

Test-Report 05/2023

Solarmeter Ratio for UV Metal Halide Lamps Solarmeter-Verhältnis für UV Metalldampf Lampen

1) Zusammenfassung

- Hier werden die Spektren von UV-Metallhalogeniddampflampen verglichen, die bei mir Solarmeter-Verhältnisse zwischen 22 und 40 haben.
- Lampen mit geringem Solarmeter-Verhältnis haben mehr Intensität in den 297-nm- und 303-nm-Linien als die Lampen mit großem Verhältnis (Abschnitt 4).
- In Abschnitt 3b) werden die Messwerte in den Kontext eines Vergleichs vieler Solarmeter gesetzt.
- Ich halte es für wahrscheinlich, dass das Solarmeter-Verhältnis eine Vorhersage der Vitamin-D3-Bildung macht (Abschnitt 4b). Es wäre wünschenswert, wenn es hier mehr Studien gäbe.
- Ich vermute, dass alle hier gezeigten Lampenspektren im Gegensatz zu den Spektren von z.B. 308-nm-LEDs nicht so negativ auf das Vitamin-D3-Gleichgewicht wirken, dass eine Gesundheitsgefahr bestehen könnte. Trotzdem wäre es wünschenswert, wenn das durch Tierversuche bestätigt würde.

1)	Zusammenfassung	1
2)	Testanlass	2
3)	Intensitätsmessungen	2
3a)	Maximale Bestrahlungsstärke in verschiedenen Abständen	3
3b)	Variation der Solarmeter-Messwerte	4
3c)	Solarmeter-Verhältnis	4
4)	Spektrale Messung	5
4a)	UV-Spektrum (Vitamin D3)	7
4b)	Solarmeter-Verhältnis und Vitamin-D3-Bildung	10
5)	Einschränkungen	10
6)	Zitierte Literatur	11

Summary

- Here the spectra of UV metal halide vapor lamps are compared, which have Solarmeter ratios between 22 and 40 for my set of meters.
- Low solar meter ratio lamps have more intensity in the 297 nm and 303 nm lines than the high ratio lamps (Section 4).
- In section 3b) the measured values are placed in the context of a comparison of many solar meters.
- I think it is likely that the Solarmeter ratio predicts vitamin D3 formation (Section 4b). It would be desirable if there were more studies here.
- I assume that all lamp spectra shown here, in contrast to the spectra of e.g. 308 nm LEDs, do not have such a negative effect on the vitamin D3 balance that there might be a health hazard. Nevertheless, it would be desirable if this was confirmed by animal experiments.

...	Summary
...	Reason for Test
...	Intensity Measurements
.....	Maximum irradiance in different distances
.....	Variation of Solarmeter Readings
.....	Solarmeter Ratio
...	Spectral Measurement
.....	UV Spectrum (vitamin D3)
.....	Solarmeter Ratio and D3 Synthesis
...	Limitations
...	Literature cited

2) Testanlass

Anlass für den Test war ein auffälliges Solarmeter-Verhältnis (<10) bei Econlux SolarRaptor UV-MH 70W Lampen bei einem Schildkrötenhalter im April 2023.

Drei Econlux SolarRaptor UV-MH 70W Lampen wurden direkt von Econlux kostenfrei für den Test zur Verfügung gestellt. Bei einer der drei Lampen soll es sich um die auffällige Lampe des Schildkrötenhalters handeln. Die Lampen erhielten die internen IDs SW68, SW69, SW70.

Außerdem wurden zwei Reptiles Expert 70 W Lampen aus einem früheren Test (SW22, SW23) in den Vergleich eingeschlossen.

3) Intensitätsmessungen

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

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

- Die UV-Bestrahlungsstärke wird mit Solarmeter UV-Radiometern gemessen. Diese Messgeräte haben sich in den letzten Jahren aufgrund des Preis-Leistungs-Verhältnisses durchgesetzt und werden von zahlreichen Terrarianern aber auch in der Wissenschaft und Feldforschung eingesetzt (Ferguson2009, Dobbins2016, 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.

Reason for Test

The reason for the test was a conspicuous Solarmeter ratio (<10) with Econlux SolarRaptor UV-MH 70W lamps at a turtle owner in April 2023.

Three Econlux SolarRaptor UV-MH 70W lamps were provided by Econlux free of charge for the test. One of the three lamps is said to be the conspicuous lamp of the turtle keeper. The lamps were given the internal IDs SW68, SW89, SW70.

Two Reptiles Expert 70W lamps from a previous lamp test (SW22, SW23) were also included in the comparison.

Intensity measurements

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

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

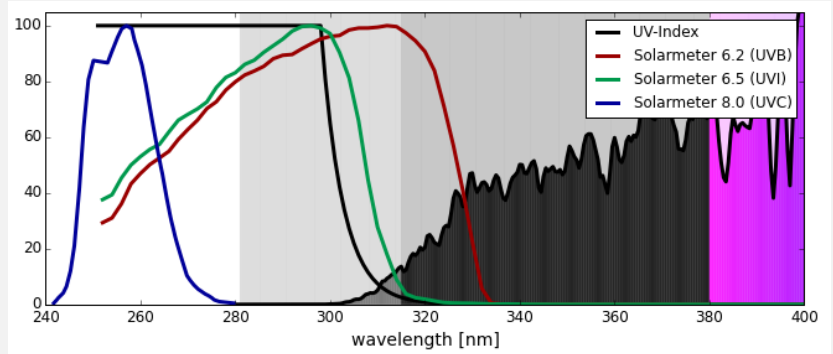
For comparison, direct solar readings only five minutes after sunrise reach 3,000 – 5,000 lux. In clear weather, mid-day direct solar readings of 120,000 to 150,000 lux are often seen.

The irradiance of UV light is measured with Solarmeter UV broadband meters. These broadband meters have become widely accepted within reptile keepers and scientific research due to their cost-performance ratio (Ferguson2009, Dobbins2016, 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.

3a) Maximale Bestrahlungsstärke in verschiedenen Abständen

Maximum irradiance in different distances



Alle Messwerte wurden zentral unter der Lampe gemessen, um bei allen Messgeräten exakt dieselbe Position sicher zu stellen.

All readings were taken centrally under the lamp to ensure the exact same position for all meters.



Lamp	Distance [cm]	30	40	45	50	60		45 ¹
Econlux SolarRaptor UV-MH 70W Lampe 1 (SW68)	Solarmeter 6.2 UVB [$\mu\text{w}/\text{cm}^2$]	347	224	200	166	123		158
	Solarmeter 6.5 UVI	15,5	10,2	8,9	7,4	5,5		13,5
	Solarmeter Ratio	22,4	22,0	22,5	22,4	22,4		11,7
Econlux SolarRaptor UV-MH 70W Lampe 2 (SW69)	Solarmeter 6.2 UVB [$\mu\text{w}/\text{cm}^2$]	302	208		164	128		
	Solarmeter 6.5 UVI	12,8	8,8		6,9	5,4		
	Solarmeter Ratio	23,6	23,6		23,8	23,7		
Econlux SolarRaptor UV-MH 70W Lampe 3 (SW70)	Solarmeter 6.2 UVB [$\mu\text{w}/\text{cm}^2$]	293	218		168	133		
	Solarmeter 6.5 UVI	12,6	9,4		7,2	5,7		
	Solarmeter Ratio	23,3	23,2		23,3	23,3		
Reptiles Expert 70W Flood (SW23)	Solarmeter 6.2 UVB [$\mu\text{w}/\text{cm}^2$]	508	158		65	34		
	Solarmeter 6.5 UVI	12,9	4		1,6	0,9		
	Solarmeter Ratio	39,4	39,5		40,6	37,8		
Reptiles Expert 70W (SW22)	Solarmeter 6.2 UVB [$\mu\text{w}/\text{cm}^2$]	336	185		115	79		
	Solarmeter 6.5 UVI	10,8	6,1		3,8	2,6		
	Solarmeter Ratio	31,1	30,3		30,3	30,4		

¹: Lampe 1 ist die Lampe, die bereits bei dem Schildkrötenhalter gemessen wurde. Dessen Messgeräte ergaben einen deutlich geringeren Solarmeter-6.2-Messwert (158 statt 200, -21%) und einen deutlich höheren UV-Index (13,5 statt 8,9, +58%). Damit ergibt sich auch ein viel geringeres Solarmeter-Verhältnis ($158/13,5 = 11,7$ statt $200/8,9=22,5$).

¹: Lamp 1 is the lamp that has already been measured at the turtle keeper. Its measuring devices showed a significantly lower Solarmeter 6.2 reading (158 instead of 200, -21%) and a significantly higher UV index (13.5 instead of 8.9, +58%). This also results in a much lower solar meter ratio ($158/13.5 = 11.7$ instead of $200/8.9=22.5$).

Die drei Econlux SolarRaptor Lampen waren sowohl beim Solarmeter-Verhältnis als auch bei der UV-Intensität sehr ähnlich. Die UV-Intensität ist deutlich höher als bei den beiden ReptilesExpert Lampen. Die beiden Reptiles Expert haben ein sehr unterschiedliches und höheres Solarmeter-Verhältnis.

3b) Variation der Solarmeter-Messwerte

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). Von 74 Solarmeter UV-Index-Messgeräten hatten 3 Messgeräte einen umgebauten oder beschädigten Sensor, ein Messgerät einen AlGaIn-Sensor und ein Messgerät auffällig geringe Messwerte. Die übrigen 69 Messgeräte hatten eine Standardabweichung von 12% (310-nm-LED), 16% (Mischlichtlampen), 16% (HQL) und 19% (Leuchtstofflampe). Von 13 Solarmeter UVB-Messgeräten war die Standardabweichung 20%, 18%, 11%, 11%. Meine eigenen Messgeräte messen nahe am Mittelwert.

		LED 310 nm	MLR	HQL	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

Die Abweichung meiner beiden Solarmeter zu den zwei Solarmetern des Schildkrötenhalters sind im Rahmen des Vergleiches zwar groß, aber nicht ungewöhnlich.

3c) Solarmeter-Verhältnis

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

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

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

The three Econlux SolarRaptor lamps were very similar in both solar meter ratio and UV intensity. The UV intensity is significantly higher than with the two ReptilesExpert lamps. The two Reptiles Expert have a very different and higher solar meter ratio.

Variation of Solarmeter Readings

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). Of 74 Solarmeter UV index measuring devices, 3 measuring devices had a modified or damaged sensor, one measuring device had an AlGaIn sensor and one measuring device had noticeably low readings. The remaining 69 measuring devices 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 measuring devices, the standard deviation was 20%, 18%, 11%, 11%. My own meters read close to the mean.

The deviation of my two Solarmeters to the two Solarmeters of the tortoise keeper are large in the context of the comparison, but not unusual.

Solarmeter Ratio

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

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

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

Natural sunlight has a Solarmeter ratio of 50 to 60. Fluorescent lamps with a Solarmeter ratio of 25-30 are common and have not been associated with negative effects so far. Conspicuous fluorescent lamps were characterized by a Solarmeter ratio < 15 . UV-metal-halide lamps also typically have values around

haben teilweise niedrige Werte, ohne negativ aufgefallen zu sein.

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

Bei meinen beiden Solarmeter-Messgeräten habe ich folgende Verhältnisse für verschiedene Lampen erhalten:

Lamp	Solarmeter Ratio
275-nm-LED	7.6
279-nm-LED	7.3
307-nm-LED	11.5
310-nm-LED	17
T5 Arcadia	29
T5 MegaRay Zone2	42
T5 MegaRay Zone3	35

30. UV mercury vapor lamps sometimes have low values without being noticed negatively.

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

With my two Solarmeters I got the following ratios for different lamps:

4) 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.

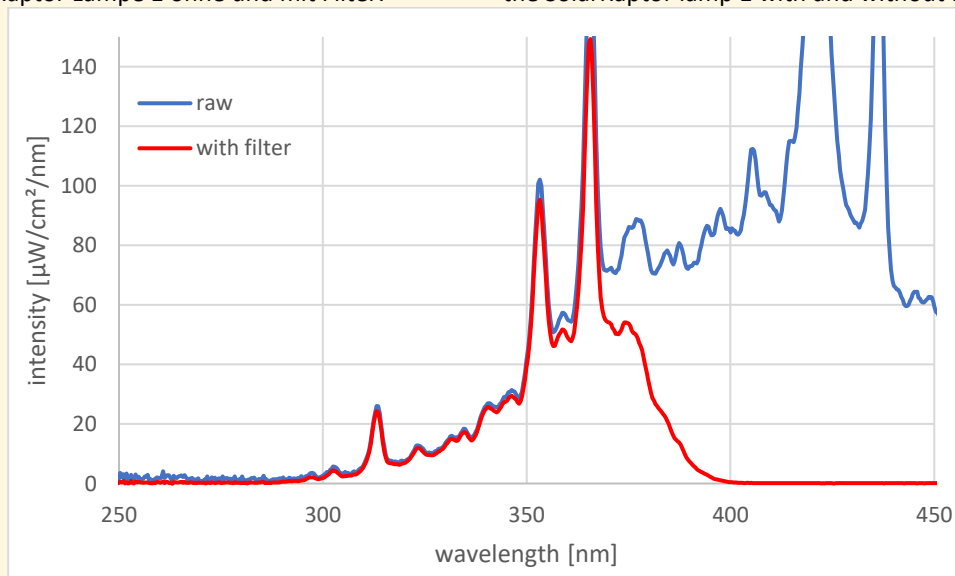
Die Spektrometermessung wurde ohne und mit einem UG11-ähnlichen Filter durchgeführt. Dieser Filter blockiert das sichtbare Licht und lässt die UV-Strahlung nahezu ungehindert passieren. Damit wird das Streulicht und somit der Fehleranteil im Spektrometer reduziert. Das folgende Bild zeigt das Spektrum der SolarRaptor Lampe 1 ohne und mit Filter:

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.

The spectrometer measurement was carried out with and without a UG11-like filter. This filter blocks visible light and allows UV radiation to pass through almost unhindered. This reduces the scattered light and thus the proportion of errors in the spectrometer. The following picture shows the spectrum of the SolarRaptor lamp 1 with and without filter:

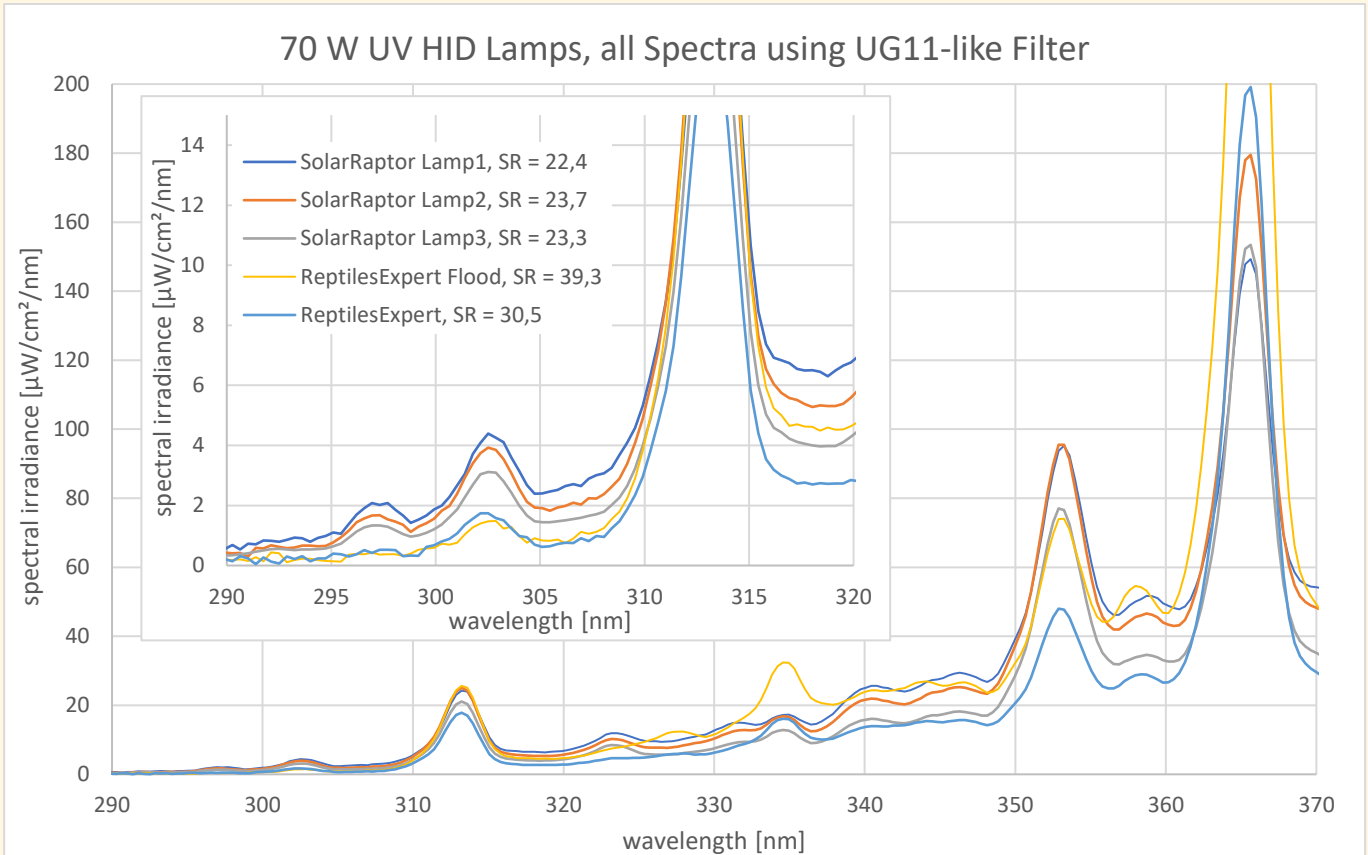


Trotz Verwendung des Filters, maximaler Integrationszeit ohne Sättigung im Bereich bis 370 nm, Mittelung über eine große

Despite the use of the filter, maximum integration time without saturation in the range up to 370 nm, averaging over a

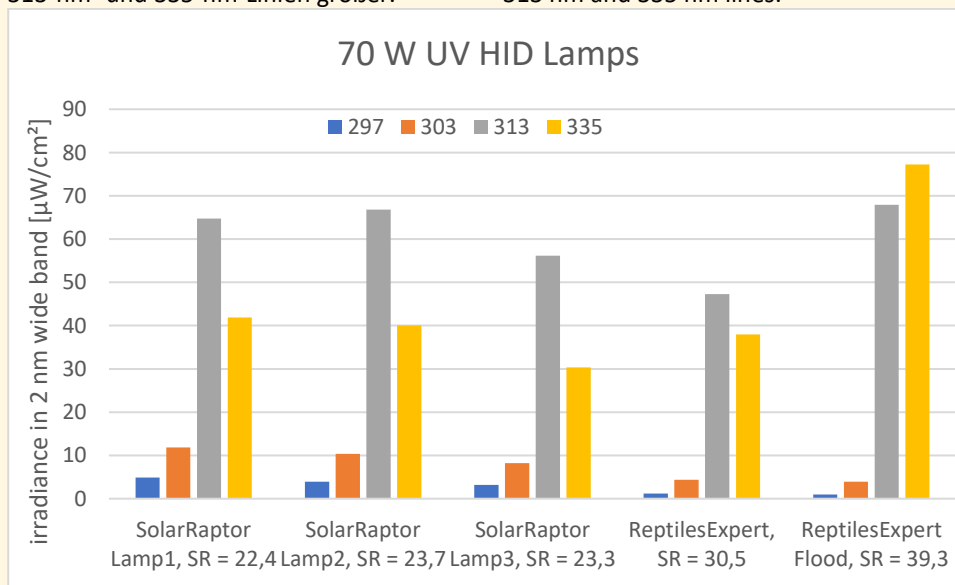
Anzahl von Spektren (100-200) und Dunkelkalibration ist weiterhin ein hoher Anteil von Messrauschen im Bereich < 320 nm zu sehen. Trotzdem ist klar erkennbar, dass die Lampen mit geringem Solarmeter-Verhältnis eine ausgeprägte Quecksilberemissionslinie bei 297 nm haben, während das bei den Lampen mit höheren Solarmeter-Verhältnis nicht der Fall ist.

large number of spectra (100-200) and dark calibration, a high proportion of measurement noise can still be seen in the range < 320 nm. Nevertheless, it can be clearly seen that the low solar meter ratio lamps have a distinct mercury emission line at 297 nm, while lamps with the higher Solarmeter ratio do not.



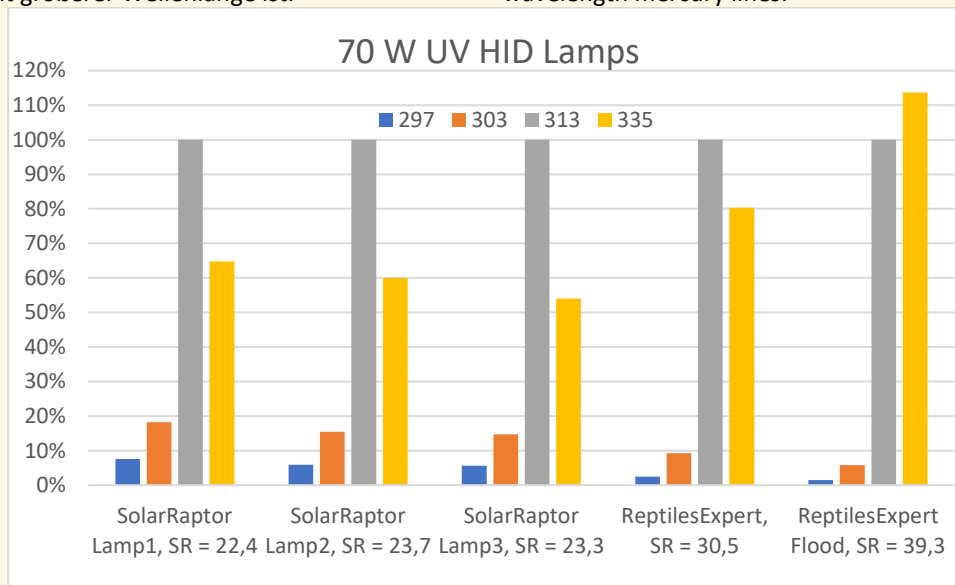
Die folgende Grafik zeigt die Intensität der 297-nm-, 303-nm-, 313-nm und 335-nm-Linie jeweils integriert in einem 2 nm breiten Bereich (z.B. von 296 nm bis 298 nm). Dadurch wird der Einfluss des Messrauschens weiter reduziert. Auch hier zeigt sich, dass die SolarRaptor Lampen mit Solarmeter-Verhältnis von ca. 23 mehr Intensität in der 297-nm- und 303-nm-Linie haben. Bei den Lampen mit größerem Solarmeter-Verhältnis ist die Intensität in den 313-nm- und 335-nm-Linien größer.

The following graphic shows the intensity of the 297 nm, 303 nm, 313 nm and 335 nm lines, each integrated in a 2 nm wide range (e.g. from 296 nm to 298 nm). This further reduces the influence of the measurement noise. Again, it can be seen that the SolarRaptor lamps with a solar meter ratio of about 23 have more intensity in the 297 nm and 303 nm lines. For the larger solar meter ratio lamps, the intensity is greater in the 313 nm and 335 nm lines.



In der folgenden Grafik ist die Intensität der 313-nm-Linie auf 100% normiert. Damit sieht man, dass die 303-nm-Linie bei den SolarRaptor Lampen zwischen 15% und 20% ist, während es bei der ReptilesExpert Lampe mit Solarmeter-Verhältnis 30 knapp 10% ist und bei der ReptilesExpert Lampe mit Solarmeter-Verhältnis 40 etwa 5% ist. Auch diese Grafik zeigt, dass mit steigendem Solarmeter-Verhältnis mehr Intensität in den Quecksilberlinien mit größerer Wellenlänge ist.

In the graphic below, the intensity of the 313 nm line is normalized to 100%. So you can see that the 303nm line for the SolarRaptor lamps is between 15% and 20%, while for the ReptilesExpert lamp with solar meter ratio 30 it is just under 10% and for the ReptilesExpert lamp with solar meter ratio 40 it is around 5% is. This graph also shows that as the solar meter ratio increases, there is more intensity in the longer wavelength mercury lines.



4a) UV-Spektrum (Vitamin D3)

Das Spektrum im UV-Bereich hat in der Terraristik eine besondere Bedeutung, da Lampen zur Vitamin-D3-Versorgung der Tiere eingesetzt werden. UV-Strahlung im Bereich 250 nm bis 320 nm ist in der Lage Vitamin D3 aus 7DHC umzuwandeln. Gleichzeitig hat die UV-Strahlung aber auch zellschädigende Wirkung. Die Zellschädigende Wirkung nimmt mit kürzerer Wellenlänge zu.

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

Bei der Bildung von Vitamin D3 in der Haut durch UV-Strahlung findet eine komplexe chemische Gleichgewichtsreaktion statt. In der Haut liegen 7DHC-Moleküle vor. Wenn ein 7DHC-Molekül ein UV-Photon mit kurzer Wellenlänge absorbiert, ändert es seine chemische Struktur und wandelt sich so in preD3 um. In einer warmen Umgebung wandelt sich das preD3-Molekül mit einer geringen Wahrscheinlichkeit (d.h. nach einiger Zeit) in Vitamin D3 um. Während dieser Zeit kann es aber auch passieren, dass das preD3-Molekül ein weiteres UV-Photon absorbiert und sich dann entweder in 7DHC, Tachysterol oder Lumisterol umwandelt. Wichtig ist, dass preD3 im Gegensatz zu 7DHC auch UV-Photonen mit einer

UV Spectrum (Vitamin D3)

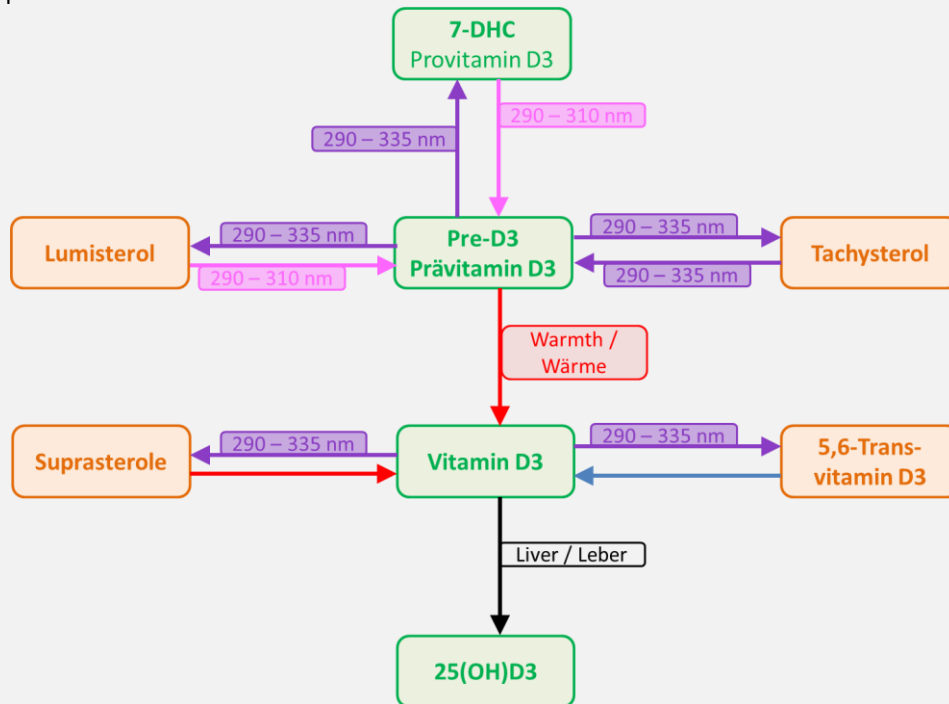
The spectrum in the UV range is of special importance in reptile husbandry because lamps are used as vitamin d3 supply. UV radiation in the range 250 nm to 320 nm is able to convert 7DHC to Vitamin D3. At the same time, UV radiation is damaging to cells. This cell-damaging effect increases with shorter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

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

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

recht großen Wellenlänge bis 335 nm absorbieren kann. Davon gibt es im Sonnenlicht sehr viele. Es ist bei natürlichem Sonnenlicht daher recht unwahrscheinlich, dass ein preD3-Molekül sich in Vitamin-D3 umwandeln kann. Sofern das jedoch gelingt, bindet das Vitamin-D3-Molekül dann an das Vitamin-D3-bindenden Protein (DBP) und wird über den Blutkreislauf abtransportiert.

unlikely that a preD3 molecule can convert into vitamin D3 in natural sunlight. However, if this is successful, the vitamin D3 molecule then binds to the vitamin D3-binding protein (DBP) and is transported away via the bloodstream.



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

The Lumisterol and Tachysterol molecules can also absorb another UV photon and convert back into preD3. In the skin, there is a constant “dance” of the molecules between the four different stages. After some time a chemical equilibrium is formed in which the individual molecules continue to constantly convert, but the total number of 7DHC/preD3/Lumisterol/Tachysterol molecules remains constant. MacLaughlin et al. (1982) showed that the spectrum of sunlight results in the ratio 10-20% 7DHC / 15-20% preD3 / 50-60% Lumisterol / 3-6% Tachysterol.

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

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 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

- — 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

Auswirkungen von UV-Strahlung, wie Photo-Kerato-Konjunktivitis sind ähnlich.

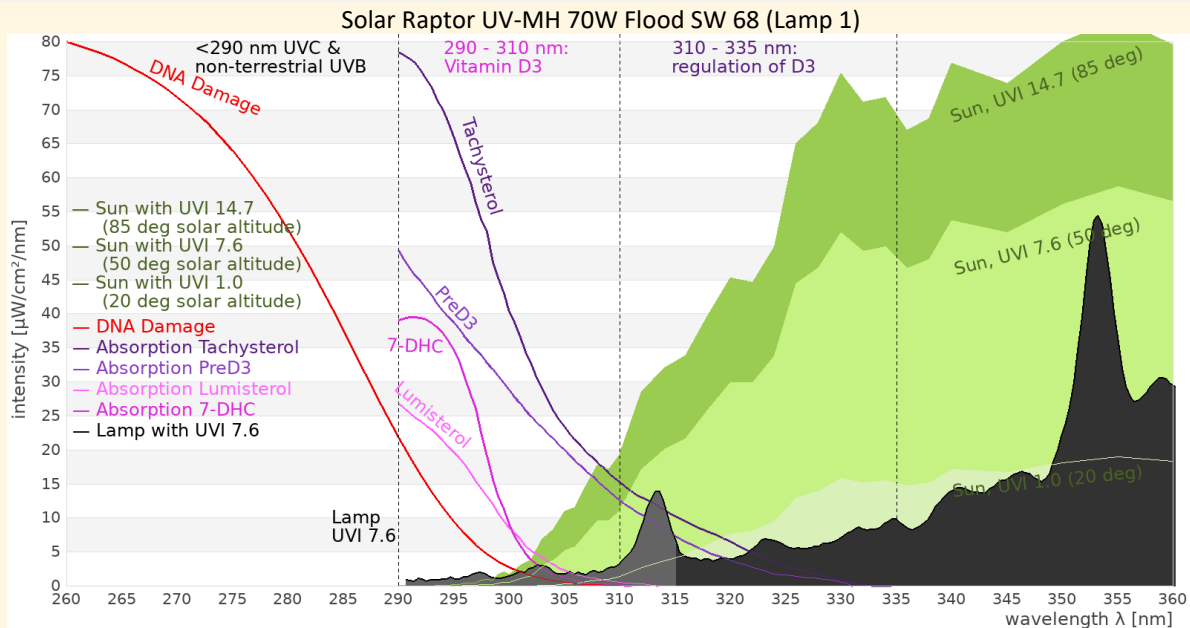
- Molare Absorptionsspektren der 4 Moleküle, die an der Vitamin-D3-Bildung beteiligt sind (MacLaughlin1982)

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

radiation, such as photo-kerato-conjunctivitis, are similar to this one.

- Molar absorption spectra of the 4 molecules involved in vitamin d3 synthesis (MacLaughlin1982)

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



Die Grafik zeigt:

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

The graph shows:

- The lamp does not emit hazardous UVC, or UVB in the non-terrestrial UVB wavelengths.
- A proportion of its output is below 300nm. The risk of DNA damage is therefore greater than for natural sunlight.
- There is UVB in the wavelengths which enable vitamin D3 synthesis in skin (290 – 315 nm).
- There is UVB in the wavelengths which regulate the vitamin D3 synthesis in skin (310 – 335 nm). However, the proportion is a bit lower than in natural sunlight. This lamp will likely enable stronger Vitamin D3 synthesis than natural sunlight at the same UV-index.

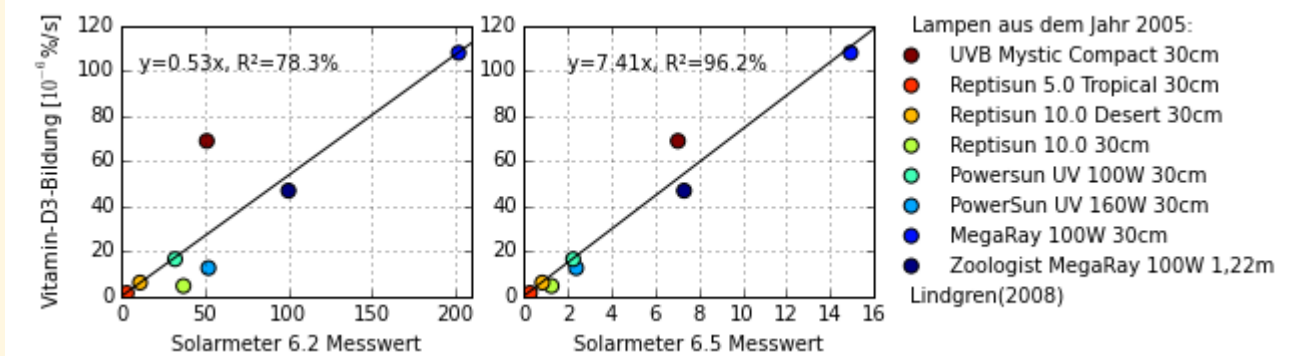
4b) Solarmeter-Verhältnis und Vitamin-D3-Bildung

Da das Verhältnis von längerwelliger Strahlung (310 nm – 335 nm) zu kürzerwelliger Strahlung (290 nm – 310 nm) Einfluss auf die Vitamin-D3-Bildung haben, ist es sehr wahrscheinlich, dass Lampen mit unterschiedlichen Solarmeter-Verhältnis eine unterschiedlich starke Vitamin-D3-Bildung bewirken. Lindgren2008 verglich die Messwerte von Solarmeter 6.2 und Solarmeter 6.5 mit der Vitamin-D3-Bildung in einer Glasküvette. Dabei zeigte sich, dass das Solarmeter 6.5 die Vitamin-D3-Bildung viel besser vorhersagte ($R^2 = 96,2\%$) als das Solarmeter 6.2 ($R^2 = 78,3\%$).

Solarmeter-Ratio and D3 Synthesis

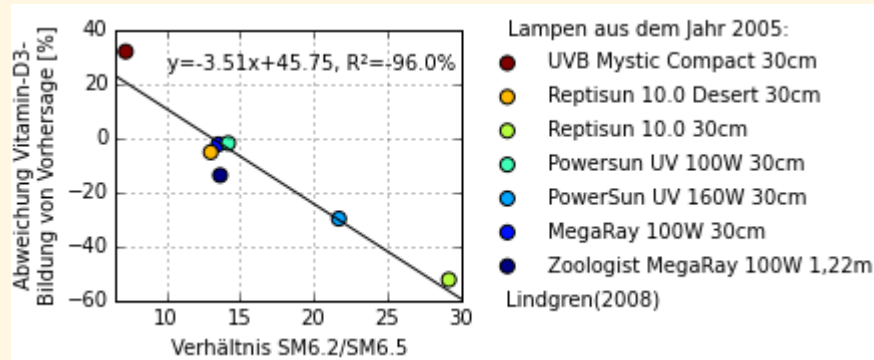
Since the ratio of longer-wavelength radiation (310 nm - 335 nm) to shorter-wavelength radiation (290 nm - 310 nm) has an influence on vitamin D3 synthesis, it is very likely that lamps with different Solarmeter ratios cause different levels of vitamin D3.

Lindgren2008 compared the readings from Solarmeter 6.2 and Solarmeter 6.5 with the formation of vitamin D3 in a glass cuvette. It was shown that the Solarmeter 6.5 predicted vitamin D3 formation much better ($R^2 = 96.2\%$) than the Solarmeter 6.2 ($R^2 = 78.3\%$).



Der verbliebene Unterschied zwischen Solarmeter 6.5 Messwert und Vitamin-D3-Bildung kann mit $R^2 = 96\%$ durch das Solarmeter-Verhältnis erklärt werden.

The remaining difference between the Solarmeter 6.5 reading and vitamin D3 formation can be explained with $R^2 = 96\%$ by the Solarmeter ratio.



Zusammenfassend: Lampen mit einem kleinen Solarmeter-Verhältnis bilden beim gleichen Solarmeter-6.5-Messwert mehr Vitamin-D3 als Lampen mit einem großen Solarmeter-Verhältnis. Diese Studie beinhaltete sowohl Leuchtstofflampen mit Solarmeter-Verhältnissen 8 – 30 als auch Quecksilbermischlichtlampen mit Solarmeter-Verhältnissen 12 – 22. Wegen der Ähnlichkeit des Spektrums einer Metallhalogeniddampflampe mit einer Quecksilbermischlichtlampe im Bereich < 330 nm, vermute ich, dass die Ergebnisse auch auf Metallhalogeniddampflampen übertragbar sind.

In summary: Lamps with a small Solarmeter ratio form more vitamin D3 than lamps with a large solar meter ratio at the same Solarmeter 6.5 reading. This study included both fluorescent lamps with solar meter ratios 8-30 and self-ballasted mercury lamps with solar meter ratios 12-22. Because of the similarity of the spectrum of a metal halide lamp with a self-ballasted lamp in the range < 330 nm, I suspect that the results are also transferable to metal halide lamps .

5) 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

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

Schwankungen aufgrund des Alters der Lampe, Betriebsbedingungen wie Spannung oder Temperatur sowie Produktionsschwankungen von Charge zu Charge und innerhalb einer Charge.

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

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.

6) 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., 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.