

Test-Report 02/2024

Osram Powerball HCI-PAR30 70W/930

1) Zusammenfassung

- Ich habe diese Lampe getestet, um Referenzwerte für eine Keramik-Metallhalogeniddampflampe zu haben.
- Die Lampe hat einen großen Anteil an sichtbarer Strahlung, und erreicht auf ca. 10 cm Durchmesser (typisch für PAR30 Reflektoren) eine sehr hohe Intensität (ca. 100 000 lx in 40 cm)
- Ein dunkler Untergrund erreicht in 40 cm Abstand ca. 45°C.
- Nach IR-Breitbandmessgeräten und Literaturwerten angenommen ist die Infrarotstrahlung der Lampe etwas schwächer als beim natürlichen Sonnenlicht und hat einen etwas höheren Infrarot-B-Anteil (Details in Abschnitt 8b)

1) Zusammenfassung	1	... Summary
2) Testanlass.....	1	... Reason for Test
3) Beschreibung der Lampe.....	1	... Lamp Description
4) Visuelle Lichtverteilung und Flicker	2	... Visual Light Distribution
5) Temperatur	3	... Temperature
6) Elektrischer Verbrauch.....	4	... Power Consumption
7) Spektrale Messung.....	4	... Spectral Measurement
7a) Beurteilung des Gesamtspektrums	5 Review of the spectrum
7b) Für den Menschen sichtbares Spektrum.....	5 Spectrum visible to humans
7c) Für Reptilien sichtbares Spektrum	6 Spectrum visible to reptiles
7d) Blaulichtgefährdung	7 Blue Light Hazard
8) Intensitätsmessungen	7	... Intensity Measurements
8a) Maximale Bestrahlungsstärke in verschiedenen Abständen	9 Maximum irradiance in different distances
8b) Infrarot-Verhältnisse	10 Infrared Ratios
8c) Iso-Bestrahlungsstärke-Karte IRA.....	11 Iso Irradiance Chart IRA
9) Einschränkungen.....	12	... Limitations
10) Zitierte Literatur	13	... Literature cited

Summary

- I tested this lamp to have reference values for a ceramic metal halide lamp.
- The lamp has a large proportion of visible radiation and reaches a very high intensity (approx. 100,000 lx in 40 cm) with a diameter of approx. 10 cm (typical for PAR30 reflectors).
- A dark background reaches approx. 45°C at a distance of 40 cm.
- Based on IR broadband measuring devices and literature values, the infrared radiation from the lamp is slightly weaker than natural sunlight and has a slightly higher infrared B component (details in section 8b)

2) Testanlass

Eine Osram Powerball HCI-PAR30 70W/930 Lampe wurden von mir gekauft, um Referenzwerte für diesen Lampentyp zu erhalten.

Reason for Test

One Osram Powerball HCI-PAR30 70W/930 lamp was bought by myself to have reference values for this lamp type.

3) Beschreibung der Lampe

Die Lampe sind eine Metaldampflampe mit E27-Fassung und PAR30 Gehäuse (95,5 mm Durchmesser, 125 mm Höhe). Sie hat laut Hersteller 70 Watt, 4700 Lumen, Ra 90, 3000 Kelvin. Die Lampe wird von Osram/Ledvance als „Phase out“ bezeichnet, es sind nur noch Restbestände erhältlich. Die Lampe wird intern (auch in der Messdatenbank) unter der Bezeichnung SW85 ([Link](#)) geführt. Die Lampe hat ein strukturiertes und nach außen gewölbtes Frontglas sowie ein Keramikelement am Hals. Auf den Glaskolben ist „Osram Powerball HCI PAR 30 70W/930 FL Made in China“ aufgedruckt, am Keramikhals G17 ins Glas eingeprägt und am Sockel im Metall „Rf868“ eingeprägt.

Lamp Description

The lamp is a metal halide lamp with E27 socket and PAR30 shape (95.5 mm diameter, 125 mm height). According to the manufacturer, it has 70 watts, 4700 lumens, Ra 90, 3000 Kelvin. The lamp is described as “phase out” by Osram/Ledvance, only remaining stocks are available. The lamp is listed internally (also in the measurement database) under the name SW85 ([Link](#)). The lamp has a structured and outwardly curved front glass as well as a ceramic element on the neck. “Osram Powerball HCI PAR 30 70W/930 FL Made in China” is printed on the glass bulb, stamped into the glass on the G17 ceramic neck and “Rf868” stamped into the metal on the base.



4) Visuelle Lichtverteilung und Flicker

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).

Zur Beurteilung des Flickerns der Lampen wird ein Oppl Lightmaster G3 genutzt, das den Flicker-Index (soll < 0,1), Modulationstiefe und Frequenz berechnet. Aufgrund der 50 Hz Netzspannung haben alle Lampen eine Intensitätsvariation mit 100 Hz Frequenz. Durch eine geeignete elektronische Schaltung kann die Amplitude dieser Variation minimiert werden. Lampen mit elektronischen Vorschaltgeräten können zusätzlich mit höherer Frequenz flimmern.

Reptilien und Amphibien scheinen nach verschiedenen Studien eine geringere oder ähnlich große Flimmerfusionsfrequenz wie der Mensch zu haben. Ich gehe daher davon aus, dass für Reptilien die Beurteilung des OpplLightmaster gültig ist. Vögel haben jedoch eine sehr viel höhere Flimmerfusionsfrequenz.

Das sichtbare Licht ist sehr gleichmäßig verteilt. Das EVG betreibt die Lampe mit ca. 330 Hz, überlagert von einer höherfrequenten Schwingung.

Flicker index	0,0151
Modulation depth	7,16%
Frequency	327

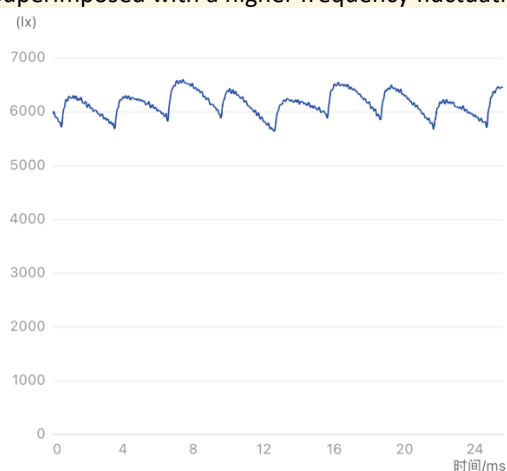
Visible Light Distribution and Flicker

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).

For flicker evaluation an Oppl Lightmaster G3 is used, which calculated flicker index (should be < 0.1), modulation depth and frequency. Because of the 50 Hz line voltage frequency all lamps will have intensity fluctuations with 100 Hz frequency. Electronics can be used to minimize the amplitude of this fluctuation. Lamps with electronic ballasts can have an additional intensity fluctuation at higher frequencies.

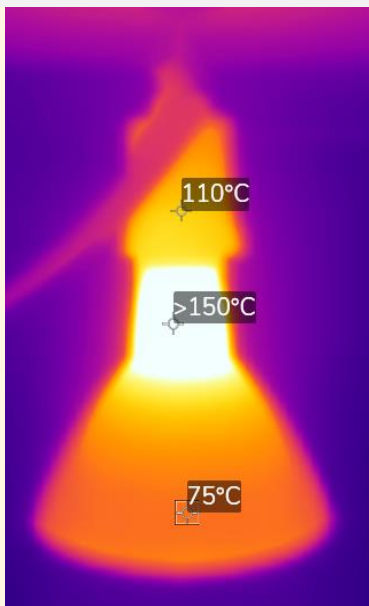
According to various studies, reptiles and amphibians appear to have a lower or similar fibrillation fusion frequency to humans. I therefore assume that the opinion of the OpplLightmaster is valid for reptiles. However, birds have a much higher flicker fusion frequency.

The visible light distribution is very homogenous. The electronic ballast drives the lamp at around 300 Hz superimposed with a higher frequency fluctuation.



5) 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 Lampe wird im Betrieb über 100°C warm, das Keramikelement über 150°C.

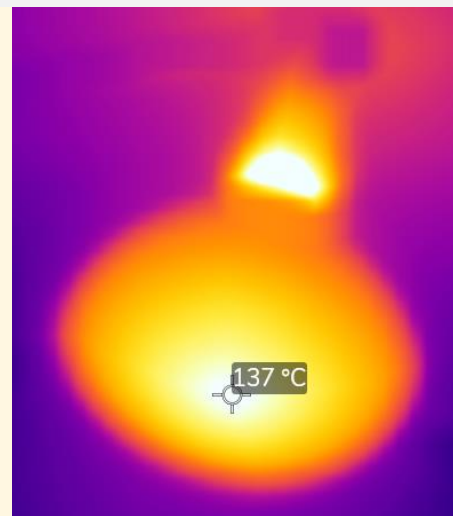
Die Wärmestrahlung der Lampe setzt sich meist aus sichtbarer Strahlung und Infrarotstrahlung zusammen. Sie führt zu einer unterschiedlichen Temperaturerhöhung je nach wie gut die einzelnen Wellenlängen von einem Objekt absorbiert werden. So werden weiße Gegenstände von sichtbarer Wärmestrahlung schlechter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



5)Temperature

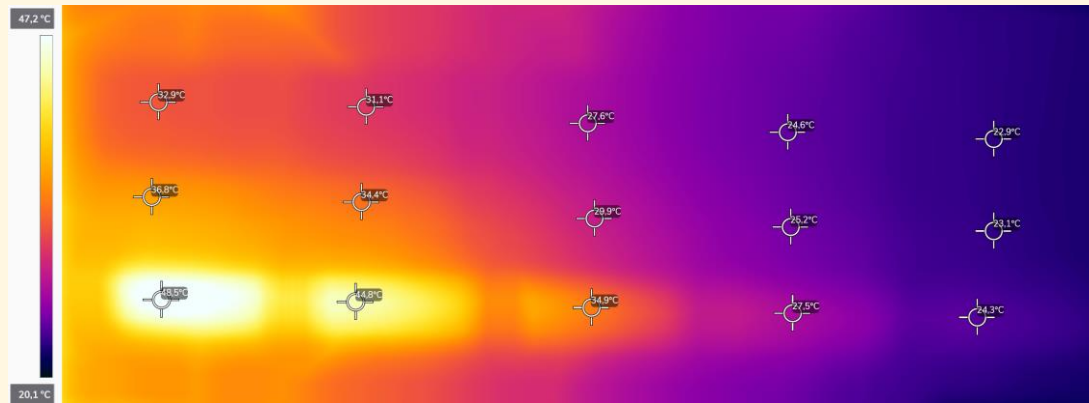
The temperature of the lamp is measured with a non-contact infrared thermometer (Etekcity Lasergrip 1080). This IR thermometer measures at 8-14 μm wavelength and has a pre-set emissivity of 0.95. 0.95 is the correct value for a large range of surfaces (clay, wood, asphalt, ceramic). The larger the difference 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 lamp heats up to over 100°C during operation, the ceramic element over 150°C.

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 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.



Umgebung / Surrounding	20,0 °C 68 °F		40 cm Abstand / Distance			
	0 cm	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	
schwarz / black	48,5 °C 119 °F	44,8 °C 113 °F	34,9 °C 95 °F	24,6 °C 76 °F	22,9 °C 73 °F	
Holz / wood	36,8 °C 98 °F	34,4 °C 94 °F	29,9 °C 86 °F	25,2 °C 77 °F	23,1 °C 74 °F	
weiß / white	32,9 °C 91 °F	31,1 °C 88 °F	27,6 °C 82 °F	27,5 °C 82 °F	24,3 °C 76 °F	

Die "Daumenregel", dass 100 000 lux bei HCL-Strahlern mit ca. 40°C-45°C an einem dunklen Sonnenplatz einhergehen, sind hier erfüllt.

The "rule of thumb" that 100,000 lux for HCL lamps corresponds to approx. 40°C-45°C in a dark basking spot is fulfilled here.

6) Elektrischer Verbrauch

Der elektrische Verbrauch wird mit einem „Brennenstuhl Primera-Line Energiemessgerät PM 231 E“ gemessen. Die Spannung ist durch die Netzspannung vorgegeben. Leistung und Strom sind durch die Lampe bestimmt. Der Leistungsfaktor ist definiert als „reale absorbierte Leistung“ / „Scheinbare Leistung im Stromnetz“. Wegen der Belastung des Stromnetzes werden Industriekunden oft höhere Kosten berechnet, wenn der Leistungsfaktor klein ist. Für Privatkunden hat der Leistungsfaktor nur sehr geringe Bedeutung.

Spannung / voltage [V]	227
Leistung / power [W]	0,34
Strom / current [A]	77,4
Leistungsfaktor / Power factor	100

Die Leistungsaufnahme wird durch das elektronische Vorschaltgerät bestimmt. Sie entspricht den Erwartungen.

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 power consumption is determined by the electronic ballast. It meets expectations.

7) 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

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

Signal-zu-Rausch-Verhältnis durch eine hohe Intensität optimiert werden. Das Spektrum in verschiedenen Abständen hat die gleiche Form, lediglich die Gesamtintensität ändert sich.

7a) 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.

Die Grenzen der Wellenlängenbereiche sind je nach Fachbereich und Land unterschiedlich. DIN 5030 Teil 7 legt die Grenzen 280 – 315 nm (UVB) und 315 – 380 nm (UVA) fest. ISO 21348 definiert abweichend UVA als 315 – 400 nm. In den USA ist 320 nm als Grenze zwischen UVB und UVA gebräuchlicher. Ich werte zusätzlich die zur Regulation der Vitamin-D3-Bildung relevante UVA-Strahlung im Bereich 315 – 335 nm (ähnlich zu UVA2 = 320 – 340 nm) und das für Reptilien sichtbare UVA (je nach Art) etwa im Bereich 350 – 380 nm (ähnlich zu UVA1 = 340 – 400 nm) aus.

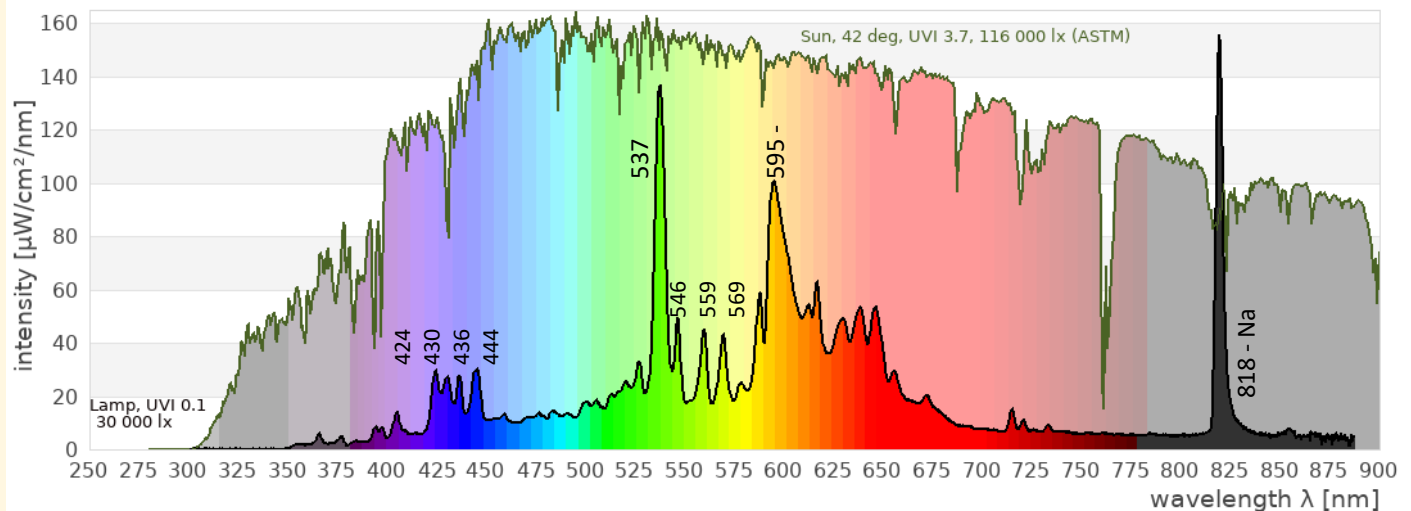
the spectrum does not depend on the distance, only the absolute intensity changes.

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.

The limits of the wavelength ranges differ depending on the discipline and country. DIN 5030 Part 7 defines the limits 280 - 315 nm (UVB) and 315 - 380 nm (UVA). ISO 21348 defines UVA differently as 315 – 400 nm. In the USA 320 nm is more common as the boundary between UVB and UVA.

I also evaluate the UVA radiation relevant to the regulation of vitamin D3 synthesis in the range 315 - 335 nm (similar to UVA2 = 320 - 340 nm) and the UVA visible to reptiles (depending on the species) in the range 350 - 380 nm (similar to UVA1 = 340 – 400 nm).



	Lamp	ASTM Reference Sun
UVB EU (280 – 315 nm)	0 %	0.1 %
UVB USA (280 – 320 nm)	0 %	0.2 %
UVA EU (315 – 380 nm)	0.8 %	4.7 %
UVA USA (320 – 380 nm)	0.8 %	4.6 %
UVA D3 regul. (315 – 335 nm)	0 %	0.9 %
UVA rept. vis. (350 – 380 nm)	0.8 %	2.8 %
VIS (380 – 780 nm)	87.4 %	80,2%
Full (250 – 880 nm)	100 %	100,0%
	50 cm	
UV Index	0.2	UVI 3,7
Lux	43 200	116 000 lx

Das Spektrum ist typisch für eine Keramik-Metallhalogeniddampflampe ohne UV.

The spectrum is typical for a ceramic metal halide lamp without UV.

7b) 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

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.

auch hier das Sonnenspektrum und dessen Wirkung auf die Zapfen gezeigt.

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

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

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

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

(x,y)	(0,42 ; 0,41)
CCT [Kelvin]	3266K
CRI	85,2
R1 (light grayish red)	91,4
R2 (dark grayish yellow)	89,1
R3 (strong yellow green)	73,4
R4 (moderate yellowish green)	90,1
R5 (light bluish green)	95,2
R6 (light blue)	90,5
R7 (light violet)	84,3
R8 (light reddish purple)	68,1
R9 (strong red)	22,0
R10 (strong yellow)	66,0
R11 (strong green)	91,1
R12 (strong blue)	72,1
R13 (light yellowish pink, human complexion)	91,8
R14 (moderate olive green)	82,9
R15 (Japanese complexion)	81,1
DC<5.4E-3	true

7c) 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.

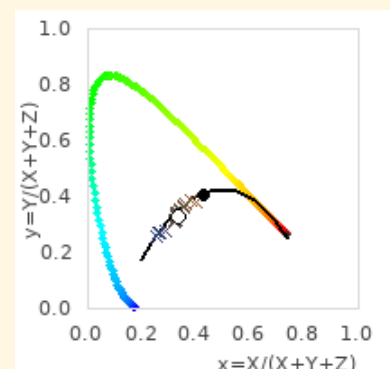
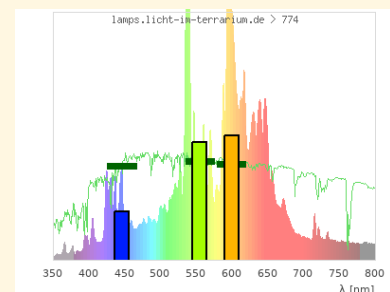
Die folgenden Grafiken zeigen das Spektrum im Bereich, der für Reptilien sichtbar ist, zusammen mit den Signalen, die vier Photorezeptoren erhalten würden. Die Empfindlichkeitskurven der vier Photorezeptoren sind Gaußförmig bei 560 nm, 497 nm, 440 nm und 380 nm. Diese Abschätzung basiert auf Studien

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 with warm colour to me. This matches the calculated CRI and CCT.

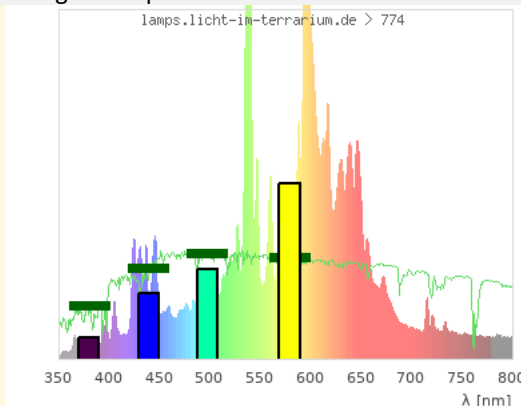


Spectrum visible to reptiles

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

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 7b). Die farbigen Kreuze kennzeichnen Farborte von verschiedenen Tageslichtphasen. Der schwarze Punkt zeigt den Farbort der Lampe. Ich glaube, dass diese Adaption des Farbortes mathematisch sinnvoll ist und Farbräume werden auch in der wissenschaftlichen Forschung zum Farbsehen von Tieren gemacht (Kelber2003), ich habe jedoch noch keine Anwendung auf Lichtquellen in der wissenschaftlichen Literatur gesehen. Nur sehr wenige Lampen bilden den sichtbaren Spektralbereich für Reptilien sonnenähnlich nach. Das sind manche Metallhalogeniddampflampen ohne UVB und sehr wenige Vollspektrum-Leuchtstofflampen. Die meisten UVB-Metallhalogeniddampflampen haben einen zu hohen UVA-Anteil, die meisten Leuchtstoffröhren einen zu geringen UVA-Anteil. Sie haben aus Reptiliensicht einen Farbstich (UVA oder Komplementärfarbe zu UVA). LEDs ohne UVA haben aus Reptiliensicht die gesättigte Komplementärfarbe zu UVA.



Aus Reptiliensicht wirkt das Spektrum halbwegs ausbalanciert, so dass das Licht einen weißlichen Eindruck erwecken dürfte. Der UVA-Anteil ist sehr gering, aber insgesamt ist der Anteil noch im Bereich des natürlichen Sonnenlichts

7d) 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 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. $36 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ pro 1.000 lux.

8) Intensitätsmessungen

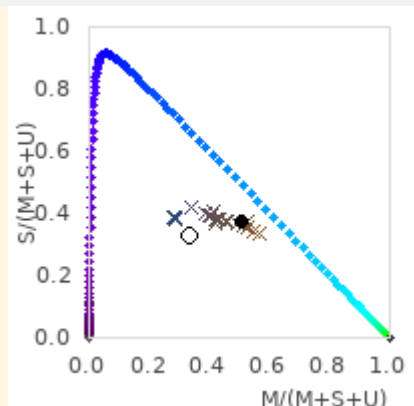
Intensitätsmessungen werden mit Breitbandmessgeräten durchgeführt. Gegenüber dem Spektrometer sind sie einfacher

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 7b). 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 roughly balanced, likely resulting in whiteish light. The amount of UVA is very low but overall still in the range of natural sunlight.

Blue Light Hazard

Licht 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 $36 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ per 1,000 lux.

Intensity measurements

Intensity measurements are performed using broadband meters. Compared to the spectrometer, these are easier to use

in der Anwendung und haben ein robustes Signal-zu-Rausch-Verhältnis und sich einfach in der Anwendung. Sie eignen sich daher gut, die räumliche Verteilung der UV-Strahlung und die Alterung der Lampen zu messen.

Um die Sensoren der unterschiedlichen Messgeräte in derselben definierten Position zur Lampe zu halten, dienen 3D-gedruckte Halterungen für die Messgeräte, die an einer Holzleiste angelegt werden.



Beleuchtungsstärke

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.

UV-Bestrahlungsstärke

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.

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.

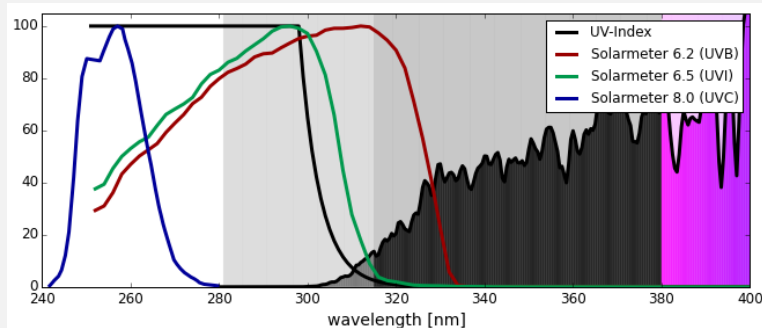
In order to keep the sensors of the different meters in the same defined position relative to the lamp, 3D-printed holders are used for the meters, which are aligned to a wooden ridge

Illuminance

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.

UV Irradiance



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 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.

Im März 2023 fand auf der Tagung der British Herpetological Society (BHS) und Advancing Herpetological Husbandry (AHH) ein großer Solarmeter-Vergleich statt (Griffiths & Wunderlich 2023). Die 69 Messgeräte hatten eine Standardabweichung von 12% (310-nm-LED), 16% (Mischlichtlampen), 16% (HQI) und 19% (Leuchtstofflampe). Von 13 Solarmeter UVB-Messgeräten war die Standardabweichung 20%, 18%, 11%, 11%. Meine eigenen Messgeräte messen nahe am Mittelwert.

• **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.

In March 2023, a major Solarmeter comparison took place at the meeting of the British Herpetological Society (BHS) and Advancing Herpetological Husbandry (AHH) (Griffiths & Wunderlich 2023). The 69 meters had a standard deviation of 12% (310 nm LED), 16% (self-ballasted mercury vapour lamp), 16% (metal halide) and 19% (fluorescent lamp). From 13 Solarmeter UVB meters, the standard deviation was 20%, 18%, 11%, 11%. My own meters read close to the mean.

		LED 310 nm	MLR	HQI	Fluorescent
Solarmeter UV-Index	n	69	69	69	69
	my meter	15,1	10,8	5,5	6,4
	std	12%	16%	16%	19%
	mean	16,5	13,1	5,1	7,9
	min	9,5	6,9	4,3	2,0
	max	21,5	20,0	10,4	10,3
Solarmeter $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ UVB	n	13	13	13	13
	my meter	275	183	215	121
	std	20%	18%	11%	11%
	mean	245	170	201	117
	min	165	119	164	98
	max	334	244	240	152

Infrarotstrahlung

Infrarotstrahlung führt zusammen mit sichtbarer Strahlung zu einer Temperaturerhöhung. Infrarot-A-Strahlung hat darüber hinaus aber eine Wirkung auf zellulärer Ebene (z.B. Wundheilung) und hat eine besondere Tiefenwirkung, so dass tiefe Gewebsschichten erwärmt werden. Auch hierfür gibt es Messgeräte. Die Interpretation der Messwerte ist jedoch deutlich schwieriger als bei den Messgeräten für Lux, UVI oder UVB: Die Messgeräte sind „Solar Power Messgeräte“, die für das Sonnenlicht einen Wert von etwa 1000 W/m² anzeigen, also den gemessenen Wert im Infrarot umrechnen auf das gesamte Sonnenspektrum. Diese Umrechnung führt natürlich zu völlig bedeutungslosen Zahlen für künstliche Lichtquellen.

- **RS PRO Solar Power Meter ISM400:** Misst im Bereich 400 – 1100 nm mit einer maximalen Empfindlichkeit bei ca. 950 nm. Zufällig(!) stimmt der angezeigte Wert bei Glühlampen ungefähr mit dem tatsächlichen IRA-Wert (700 – 1400 nm) überein. Manchmal nutze ich aus den ISM400 Messwert nach einem Filter, der nur sichtbare, aber keine Infrarotstrahlung, transmittiert (heliopan ES 52).
- **Linshang LS122 Solar Power Meter:** Misst im Bereich 1000 nm - 1700 nm mit einer maximalen Empfindlichkeit bei ca. 1400 nm.

Infrared Radiation

Infrared radiation, together with visible radiation, leads to an increase in temperature. Infrared A radiation also has an effect on a cellular level (e.g. wound healing) and has a special “heat penetration” effect, so that deep layers of tissue are heated. There are meters for this too. However, interpreting the measured values is much more difficult than with meters for Lux, UVI or UVB: The meters are “solar power meters” that show a value of around 1000 W/m² for sunlight, i.e. convert the measured value in the infrared to the estimated radiation in the entire solar spectrum. Of course, this conversion leads to completely meaningless numbers for artificial light sources.

- **RS PRO Solar Power Meter ISM400:** Measures in the range 400 - 1100 nm with a maximum sensitivity at approx. 950 nm. Coincidentally (!) the displayed value for incandescent lamps approximately corresponds to the actual IRA value (700 - 1400 nm). Sometimes I use the ISM400 reading after a filter that only transmits visible radiation but no infrared radiation (heliopan ES 52).
- **Linshang LS122 Solar Power Meter:** Measures in the range 1000 nm - 1700 nm with a maximum sensitivity at approximately 1400 nm.

8a) Maximale Bestrahlungsstärke in verschiedenen Abständen

Maximum irradiance in different distances

Age [h]	0,5						
Distance [cm]	5	10	15	20	25	30	...
Luxmeter [lx]	OL	OL	OL	345.000	238.700	169.000	...
ISM400 [W/m ²]	OL	OL	OL	1.480	1.002	714
ISM400 mit VIS (ES52) Filter				740,0	500,0	355,0	...
LS122 [W/m ²]	3.310	1.817	1.110	708	484	343	...

Solarmeter 6.2 UVB [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]	4								
Solarmeter 6.5 UVI	0								
Solarmeter 8.0 UVC [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]	0,0								

Distance [cm]	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Luxmeter [lx]	97.730	63.300	44.210	32.820	25.300	20.300	16.250	13.500	11.469
ISM400 [W/m^2]	410	266	188	139	108	84	70	59	50
ISM400 mit VIS (ES52) Filter	204,0	131,0	93,0	66,6	53,0	42,0	34,0	29,0	24,5
LS122 [W/m^2]	197	129	91	67	52	40	34	28	24

8b) Infrarot-Verhältnisse

Das Verhältnis Lux : ISM400 zeigt an, wie die Strahlung im Bereich 400-800 nm relativ zur Strahlung im Bereich 800 – 1100 nm verteilt ist. Je größer die Zahl, desto stärker ist die Strahlung im sichtbaren Bereich konzentriert.

Das Verhältnis LS122 : ISM400 zeigt an, wie die Strahlung im Bereich 1000 – 1700 nm relativ zur Strahlung im Bereich 400 – 1100 nm verteilt ist. Je größer die Zahl, desto mehr Strahlung ist im langwelligeren Infrarotbereich.

Referenzwerte für typische Lampen mit sehr unterschiedlichen Infrarotspektren sind: (*Achtung – Referenzwerte nicht final*)

	LUX : ISM400	ISM400+VIS : ISM400 * 100	LS122 : ISM400
Sonnenlicht / Sunlight	90-100		0.35-0.60
LED	500		0.1
Glühlampe / incandescent	8-16	5-9	1.3-1.6
Carbon Emitter	0.01	0.01	20-60
Osram HCI 930	235	59	0,48

Das Spektrum dieser Lampe ist relativ zum Sonnenspektrum deutlich stärker im sichtbaren Bereich konzentriert (235 vs. 100 LUX : ISM400)

Eldevidge2010 enthält das Spektrum einer Sylvania 64417 METALARC PRO-TECH 100W, das im sichtbaren Bereich sehr gut mit der hier getesteten Lampe übereinstimmt.

Infrared-Ratios

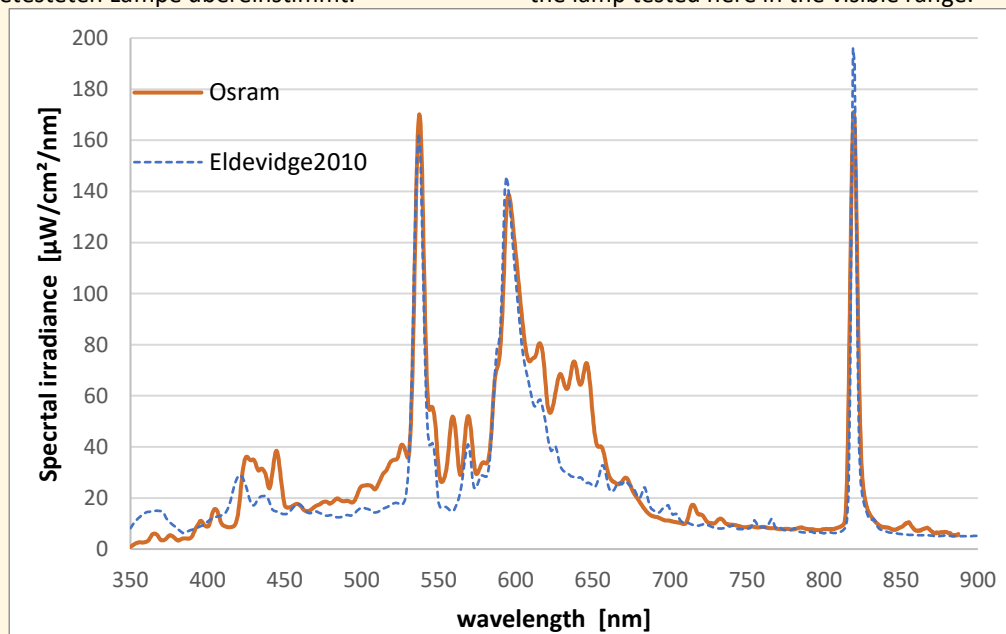
The Lux : ISM400 ratio shows how the radiation is distributed in the 400-800 nm range relative to the 800 - 1100 nm range. The larger the number, the more concentrated the radiation is in the visible range.

The ratio LS122 : ISM400 shows how the radiation is distributed in the 1000 - 1700 nm range relative to the 400 - 1100 nm range. The larger the number, the more radiation there is in the longer wavelength infrared range.

Reference values for typical lamps with very different infrared spectra are: (*Caveat: Reference values not final*)

The spectrum of this lamp is significantly more concentrated in the visible range relative to the solar spectrum (235 vs. 100 LUX: ISM400)

Eldevidge2010 contains the spectrum of a Sylvania 64417 METALARC PRO-TECH 100W, which corresponds very well to the lamp tested here in the visible range.

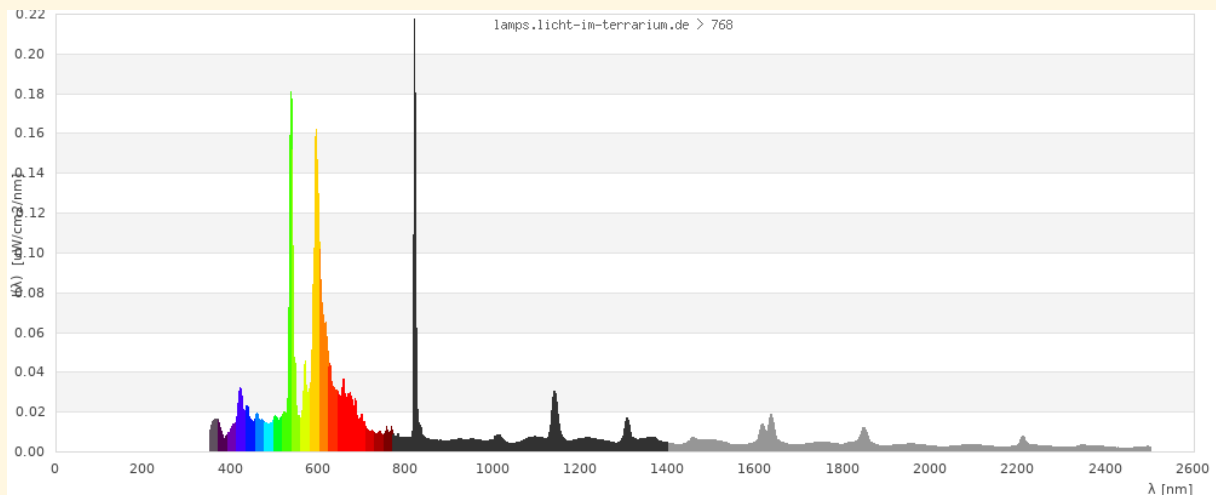


Ich gehe daher davon aus, dass auch das Infrarotspektrum sehr ähnlich sein wird. Auch hier wird deutlich, dass die Lampe mehr sichtbaren Anteil im Spektrum hat als das Sonnenlicht

I therefore assume that the infrared spectrum will also be very similar. Here, too, it becomes clear that the lamp has more visible light in the spectrum than sunlight (48% vs. 43%) and a

(48% vs. 43%) und einen höheren Infrarot-B-Anteil (21% vs. 10% - tatsächlich sogar höher, da die Messwerte bei 2500 nm enden)

higher proportion of infrared B (21% vs. 10% - actually even higher, since the measured values are at 2500 nm ends)



	Lamp	ASTM Reference Sun
VIS (400 – 700 nm)	48 %	43 %
IRA (700 – 1400 nm)	28 %	41 %
IRB* (1400 – 2500 nm)	21 %	10 %
total (400 – 2500 nm)	100 %	100 %

Anhand des Spektrums gehe ich davon aus, dass ein ISM400 Messwert von $100 \text{ W}/\text{m}^2$ etwa einem tatsächlichen IRA-Wert von ca. $37 \text{ W}/\text{m}^2$ entspricht, wohingegen bei Glühlampen ein ISM400-Messwert von $100 \text{ W}/\text{m}^2$ einem tatsächlichen IRA-Wert von ca. $100 \text{ W}/\text{m}^2$ entspricht.

Based on the spectrum, I assume that an ISM400 reading of $100 \text{ W}/\text{m}^2$ corresponds to an actual IRA value of around $37 \text{ W}/\text{m}^2$. Whereas for incandescent lamps, an ISM400 reading of $100 \text{ W}/\text{m}^2$ corresponds to an actual IRA value of around $100 \text{ W}/\text{m}^2$.

8c) Iso-Bestrahlungsstärke-Karte IRA

Die Bestrahlungsstärke wird in einer senkrechten Ebene unter der Lampe mit dem ISM400 gemessen und Linien gleicher Bestrahlungsstärke ermittelt. Diese Iso-Bestrahlungsstärke-Karten zeigen an, für Tiere welcher Körpergröße die Lampe geeignet ist.

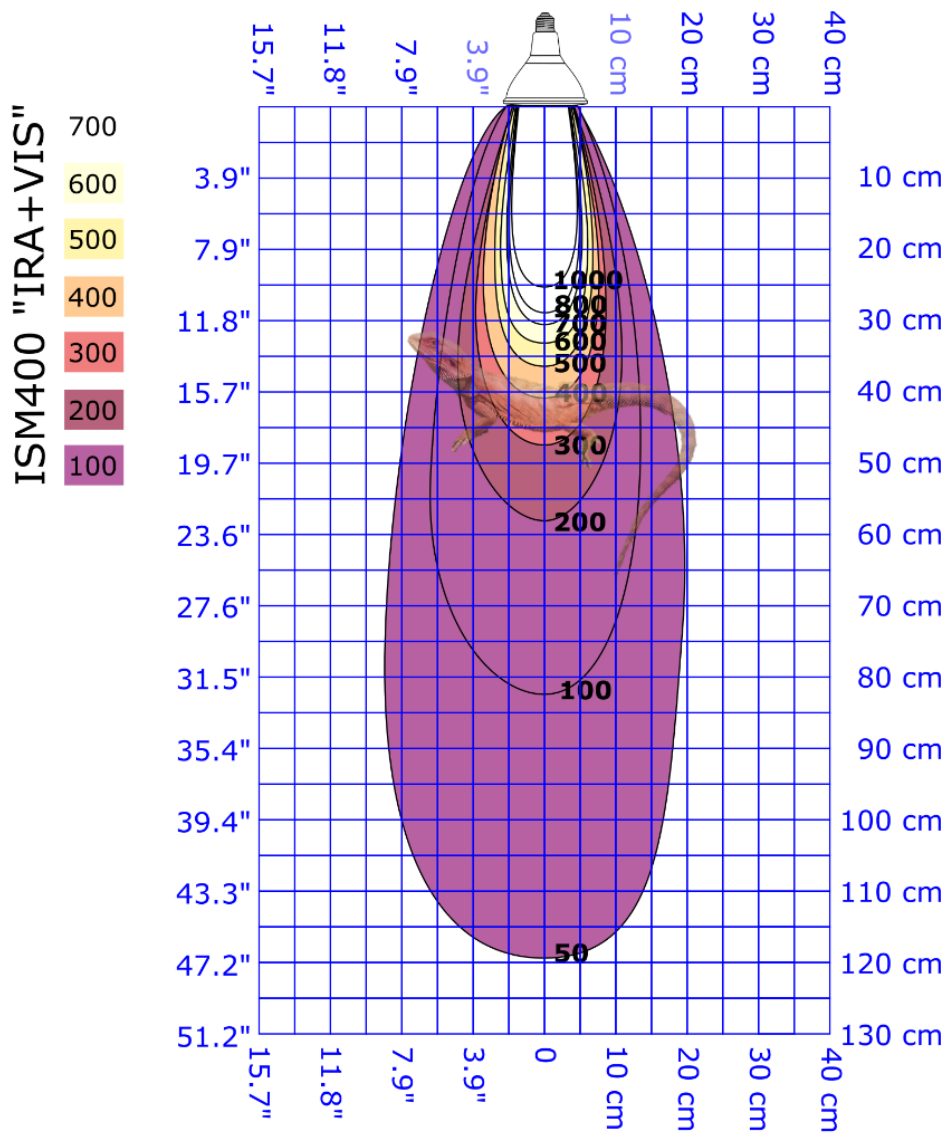


Iso-Irradiance Charts IRA

The irradiance is measured with the ISM400 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.



Osram Powerball HCI-PAR30 70W/930



1 h burn in, 02/2024, ID SW85, © Sarina Wunderlich, www.licht-im-terrarium.de
 Bearded Dragon / Bartagame: 25 cm SVL / KRL

Die räumliche Verteilung ist typisch für PAR30-Strahler. Da es sich nicht um eine Halogenlampe handelt, gilt, dass der ISM400-Messwert **NICHT** dem IRA-Wert entspricht und dass 200-350W/m² **KEIN** empfohlener Wert ist.

The spatial distribution is typical for PAR30 spotlights. Since this is not a halogen lamp, the ISM400 reading does **NOT** correspond to the IRA value and 200-350W/m² is **NOT** a recommended value.

9) 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.

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.

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

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

10) Zitierte Literatur

Literature Cited

- 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).
- Dobbison, 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.
- Griffiths, T., Wunderlich, S. 2023 Radiometer Test data review <https://bit.ly/42b2Jdr>
- 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., 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.
- 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.