitamin D3 synthesis in skin (290 – 315 nm).
- There is UVB in the wavelengths which regulate the vitamin D3 synthesis in skin (310 – 335 nm).

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

The "UVB5" spectrum has a larger proportion of radiation in the 315 - 335 nm range and follows the solar spectrum better than the "UVB10" spectrum.

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 $110 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ per 1,000 lux, which reflects the high color temperature.

7) Intensitätsmessungen

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

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

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



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.

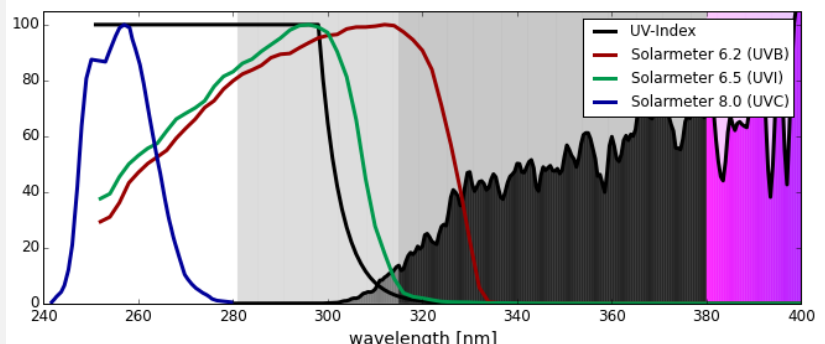
The illuminance is measured with a “Voltcraft MS-200LED” lux meter. This meter measures the visible irradiance weighted with the sensitivity of the human eye. The meter measures up to 400,000 lux.

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.

Maximum irradiance in different distances



12", UVB5, SW43

Age [h]	100											
Distance [cm]	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	
Luxmeter [lx]	5.781	3.565	2.265	1.437	1.029	757	697	306	222	167	131	
Solarmeter 6.2 UVB [$\mu\text{w}/\text{cm}^2$]	703	394	234	151	105	76	45	30	21	15	12	
Solarmeter 6.5 UVI	16,5	9,5	5,6	3,6	2,6	1,8	1,1	0,7	0,5	0,4	0,3	
Solarmeter Ratio	43	41	42	42	40	42	41	43	42	38	40	

12", UVB10, SW44

Age [h]	100												
Distance [cm]	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
Luxmeter [lx]	6.729	3.846	2.282	1.484	1.038	763	688	308	222	168	131	104	86
Solarmeter 6.2 UVB [$\mu\text{w}/\text{cm}^2$]	1108	639	377	244	170	124	73	48	35	26	20	16	13
Solarmeter 6.5 UVI	33,1	19	11,2	7,3	5,1	3,7	2,2	1,4	1	0,7	0,6	0,5	0,4
Solarmeter Ratio	33	34	34	33	33	34	33	34	35	37	33	32	33

36", UVB5 SW45

Age [h]	100													
Distance [cm]	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100	
Luxmeter [lx]	11.469	7.883	5.545	4.154	3.130	2.535	1.752	1.298	993	778	627	519	433	
Solarmeter 6.2 UVB [$\mu\text{w}/\text{cm}^2$]	848	580	407	309	246	201	141	104	83	61	49	40	34	
Solarmeter 6.5 UVI	19,1	13	9,2	7	5,6	4,6	3,2	2,4	1,9	1,4	1,1	0,9	0,8	
Solarmeter Ratio	44	45	44	44	44	44	44	43	44	44	45	44	43	

36", UVB10, SW46

Age [h]	100													
Distance [cm]	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100	
Luxmeter [lx]	12.195	7.551	5.402	3.931	3.127	2.535	1.767	1.300	999	791	634	520	436	
Solarmeter 6.2 UVB [$\mu\text{w}/\text{cm}^2$]	1478	1010	708	536	426	348	242	180	137	106	85	70	58	
Solarmeter 6.5 UVI	42,8	29,4	20,6	15,6	12,3	10	7	5,2	4	3,1	2,6	2,1	1,6	
Solarmeter Ratio	35	34	34	34	35	35	35	35	34	34	33	33	36	

46", UVB5, SW47

Age [h]	100														
Distance [cm]	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Luxmeter [lx]	12.969	7.440	5.955	4.296	3.435	2.834	2.057	1.570	1.242	1.004	818	684	586	503	434
Solarmeter 6.2 UVB [$\mu\text{w}/\text{cm}^2$]	976	664	457	348	279	231	166	126	99	79	65	54	46	39	34
Solarmeter 6.5 UVI	22,2	15,4	10,6	8,1	6,5	5,3	3,8	3	2,3	1,8	1,5	1,2	1	0,9	0,8
Solarmeter Ratio	44	43	43	43	43	44	44	42	43	44	43	45	46	43	43

46", UVB10, SW48

Age [h]	100														
Distance [cm]	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Luxmeter [lx]	12.733	8.657	5.939	4.612	3.526	2.895	2.104	1.603	1.262	1.015	849	710	608	520	452
Solarmeter 6.2 UVB [$\mu\text{w}/\text{cm}^2$]	1437	962	668	506	406	333	241	183	144	117	97	80	67	58	50
Solarmeter 6.5 UVI	40,9	27,5	19,1	14,4	11,5	9,4	6,9	5,3	4,1	3,3	2,7	2,3	2	1,6	1,4
Solarmeter Ratio	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	36	35	34	36	36

7b) Solarmeter – Spektrometer – Vergleich

Es ist nicht zu erwarten, dass die Solarmeter- und Luxmeter-Messungen exakt mit den effektiven Bestrahlungsstärken übereinstimmen, die aus der spektralen Messung berechnet werden. Dafür gibt es mehrere Gründe: Die Position der Messgeräte unter der Lampe stimmt nicht exakt überein. Die Kosinuskorrektur der Messgeräte, also der Winkelbereich, unter dem sie das Licht der Lampe erkennen, stimmt nicht überein. Es gibt unterschiedliches zufälliges Messrauschen bei jeder Messung. Ein weiterer sehr relevanter Grund ist die spektrale Empfindlichkeit der Solarmeter und des Luxmessgeräts, die nicht exakt mit der gewünschten Kurve für z.B. Lux oder UV-Index übereinstimmt. Abweichungen von weniger als 20% sind bereits als sehr gut anzusehen.

	12" UVB5 SW43			12" UVB10 SW44		
5 cm	Lux	UV-Index	UVC	Lux	UV-Index	UVC
Spectrometer	6690	16.3	0	6790	29	0
Radiometer	5781	16.5	0	6729	33.1	0
Deviation	-14%	+1%	✓	-1%	+14%	✓

	36" UVB5 SW45			36" UVB10 SW46		
10 cm	Lux	UV-Index	UVC	Lux	UV-Index	UVC
Spectrometer	6380	10.1	0	6530	21.1	0
Radiometer	7883	13	0	7551	29.4	0
Deviation	+24%	+29%	✓	+16%	+39%	✓

	46" UVB5 SW47			46" UVB10 SW48		
10 cm	Lux	UV-Index	UVC	Lux	UV-Index	UVC
Spectrometer	3380	8.59	0	7800	25	0
Radiometer	7.440	15,4	0	8.657	27,5	0
Deviation	120%	79%	✓	11%	10%	✓

7c) Solarmeter-Verhältnis

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

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

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

Solarmeter – Spectrometer - Comparison

It is not to be expected that the solar meter and lux meter measurements will correspond exactly to the effective irradiance calculated from the spectral measurement. There are several reasons for this: The position of the measuring devices under the lamp does not match exactly. The cosine correction of the meters, i.e. the angle range under which they detect the light from the lamp, does not match. There is different random noise in each measurement. Another very relevant reason is the spectral sensitivity of the Solarmeters and the lux meter, which does not exactly match the desired curve for e.g. lux or UV index. Deviations of less than 20% are already considered very good.

Solarmeter Ratio

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

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

The Solarmeter ratio is calculated by dividing the reading of the Solarmeter 6.2 (e.g. 300 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$) by the reading of the Solarmeter 6.5 (e.g. UVI 6). Natural sunlight has a Solarmeter ratio of 50 to 60. Fluorescent lamps with a Solarmeter ratio of 25-30 are common and have not been associated with negative effects so far. Conspicuous fluorescent lamps were characterized by a Solarmeter ratio < 15 . UV-metal-halide lamps also typically have values around 30. UV mercury vapor lamps sometimes have low values without being noticed negatively.

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 kurzweiliger UVB-Strahlung (UVB-LEDs) liefert.

Das Solarmeter-Verhältnis der UVB5-Lampen ist 42-44. Das stimmt mit der Spektrometer-Messung überein, die eine sehr gute Übereinstimmung mit dem Sonnenspektrum zeigt.

Das Solarmeter-Verhältnis der UVB5-Lampen ist 33-35. Das stimmt mit der Spektrometer-Messung überein, die eine gute Übereinstimmung mit dem Sonnenspektrum im kurzweiligen Bereich, aber etwas zu wenig UV im Bereich 315 – 335 nm zeigt. Der Wert ist typisch für UVB-Leuchtstoffröhren.

7d) Iso-Bestrahlungsstärke-Karte

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

- Ferguson-Zone 1 (Schattenmethode): UV-Index < 0,7 auf einer Fläche deutlich größer als das Tier für dämmerungsaktive Tierarten oder Tiere die zurückgezogen im Schatten leben.
- Ferguson Zone 2 (Schattenmethode): UV-Index 0,7 – 1,0 auf einer Fläche deutlich größer als das Tier für Tierarten, die gelegentlich sonnen.
- Ferguson Zone 3 (Sonnenmethode): UV-Index 2,9 – 7,4 auf einer Fläche, die der Körpergröße des Tieres entspricht, zusammen mit hellem Licht und Wärmestrahlung für Tierarten, die zurückgezogen zur Thermoregulation sonnen.
- Ferguson Zone 4 (Sonnenmethode): UV-Index 4,5 – 8,0 auf einer Fläche, die der Körpergröße des Tieres entspricht, zusammen mit hellem Licht und Wärmestrahlung für Tierarten, die auch zur Mittagszeit in der vollen Sonne zur Thermoregulation sonnen.

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 UVB5 lamps is 42-44. This agrees with the spectrometer measurement, that shows a very good agreement with the solar spectrum.

The Solarmeter ratio of the UVB10 lamps is 33-35. This agrees with the spectrometer measurement, that shows a good agreement with the solar spectrum in the short wavelength region, but slightly too little UV in the range 315-335 nm. This ratio is typical for solar-like UVB fluorescent lamps.

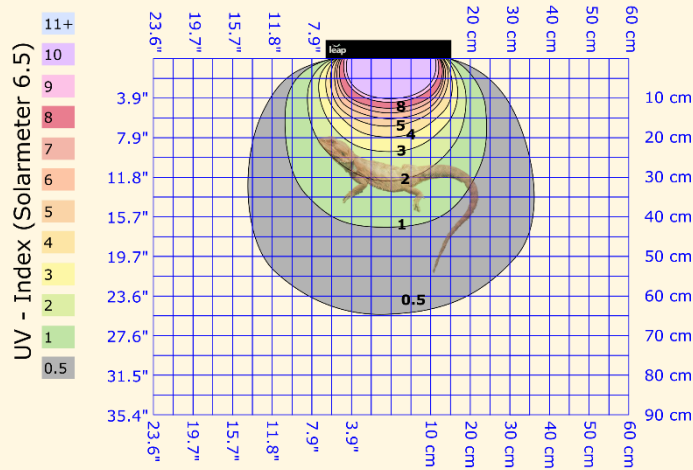
Iso-Irradiance Charts

The irradiance is measured with the Solarmeter 6.5 in a vertical plane underneath the lamp and lines of equal irradiance are determined. These iso-irradiance-chart show how the lamp can be used for animals of different size. According to the concept of the Ferguson zones, there are four main variants for UVB illumination (Baines2016):

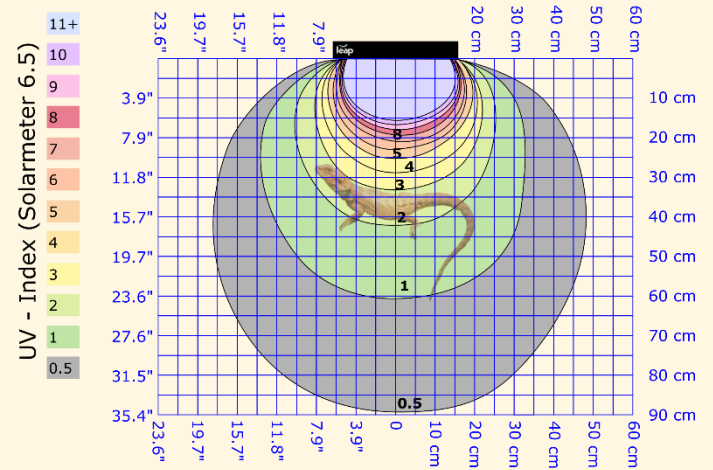
- Ferguson zone 1 (shade method): UV index < 0.7 on an area considerably larger than the animal for crepuscular animals or shade lovers.
- Ferguson zone 2 (shade method): UV index 0.7 – 1.0 on an area considerably larger than the animal for partial sun/ occasional baskers.
- Ferguson zone 3 (sunbeam method): UV index 2.9 – 7.4 on an area matching the size of the animal together with bright light and thermal radiation for open or partial sun baskers.
- Ferguson zone 4 (sunbeam method): UV index 4.5 – 8.0 on an area matching the size of the animal together with bright light and thermal radiation for mid-day sun baskers.



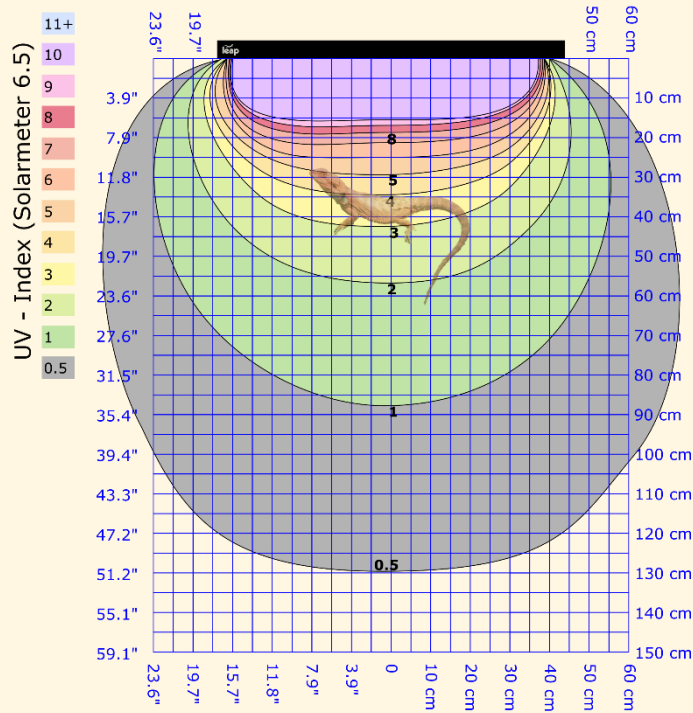
leap T5 Light Fixture 12" with T5HE UVB5 8W



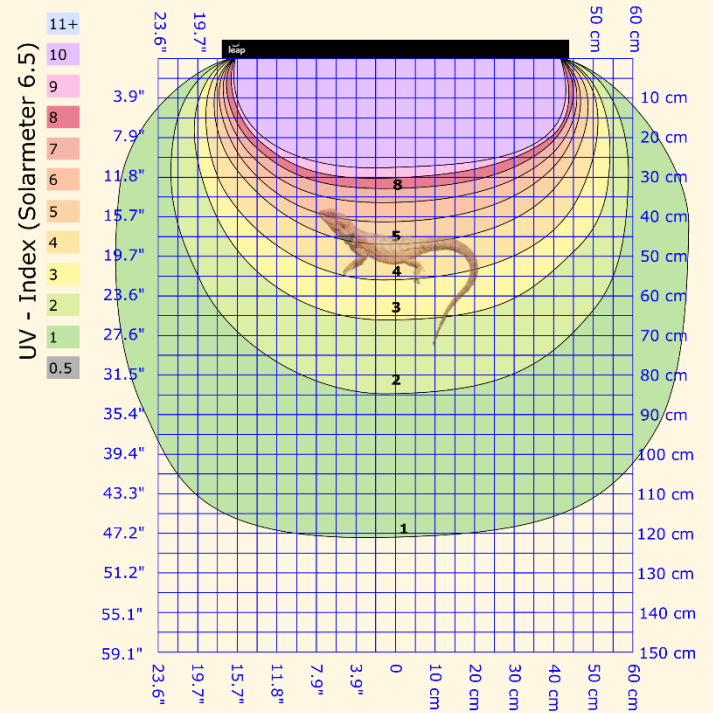
leap T5 Light Fixture 12" with T5HE UVB10 8W



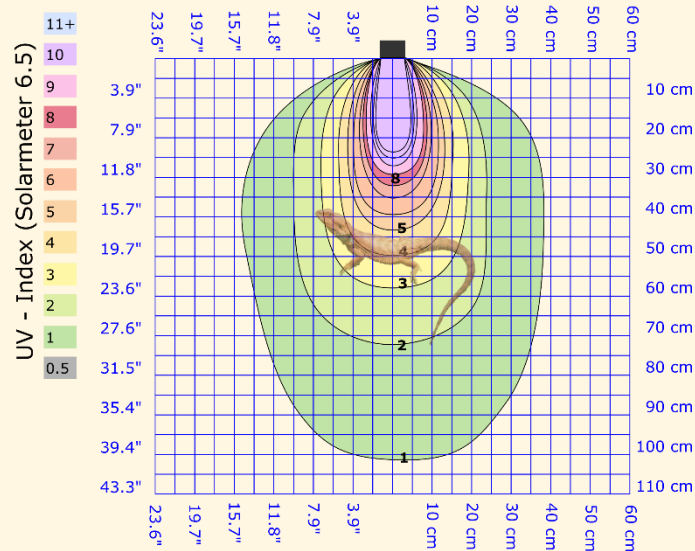
leap T5 Light Fixture 36" with T5HO UVB5 39W



leap T5 Light Fixture 36" with T5HO UVB10 39W

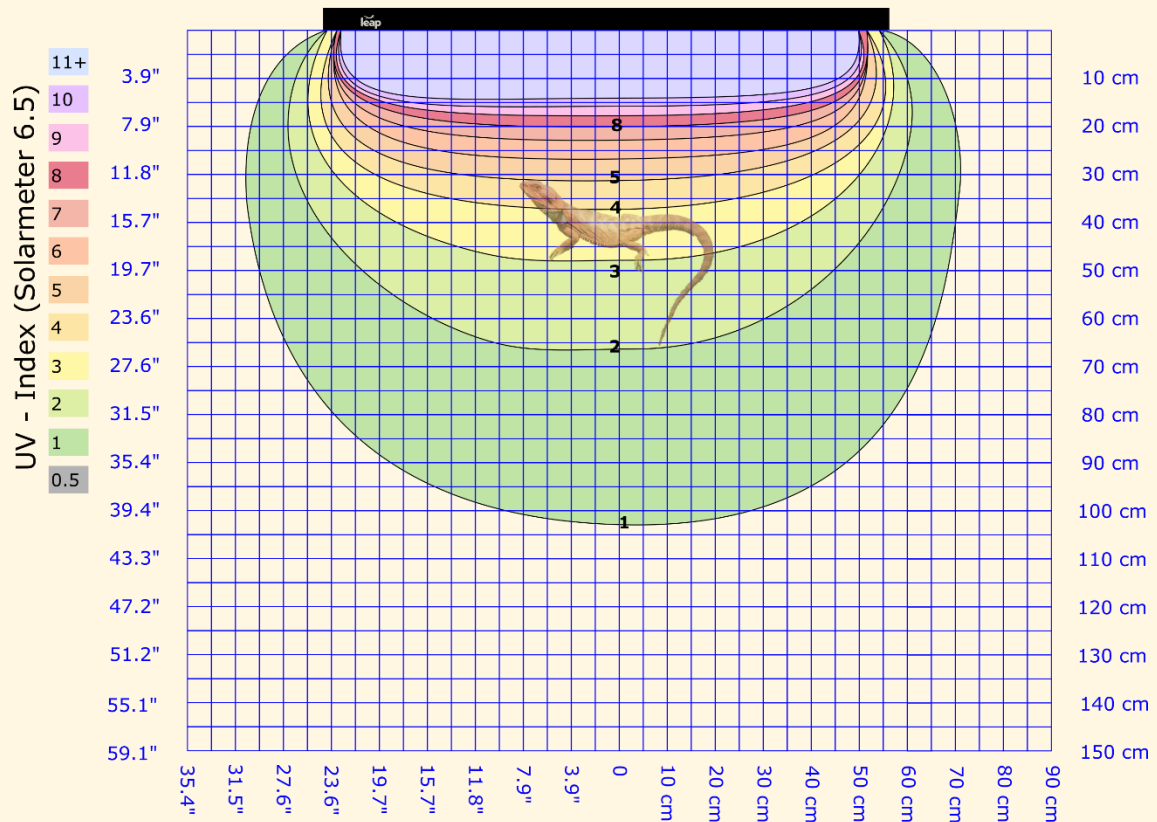


leap T5 Light Fixture 36" with T5HO UVB10 39W



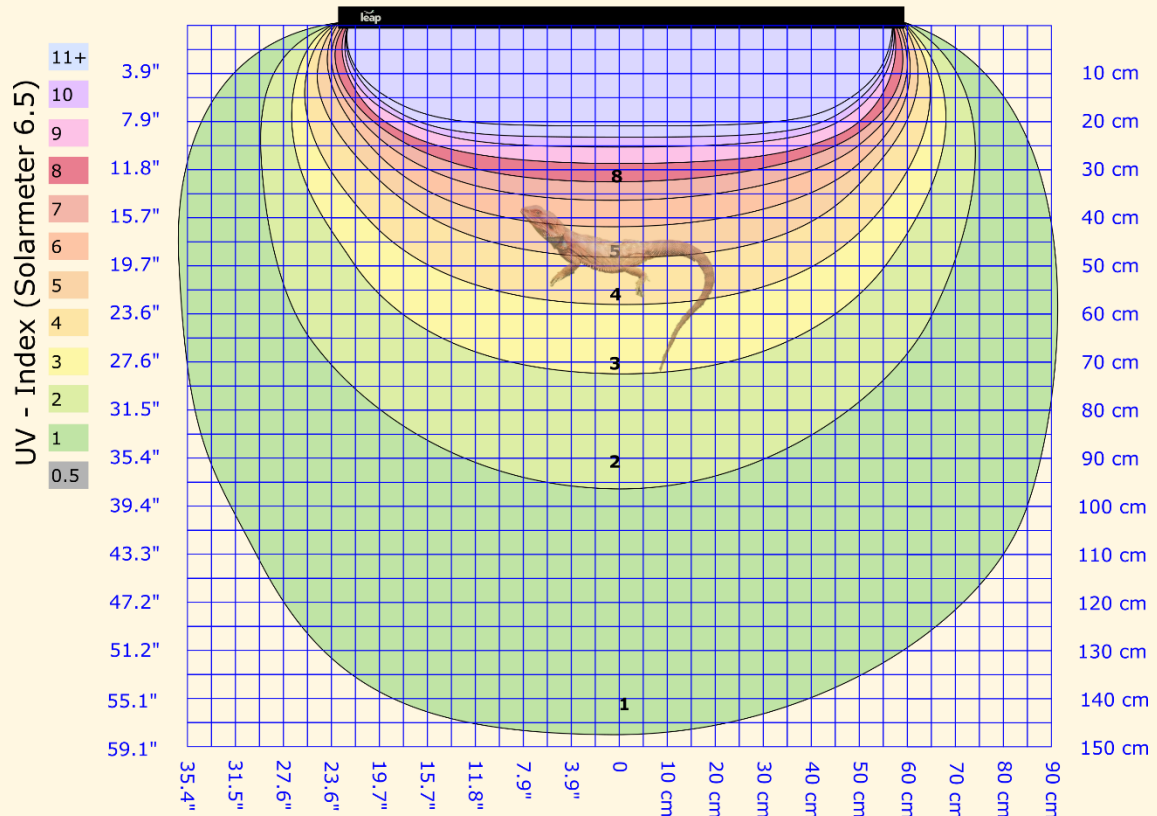
100 h burn in, 12/2022, ID SW46, © Sarina Wunderlich, www.licht-im-terrarium.de
Bearded Dragon / Bartagame: 25 cm SVL / KRL

leap T5 Light Fixture 46" with T5HO UVB5 54 W



100 h burn in, 12/2022, ID SW47, © Sarina Wunderlich, www.licht-im-terrarium.de
Bearded Dragon / Bartagame: 25 cm SVL / KRL

leap T5 Light Fixture 46" with T5HO UVB10 54 W



100 h burn in, 12/2022, ID SW48, © Sarina Wunderlich, www.licht-im-terrarium.de
Bearded Dragon / Bartagame: 25 cm SVL / KRL

Die räumliche Verteilung ist typisch für Leuchtstofflampen. Es wird ein großer Bereich ausgeleuchtet.

Bei der 39W UVB10 Röhre wurde auch die räumliche Verteilung der Strahlung in einer Ebene senkrecht zur Lampe gemessen. Hier erscheint die Lampe insgesamt schwächer (UVI 1 in 100 cm statt 120 cm). Ursache ist die Abschattung der Lampe im Messstand, so dass nicht die gesamte Länge der Röhre beiträgt. Die Form des Strahlkegels, die durch den Reflektor erzeugt wird, wird dadurch nicht beeinflusst.

The spatial distribution is typical for fluorescent lamps. A large basking zone is created.

The spatial distribution of the radiation in a plane perpendicular to the lamp was also measured for the 39W UVB10 tube. Here the lamp appears weaker overall (UVI 1 in 100 cm instead of 120 cm). The cause is the shading of the lamp in the measuring stand, so that the entire length of the tube does not contribute. This does not change the shape of the cone created by the reflector.

7e) Einbrennen und Alterung

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

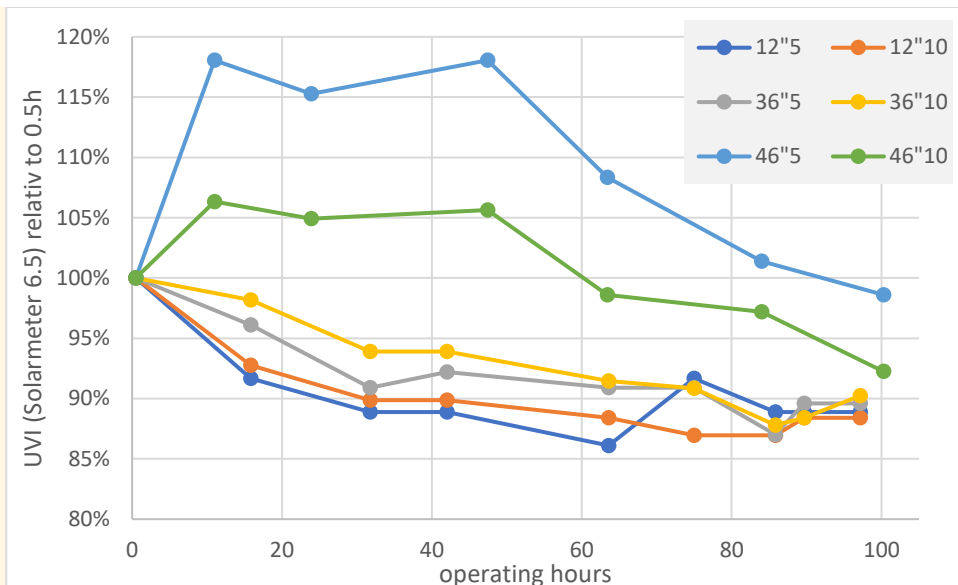
Messwerte für die Alterung über einen längeren Zeitraum werden genauso wie die anderen Bestrahlungsstärke-Messungen in 7a) als maximaler Messwert in einer Ebene unter der Lampe aufgenommen.

Burning in and Aging



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

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



Die beiden 12" und 36" Lampen wurden gleichzeitig eingebrannt, die beiden 46" Lampen etwas später. Es ist auffällig, dass die gleichzeitig betriebenen Lampen ein sehr ähnliches Verhalten zeigen. Es ist bekannt, dass Netzspannung und Umgebungstemperatur einen Einfluss auf UVB-Leuchtstofflampen haben. Möglicherweise ist das unterschiedliche Einbrennverhalten der Lampen darauf zurückzuführen.

The two 12" and 36" lamps were burned in at the same time, the two 46" lamps a little later. It is noticeable that the lamps operated at the same time show a very similar behavior. It is known that mains voltage and ambient temperature have an influence on UVB fluorescent lamps. This may be the reason for the different burn-in behavior of the lamps.

7f) Vergleich der Intensität mit anderen T5-Lampen

Ich kann nur einen Vergleich zu einer Arcadia T5 24 W und einer ReptiZoo T5HO 24W UVB10.0 durchführen, da ich keine andere T5 UVB Leuchtstoffröhre mit 8 W, 39 W oder 54 W habe. Bei 24W handelt es sich wie bei 39W und 54W ebenfalls um T5HO, so dass der Vergleich möglich ist. Beim gleichen Leuchtstoff erwartet man bei 24 W etwas geringere Intensitäten erwarten als bei 39 W.

Comparison of the intensity with other T5 lamps

I can only make a comparison to an Arcadia T5 24W and a ReptiZoo T5HO 24W UVB10.0 as I don't have any other T5 UVB fluorescent tubes of 8W, 39W or 54W. 24W, like 39W and 54W, is also T5HO, so the comparison is possible. With the same phosphor, slightly lower intensities are to be expected at 24 W compared to 39 W.

Lamp	Arcadia 24 W, 6%				Leap 39 W, UVB5				Leap 54 W, UVB5			
Distance [cm]	15	20	25	30	15	20	25	30	15	20	25	30
Luxmeter [lx]	6.824	5.134	4.091	2.909	5.545	4.154	3.130	2.535	5.955	4.296	3.435	2.834
Solarmeter 6.2 UVB [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]	521	398	282	217	407	309	246	201	457	348	279	231
Solarmeter 6.5 UVI	15,5	12	8,6	6,5	9,2	7	5,6	4,6	10,6	8,1	6,5	5,3

Lamp	Repti Zoo 24W UVB 10.0				Arcadia 24 W, 14%				Leap 39 W, UVB10				Leap 54 W, UVB10			
cm	15	20	25	30	15	20	25	30	15	20	25	30	15	20	25	30
[lx]	5.860	3.889	2.890	2.241	6.824	5.134	4.091	2.909	5.402	3.931	3.127	2.535	5.939	4.612	3.526	2.895
SM 6.2	218	153	115	88	521	398	282	217	708	536	426	348	668	506	406	333
SM 6.5	8	5,6	4,3	3,3	15,5	12	8,6	6,5	20,6	15,6	12,3	10	19,1	14,4	11,5	9,4

Die Arcadia 6% ist trotz 24W sowohl beim UV als auch beim sichtbaren Licht intensiver als die 39W Leap UVB5.

Despite being 24W, the Arcadia 6% is more intense in both UV and visible light than the 39W Leap UVB5.

Die Reptizoo 10.0 ist deutlich schwächer als die Leap UVB10 und etwas schwächer als die Leap UVB5 mit je 39W. Möglicherweise wären die ReptiZoo 10.0 und die leap UVB5 Röhren bei gleicher Wattstärke vergleichbar.

The Reptizoo 10.0 is significantly weaker than the Leap UVB10 and slightly weaker than the Leap UVB5 with 39W each. Possibly Reptizoo 10.0 and Leap UVB5 tubes would be comparable with the same wattage.

Die Arcadia 14% 24W wiederum hat deutlich weniger UV als die UVB10 Röhren von leap bei 39W, aber etwas mehr sichtbares Licht. Hier könnte die leap etwas intensiver sein.

Für einen exakten Vergleich wäre es notwendig eine Röhre gleicher Leistungsstufe im identischen Reflektor zu vergleichen. Auf den ersten Eindruck wirkt der UVB5-Leuchtstoff vergleichsweise wenig intensiv (punktet dafür aber mit einem sehr sonnenähnlichen Spektrum) und der UVB10-Leuchtstoff vergleichbar oder etwas stärker als der 14% Leuchtstoff von Arcadia. Der sichtbare Leuchtstoff bei Arcadia ist durchwegs heller.

The Arcadia 14% 24W, on the other hand, has significantly less UV than the leap UVB10 tubes at 39W, but slightly more visible light. The leap could be a little more intense here.

For an exact comparison it would be necessary to compare a tube of the same power level with an identical reflector. At first glance, the UVB5 phosphor is comparatively less intense (but scores with a very sun-like spectrum) and the UVB10 phosphor is comparable or slightly stronger than the 14% phosphor from Arcadia. The visible phosphor from Arcadia is consistently brighter.

8) Einschränkungen

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

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

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

Limitations

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

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

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

9) Zitierte Literatur

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

Literature Cited

