

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

Test-Report 03/2022

Reptiles Expert UV-MD 50W & 70W

1) Zusammenfassung

- UV-Metalldampflampen eignen sich gut zur UV-Versorgung von kleineren Reptilien der Ferguson Zone 3 und 4, da sie UV-Strahlung, Wärme und sehr helles Licht abstrahlen.
- Die Lampen benötigen zum Betrieb ein elektronisches Vorschaltgerät. Da die Lampen sehr heiß werden, müssen sie sowohl thermisch als auch elektrisch (4kV Startspannung!) sicher installiert werden. Es gibt entsprechende steckerfertige Komplettsets.
- Die Lampen haben wie andere UV-Metallhalogenid-dampflampen ein UV-Spektrum, das zur Bildung von Vitamin D3 geeignet ist. Im Gegensatz zu UVB-Leuchtstofflampen ist das UV-Spektrum stark von einzelnen Emissionslinien dominiert und damit weniger sonnenähnlich. Meiner Einschätzung nach ist das Verhältnis der unterschiedlichen Wellenlängen trotzdem ausgeglichen, wie auch das Solarmeter-Verhältnis von etwa 30 zeigt.
- Bei Tieren mit hohem UV-Bedarf erzeugen die Lampen – je nach konkreten Temperaturbedingungen im Terrarium – ausreichend Wärme am Sonnenplatz. Es kann aber auch nötig sein, die Wärmestrahlung durch einen zusätzlichen Halogenstrahler zu ergänzen. Damit wird auch der Infrarot-Anteil erhöht und ähnlicher zum Sonnenspektrum.
- Die Größe des bestrahlten Sonnenplatz bei allen handelsüblichen PAR UV-Metallhalogeniddampflampen wird meiner Einschätzung nach von vielen Reptilienhaltern aktuell überschätzt. Für Tiere mit mehr als 20 cm Gesamtlänge halte ich Leuchtstofflampen für sinnvoller.
 - Ich würde die 50W PAR30 Lampen nur für Tiere der Ferguson Zone 3 bis 15cm Gesamtlänge (z.B. kleinere Phelsumen) oder Tiere der Ferguson-Zone 2 bis 20 cm Gesamtlänge nutzen. Es ist mir unverständlich, warum diese Lampen auch für Bartagamen oder griechische Landschildkröten mit deutlich über 20cm Gesamtlänge genutzt werden!
 - Die 70W PAR30 Lampe hat nur einen geringfügig größeren Strahlkegel. Ich halte sie für Tiere der Ferguson-Zone 3 bis knapp 20 cm Gesamtlänge für geeignet oder für Tiere der Ferguson-Zone 2 bis 30 cm Gesamtlänge.
 - Die 70W PAR38 Lampe („Flood“) hat überraschend einen ähnlich großen Strahlkegel als die PAR30-Lampe, wenn auch etwas anders geformt.

1) Summary

- UV metal halide lamps are well suited for providing UV to smaller reptiles of Ferguson Zone 3 and 4 as they emit UV, heat and very bright light.
- The lamps require an electronic ballast to operate. Since the lamps get very hot, they must be installed safely both thermally and electrically (4kV starting voltage!). “Wall-plug-ready” installation kits are available.
- Like other UV metal halide lamps, the lamps have a UV spectrum that is suited to the formation of vitamin D3. In contrast to UVB fluorescent lamps, the UV spectrum is strongly dominated by individual emission lines and is therefore less like sunlight. In my opinion, the ratio of the different wavelengths is still balanced, as the solar meter ratio of about 30 shows.
- Depending on the specific temperature conditions in the terrarium, the lamps generate sufficient heat in the basking area for animals with a high UV requirement. However, it may also be necessary to supplement the thermal radiation with an additional halogen lamp. This also increases the infrared component and makes it more like the solar spectrum.
- In my opinion, the size of the basking area with is currently overestimated my many reptile keepers for all available PAR UV metal halide lamps. For animals with a total length of more than 20 cm, I think fluorescent lamps make more sense.
 - I would only use the 50W PAR30 lights for Ferguson Zone 3 animals up to 15cm total length (e.g. smaller phelsuma) or Ferguson Zone 2 animals up to 20cm total length. It is incomprehensible to me why these lamps are also used for bearded dragons or Greek tortoises with a total length of well over 20 cm!
 - The 70W PAR30 lamp only has a slightly larger beam cone. I consider them suitable for animals in Ferguson zone 3 up to almost 20 cm in total length or for animals in Ferguson zone 2 up to 30 cm in total length.
 - The 70W PAR38 lamp (“Flood“) surprisingly has a similar sized beam to the PAR30 lamp, albeit with different shape.

1) Zusammenfassung	1	... Summary
2) Beschreibung der Lampe.....	2	... Lamp Description
3) Visuelle Lichtverteilung.....	3	... Visual Light Distribution
4) Temperatur	3	... Temperature
5) Elektrischer Verbrauch.....	5	... Power Consumption
6) Spektrale Messung.....	5	... Spectral Measurement
6a) Beurteilung des Gesamtspektrums	5	... Review of the spectrum
6b) Für den Menschen sichtbares Spektrum.....	7	... Spectrum visible to humans
6c) Für Reptilien sichtbares Spektrum	8	... Spectrum visible to reptiles
6d) UV-Spektrum (Vitamin D3).....	9	... UV Spectrum (vitamin D3)
6e) Blaulichtgefährdung	11	... Blue-Light-Hazard
6f) Spektrum beim ersten Starten der Lampe	12	... Spectrum during startup of a lamp
7) Intensitätsmessungen	12	... Intensity Measurements
7a) Maximale Bestrahlungsstärke in verschiedenen Abständen ...	13	... Maximum irradiance in different distances
7b) Solarmeter-Verhältnis	14	... Solarmeter Ratio
7c) Iso-Bestrahlungsstärke-Karte	15	... Iso Irradiance Chart
7d) Einbrennen und Alterung.....	17	... Burn in and Aging
8) Einschränkungen.....	17	... Limitations
9) Zitierte Literatur.....	18	... Literature cited

2) Beschreibung der Lampe

2) Lamp Description



Vier Lampen wurden im Onlineshop von Reptiles Expert im Januar 2022 zur privaten Verwendung gekauft. Die Lampen haben eine E27-Fassung und sind vollständig aus Glas mit innen aufgedampftem Aluminiumreflektor und strukturiertem, leicht gewölbtem Frontglas. Sie sind spezifiziert als 6000K und für folgende Abstände empfohlen:

- 2x UVB MD-Lampe 50 W PAR30 (9,5 cm Durchmesser)
interne ID: SW20 und SW21
Ferguson Zone 2-3 in 25-35 cm Abstand für Tiere bis 30 cm Körperlänge
20 cm – 240 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, 40 cm – 80 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
- 1x UVB MD-Lampe 70 W PAR30 (9,5 cm Durchmesser)
interne ID: SW22
Ferguson Zone 3-4 in 30 cm Abstand
20 cm – 290 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, 40 cm – 100 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$

Four lamps were purchased from the Reptiles Expert online shop in January 2022 for private use. The lamps have an E27 socket and are made entirely of glass with an internally vapor-deposited aluminum reflector and structured, slightly curved front glass. They are specified as 6000K and are recommended for the following distances:

- 2x UVB MD lamp 50 W PAR30 (9.5 cm diameter)
internal ID: SW20 and SW21
Ferguson Zone 2-3 at a distance of 25-35 cm for animals up to 30 cm in length
20cm - 240 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, 40cm - 80 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
- 1x UVB MD lamp 70 W PAR30 (9.5 cm diameter)
internal ID: SW22
Ferguson Zone 3-4 at 30cm distance
20cm - 290 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, 40cm - 100 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$

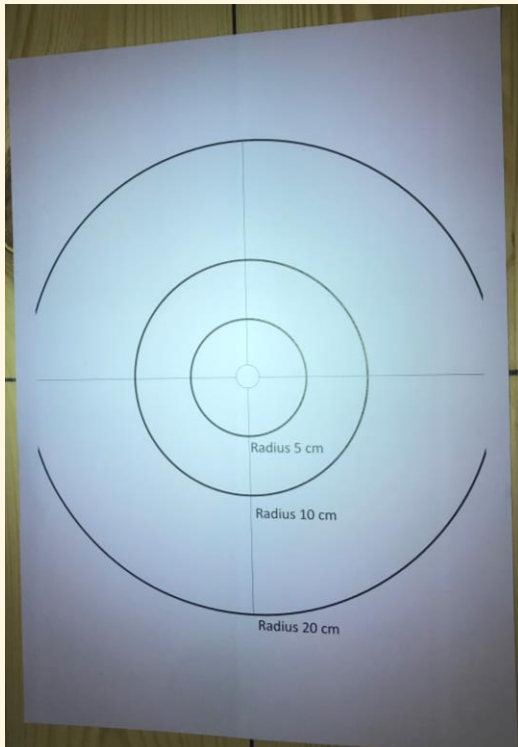
- 1x UVB MD-Lampe 70 W Flood PAR38 (12 cm Durchmesser)
interne ID: SW23
Ferguson-Zone 4, 10 cm mehr Abstand als 70W, auch für adulte Wasseragamen, Iguana geeignet
20cm – 500 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, 40 cm – 110 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$

- 1x UVB MD lamp 70 W Flood PAR38 (12 cm diameter)
internal ID: SW23
Ferguson zone 4, 10 cm more distance than 70W, also suitable for adult water dragons, iguana
20cm - 500 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, 40cm - 110 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$

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).

SW21, 30 cm distance

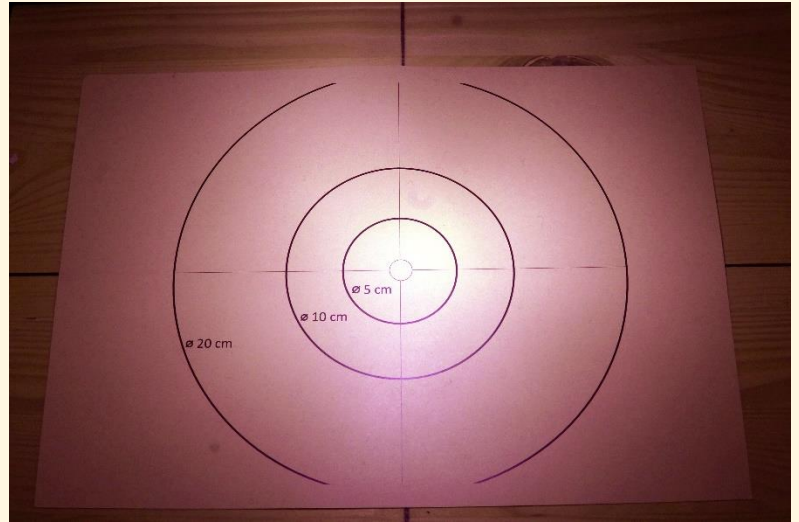


Die Lichtverteilung ist sehr homogen.

3) Visible Light Distribution

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

SW23 70W Flood, 30cm Distance, UV



The visible light distribution is very homogenous.

4) Temperatur

The temperature of the lamp is measured with a non-contact infrared 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).

Die Lampen erreichten alle eine Oberflächentemperatur von 100°C – 170°C. Entsprechend sicher muss die Anbringung der Lampe im Terrarium sein.

Die Wärmestrahlung der Lampe setzt sich meist aus sichtbarer Strahlung und Infrarotstrahlung zusammen. Sie führt zu einer unterschiedlichen Temperaturerhöhung je nach wie gut die einzelnen Wellenlängen von einem Objekt absorbiert werden. So

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).

The lamps all reached a surface temperature of 100°C – 170°C. The installation of the lamp in the terrarium must be correspondingly safe.

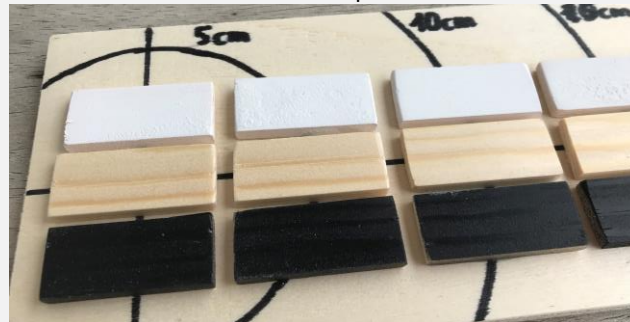
The radiated heat from a lamp is usually a combination of visible and infrared radiation. Depending on how well the different wavelengths are absorbed by an object, the same radiation leads to a different increase in temperature. White

werden weiße Gegenstände von sichtbarer Wärmestrahlung schlechter erwärmt als schwarze Gegenstände.

Die Wärmestrahlung wird durch Temperaturmessung (Etekcity Lasergrip 1080) an Holzklötzchen (4,5 cm x 2 cm x 0,5 cm) quantifiziert. Die Holzklötzchen sind unbehandelt bzw. matt schwarz oder matt weiß lackiert.

objects are warmed up less by visible heat rays than black objects.

The thermal radiation is quantified by measuring the temperature (Etekcity Lasergrip 1080) of wooden blocks (4.5 cm x 2 cm x 0.5 cm). The wooden blocks are untreated or painted matt black or matt white.



Wie bei vielen UV-Metallhalogeniddampflampen wird bei am Sonnenplatz für Tiere mit mittlerem bis hohem UV-Bedarf je nach Umgebungstemperatur eine ausreichende Temperatur erreicht. Eine Temperatur von 50-60°C wird oft bei 100.000 Lux Beleuchtungsstärke erreicht.

Wie auch die UV-Strahlung (siehe 7c) konzentriert sich die Wärmestrahlung auf einen engen Strahlkegel.

SW20 (50W)

As many UV metal halide vapor lamps, these lamps reached sufficient temperatures at the basking zone for animals with medium to high UV need, depending on the ambient temperature. A temperature of 50-60°C is often reached at 100,000 lux.

Like the UV radiation (see 7c), thermal radiation is concentrated in a narrow beam cone.

Umgebung / Surrounding	23,3 °C 74 °F	30 cm Abstand / Distance				
Radius	0 cm	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	
schwarz / black	53,6 °C 128 °F	45,5 °C 114 °F	30,9 °C 88 °F	27,0 °C 81 °F	25,2 °C 77 °F	
Holz / wood	44,8 °C 113 °F	38,1 °C 101 °F	30,9 °C 88 °F	26,2 °C 79 °F	25,3 °C 78 °F	
weiß / white	39,2 °C 103 °F	32,7 °C 91 °F	27,9 °C 82 °F	26,0 °C 79 °F	0,0 °C 32 °F	

SW21 (50W)

Umgebung / Surrounding	22,0 °C 72 °F	30 cm Abstand / Distance				
Radius	0 cm	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	
schwarz / black	46,5 °C 116 °F	40,1 °C 104 °F	29,2 °C 85 °F	25,3 °C 78 °F	24,5 °C 76 °F	
Holz / wood	39,7 °C 103 °F	34,6 °C 94 °F	27,1 °C 81 °F	25,2 °C 77 °F	23,7 °C 75 °F	
weiß / white	34,6 °C 94 °F	31,2 °C 88 °F	26,6 °C 80 °F	24,8 °C 77 °F	23,8 °C 75 °F	

SW22 (70W)

Umgebung / Surrounding	23,8 °C 75 °F	40 cm Abstand / Distance				
Radius	0 cm	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	
schwarz / black	44,9 °C 113 °F	38,9 °C 102 °F	32,3 °C 90 °F	28,9 °C 84 °F	26,9 °C 80 °F	
Holz / wood	38,3 °C 101 °F	34,3 °C 94 °F	29,3 °C 85 °F	28,4 °C 83 °F	26,5 °C 80 °F	
weiß / white	35,6 °C 96 °F	31,2 °C 88 °F	29,3 °C 85 °F	27,6 °C 82 °F	26,2 °C 79 °F	

SW23 (70W Flood)

Umgebung / Surrounding	25,0 °C 77 °F	30 cm Abstand / Distance				
Radius	0 cm	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	
schwarz / black	51,4 °C 125 °F	42,4 °C 108 °F	33,2 °C 92 °F	29,4 °C 85 °F	26,4 °C 80 °F	
Holz / wood	46,2 °C 115 °F	38,9 °C 102 °F	32,0 °C 90 °F	29,1 °C 84 °F	26,4 °C 80 °F	
weiß / white	41,6 °C 107 °F	34,8 °C 95 °F	30,4 °C 87 °F	26,9 °C 80 °F	26,3 °C 79 °F	

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.

Die beiden 50W Lampen wurden mit einem Lucky Reptile EVG betrieben, die beiden 70W Lampen mit einem Philips HID-PV C EVG.

	SW20	SW21	SW22	SW23
Spannung / voltage [V]	235	234	234	235
Strom / current [A]	0,22	0,23	0,33	0,33
Leistung / power [W]	52,6	55	77	77,4
Leistungsfaktor / Power factor	100	100	100	100

5) Power Consumption

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

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

The two 50W lamps were operated with a Lucky Reptile electronic ballast, the two 70W lamps with a Philips HID-PV C electronic ballast.

6) Spektrale Messung

Die spektrale Bestrahlungsstärke wird mit einem „Ocean Optics USB 2000+“ Spektrometer mit Streuscheibe zur Kosinuskorrektur und Kalibration sowohl auf Wellenlänge als auch absolute Bestrahlungsstärke durchgeführt. Das Spektrometer misst im Bereich 250 nm bis 880 nm mit einer Auflösung von 0,38 nm. Professionelle Photometrische Messungen beinhalten die Verwendung einer Ulbrichtkugel. Das ist hier nicht der Fall und kann die Ergebnisse verfälschen. Ohne Ulbrichtkugel ist auch keine Bestimmung des gesamten Lichtstroms (Lumen) möglich. Die spektrale Messung wird je nach Lampe in einem individuellen geringen Abstand durchgeführt. So kann das Signal-zu-Rausch-Verhältnis durch eine hohe Intensität optimiert werden. Das Spektrum in verschiedenen Abständen hat die gleiche Form, lediglich die Gesamtintensität ändert sich.

6a) Beurteilung des Gesamtspektrums

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

Die Spektren aller Lampen waren extrem ähnlich und typisch für UV-Metallhalogeniddampflampen

6) Spectral Measurement

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

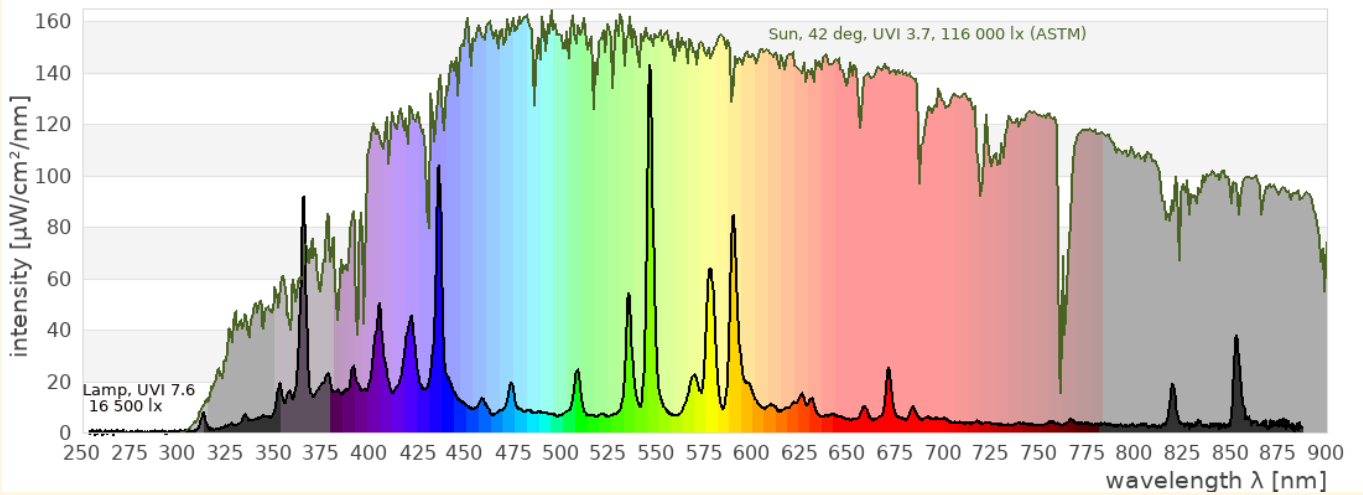
Professional photometric tests include the usage of an integrating sphere (Ulbricht sphere). This is not the case here and can adulterate the results. Without an integrating sphere it is not possible to determine the total luminous flux (lumen). The spectral measurements are taken in an individual distance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

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. [Review of the spectrum](#)

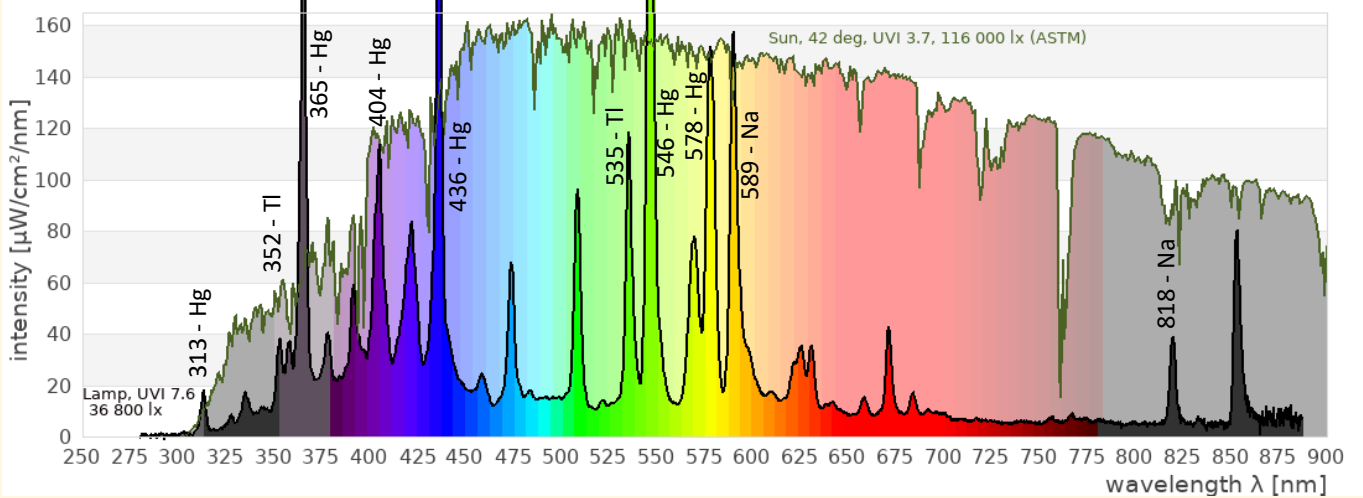
The spectrum is shown relative to the ASTM solar reference spectrum. This enables comparison of the spectral power distribution of the lamp with that of natural sunlight. Natural sunlight has a completely continuous spectrum from a threshold around 295 nm.

The spectra of all lamps were extremely similar and typical of UV metal halide lamps

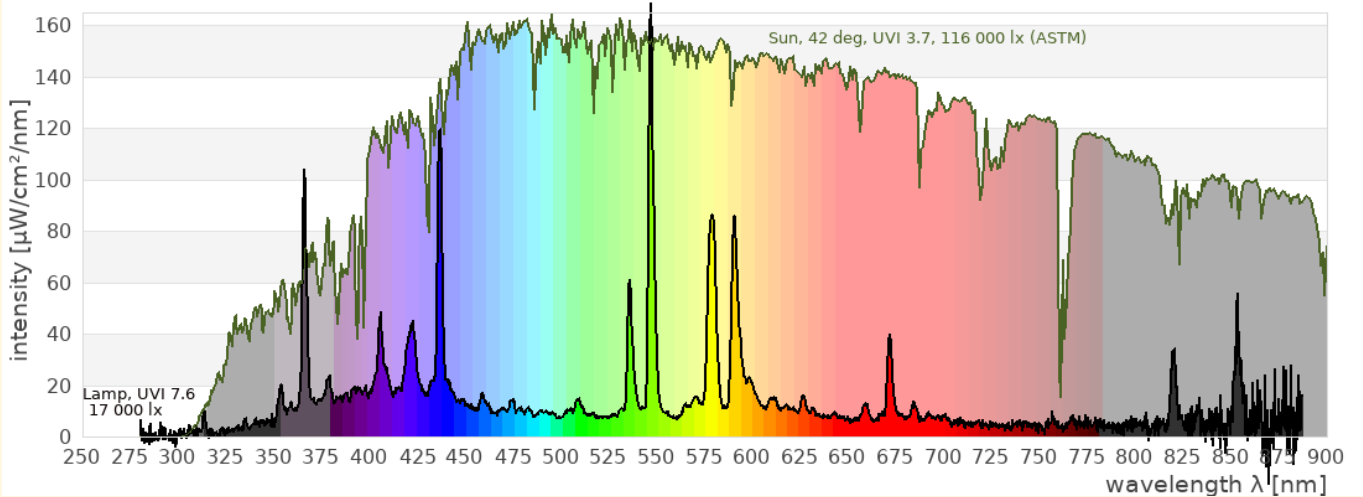
SW20 (50W)



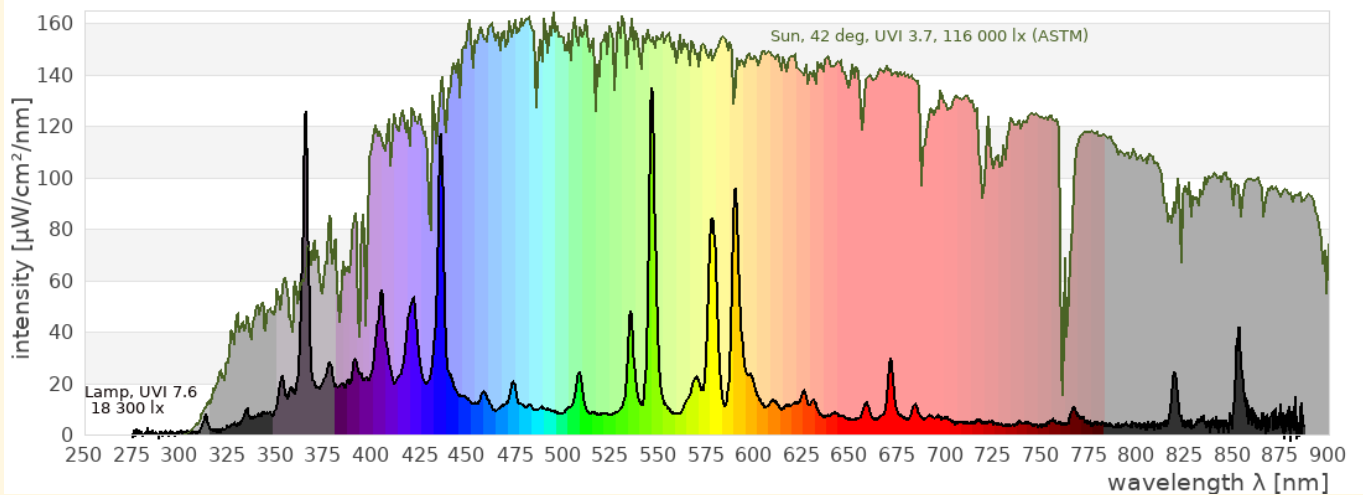
SW21 (50W)



SW22 (70W)



SW23 (70W Flood)



	SW20	SW21	SW22	SW23	ASTM Reference Sun
UVB (280 – 315 nm)	0,5 %	0,5%	0,6%	0,5%	0,1 %
UVA 1 (315 – 350 nm)	2,0 %	1,9%	1,6%	2,2%	1,3 %
UVA 2 (350 – 380 nm)	10,0 %	10,0%	7,8%	10,9%	1,9 %
VIS (380 – 780 nm)	80 %	81%	73%	78%	53 %
Full (250 – 880 nm)	100 %	100%	100%	100%	100 %
Distance (cm)	54,5 cm	54,5 cm	95 cm	54,5 cm	
UV Index	9,0	4,7	1,8	3,6	UVI 3,7
Lux	19 600	22 900	4 050	8 840	116 000 lx

6b) Für den Menschen sichtbares Spektrum

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

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

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

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

Der Farbort der Lampen liegt leicht zum Grünlichen hin verschoben ($y > 0,34$). Bei zwei von vier Messungen ist deswegen streng genommen keine Berechnung der Farbeigenschaften möglich ($DC < 5.4E-3 = FALSE$). Die Software des Spektrometers berechnet Farbtemperatur und Farbwiedergabe trotzdem anhand der gemessenen Werte. Die Farbtemperatur liegt bei etwa 5500 Kelvin, die Farbwiedergabe ist mit ca. 60 gering, aber typisch für alle aktuellen UV-MH-Lampen.

	SW20	SW21	SW22	SW23
(x,y)	(0,33 ; 0,35)	(0,33 ; 0,37)	(0,34 ; 0,35)	(0,34 ; 0,34)
CCT [Kelvin]	5425 K	5628K	5144K	5347K
CRI	60,1	56,3	61,6	61,4

6b) Spectrum visible to humans

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

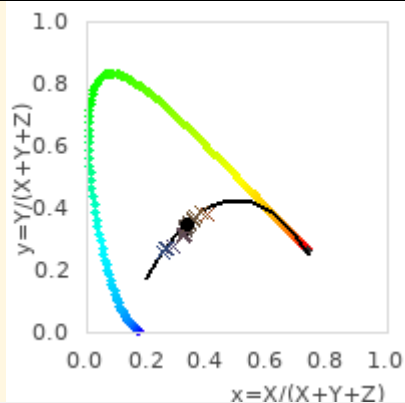
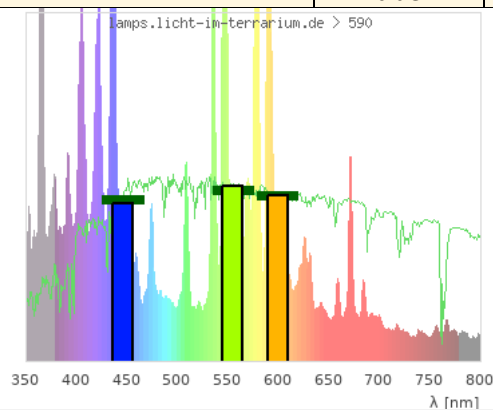
The bar chart indicates the amount of light seen by the three cones in the human eye. For comparison also here the solar spectrum and its action on the three cones is shown.

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

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

The colour coordinate of the lamps is slightly shifted towards the green ($y > 0,34$). For two of the four measurements, the light is not quite close enough to the Planckian locus to be within the range required for accurate calculation of the Colour Rendering Index (CRI) and Corrected Colour Temperature (CCT) by the spectrometer software. This is indicated by the entry: $DC < 5.4E-3 = FALSE$. Even so, the software provides an estimate based upon the data provided. The CCT of all lamps was around 5500 K and the CRI with 60 low but typical for all current metal halide UV lamps.

R1 (light grayish red)	55,8	48,2	81,1	55,2
R2 (dark grayish yellow)	69,9	67,1	82,0	71,2
R3 (strong yellow green)	71,2	74,4	74,0	75,9
R4 (moderate yellowish green)	55,6	49,0	31,5	57,2
R5 (light buish green)	54,0	47,2	31,5	57,0
R6 (light blue)	57,2	52,3	42,2	61,9
R7 (light violet)	77,6	76,5	87,6	75,7
R8 (light reddish purple)	39,8	35,9	63,0	36,7
R9 (strong red)	-108	-126	-93	-109
R10 (strong yellow)	21,8	17,7	70,8	27,9
R11 (strong green)	50,5	41,3	32,0	52,6
R12 (strong blue)	37,3	34,4	41,3	44,3
R13 (light yellowish pink, human complexion)	60,0	53,8	77,3	59,5
R14 (moderate olive green)	82,6	84,5	82,0	85,5
R15 (Japanese complexion)	39,6	31,7	67,6	39,3
DC<5.4E-3	true	false	true	false



6c) Für Reptilien sichtbares Spektrum

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

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

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

Nur sehr wenige Lampen bilden den sichtbaren Spektralbereich für Reptilien sonnenähnlich nach. Das sind manche

6c) Spectrum visible to reptiles

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

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

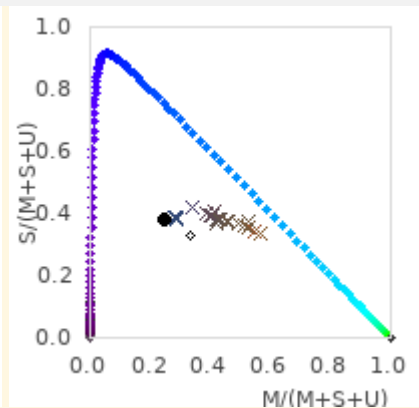
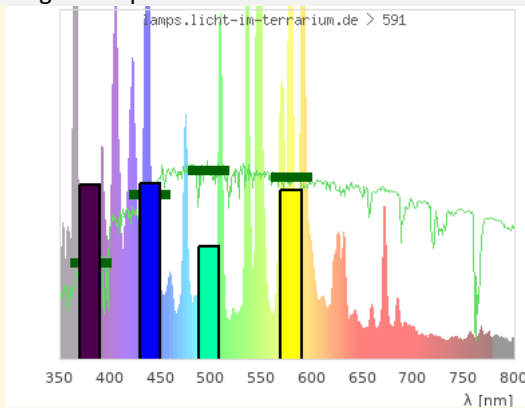
Based on the UV, blue and green photo receptors a colour space is calculated in analogy to the CIE colour space for the human observer (see 6b). The coloured crosses indicate the colour coordinates of different phases of daylight. The black dot shows the colour coordinate of the lamp.

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

Only very few lamps the visible spectral range for reptiles in a sun-like manner. These are some metal halide lamps without

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.

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 ist der UV-Anteil im Vergleich zum übrigen sichtbaren Licht recht hoch. Die Lampe wird aus Reptiliensicht einen Farbstich hin zu UVA haben. Das ist typisch für alle UV-Metallhalogeniddampflampen.

From a reptile's point of view, the amount of UV is quite high compared to the rest of the visible light. The lamp will have a color cast towards UVA from a reptile's point of view. This is typical of all UV metal halide lamps.

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.

6d) UV Spectrum (Vitamin D3)

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

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.

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.

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

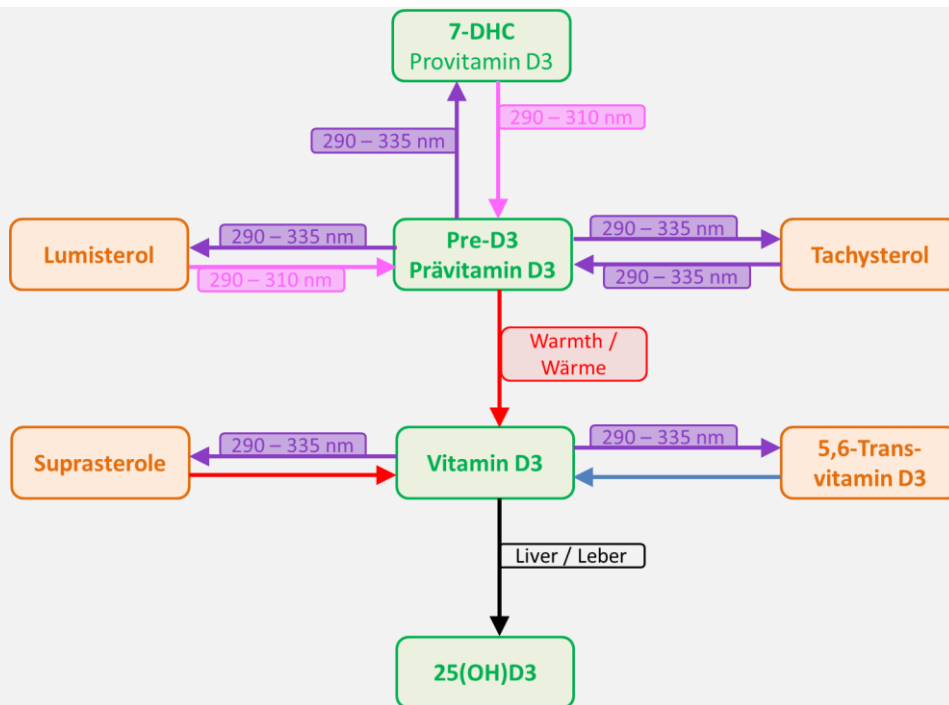
The following graph shows the lamp's spectrum in comparison to other spectrums:

- — 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)

- — 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)

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

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



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

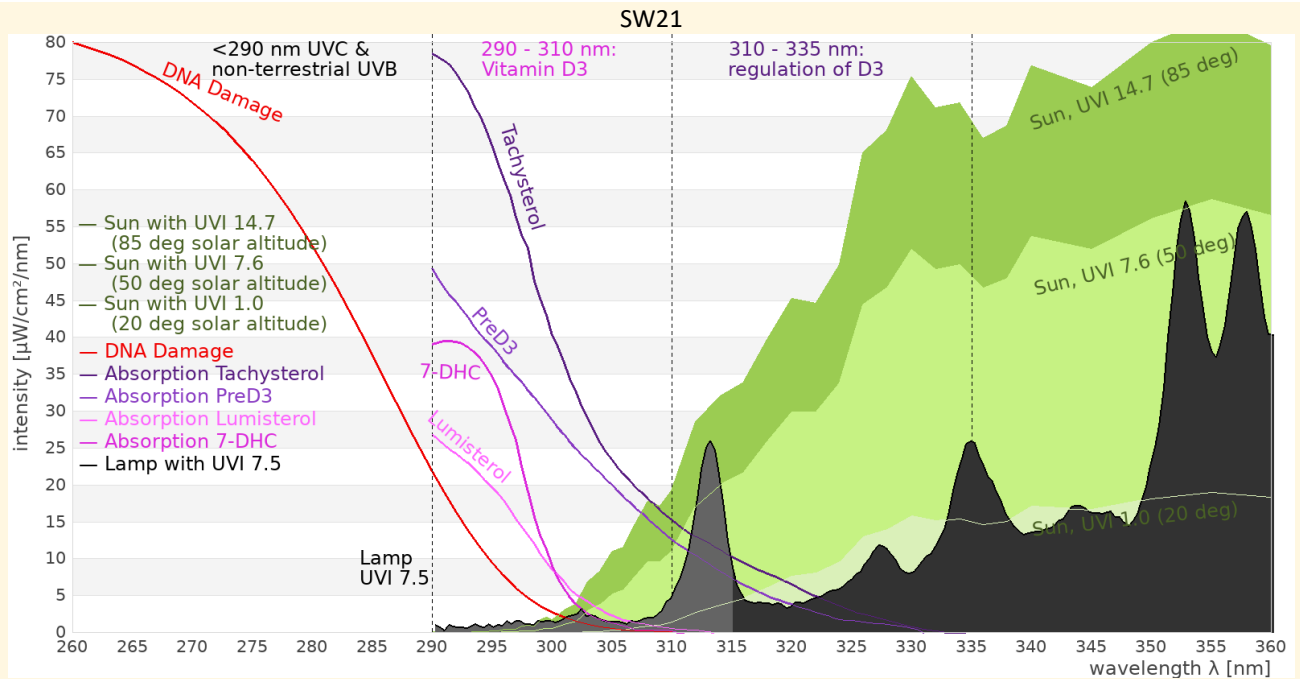
Aber das ist eine starke Vereinfachung. Wie in einem wegweisenden Artikel von MacLaughlin et al. (1982) gezeigt wurde, ist die Bildung von Vitamin D3 ein komplexer Prozess: Vier Photoprodukte bilden ein Gleichgewicht, deren Menge von der Form des UV-Spektrums abhängen, das die Haut erreicht. Nur Wellenlängen unter 320 nm – und ganz besonders die unter 310 nm – wandeln 7-DHC-Moleküle in Prävitamin D3 um. Prävitamin D3 kann dann aber auch wieder in 7-DHC oder in Lumisterol oder Tachysterol umgewandelt werden, indem es UV im Bereich unter 335 nm absorbiert. Die längeren Wellenlängen (310 – 335 nm) begrenzen die Menge an Prävitamin D3 und damit Vitamin D3, die in der Haut gebildet werden kann. Diese Wellenlängen wirken im System als „Bremsen“ oder „Puffer“. Und Sonnenlicht, wofür dieser Prozess evolutionär optimiert wurde, hat im Bereich 310 – 335 nm eine vielfach höhere Intensität als im Bereich 290 – 310 nm.

Es gibt darüber hinaus sogar eine Ausfallsicherung, um überschüssiges Vitamin D3 zu entfernen, wenn sich so viel in der Haut ansammelt, dass DBP es nicht mehr entfernen kann. Webb et al. (1989) fanden heraus, dass Wellenlängen bis zu 330 nm das in der Haut verbleibende Vitamin D3 abbauen und in inerte Moleküle umwandeln (5,6-Trans-Vitamin-D3, Suprasterol I und Suprasterol II)

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

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

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



Die UV-Spektren der vier Lampen sind sehr ähnlich. Durch die hohe Menge an sichtbarer und infraroter Strahlung ist eine spektrale Messung schwierig, da Streulicht den Messfehler im UVB stark erhöht. Daher ist nur ein UV-Spektrum gezeigt. Bei der SW23 70W Flood mit deutlich höherem Solarmeter-Verhältnis ist die 303-nm-Quecksilberlinie nicht mehr vom Messrauschen zu unterscheiden.

Die Grafik zeigt weiterhin:

- Die Lampen strahlen keine gefährliche UVC-Strahlung oder UVB im nicht-terrestrischen Bereich ab
- Es gibt einen geringen Anteil von UV-Strahlung unterhalb von 310 nm, der aus langjähriger Erfahrung zur Vitamin-D3-Bildung ausreicht.
- Es gibt einen ausreichenden Anteil an UV im Bereich 310 – 335 nm um – wie bei natürlichem Sonnenlicht – eine übermäßige Vitamin-D3-Bildung zu verhindern.

The UV spectra of all four lamps are very similar. Due to the large amount of visible and infrared radiation, the spectral measurement is difficult. Stray light increases the measurement error in the UVB range. Therefore, only one UV spectrum is shown. For the SW23 70W Flood with a significantly higher Solarmeter ratio, the 303-nm emission line from mercury could not be distinguished from measurement noise.

The graph shows:

- The lamp does not emit hazardous UVC, or UVB in the nonterrestrial wavelengths.
- There is a small amount of UVB in the wavelengths below 310 nm which enable vitamin D3 synthesis in skin.
- The proportion of UVA from 310 - 335nm, important for natural prevention of excessive D3 synthesis, is sufficient

6e) Blaulichtgefährdung

Licht mit einer Wellenlänge von etwa 410 nm bis 480 nm mit einem Maximum bei 440 nm kann beim Menschen eine Schädigung der Photorezeptoren in der Netzhaut verursachen (Photoretinitis, Blaulichtgefährdung). Die effektive Bestrahlungsstärke für Blaulichtgefährdung wird mit der Wirkfunktion nach DIRECTIVE 2006/25/EC berechnet. Bei mittlerem Sonnenlicht beträgt das Verhältnis von effektiver Bestrahlungsstärke für Photoretinitis 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.

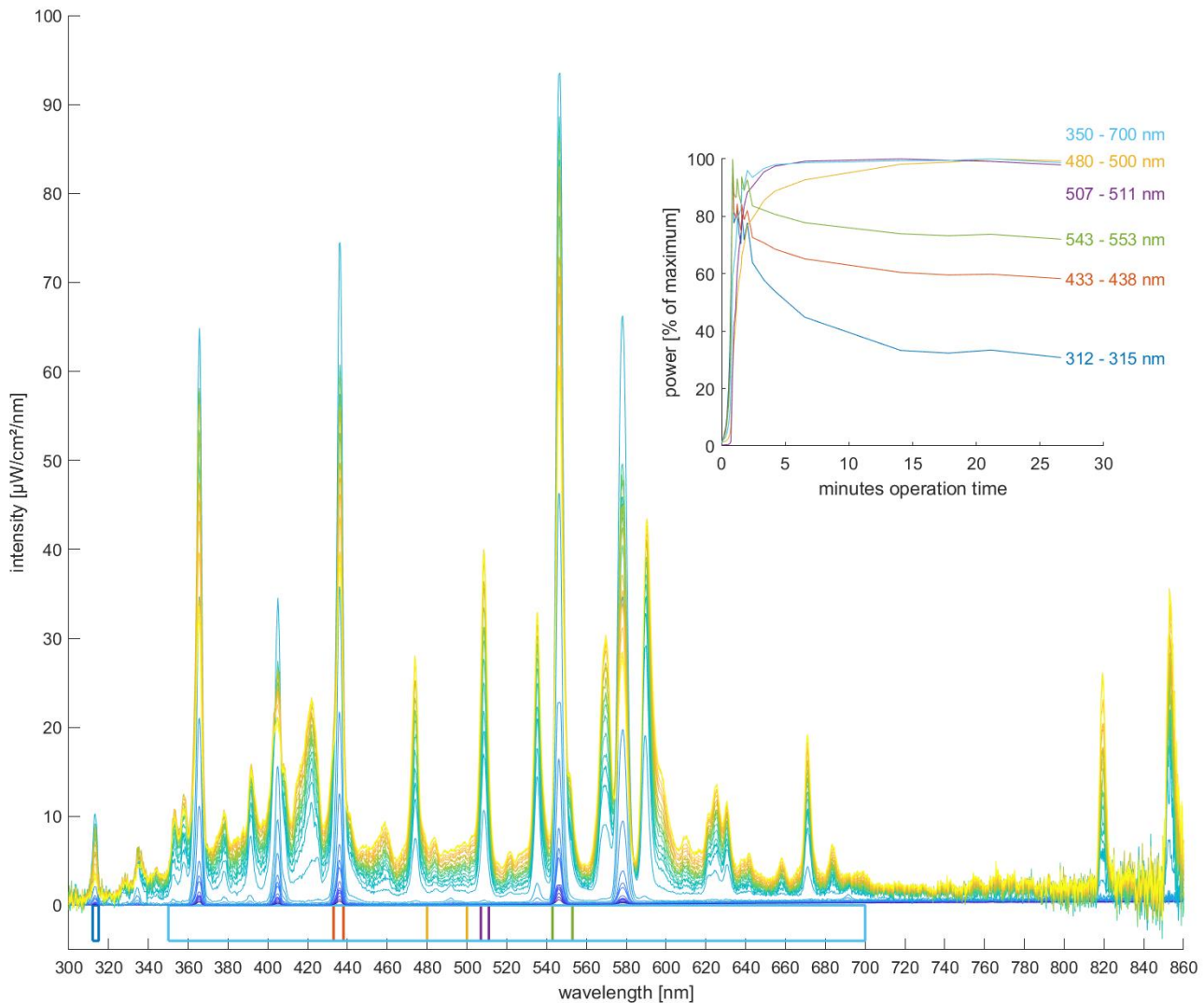
Für die vier Lampen lagen die Werte zwischen 80 und $95 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ pro 1.000 lux.

6e) Blue Light Hazard

Light with wavelengths between 410 nm and 480 nm with a maximum at 400 nm can cause damage in the photo receptors in the retina of humans (photo retinitis, blue light hazard). The effective irradiance for blue light hazard is calculated with the action spectrum from DIRECTIVE 2006/25/EC. For 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.

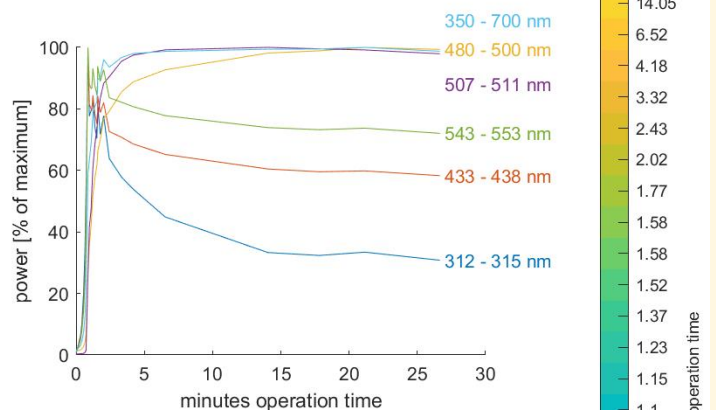
The four lamps had ratios between 80 und $95 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ per 1,000 lux.

6f) Spektrum beim ersten Starten der Lampe



Die Grafik zeigt die Spektren von SW22 (70W) während der ersten 25 Minuten nach dem ersten Einschalten. Typisch für Metallhalogeniddampflampen ist in den ersten Sekunden nur Intensität in den Quecksilberemissionslinien. Deren Intensität sinkt, wenn die übrigen Metalle zur Lichtemission beitragen.

6e) Spectrum at startup of the lamp



The graph shows the spectra of the lamp SW22 (70W) during the first 25 minutes after initial power up. As it is typical for metal halide lamps, there is only intensity in the mercury emission lines in the first few seconds. Their intensity decreases when the other metals contribute to the emission of light.

7) Intensitätsmessungen

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

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

- Die UV-Bestrahlungsstärke wird mit Solarmeter UV-Radiometern gemessen. Diese Messgeräte haben sich in den letzten Jahren aufgrund des Preis-Leistungs-

7) Intensity measurements

Intensity measurements are performed using broadband meters. Compared to the spectrometer, these are easier to use and have a robust signal to noise ratio and are easy to use. They are therefore suitable to measure the spatial distribution of the light and monitor the aging process.

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

For comparison, direct solar readings only five minutes after sunrise reach 3,000 – 5,000 lux. In clear weather, mid-day direct solar readings of 120,000 to 150,000 lux are often seen.

The irradiance of UV light is measured with Solarmeter UV broadband meters. These broadband meters have become widely accepted within reptile keepers and scientific research

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



Für alle Solarmeter 6.5-Messungen gilt: Ich weiß, dass die individuellen Fertigungstoleranzen bei meinem konkreten Solarmeter 6.5 zu etwa 10% zu hohen Messwerten bei UV-Metallhalogeniddampflampen führen.

Beim Vergleich der beiden 50W PAR30 fällt auf, dass die Lampen zwar in mehr als 20 cm Abstand sehr ähnliche UV-Messwerte haben, sich bei kleinerem Abstand aber enorm unterscheiden. Das spricht dafür, dass der Brenner im Reflektor leicht unterschiedlich positioniert ist und sich so ein unterschiedlicher Abstrahlwinkel ergibt. Die UV-Karte bestätigt das.

Die 50W-Lampen sind mit 240 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ in 20 cm Abstand und 80 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ in 40 cm Abstand spezifiziert. Die hier gemessenen Werte waren deutlich höher. Auch im Vergleich zu Ferguson-Zone 2-3 in 25-35 cm Abstand waren die hier gemessenen Werte (UVI ca. 5-9) höher.

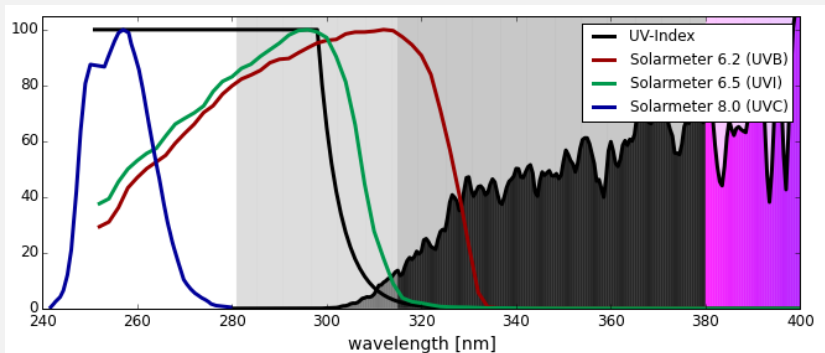
SW20 (50W)

Age [h]	90									
Distance [cm]	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70
Luxmeter [lx]	EE	367.500	203.000	139.400	96.310	69.631	38.674	25.086	17.930	13.254
Solarmeter 6.2 UVB [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]	EE	1382	746	450	295	209	119	78	55	40
Solarmeter 6.5 UVI	104	45,1	24,2	14,5	9,5	6,6	3,8	2,5	1,7	1,3
Solarmeter 8.0 UVC [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

due to their cost-performance ratio (Ferguson2009, Dobbinson2016, Lindgreen2008). UV-Index values of natural sunlight are often known from weather forecasts.

- Solarmeter 6.5: UV-Index
It measures the UV irradiance weighted with the action function for UV induces erythema. Mainly light below 315 nm is detected, and shorter wavelengths are more strongly counted than longer wavelengths. This feature is important to assess the ability of the lamp to enable production of vitamin d3 but also the risk of uv damage.
- Solarmeter 6.2: UVB
It measures UVB intensity up to 330 nm.
- Solarmeter 8.0: UVC
It measures UVC. To rule out faulty measurements due to UVA leakage, the measured value is checked again with a Schott UG11-filter.

7a) Maximum irradiance in different distances



The following applies to all Solarmeter 6.5 measurements: I know that the individual manufacturing tolerances on my specific Solarmeter 6.5 lead to roughly 10% higher readings for UV metal halide lamps.

When comparing the two 50W PAR30, it is noticeable that the lamps have very similar UV readings at a distance of more than 20 cm, but differ enormously at a smaller distance. This suggests that the burner is positioned slightly differently in the reflector, resulting in a different beam angle. The UV chart confirms this.

The 50W lamps are specified as 240 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ at a distance of 20 cm and 80 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ at a distance of 40 cm. The values measured here were significantly higher. The values measured here (UVI approx. 5-9) were also higher in comparison to Ferguson zone 2-3 at a distance of 25-35 cm.

SW21 (50W)

Age [h]	95									
Distance [cm]	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70
Luxmeter [lx]	302.052	206.842	149.025	111.315	89.368	68.210	40.458	28.578	20.679	15.355
Solarmeter 6.2 UVB [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]	1222	770	528	388	283	215	131	88	63	47
Solarmeter 6.5 UVI	40	24,8	16,9	12,2	9	6,8	4,2	2,8	2	1,5
Solarmeter 8.0 UVC [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Die Tabelle mit zwei 50W-Lampen mit 15 cm seitlichem Abstand ist besser im Vergleich mit der Iso-UV-Index-Karte verständlich.

SW20 & SW21 (50W), 15 cm distance

Age [h]	100									
Distance [cm]		10	15	20	25	30	40	50	60	70
Solarmeter 6.5 UVI (SW21)		26,3	17,6	13	9,5	7,3	5	3,5	2,8	2,2
Solarmeter 6.5 UVI central		3,4	4,4	5,5	6,2	6,1	5,4	4,3	3,3	2,5
Solarmeter 6.5 UVI (SW20)		46,2	24,9	15,3	10,1	7,1	4,5	3,2	2,4	1,9

SW22 (70W)

Age [h]	103									
Distance [cm]		10	15	20	25	30	40	50	60	70
Luxmeter [lx]		297.947	215.210	135.789	104.368	79.421	47.526	32.464	23.143	17.377
Solarmeter 6.2 UVB [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]		1039	641	343	300	230	129	92	65	49
Solarmeter 6.5 UVI		33,2	20,4	13,6	9,7	7,2	4,4	3	2,1	1,5
Solarmeter 8.0 UVC [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

SW23 (70W)

Age [h]	80									
Distance [cm]		15	20	25	30	40	50	60	70	
Luxmeter [lx]		EE	208.421	104.842	60.315	26.556	15.355	9.541	8.499	
Solarmeter 6.2 UVB [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]		1678	820	388	201	72	34	21	13	
Solarmeter 6.5 UVI		41,3	20,5	9,8	5,1	1,9	0,9	0,5	0,3	
Solarmeter 8.0 UVC [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Der für die 70-W-Lampe gemessene UVB-Wert war etwas höher als angegeben (343 vs. 290 in 20 cm und 129 vs. 100 in 40 cm). Ich sehe ebenfalls Ferguson 3 in etwa 30 cm Entfernung. Die höheren Werte, die für die 70W Flood gegenüber der 70W angegeben sind (388 vs. 500 bei 20cm, 72 vs. 110 bei 40cm), konnte ich nicht bestätigen.

7b) Solarmeter-Verhältnis

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

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

The UVB measured for the 70W lamp was slightly higher than specified (343 vs 290 in 20 cm and 129 vs. 100 in 40 cm). I also see Ferguson 3 in around 30 cm distance.

I could not confirm the higher values for the 70W flood than for the 70W, that are specified (388 vs 500 at 20cm, 72 vs 110 at 40 cm).

7b) Solarmeter Ratio

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

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

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

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

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

Das Solarmeter-Verhältnis der Lampen SW20/21/22 ist ungefähr 30, die 70W Flood (SW23) hat mit Solarmeter-Verhältnis 40 weniger kurzweilige Strahlung. Die Solarmeter-Verhältnisse sind im Einklang mit der Spektralmessung und typisch für UV-Metallhalogeniddampflampen.

7c) Iso-Bestrahlungsstärke-Karte

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

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

Die beiden 50W-Lampen haben eine sehr ähnliche räumliche Verteilung der UV-Strahlung. Die Lampe mit ID SW20 strahlt geringfügig breiter ab.

Dem Spezifikation für Tiere der Ferguson-Zone 2-3 mit bis zu 30 cm Körperlänge kann ich mich nicht anschließen.

UV-Index 2-5 wird in 35 cm Abstand nur auf einem Durchmesser von weniger als 20 cm erreicht.

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

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

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

The solar meter ratio of the lamps SW20/21/22 is about 30, the 70W Flood (SW23) has less shortwave radiation with a solar meter ratio of 40. The solar meter ratios are consistent with the spectral measurement and are typical of UV metal halide lamps.

7c) Iso-Irradiance Charts

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

- Ferguson zone 1 (shade method): UV index < 0.7 on an area considerably larger than the animal for crepuscular animals or shade lovers.
- Ferguson zone 2 (shade method): UV index $0.7 - 1.0$ on an area considerably larger than the animal for partial sun/ occasional baskers.
- Ferguson zone 3 (sunbeam method): UV index $2.9 - 7.4$ on an area matching the size of the animal together with 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.

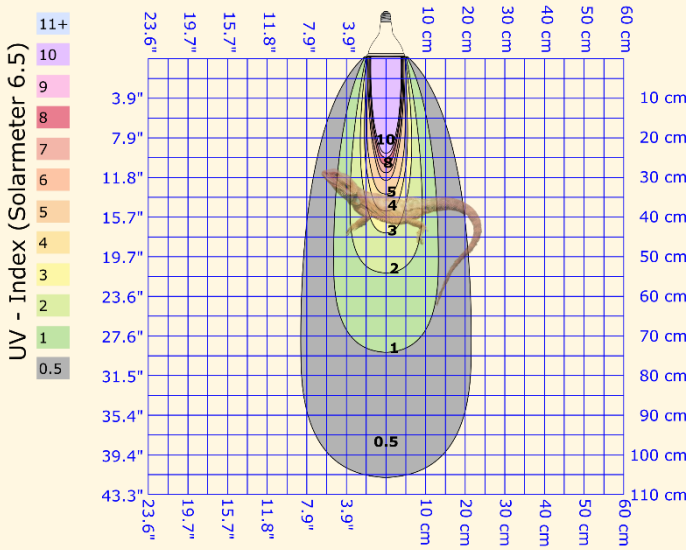


The two 50W lamps have a very similar spatial distribution of UV radiation. The lamp with ID SW20 has a slightly wider beam.

I cannot agree with the specification for animals in Ferguson zone 2-3 with a body length of up to 30 cm.

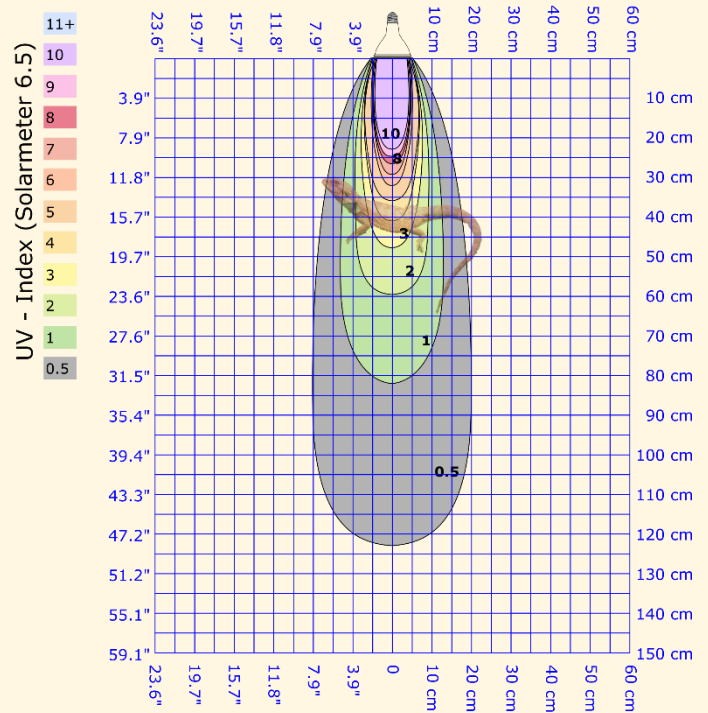
UV index 2-5 is only achieved at a distance of 35 cm on a diameter of less than 20 cm.

SW 20
Reptiles Expert UV-MD 50W PAR 30



100 h burn in, 02/2022, ID SW20, © Sarina Wunderlich, www.licht-im-terrarium.de
Bearded Dragon / Bartagame: 25 cm SVL / KRL

SW21
Reptiles Expert UV-MD 50W PAR 30



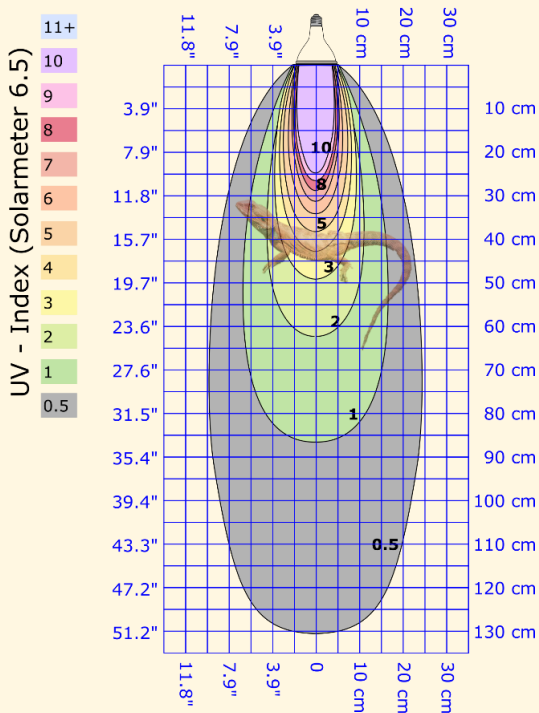
100 h burn in, 02/2022, ID SW21, © Sarina Wunderlich, www.licht-im-terrarium.de
Bearded Dragon / Bartagame: 25 cm SVL / KRL

Die beiden 70 W Lampen mit PAR30 und PAR38 haben wie erwartet eine unterschiedliche räumliche Verteilung, jedoch erzeugt zumindest die Lampe SW23 trotz PAR38 keinen deutlich größeren Sonnenplatz. Ein stärkerer Gradient und geringere Messwerte direkt unter der Lampe sind bei PAR38 im Vergleich zu PAR30 zu erwarten, da die Strahlung auf eine breite Fläche verteilt wird.

Beide Lampen sind nicht geeignet für Tiere der Ferguson-Zone 3-4 mit einer Gesamtlänge größer als 20 cm

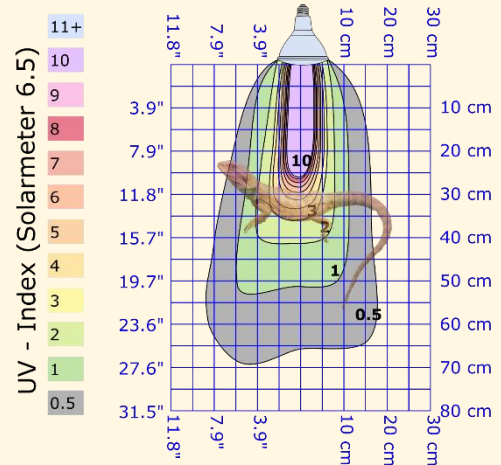
As expected, the two 70 W lamps with PAR30 and PAR38 have a different spatial distribution, but at least my lamp SW23 does not create a significantly larger basking area despite PAR38. A stronger gradient and lower readings directly under the lamp can be expected with PAR38 compared to PAR30 because the radiation is distributed over a wide area. Both lamps are not suitable for Ferguson Zone 3-4 animals with a total length greater than 20 cm

Reptiles Expert UV-MD 70W PAR 30



100 h burn in, 03/2022, ID SW22,
© Sarina Wunderlich, www.licht-im-terrarium.de
Bearded Dragon / Bartagame: 25 cm SVL / KRL

Reptiles Expert UV-MD 70W Flood PAR38



80 h burn in, 03/2022, ID SW23, © Sarina Wunderlich,
www.licht-im-terrarium.de
Bearded Dragon / Bartagame: 25 cm SVL / KRL

7d) Einbrennen und Alterung

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

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

In den ersten Sekunden nach jedem Einschalten der Lampe ist die UV-Strahlung etwa 50% intensiver, da zuerst das Quecksilber zur Lichtemission angeregt wird.

Es ist typisch, dass UV-Metallhalogeniddampflampen in den ersten Lebensstunden zuerst einen Anstieg bei der UV-Strahlung zeigen, wie das auch bei der Lampe SW22 deutlich sichtbar ist. Bei den beiden 70W Lampen, bei denen sowohl Solarmeter 6.2 als auch Solarmeter 6.5 Messwerte über die ersten Betriebsstunden aufgenommen wurden, sieht man, dass der Solarmeter 6.5-Messwert nach einigen Betriebsstunden stärker abnimmt als der Solarmeter 6.2-Messwert. Das ist durch die Solarisation des Glases bedingt, das mit der Zeit weniger transparent für kurzwellige UV-Strahlung wird. Das Solarmeter-Verhältnis der Lampe SW23 erhöhte sich von 30 min bis 80 h von 38,5 auf 39,6.

7d) Burning in and Aging



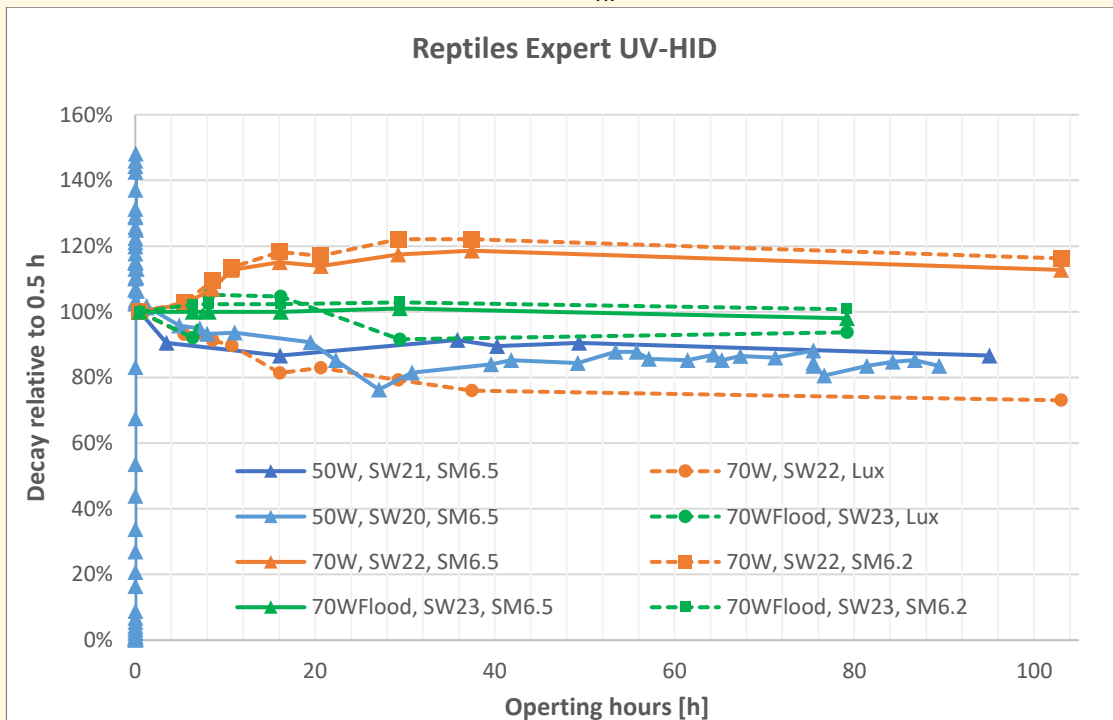
Short term aging within the first hours of operation is measured with a fixed position of the Solarmeter relative to the lamp.

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

In the first few seconds after each time the lamp is switched on, the UV radiation is about 50% more intense, since the mercury is stimulated to emit light first.

It is typical that UV metal halide lamps first show an increase in UV radiation in the first hours of life, as is also clearly visible with the lamp SW22.

With the two 70W lamps, for which both the Solarmeter 6.2 and the Solarmeter 6.5 measured values were recorded over the first hours of operation, you can see that the Solarmeter 6.5 reading value decreases more than the Solarmeter 6.2 reading after a few hours of operation. This is due to the solarization of the glass, which over time becomes less transparent to short-wave UV radiation. The solar meter ratio of lamp SW23 increased from 38.5 to 39.6 from 30 min to 80 h.



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, Betriebs-

8) Limitations

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

Test of a limited number of lamps do not allow general statements. There are variations from lamp to lamp because

bedingungen 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.

of age, operating conditions like voltage or temperature, and production fluctuations from lot to lot but also within one lot.

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

9) Zitierte Literatur

- Baines, F. M. & Brames, H. 2010. Preventive Reptile Medicine and Reptile Lighting. Paper read at 1st International Conference on Reptile and Amphibian Medicine, March 4–7, at München.
- Baines, F. M. (2016) How much UV-B does my reptile need? The UV-Tool, a guide to the selection of UV lighting for reptiles and amphibians in captivity. *Journal of Zoo and Aquarium Research*, 4.
- Barnkob, L. L., Argyraki, A., Petersen, P. M. & Jakobsen, J. (2016) Investigation of the effect of UV-LED exposure conditions on the production of vitamin D in pig skin. *Food Chemistry*, 212 386–391.
- Bernard, J. B., Oftedal, O. T. & Ullrey, D. E. 1996. Idiosyncrasies of Vitamin D Metabolism in the Green Iguana (*Iguana iguana*). Paper read at Comparative Nutrition Society Symposium.
- Cusack, L., Rivera, S., Lock, B., Benboe, D., Brothers, D. & Divers, S. (2017) Effects of a light-emitting diode on the production of cholecalciferol and associated blood parameters in the bearded dragon (*pogona vitticeps*). *Journal of zoo and wildlife medicine*, 48 1120–1126.
- DIN 5031-10: Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik: Photobiologisch wirksame Strahlung, Größen, Kurzzeichen und Wirkungsspektren. Mar 2000. Deutsches Institut für Normung e.V.
- 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., Gehrman, W. H., Bucklin, S. E., Baines, F. M. & Mackin, S. J. (2009) Voluntary exposure of some western-hemisphere snake and lizard species to ultraviolet-B radiation in the field: how much ultraviolet-B should a lizard or snake receive in captivity? *Zoo Biology*, 28.
- Holick, M. F. (2016) Biological Effects of Sunlight, Ultraviolet Radiation, Visible Light, Infrared Radiation and Vitamin D for Health. *Anticancer Research*, 36 1345–1356.
- Kalajian, T. A., Aldoukhi, A., Veronikis, T.J., Persons, K. & Holick, M. F. (2017) Ultraviolet B Light Emitting Diodes (LEDs) Are More Efficient and Effective in Producing Vitamin D3 in Human Skin Compared to Natural Sunlight. *Scientific Reports*, 7 11489.
- Kelber, A., Vorobyev, M. & Osorio, D. (2003) Animal colour vision - behavioural tests and physiological concepts. *Biological Reviews*, 78 81–118.
- Lindgren, J., Gehrman, W. H., Ferguson, G. W. & Pinder, J. E. (2008) Measuring Effective Vitamin D3-Producing Ultraviolet B Radiation Using Solartech's Solarmeter® 6.4 Handheld, UVB Radiometer. *Bulletin of the Chicago Herpetological Society*, 43 57–62.
- MacLaughlin, J., Anderson, R. & Holick, M. F. (1982) Spectral character of sunlight modulates photosynthesis of previtamin D3 and its photoisomers in human skin. *Science*, 216 1001–1003.
- Morita, D., Nishida, Y., Higuchi, Y., Seki, T., Ikuta, K., Asano, H. & Ishiguro, N. (2016) Short-range ultraviolet irradiation with LED device effectively increases serum levels of 25(OH)D. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 164 256–263.
- Oonincx, D. G. A. B., Stevens, Y., van den Borne, J. J. G. C., van Leeuwen, J. P. T. M. & Hendriks, W. H. (2010) Effects of vitamin D3 supplementation and UVb exposure on the growth and plasma concentration of vitamin D3 metabolites in juvenile bearded dragons (*Pogona vitticeps*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 156 122–128.
- Setlow, R. B. (1974) The wavelengths in sunlight effective in producing skin cancer: a theoretical analysis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 71 3363–3366.
- Veronikis, A. J., Cevik, M. B., Allen, R. H., Shirvan, A., Sun, A., Persons, K. S. & Holick, M. F. (2020) Evaluation of a Ultraviolet B Light Emitting Diode (LED) for Producing Vitamin D3 in Human Skin. *Anticancer Research*, 719–722.
- Wei, Y., Zheng, W., Li, B., Tong, Q., Shi, H. & Li, X. (2020) Effects of B-Wave Ultraviolet Supplementation Using Light-Emitting Diodes on Caged Laying Hens during the Later Phase of the Laying Cycle. *Animals*, 10.
- Guidelines on Limits of Exposure to Broad-Band Incoherent Optical Radiation (0.38 to 3µm). (1997) *Health Physics*, 73 539–554.

9) Literature Cited