

Test-Report 01/2023

Seoul SunLike LED

LEDVANCE Sun@HOME 9W Classic A40 E27

1) Zusammenfassung

- Die LED-Serie Seoul SunLike und deren Umsetzung in der LEDVANCE Sun@Home Lampe machen auf mich einen guten Eindruck und bieten hochwertiges Licht mit hohem CRI und Farbtemperaturen, die dem Sonnenlicht über den Tag entsprechen.
- Für Reptilien reicht das Spektrum nicht weit genug in den UVA-Bereich hinein, um ein volles Farbsehen zu ermöglichen. Der Vorteil gegenüber Standard-LEDs ist vernachlässigbar.

1) Zusammenfassung	1
2) Beschreibung der Lampe.....	1
3) Visuelle Lichtverteilung und Flicker	2
4) Elektrischer Verbrauch	2
5) Spektrale Messung.....	3
5a) Beurteilung des Gesamtspektrums	3
5b) Für den Menschen sichtbares Spektrum	5
5c) Für Reptilien sichtbares Spektrum	7
6) Einschränkungen	8
7) Zitierte Literatur	9

Summary

- The Seoul SunLike LED series and their implementation in the LEDVANCE Sun@Home lamp make a good impression on me and offer high quality light with high CRI and colour temperatures matching that of the sunlight over the day.
- For reptiles the spectrum does not extend far enough into the UVA to enable full colour vision. The benefit compared to standard LEDs is negligible.

... Summary
... Lamp Description
... Visible Light Distribution and Flicker
... Power Consumption
... Spectral Measurement
..... Review of the spectrum
..... Spectrum visible to humans
..... Spectrum visible to reptiles
... Limitations
... Literature cited

2) Beschreibung der Lampe

Eine LEDVANCE Sun@HOME 9W Classic A40 E27 Lampe wurden von mir aus eigenem Interesse gekauft. Es handelt sich um eine E27 Lampe in Glühlampenform (A40), bei der mittels App über WIFI Farbtemperatur und Helligkeit eingestellt werden kann.

Die Lampe ist als 9W, CRI95, 750 lm, 2200 K – 5000 K spezifiziert. Die Lampe wird intern (auch in der Messdatenbank) unter der Bezeichnung SW49 ([link](#)) geführt. In der App lassen sich sechs voreingestellte Farbtemperaturen auswählen. Außerdem ist es möglich die Farbtemperatur und Helligkeit stufenlos zu regeln und im Tagesverlauf oder als Aufwach- und Einschlaflicht automatisch regeln zu lassen.

Die Lampe nutzt die SunLike LED-Reihe der Marke Seoul (<http://www.seoulsemicon.com/en/technology/sunlike>), die bereits seit einigen Jahren für ihr sehr sonnenähnliches Spektrum mit variabler Farbtemperatur bekannt sind. Die SunLike-LEDs werden mit zahlreichen positiven Wirkungen auf Gesundheit und Wohlbefinden beworben.

Die Dioden sind auch direkt erhältlich und können in verschiedene Produkte eingebaut werden. Z.B. als 3030B-SUNLIKE-Serie in verschiedenen Ausführungen mit 6500 K, 5700 K, 5000 K, 4000 K, 3000 K, und 2700 K.

Lamp Description

I bought an LEDVANCE Sun@HOME 9W Classic A40 E27 lamp out of my own interest.

It is an E27 lamp in the shape of an incandescent lamp (A40). The color temperature and brightness can be adjusted using an app via WIFI.

The lamp is specified as 9W, CRI95, 750lm, 2200K – 5000K. The lamp is listed internally (also in the measurement database) under the designation SW49 ([link](#)).

Six preset color temperatures can be selected in the app. It is also possible to regulate the color temperature and brightness steplessly and to have them regulated automatically during the course of the day or as a wake-up and sleep light.

The lamp uses the Seoul brand's SunLike LED range (<http://www.seoulsemicon.com/en/technology/sunlike>), which have been known for some years for their very sun-like spectrum with variable color temperature. The SunLike LEDs are advertised with numerous positive effects on health and well-being.

The diodes are also available directly and can be built into various products. E.g. as 3030B-SUNLIKE series in different versions with 6500 K, 5700 K, 5000 K, 4000 K, 3000 K, and 2700 K.

3) 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 Opplé 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 OppléLightmaster gültig ist. Vögel haben jedoch eine sehr viel höhere Flimmerfusionsfrequenz.

Visible Light Distribution and Flicker

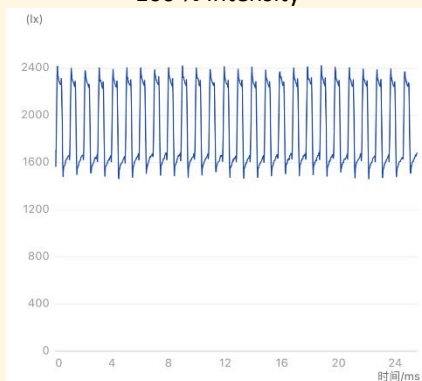
The distribution of visible light is visualized by a photo of a white illuminated area. If difference between visible and UVA spectrum are expected, this photo is also taken with a UVA camera (Sony NEX-6 with removed UV/IR-cutoff filter in front of the CCD sensor; ZEISS Touit 1.8/32 lens; heliopan UG1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

For flicker evaluation an Opplé 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.

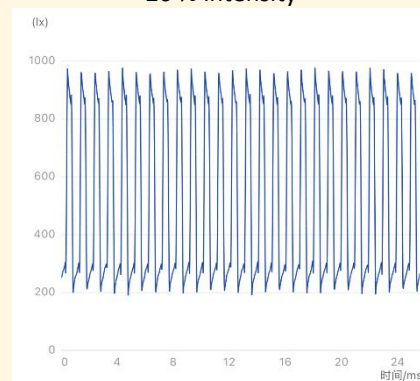
According to various studies, reptiles and amphibians appear to have a lower or similar fibrillation fusion frequency to humans. I therefore assume that the opinion of the OppléLightmaster is valid for reptiles. However, birds have a much higher flicker fusion frequency.

Intensity	100 %	50 %	20 %	1 %
Lux	1903	1029	520	183
Flicker index	0,0860	0,1666	0,2784	0,4620
Modulation depth [%]	22,30	41,37	62,00	89,56
Frequency [Hz]	1007	1007	1007	1007

100 % intensity



20 % intensity



4) Elektrischer Verbrauch

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

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.

Spannung / voltage [V]	234
Leistung / power [W]	9,2
Strom / current [A]	0,06
Leistungsfaktor / Power factor	65

Die Leistungsaufnahme stimmt mit der Herstellerangabe überein. Im maximal gedimmten Betrieb reduzierte sich die Leistungsaufnahme auf 1,4 W.

The power consumption corresponds to the manufacturer's specification. In maximum dimming mode, the power consumption is reduced to 1.4 W.

5) Spektrale Messung

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

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

5a) Beurteilung des Gesamtspektrums

Das Spektrum wird 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.

Das Spektrum wurde für die sechs Farbtemperatureinstellungen der App gemessen.

Spectral Measurement

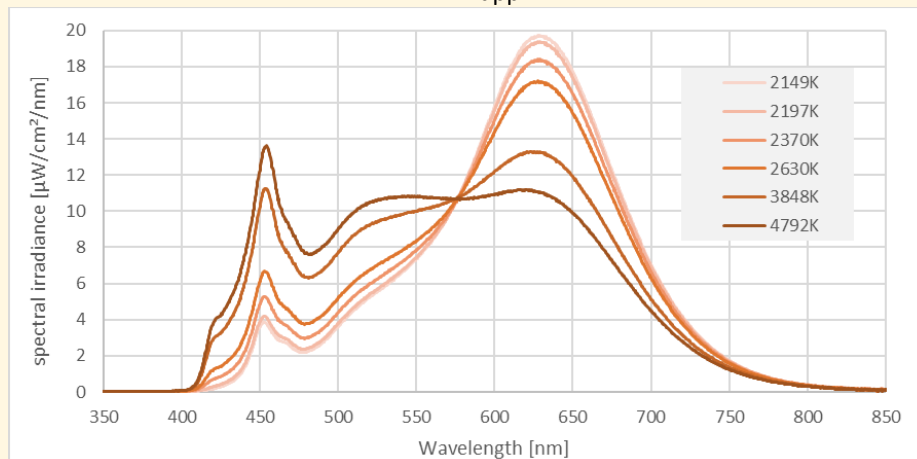
Spectral measurements are taken with an “Ocean Optics USB 2000+” spectrometer with cosine corrector. It is calibrated for wavelength and absolute irradiance. The measurement range is 250 nm to 880 nm with a resolution of 0.38 nm.

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

Review of the spectrum

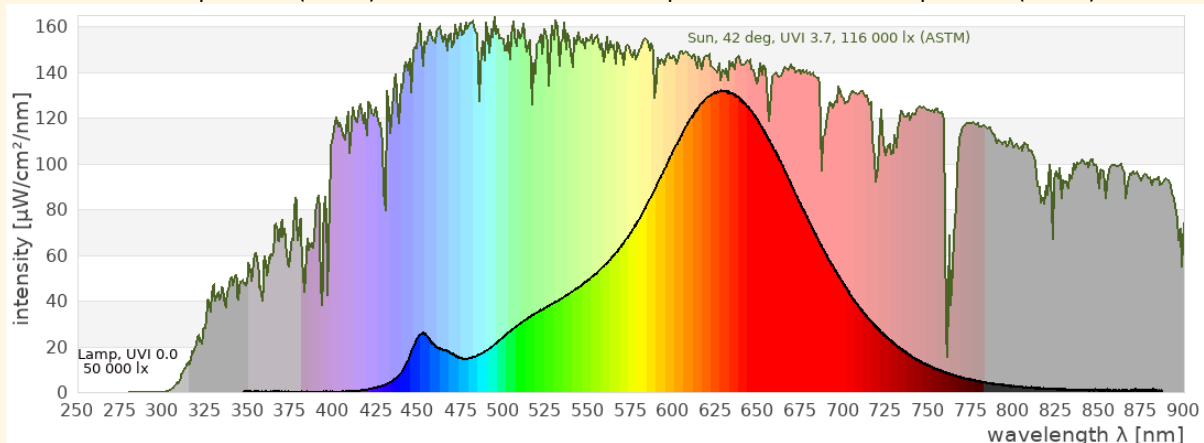
The spectrum is shown relative to the ASTM solar reference spectrum. This enables comparison of the spectral power distribution of the lamp with that of natural sunlight. Natural sunlight has a completely continuous spectrum from a threshold around 295 nm.

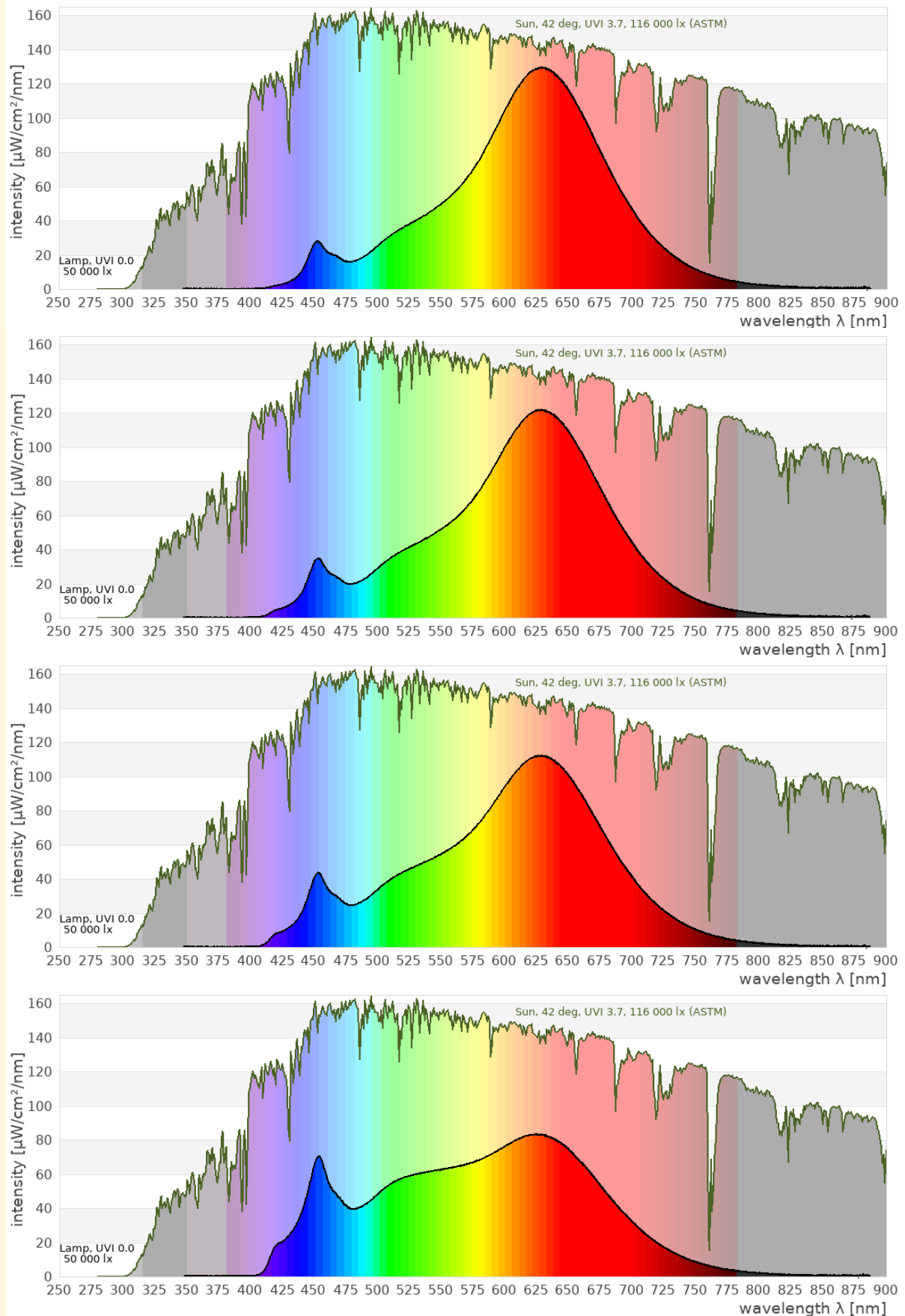
The spectrum was recorded for the six colour settings in the app.

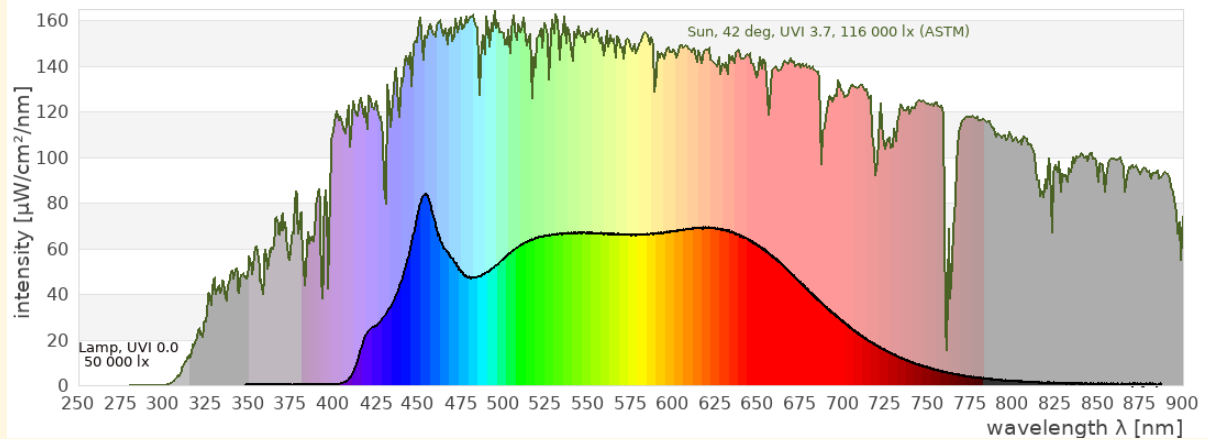


Die folgenden sechs Graphen zeigen das jeweilige Spektrum im Vergleich mit dem Sonnenspektrum (ASMT)

The following six graphs show the respective spectrum in comparison with the solar spectrum (ASMT)

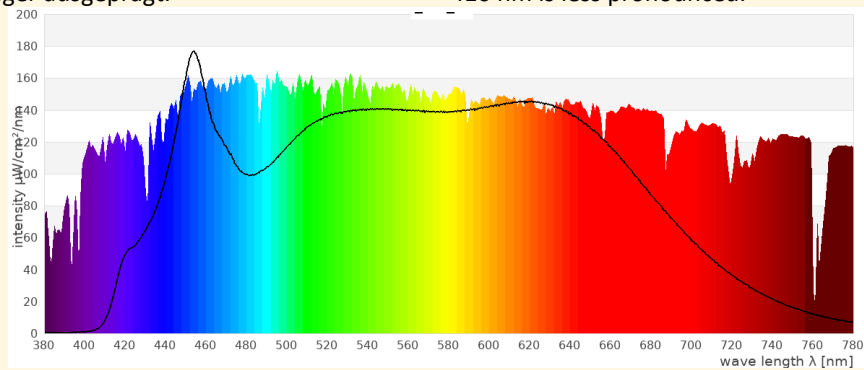






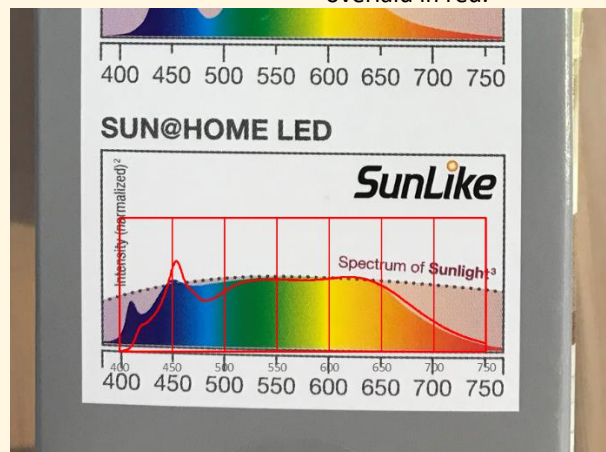
Auf der Verpackung wird das Spektrum mit dem Sonnenlicht verglichen. Die Grafik lässt sich näherungsweise reproduzieren, jedoch ist bei meiner Messung der Peak bei 450 nm deutlicher und der bei 410 nm weniger ausgeprägt.

On the packaging, the spectrum is compared to sunlight. The graphic can be reproduced approximately, but in my measurement the peak at 450 nm is more dominant and that at 410 nm is less pronounced.



Das folgende Foto des Verpackungskartons zeigt in rot überlagert meine Messung mit der höchsten einstellbaren Farbtemperatur.

The following photo of the packaging box shows my measurement with the highest adjustable color temperature overlaid in red.



5b) Für den Menschen sichtbares Spektrum

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

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

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

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.

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.

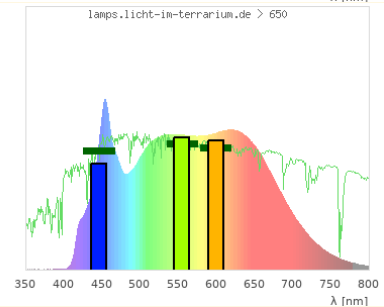
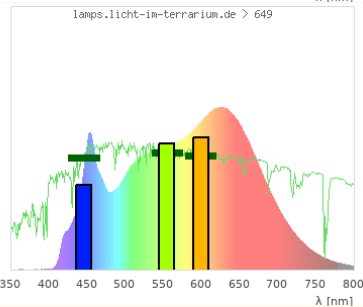
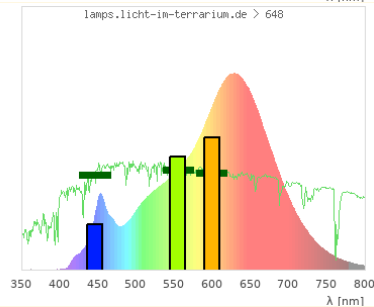
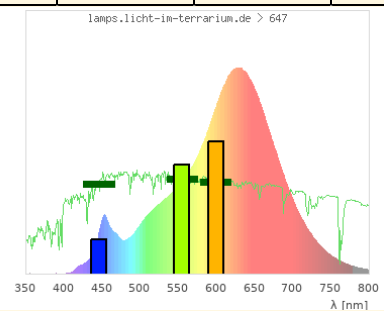
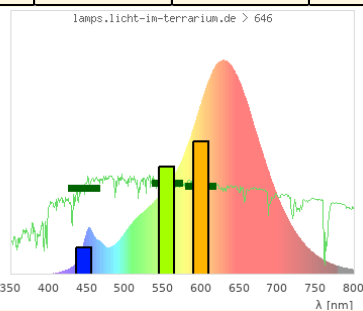
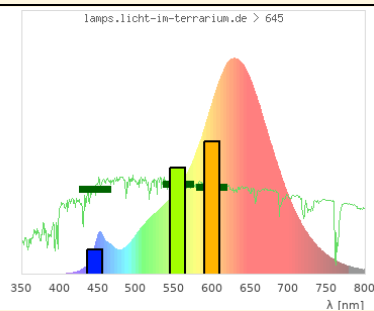
Aus menschlicher Perspektive empfinde ich das Licht bei allen Farbtemperaturen als sehr angenehm.

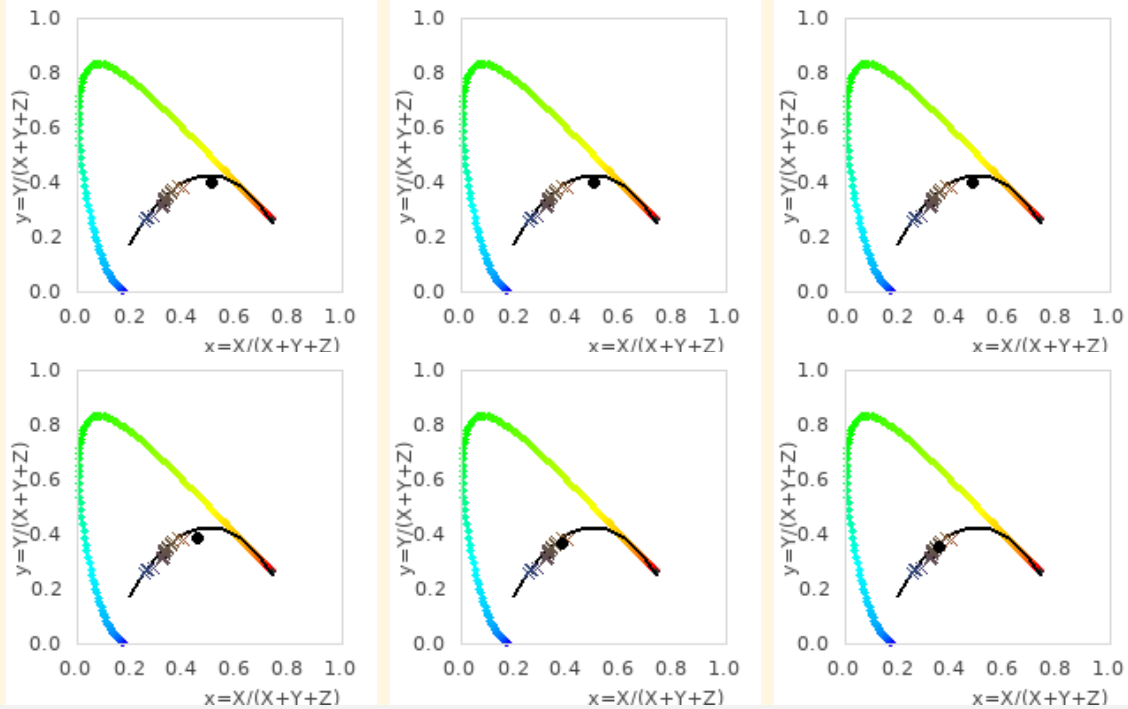
The CIE colour triangle shows the colour coordinates of the primary colours as coloured line, the colour coordinates of different phases of daylight as crosses, the colour coordinates of black body radiators as black line and the colour coordinate of the lamp as black dot.

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.

From a human perspective, I find the light very pleasant at all color temperatures.

(x,y)	(0,5 ; 0,4)	(0,5 ; 0,4)	(0,48 ; 0,4)	(0,45 ; 0,39)	(0,38 ; 0,37)	(0,35 ; 0,36)
CCT [Kelvin]	2149K	2197K	2370K	2630K	3848K	4792K
CRI	92,2	92,5	93,5	94,2	97,4	97,0
R1 (light grayish red)	94,9	95,7	98,1	98,6	97,3	97,4
R2 (dark grayish yellow)	98,9	98,5	97,2	96,1	97,9	98,2
R3 (strong yellow green)	95,2	95,0	94,9	95,5	98,4	97,4
R4 (moderate yellowish green)	94,2	94,7	96,4	97,0	97,8	97,3
R5 (light buish green)	96,8	97,7	99,2	97,1	97,3	96,8
R6 (light blue)	93,0	92,4	90,9	90,4	95,3	96,5
R7 (light violet)	86,8	87,1	88,4	90,6	97,1	97,5
R8 (light reddish purple)	77,5	78,8	82,9	88,1	97,7	94,9
R9 (strong red)	58,6	61,1	69,7	79,7	96,2	87,2
R10 (strong yellow)	98,6	97,8	95,0	92,8	97,1	94,8
R11 (strong green)	97,1	97,0	96,0	94,3	95,2	97,6
R12 (strong blue)	88,5	87,6	85,5	85,1	88,7	81,7
R13 (light yellowish pink, human complexion)	96,8	97,6	98,9	97,2	97,2	97,8
R14 (moderate olive green)	98,6	98,5	98,4	98,6	98,5	98,2
R15 (Japanese complexion)	89,2	90,4	93,9	97,7	97,8	96,0
DC<5.4E-3	true	true	false	false	true	true





5c) Für Reptilien sichtbares Spektrum

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

Die folgenden Grafiken zeigen das Spektrum im Bereich, der für Reptilien sichtbar ist, zusammen mit den Signalen, die vier Photorezeptoren erhalten würden. Die Empfindlichkeitskurven der vier Photorezeptoren sind Gaußförmig bei 560 nm, 497 nm, 440 nm und 380 nm. Diese Abschätzung basiert auf Studien zum Farbsehen von Reptilien. In Grün sind das Spektrum der Sonne und deren Signale auf die Photorezeptoren gezeichnet. Basierend auf den UV-, Blau- und Grün-Rezeptor wird ein Farbraum berechnet analog zum CIE Farbraum des menschlichen Betrachters (siehe 5b). Die farbigen Kreuze kennzeichnen Farborte von verschiedenen Tageslichtphasen. Der schwarze Punkt zeigt den Farbort der Lampe.

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

Nur sehr wenige Lampen bilden den sichtbaren Spektralbereich für Reptilien sonnenähnlich nach. Das sind manche Metallhalogeniddampflampen ohne UVB und sehr wenige Vollspektrum-Leuchtstofflampen. Die meisten UVB-Metallhalogeniddampflampen haben einen zu hohen UVA-Anteil, die meisten Leuchtstoffröhren einen zu geringen UVA-Anteil. Sie haben aus Reptiliensicht einen Farbstich (UVA oder Komplementärfarbe zu UVA). LEDs ohne UVA haben aus Reptiliensicht die gesättigte Komplementärfarbe zu UVA.

Spectrum visible to reptiles

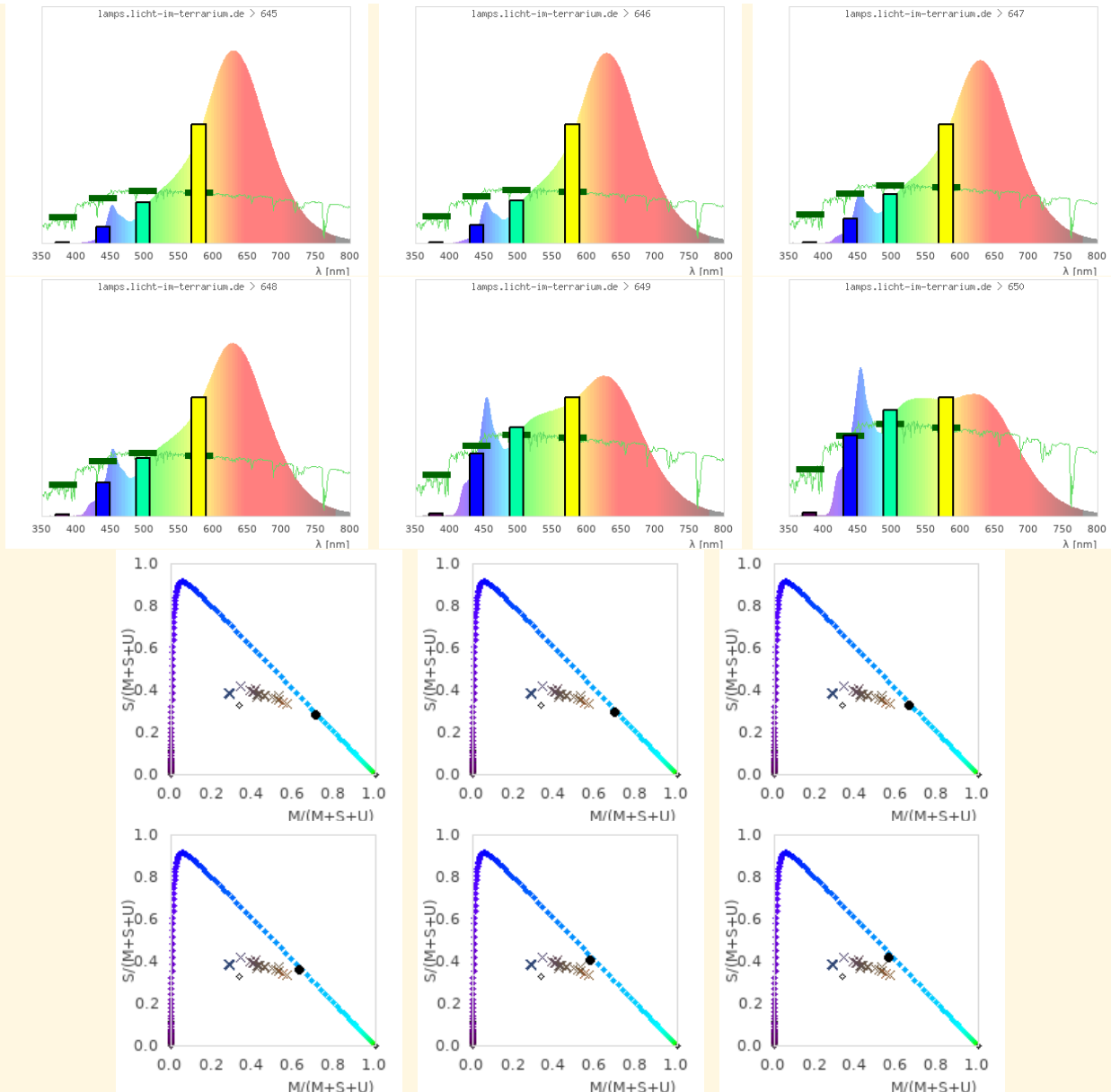
While humans have three photo receptors (blue, green, orange/red), reptiles have three (uva, blue, green) or four (uva, blue, green, red). The colour vision of reptiles therefore differs fundamentally from the colour vision of humans. Especially the UVA range is necessary so that all photo receptors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

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

Based on the UV, blue and green photo receptors a colour space is calculated in analogy to the CIE colour space for the human observer (see 5b). The coloured crosses indicate the colour coordinates of different phases of daylight. The black dot shows the colour coordinate of the lamp.

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

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



Das Spektrum dieser LED-Reihe erstreckt sich weiter zu kurzen Wellenlängen als das Spektrum der typischen Standard-LEDs. Trotzdem ist der für Reptilien sichtbare UVA-Bereich nicht ausreichend abgedeckt, um für Reptilien ein unverfälschtes Farbsehen zu ermöglichen. Der Farbpunkt befindet sich außerhalb des Tageslichtbereichs.

The spectrum of this series of LEDs extends further into short wavelengths than the spectrum of typical standard LEDs. Nevertheless, the UVA range visible to reptiles is not sufficiently covered to enable reptiles to see unadulterated color. The color point is outside the daylight range.

6) 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.

7) 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).
- Dobbinson, S., Niven, P., Buller, D., Allen, M., Gies, P. & Warne, C. (2016) Comparing Handheld Meters and Electronic Dosimeters for Measuring Ultraviolet Levels under Shade and in the Sun. Photochemistry and Photobiology, 92 208–214.
- Ferguson, G. W., Brinker, A. M., Gehrmann, W. H., Bucklin, S. E., Baines, F. M. & Mackin, S. J. (2009) Voluntary exposure of some western-hemisphere snake and lizard species to ultraviolet-B radiation in the field: how much ultraviolet-B should a lizard or snake receive in captivity? Zoo Biology, 28.
- Holick, M. F. (2016) Biological Effects of Sunlight, Ultraviolet Radiation, Visible Light, Infrared Radiation and Vitamin D for Health. Anticancer Research, 36 1345–1356.
- Kelber, A., Vorobyev, M. & Osorio, D. (2003) Animal colour vision - behavioural tests and physiological concepts. Biological Reviews, 78 81–118.
- Lindgren, J., Gehrmann, W. H., Ferguson, G. W. & Pinder, J. E. (2008) Measuring Effective Vitamin D3-Producing Ultraviolet B Radiation Using Solartech's Solarmeter® 6.4 Handheld, UVB Radiometer. Bulletin of the Chicago Herpetological Society, 43 57–62.
- MacLaughlin, J., Anderson, R. & Holick, M. F. (1982) Spectral character of sunlight modulates photosynthesis of previtamin D3 and its photoisomers in human skin. Science, 216 1001–1003.
- Setlow, R. B. (1974) The wavelengths in sunlight effective in producing skin cancer: a theoretical analysis. Proceedings of the National Academy of Sciences, 71 3363–3366.
- Guidelines on Limits of Exposure to Broad-Band Incoherent Optical Radiation (0.38 to 3µm). (1997) Health Physics, 73 539–554.