



So arbeiten die Profis

Teil 4 aus dem Mehrteiler:

SPANNENDE REPTILIEN UND MODERNE TECHNIK IN NEUEN SCHWEIZER ZOOANLAGEN – JURASSIC PARK LEBT!

Teil 4: Fachgerechte Beleuchtung für Zoo-Anlagen
am Beispiel von Aquatis

Moderne Zoos sollen die Besucher begeistern, unterhalten und sie gleichzeitig für den Schutz der Tiere und der natürlichen Lebensräume sensibilisieren. Zwei neu eröffnete zoologische Anlagen in der Schweiz haben erfreulicherweise versucht, dieses Ziel auch verstärkt mit Amphibien und Reptilien umzusetzen. Einer, der an der Entstehung dieser spektakulären Großanlagen beteiligt war, ist Oliver Fischer von der Firma X-Reptile, die Leuchtmittel für die Terraristik herstellt. In diesem Mehrteiler in REPTILIA hat er zunächst die neuen Anlagen Aquatis in Lausanne (REPTILIA Nr. 129 & 130) und das Savannenhaus im Walter Zoo Gossau (REPTILIA Nr. 131) vorgestellt, um jetzt auf die praktische Umsetzung moderner Terrarienbeleuchtung für Schauanlagen am Beispiel von Aquatis einzugehen.

Text von Oliver Fischer



Auch als Terrarianer in den eigenen vier Wänden kann man sicher einige unserer Überlegungen bei der Bestückung der

neuen Terrarienanlagen von Aquatis und anderen zoologischen Anlagen übernehmen.

Wie in meinem Grundlagenartikel zur Terrarienbeleuchtung in der REPTILIA Nr. 128 beschrieben (Fischer 2017), ist eine der meiner Meinung nach wichtigsten Erkenntnisse der letzten

Jahre, dass Reptilien

Licht und

damit

die Umwelt völlig anders sehen als wir Menschen. Was wir als ein helles, natürlich weißes Lampenlicht empfinden, wird in vielen Fällen von den Tieren ganz anders wahrgenommen. Dies liegt vor allem daran, dass ihre Schzellen in der Netzhaut in anderen Bereich absorbieren und damit anders auf die Umwelt reagieren als bei uns Menschen.

Viele Reptilien haben vier Typen von Farbrezeptoren, während unser farbiges Bild lediglich von drei Typen zusammen-

Diese Hellgrünen Mambas (*Dendroaspis angusticeps*) aus Privathaltung sonnen sich bevorzugt unter hellen UV-Metallampfen (UV-MH)
Foto: R. Aeberhard



Liebe Tierfreunde, liebe Mitarbeitende in den Zoos,

Die Wahl der richtigen Technik und des passenden Lichtes ist für viele Zooanlagen entscheidend. Besonders Amphibien und Reptilien stellen oft hohe Anforderungen an ihren Lebensraum – leider wird dies oft auch in professionellen zoologischen Anlagen noch vernachlässigt. Schliesslich ist auch aus Sicht der Besucher das Licht wesentlich bei der Gestaltung und Wirkung von eindrücklichen Schauanlagen beteiligt.

In meinem mehrteiligen Artikel in der REPTILIA (Nr. 129-132) habe ich die Entstehung zweier neuer Zooanlagen in der Schweiz beschrieben. In diesem hier als Sonderdruck vorliegenden 4. Teil des Artikels berichte ich detailliert über einige grundsätzliche Überlegungen und Vorgehensweisen bei der Umsetzung moderner Terrarienbeleuchtung für Schauanlagen am Beispiel des neueröffneten Aquatis in Lausanne.

Melden Sie sich gerne - ich freue mich, wenn auch Sie Ihre Anlagen mit unserer Beleuchtung ausstatten wollen!

Vielleicht bis bald!



Oliver Fischer
info@x-reptile.ch



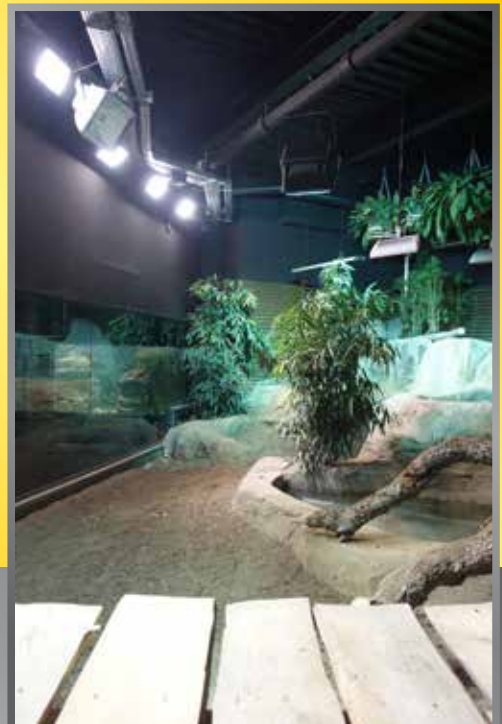
Chinesisches Lebensraumterrarium für Mangshan-Vipern



Australisches Lebensraumterrarium für Bartagamen und Blauzungenskinke



Grossanlage für Komodowaran



Sämtliche Lebensraumterrarien im Aquatis Lausanne – dem grössten Vivarium-Aquarium Europas – wurden mit den X-Reptile UV-MH Lampen 150W und X-Reptile LED Power-Strips ausgestattet. In den beiden Grossanlagen – jener des Komodowaranes und der Westafrikanischen Krokodile – werden Großstrahler High-Power LED's mit UV-Strahler 1000W und 2000W kombiniert.

gesetzt wird. Als typisches Beispiel für Lampenspektren, die aufgrund ihrer Zusammensetzung mit drei starken einzelnen Peaks für den Menschen weiß erscheinen, für die meisten Reptilien aber eine Verschiebung im Farbton haben dürften, gelten 3-Banden-Leuchtstoffröhren, deren drei Peaks genau auf die Sensitivität des menschlichen Auges gerichtet sind. Vergleichbares gilt für viele Lampen.

Halogen-Metaldampfladungslampen (HQIs, HIDs), auch wenn sie ursprünglich nicht für die Tierhaltung konzipiert wurden, haben grundsätzlich ein wesentlich sonnenähnlicheres Spektrum. Hierzu gehört z. B. die UV-A-Strahlung, die grundsätzlich im Sehbereich zahlreicher Reptilien liegt und ohne die sie vermutlich farbenverfälscht sehen dürften. Gerade für viele Schlangenhalter ist es auch heute leider noch normal, auf eine UV-Beleuchtung zu verzichten, weil die Tiere durch die Vitaminversorgung mit der Nahrung nicht auf UV-B-Strahlung angewiesen zu sein scheinen. Dabei wird nicht nur der Einfluss der UV-B-Strahlung in vielerlei Hinsicht unterschätzt, sondern oft wird auch vergessen, dass Leuchtmittel, die nur den für uns Menschen sichtbaren Bereich abdecken, oft auch keine UV-A-Strahlung abgeben.

Dass Licht und Farben das Leben vieler Reptilien stark beeinflussen, sieht man an vielen Beispielen: die sich ändernde Farbenpracht einiger Arten oder das aktive Aufsuchen der Sonne, und ich erinnere an das Parietalauge, mit dem das Gehirn die Einflüsse des Sonnenlichts sogar



Der nachtaktive *Hemidactylus platycephalus*, hier auf Madagaskar, bekommt auch am Baumstamm im Halbschatten jede Menge UV-B-Strahlung. Foto: J. Wohler

überwachen kann, wenn das Tier schläft. Auch von Schlangen ist heute bekannt, wie enorm variabel ihre Sehfähigkeit ist (SIMOES et al. 2016), was uns für Echsen dank ihrer inter- oder intraspezifisch variablen Färbung oder Signalgebung so wieso selbstverständlich erscheint.

Nach der in Teil 1 beschriebenen Umstellung im alten Vivarium de Lausanne auf helle UV-Metaldampflampen – so nennen wir Halogen-Metaldampfladungslampen mit erhöhter UV-Strahlung – änderten auch viele der dort gehaltenen Giftschlangen wie z. B. Bambusottern (*Trimeresurus*) oder Lanzenottern (*Bothrops*) schnell ihr Verhalten. Sie wurden aktiver und sonnten sich ausgiebig.

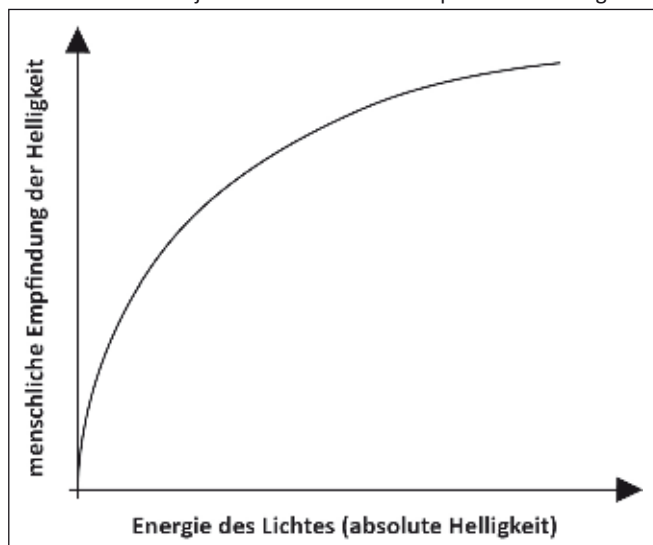
Schlussendlich sind wir keine Reptilien und können es nicht abschließend beurteilen, aber wie bei der Terrarieneinrichtung wollten wir uns auch beim Licht für Aquatis an der Natur orientieren.

Wie viel Helligkeit brauchen wir für Terrarien?

Auf die Helligkeit von Reptilienanlagen wird leider oft noch viel zu wenig Wert gelegt, was vor allem die folgenden drei Gründe hat:

1. Intuitiv schätzt der Mensch Helligkeit oft falsch ein, weil ihm das Auge als Sinnesorgan täuscht. Da es einerseits extrem hohen Reizen ausgesetzt ist, andererseits auch noch sehr schwache Reize erkennen

Weber-Fechner-Gesetz: Zusammenhang zwischen Energie des Lichtes und der subjektiv vom Menschen empfundenen Helligkeit

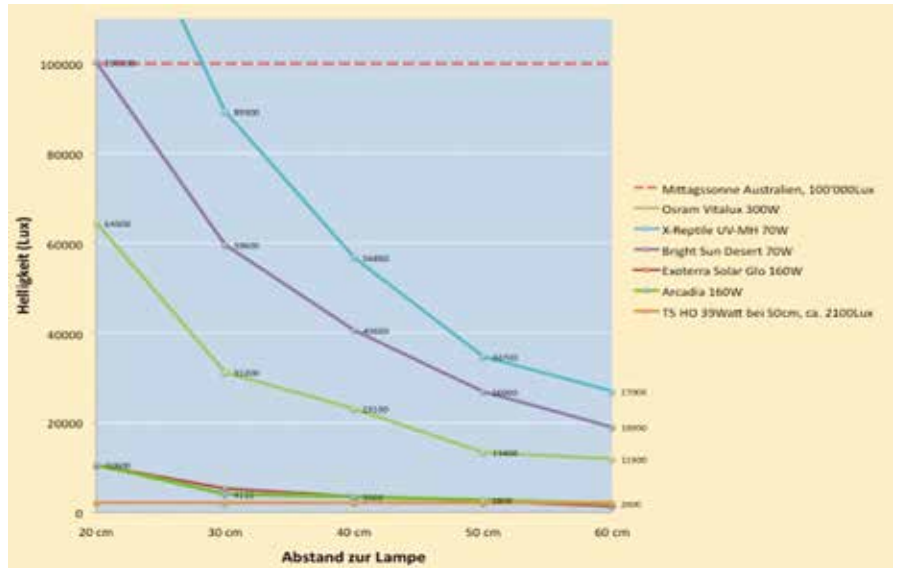


Metaldampfladungslampen „HQI“/„HID“ (Beispiele von X-Reptile) sind sehr hell, energieeffizient und können mit UV-Strahlung im Spektrum hergestellt werden





Luxmeter sind nicht teuer und geben eine gute Vorstellung der tatsächlichen Helligkeit am Ort. Nie zu vergessen ist aber, dass Größen wie Lux, Lumen und Farbtemperatur nach der Empfindung des menschlichen Auges definiert sind und nicht nach jener von Reptilien, die Licht grundsätzlich anders wahrnehmen. Foto: O. Fischer



Eine einfach durchzuführende Luxmessung zeigt, dass die Helligkeit exponentiell mit dem Abstand abnimmt

muss, wird die tatsächliche Energie des Lichtes, d. h. die Helligkeit, nicht linear wahrgenommen. Dieses Phänomen beschreibt das Weber-Fechner-Gesetz, das die Reaktion vom Körper auf die Verarbeitung solcher Sinneseindrücke beschreibt. Ein Vergleich der tatsächlich gemessenen Helligkeit mit unserem Empfinden zeigt dies ebenfalls: In natürlichen Steppengebieten werden mittags Helligkeitswerte von 100.000 Lux erreicht,

selbst im Schatten sind es bei uns noch 10.000 Lux. Während die Beleuchtung in einem Operationssaal punktuell auf 160.000 Lux eingestellt wird, liefert eine standardmäßige Bürobeleuchtung, die man als hell empfindet, lediglich 500 Lux! Hätten Sie einen Faktor 200 in Ihrem Büro zum natürlichen Sonnenlicht erwartet? Eine normale Zimmerbeleuchtung wird sogar mit noch weniger Lux als angenehm und in unseren

Augen auch als hell beurteilt. Auch dass wir bei Dunkelheit eine Kerze (ca. 1 Lux) als hell empfinden, zeigt, dass wir die absolute Helligkeit falsch einschätzen.

Die Sonne scheint selbst bei uns im Sommer mit bis zu 1.000 Watt/m² – kein Wunder, wenn uns ein von außen in das Terrarium fallender Sonnenstrahl unsere ansonsten „helle“ Terrarienbeleuchtung plötzlich sehr schwach vorkommen lässt.

Die 13 Meter hohe und 150 m² große Amazonashalle im Aquatis – hier noch vor der Eröffnung – hat ein Dach aus ETFE-Folie Foto: O. Fischer



Unser Auge kann also kein Maßstab für die tatsächliche Helligkeit sein. Aber können wir uns auf Helligkeitsmessgeräte verlassen?

2. Eine Luxmessung sagt uns zwar perfekt, wie hell das Licht an einem bestimmten Ort ist, doch diese und andere gebräuchliche Einheiten zur Lichtmessung (nebst Lux z. B. Lumen) richten sich definitionsgemäß nach der menschlichen Helligkeitssehkurve. Deswegen fließen UV-A- oder Infrarotstrahlung nicht in die Ergebnisse des Luxmeters ein.

Das ist nicht der einzige Mangel. Auch für das sichtbare Licht kommt hinzu, dass der Mensch bei 555 nm (Grünbereich) seine höchste Lichtempfindlichkeit hat; dies kann bei Reptilien ganz anders sein. Nun gibt es natürlich kein „Lux-Messgerät für Reptilienaugen“, zumal selbst innerhalb der Reptilien wieder Unterschiede bestehen.

Die Luxmessung, die ich nach wie vor empfehle, kann uns dennoch einen wichtigen Anhaltspunkt liefern. Gerade wenn es um die Helligkeit in verschiedenen Bereichen eines Terrariums oder einer Anlage geht, kann man mit den kostengünstigen Luxmetern bereits einen guten Eindruck der Situation bekommen. Um die Helligkeit für unsere Reptilien einzuschätzen, braucht es aber weitere Kenntnisse zum Spektrum der Lampe, oder man versucht, mit weiteren Messgeräten die Lichtanteile auch außerhalb der menschlichen Sehkurve (vor allem UV-A und Infrarot) einzuschätzen. Grundsätzlich sind also nicht unbedingt Lampen geeignet, die für uns Menschen hell erscheinen, sondern vor allem jene mit komplettem Spektrum über einen weiten Bereich (z. B. UV-Metalldampflampen, HID).

3. Auch bei der Helligkeit darf man nie vergessen, dass die Strahlungsintensität stark exponentiell mit der Entfernung abnimmt. Eine T5-HO-Leuchtstoffröhre hat in einem Abstand von einem Meter gerade mal noch eine Helligkeit von weniger als 1.000 Lux, und auch dies nur direkt senkrecht unter der Lampe. Um in einem großen Terrarium eine annähernd natürlich helle Grundbeleuchtung großflächig zu erzielen, müsste die Wattleistung der eingesetzten Lampen also geradezu extrem sein, was aber aufgrund des oben beschriebenen Weber-Fechner-Gesetzes oft niemandem auffällt.

Wer für die mit dem Abstand stark abnehmende Intensität noch ein Beispiel braucht, sei auf Aqua-Terrarien verwiesen, die von oben mit einer Flächenbeleuchtung versehen sind. Wenn man durch die Scheibe in den Wasserteil blickt, kommt oft die Ernüchterung. Der Landteil im oberen Bereich mag einem taghell vorkommen und ist vielleicht auch mit hochwertigen Leuchtmitteln ausgestattet, doch der Aquarienteil scheint wie eine trübe Suppe. Die Leuchtintensität hat im Gegensatz zu einem reinen Aquarium, wo die Leuchtballen meist unmittelbar über der Wasseroberfläche liegen, bis zur Wasseroberfläche sehr stark abgenommen. Mit eng bündelnden Lampen, UV-Metalldampflampen (PAR-Spot) oder LED kann man immerhin punktuell natürliche Werte erreichen.

Licht für große Flächen

Bei Großanlagen in einem lichtundurchlässigen Innengebäude ist es fast undenkbar, über einen großen Bereich von mehreren Quadratmetern die natürliche Helligkeit zu erreichen.

Ein unlösbares Problem? Ein erster Lösungsansatz ist selbstverständlich, den Tieren natürliches Sonnenlicht anzubieten. Jeder Terrarianer kennt die positiven Erfahrungen, wenn Tiere auch

Wellenlänge nm	Transmission		
	Gesamtlicht %	Reflexion %	Farbe
800	95.4	5.7	Infrarot
600	94.2	5.7	gelb-rot
500	93	6.5	grün-gelb
360	86.9	10.2	UV-A
300	78.7	13.3	UV-B
260	71.6	17.3	UV-C
Foliendicke = 100 um			
Wellenlänge nm	Transmission		
	Gesamtlicht %	Reflexion %	Farbe
800	93.3	5.2	Infrarot
600	90.4	6.3	gelb-rot
500	88.3	8.1	grün-gelb
360	80.5	14.4	UV-A
300	70.1	18.3	UV-B
260	59.4	21.9	UV-C
Foliendicke = 250 um			

Durchlässigkeit von Strahlung verschiedener Wellenlängen (nm) durch zwei verschiedene Dicken (100 um, 250 um) der ETFE-Folie für zoologische Anlagen

nur gelegentlich die Möglichkeit zum Freilandaufenthalt haben. In der modernen Zooarchitektur wird deshalb versucht, möglichst viel natürliches Licht in ein Gebäude einfallen zu lassen. Licht, das Glas passiert, muss dann gegebenenfalls nur noch um die Lichtmenge (weil es in unseren Breiten nicht so hell ist wie in tropischen oder subtropischen Regionen) und die UV-B-Strahlung ergänzt werden, während die UV-A-Strahlung in einer natürlichen Zusammensetzung vorhanden ist. Aber auch hier sollte man sich nicht nur auf den optischen Eindruck der Helligkeit verlassen. Auch ein großes, vertikal platziertes, wohnzimmerübliches Fenster wird für Reptilien kaum nennenswert Helligkeit bringen. Sinnvoll sind große Flächen mit senkrecht von oben kommendem Licht und – berücksichtigt man auch den tieferen Sonnenstand – gleichzeitig große vertikale Flächen.

Eine in der modernen Zooarchitektur populär gewordene Variante besteht in der Verwendung von sogenannten ETFE-Folien. Bekannte Projekte wie das Gondwanaland im Zoo Leipzig und die Masoala-Regenwaldhalle im Zoo Zürich nutzen diese lichtdurchlässige Folie.

Eine Analyse zeigt, dass die Durchlässigkeit einer ETFE-Folien-schicht auf den ersten Blick tatsächlich erstaunlich ist. Im Gegensatz zu Glas passiert auch niederwellige Strahlung, d. h. UV-A und UV-B unter 400 nm. Bei 300 nm (die effizienteste Wellenlänge für die Vitamin-D3-Synthese) ist die Durchlässigkeit im Labor je nach Dicke rund 70–78 %. Eigene Messungen mit einer X-Reptile-UV-Metalldampflampe (50 W) ergeben bei einer von der Firma CENO Membrane Technology GmbH zur Verfügung gestellten, 100 µm dünnen, transparenten ETFE-Folie eine Durchlässigkeit von ca. 60 % für die beiden Solarmeter 6.2 und 6.5 und etwa 90 % für das sichtbare Licht (Helligkeit, Luxmessung). Je niederwelliger die Strahlung, desto geringer aber die Durchlässigkeit der ETFE-Folien. Ähnlich wie man außerhalb einer Disco vor allem die dumpfen, langwelligen Basswellen hört, passieren auch hier die langwelligen Strahlungsanteile (Rotanteile, Infrarot) besser. Nach Aussage des Herstellers sind die gängigsten erhältlichen Folienstärken für den Projektbau die

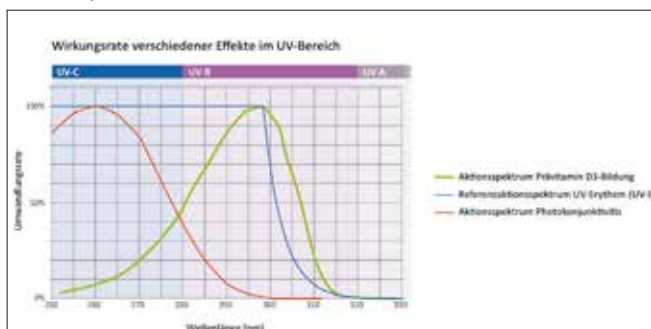


Der Autor bei verschiedenen UV-Messungen in der Aquatis-Amazonashalle

Stärken 100 µm, 200 µm oder 250 µm. Da die ETFE-Folienkissen meistens auch Aufgaben des Wärmeschutzes übernehmen, z. B. das konstante Klima eines künstlichen tropischen Regenwaldes erhalten, werden die allermeisten Projekte mit drei oder sogar mehr Folienlagen ausgeführt. Für die gesamte Licht- bzw. vor allem UV-Durchlässigkeit ist dies nachteilig, und so ergibt sich bei einer Wellenlänge von 300 nm lediglich noch eine theoretische Durchlässigkeit von $0,701 \times 0,787 \times 0,701 = 0,387$. Für den sichtbaren Bereich um 500 nm (blaugrün), der beim Menschen stark ins Gewicht fällt, beträgt die Durchlässigkeit $0,883 \times 0,930 \times 0,883 = 0,725$. Dies bedeutet, dass selbst unter perfekten Bedingungen wie einem senkrechten Sonnenstand deutlich mehr als die Hälfte der relevanten UV-Strahlung im für die Vitamin-D3-Synthese wichtigen Bereich um 300 nm durch die Folienschichten herausgefiltert wird.

Da auch in der Amazonashalle des Aquatis die Decke aus ETFE-Folie besteht, sollten hier weitere Werte aus der Praxis folgen. Doch die beispielsweise Mitte September nachmittags bei an sich sonnigem Wetter mit gutem Lichteinfall gemessenen Werte für den UV-Index (Solarmeter 6.5) lagen unter 1 UV-I. Nachteilig wirkt sich sicher immer der durch Tages- und Jahreszeit in nördlichen Ländern wie der Schweiz tiefe Sonnenstand

Aktionsspektrum verschiedener Effekte im UV-Bereich



aus. So wird angenommen, dass der Mensch in nördlichen Ländern durch den geringen Einfallswinkel der Sonnenstrahlung im Winter nördlich des 51. Breitengrades (der nördlichen Breite von Leipzig) kein Vitamin D3 in der Haut durch natürliche Strahlung bilden kann. In der Amazonashalle im Aquatis leben keine größeren Arten frei, jedoch werden dem Grünen Leguan und den Weißkopf-Sakis in ihren in der Halle abgetrennten Gehegen zusätzliche Sonnenplätze mit spritzwasserfesten, 250 W starken UV-Strahlern (Weißkopfsaki) und 150 W starken UV-Metaldampflampen sowie 400 W starken HID-Strahlern (Grüner Leguan) geboten.

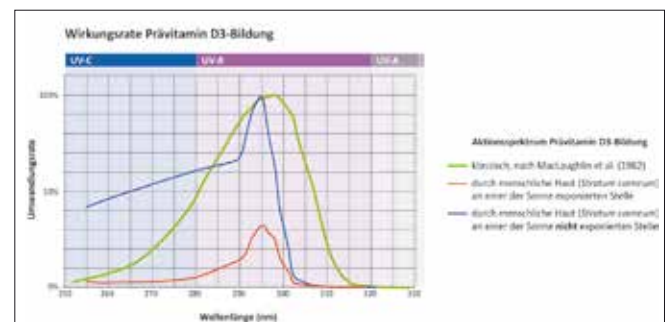
Da die Folie wie beschrieben niederwellige, für Reptilien sichtbare Strahlung (UV-A) schlechter als höherwelliges, sichtbares Licht durchlässt, dürfte auch der Lichteindruck unter der Folie für viele Reptilien mit breitem Sehbereich leicht farbverfälscht sein. Der Terrarianer, der sein Gewächshaus für sonnenliebende Reptilien nutzt und zusätzliche Sonnenplätze mit UV-Metaldampflampen anbietet, muss sich also gegenüber diesen Großprojekten nicht verstecken.

UV-Messung in Zoos

Für die Einrichtung von Terrarien ist eine Messung der UV-B-Strahlung von großer Wichtigkeit. Die verschiedenen Wellenlängen im UV-Bereich, selbst innerhalb des UV-B-Bereiches (280–320 nm), sind nicht gleich stark in ihrer Wirkung. Sowohl gewünschte positive Effekte wie die Bildung von Prävitamin D3 in der Haut wie auch die negativen Effekte von Sonnenbrand, Augenschäden oder gar Schäden der DNA haben meist ein spezifisches „Wirkungsspektrum“. Ein bekannter positiver Effekt, für den man als Terrarianer UV-B-Strahler vorwiegend einsetzt, ist die Bildung von Vitamin D3, genauer von Prävitamin D3, in der Haut der Tiere. Nach dem klassischen Aktionsspektrum findet dieser Prozess hauptsächlich im Bereich 280–310 nm statt und hat um den Bereich 298 nm (+/- 3 nm) die höchste Bildungsrate (FISCHER 2017). Diese im Reagenzglas gemessene Bildung von Vitamin D3 kann aber in der Praxis fundamental variieren oder abweichen.

Das Wirkungsspektrum der Erythembildung (Sonnenbrand) – nach dem sich der UV-Index in Wetterprognosen richtet – hat interessanterweise ab ca. 290 nm eine äußerst ähnliche Wirkungskurve. Als Beispiel eines weiteren, negativen Effektes weicht das Wirkungsspektrum der Bindehautentzündung davon ab; ihr Maximum liegt bei ca. 260 nm.

Das klassische Absorptionsspektrum für die Bildung von Prävitamin D3 im Reagenzglas verglichen mit jener durch die äußere Hautschicht (Stratum corneum) an einer der Sonne zuvor exponierten (a) oder unexponierten (b) Stelle. Man kann davon ausgehen, dass viele Faktoren wie die Dicke und Pigmentierung der Haut auch bei Reptilien die Bildung von Prävitamin D3 stark beeinflusst.



Wie bereits erläutert, richtet sich ein Luxmeter bei der Messung der Helligkeit (meist ca. 400–780 nm) immer nach der Empfindlichkeitskurve des menschlichen Auges. Der angezeigte Wert von verschiedenen Modellen von Luxmetern ist damit also direkt miteinander vergleichbar. Dies gilt aber ganz und gar nicht für verschiedene UV-Messgeräte! Je nachdem, für was sie entwickelt oder eingesetzt werden, haben sie ein anderes Empfindlichkeitsspektrum, messen also in anderen Bereichen oder geben unterschiedliche Einheiten an.

Mit einer Aussage wie „eine Osram Vitalux hat im Abstand von 1 m rund 50 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ “ kann man noch nicht viel anfangen, solange man das Messgerät und dessen Messbereich nicht kennt oder zumindest andere Werte mit demselben Messgerät zum Vergleich hat. Es gibt eine schier unendliche Zahl an Messgeräten diverser Wellenlängenbereiche, wovon die handlichen Solarmeter 6.2 und 6.5 in der Praxis am häufigsten verwendet werden. Obwohl das Solarmeter 6.2 weniger genau auf die Umwandlungskurve der Prävitamin-D3-Bildung fokussiert ist und einen breiteren Wellenlängenbereich misst, wird es von privaten Reptilienhaltern am häufigsten verwendet. Der Grund hierfür mag ganz einfach sein, dass es dem Anwender auf den ersten Blick als

Die aktuellen Solarmeter 6.2 und 6.5 haben eine einfache Handhabung und dienen gemeinsam zum Abschätzen der UV-Strahlung, vorwiegend im UV-B-Bereich. Das als UV-Index-Messgerät bekannte 6.5 hat nun die neuen Einteilungen zu den empfohlenen Bereichen für Reptilien aufgedruckt.

	Lux	UV-A 4.0	UV-I 6.5	UV-B 6.2	Verhältnis 6.2/6.5	Verhältnis Lux/UV-A	Verhältnis UV-A/UI
Sonne direkt 5. Okt 11:00	107.000	3,6	2,4	110	46	29,722	1,5
Sonne direkt 5. Okt 14:00	102.000	4,3	4,2	187	45	23,721	1,024
UV-Mischlicht 100 W (20 cm)	5.500	0,6	2,6	96	37	9,167	0,231
HQI 400 W ohne (50 cm)	48.000	2,6	1,8	41	23	18,462	1,444
HQI 400 W mit Schutzglas (50 cm)	47.000	2,2	0,4	2	—	21,364	—
UV-MH 50 W (35 cm)	62.000	6,3	5,2	217	42	9,841	1,212
UV-50 W (35 cm, mit Folie)	56.000	4	3,1	126	41	14,000	1,290
Verh. 100 %/Fo- lie UV-MH 50 W	0,90	0,63	0,60	0,58	0,97	1,42	1,07

Messreihe zur UV-Abstrahlung und Helligkeit bei verschiedenen Lampen durch eine ETFE-Folie

logische Größe erscheint, wenn der Wert der UV-Strahlung in $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ (Strahlungsstärke/Fläche) angegeben wird. In Zoos trifft man häufiger auf das 6.5 zur schnellen Analyse. Die Angabe des UV-Indexes scheint anfänglich irritierend, schließlich interessiert sich der Halter weniger für die Sonnenbrandwirkung auf menschliche Haut. Betrachtet man aber die Messempfindlichkeit des 6.5,

sieht man, dass es insgesamt viel näher am Wirkspektrum zur Prävitamin-D3-Synthese liegt als das 6.2.

Untersuchungen haben außerdem gezeigt (LINDGREN et al. 2008), dass ein weiteres Solarmeter, das als „Vitamin D3-Gerät“ bezeichnete 6.4, die in einer Ampulle durch die Bestrahlung mit verschiedenen UV-Lampen für Reptilien hergestellte Menge an Prävitamin-D3 äußerst genau vorhersagen kann, während es beim 6.2 größere Abweichungen gab. Es sei hier verraten, dass es sich beim 6.4 und 6.5 eigentlich um identische Geräte handelt, die aber intern anders umrechnen. Die Werte des einen Gerätes können durch den Faktor 7,14 für das andere Gerät wie folgt vorhergesagt werden: Messwert 6.5 (UVI) \times 7,14 = Messwert 6.4 (UI/min). Die UI/min dieses Gerätes ist dabei aber bezogen auf Menschen mit Hauttyp 2 (Nordischer Typ) und darf nicht direkt als absolutes Maß für Reptilien gelten, zumal es auch noch zahlreiche weitere beeinflussende Faktoren gibt, z. B. die Dicke der Haut, Pigmentierungsunterschiede, eine Dosisabhängigkeit der Reaktion oder die stark temperaturabhängige Bildung des Vitamins D3 in der Haut.

Die Allgemeingültigkeit des Absorptionsspektrums muss also kritisch betrachtet werden, denn Analysen zeigen, wie stark selbst beim Menschen die Prävitaminbildung durch die vorhergehende Bestrahlung der Haut variieren kann (NORVAL et al. 2009). Man kann davon ausgehen,



dass viele Faktoren wie die Dicke und Pigmentierung der Haut auch bei Reptilien die Bildung von Prävitamin D3 stark beeinflussen.

Eine weitere oftmals gefragte Umrechnung ist leider nicht möglich: Aus dem Wert des beliebten Solarmeter 6.2 ist selbstverständlich keine direkte Ableitung zum Wert des durch den 6.5 angegebenen UV-Index möglich, weil die Empfindlichkeitsspektren unterschiedlich sind. Da das 6.2 die Strahlung im Bereich von ca. 315–330 nm stärker einbezieht, werden die beiden Geräte gerne zusammen genutzt, um über die Strahlungsverteilung innerhalb des UV-B-Bereiches mehr auszusagen. Berechnet man das Verhältnis 6.2/6.5, so bedeutet ein tiefer Wert, dass die niederwellige Strahlung stärker im Spektrum einer Lampe vertreten sein dürfte, was eher auf eine hohe Vitamin-D3-Bildungsrate, aber gleichzeitig auch auf höhere Sonnenbrandgefahr hinweist (WUNDERLICH 2017).

Das 6.5 hat sich in der Vergangenheit auch allein bewährt, um bei ungewöhnlich hohen Werten das Schädigungspotenzial an Tieren zu erkennen. Gleichzeitig wurden auch schon Daten des empfohlenen UV-I bei verschiedenen Arten von Reptilien zusammengestellt, die aus der Erfahrung von Haltern stammen (BAINES et al. 2016). Sie geben einen Hinweis, welche UV-B-Werte man den Tieren anbieten kann.

Doch wie wirken sich diese UV-Werte auf den Vitamin-D3-Haushalt aus? Zwar können massive, unmittelbare Schäden bei zu hoher UV-B-Strahlung an Haut oder Augen auftreten, aber man braucht sich um zu hohe Vitamin-D3-Konzentration durch natürliche Strahlung keine Sorgen machen. Der Regulationsprozess zur Herstellung von Vitamin D3 funktioniert an der Sonne zuverlässig, ein Überschuss wird zu unwirksamen Nebenprodukten abgebaut, und vermutlich wird er durch das Sonnenver-

Im australischen Lebensraumterrarium für den Inlandtaipan (*Oxyuranus microlepidotus*) des Aquatis werden hauptsächlich UV-Metalldampflampen (150 W) von X-Reptile eingesetzt und mit LED-PowerStrips ergänzt



halten der Tiere sogar zusätzlich reguliert, ganz im Gegensatz zum Verfüttern von Vitamin D3, bei dem es zu unmittelbaren Schäden durch eine überhöhte Zufuhr kommen kann.

Leider gibt es wenige Daten über die Vitamin-D3-Konzentration bei Reptilien in der Natur. Für Komodowarane (*V. komodoensis*) wird von Werten von 150–250 nmol/l (GILLESPIE et al. 2000) und 195–291 nmol/l (NIJBOER et al. 2007) berichtet. Die Werte des Chuckwallas (*Sauromalus ater*) und jene von adulten Bartagamen in der Natur liegen sogar etwas höher: 211 +/-75 nmol/l und 409 +/-56 nmol/l (AUCONE et al. 2003). Interessant wäre es natürlich auch, die Konzentrationen je nach Jahreszeit zu kennen. Dass der Vitamin-D3-Wert in der Natur enorm schwanken kann, wurde bei domestizierten Alpakas gezeigt, die im australischen Sommer einen Wert von 264 nmol/l aufwiesen, Anfang des Frühlings aber lediglich 35 nmol/l. Die Untersuchung von NIJBOER et al. (2007) zeigt, dass bei gefangenen Komodowaranen die Bestrahlung mit UV-Lampen die weit effizientere Methode zur Erhöhung des anfänglich sehr tiefen Vitamin-D3-Wertes war als die Zugabe übers Futter. Ähnliches zeigte sich auch bei jungen Bartagamen: Unter UV-Bestrahlung hatten die Tiere rund 18 Mal höhere Vitamin-D3-Werte im Blut als jene, die Vitamin D3 über das Futter bekamen.

Die Synthese von Vitamin D3 unter UV-Bestrahlung konnte bei unzähligen Reptilien gezeigt werden, selbst bei mehrheitlich nachtaktiven Arten wie Kornnattern oder Leopardgeckos, weshalb hier auf eine detaillierte Auflistung verzichtet wird. Das Problem ist oft, dass eben keine einheitlichen Messgeräte in den Studien verwendet wurden, die Intensitäten oder Spektralverteilungen nicht genau dokumentiert sind – also genau das fehlt, was uns interessieren würde.

Bei Gruppen von jungen Bartagamen, die mit fünf verschiedenen Marken von UV-Energiesparlampen bestrahlt wurden, wurde mit den erwähnten Solarmetern 6.2 und 6.5 gemessen (DIEHL et al. 2017). Bei einem Abstand von 25 cm boten die UV-Energiesparlampen Werte von 0,6–1,9 (Solarmeter 6.5) und 10–57 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ (Solarmeter 6.2). Schließlich wurde lediglich bei der Gruppe mit der stärksten Lampe eine statistisch relevante Erhöhung der Vitamin-D3-Konzentration festgestellt. Doch selbst diese Tiere hatten mit 41,0 nmol/l (+/-12,85) im Gegensatz zu den in der Natur beobachteten Werten von 409 nmol/l (+/-56) eine zehnfach niedrigere Konzentration! Ob die Bartagamen mit stärkeren UV-Intensitäten einen höheren Vitamin-D3-Wert gezeigt hätten? Gut möglich wäre es, immerhin hatte man bei den Tieren in der Natur tatsächlich einen deutlich höheren UV-Wert mit dem Solarmeter 6.2 von 506 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ gemessen. Zumindest im beobachteten Zeitraum traten aber bei keinem Tier unter dieser leichten UV-Bestrahlung Mangelerscheinungen durch fehlendes Vitamin D3 auf, in der Kontrollgruppe mit kaum messbarem Vitamin D3 hingegen schon. Grundsätzlich wären aber auch aus Gründen der Effizienz wohl Metalldampflampen anstatt UV-Energiesparlampen vorzuziehen. Fazit: Die Werte der Vitamin-D3-Konzentration in der Natur scheinen sehr hoch. Ob die Tiere daraus einen gesundheitlichen Nutzen haben, ist leider wenig bekannt.

Zusätzlich zu dieser auf die Wellenlängen der Sonnenbrandgefahr und Vitamin-D3-Synthese gerichteten Betrachtung habe ich bei verschiedenen Lampen begonnen, mit dem Solarmeter 4.0 (als UV-A-Meter bezeichnet) zu messen. Das 4.0 ist für starke UV-A-Quellen ausgelegt und gibt den Wert in mW/cm^2 an, während das in der spektralen Antwortkurve grundsätzlich identische 4.2 für schwache Quel-

„Weil das richtige Licht entscheidend ist!“

X-Reptile UV-MH

UV-Metall dampflampe für Terrarien

Lampe UV à vapeur métallique pour terrariums

UV metal halide lamp for vivariums

Die beste Wahl weil:

- mehrfach heller und effizienter als herkömmliche UV-Strahler
- längere UV-A & UV-B Lebensdauer
- die perfekte Beleuchtung für den ganzen Tag
- optimal im Licht gebündelte Wärme
- stromsparend und äusserst energieeffizient
- von bekannten Schweizer Zoos und Tierärzten erfolgreich eingesetzt

Im Einsatz bei



AQUATIS AQUARIUM VIVARIUM LAUSANNE

ZOOH! ZÜRICH



X-REPTILE

for
jungle & desert

Besonders lange UV-Stabilität!

Generation 2019!



auch erhältlich als
ZOO Version
extra high UV-output!

Zur Ergänzung der UV-MH:

LED PowerStrip

oder

LED PowerBar
extreme bright!
6500 K

Als perfekte Grundbeleuchtung für alle Arten von Terrarien!

len ausgelegt ist und den Wert in $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ angibt. Sehr viele bisher untersuchte Reptilien von Anolis über Chamäleons haben die höchste Sensitivität ihres UV-Farbrezeptors der Netzhaut im Bereich von 360–380 nm, was sogar für einige nachtaktive Arten (z. B. *Gekko gecko*) gilt. Beim Solarmeter 4.0 liegt in diesem Bereich die stärkste Empfindlichkeit (Peak 370 nm), und es ist unempfindlich für Wellenlängen im Bereich des auch für uns sichtbaren Lichtbereichs (ab ca. 400 nm). Hier fällt einem auf, dass beim Vergleich einer typischen UV-Metall dampflampe mit einem UV-Mischlichtstrahler Letzterer sehr viel weniger im UV-A-Bereich abstrahlt, was aber natürlich einhergeht mit der insgesamt schwachen Lichtleistung (Lux). Letztlich soll mir das UV-A-Gerät einfach angeben, ob eine Beleuchtung den höherwelligen UV-A-Bereich, in dem viele Tiere sehen, potenziell abdeckt.

Die Auswahl der Lampen für Aquatis

In erster Linie definiert die Größe eines Terrariums die benötigte Menge an Licht. In einem normalgroßen Zimmerterrarium kann man sie leicht durch moderne UV-Metall dampflampen (wie X-Reptile)

von vielleicht 50–150 W im geeigneten Abstand erreichen. Die benötigten Lampenleistungen für verschiedene Terrariotypen kann man aus den Beispielen in meinem REPTILIA-Artikel zur Terrarienbeleuchtung (FISCHER 2017) abschätzen; sie gelten primär bei der Anwendung von allen Lampen mit qualitativ hoher Lichtabgabe. Mit Halogen-Metall dampflampen kann man zusätzlich auch berücksichtigen, dass die für viele Reptilien sichtbaren Bereiche auch im UV-Bereich liegen. Doch in größeren Innenanlagen von Zoos mit typischerweise mehreren Metern Abstand der Beleuchtung wird es mit herkömmlichen Lampen schwierig! Dennoch orientiere ich mich immer an den in der Natur vorkommenden Werten, und wir versuchen, den Tieren diese Helligkeits- und UV-Intensitäten – zumindest punktuell – anzubieten. In der Praxis ist dies auch mit modernster Lampentechnik sehr anspruchsvoll. Im Aquatis waren es neun „Lebensraumterrarien“ (Flächen von rund 5–10 m², Höhe 2–3,8 m, siehe Teil 1) und die beiden Großanlagen für Krokodile und den Komodowaran, die es auszustatten galt. Die Lebensraumterrarien können von der Beleuchtungsausstattung durchaus noch mit einem Großterrarium, wie man es auch

im Keller eines ambitionierten Terrarianers antrifft, verglichen werden: Die Beleuchtung dieser Terrarien wurde aus mehreren PAR-UV-Metall dampflampen von X-Reptile (70 und 150 W, Zooversion) bewerkstelligt, die mit LED-PowerStrips (120 cm Länge) ergänzt wurden. Die vorausberechnete Menge wurde nach Fertigstellung und ersten Temperatur- und UV-Messungen noch spezifisch angepasst. Als Maß für die richtige UV-Stärke am Sonnenplatz dienen meist die UV-Indexwerte (6.5) und das entsprechende Sonnenverhalten der Tiere.

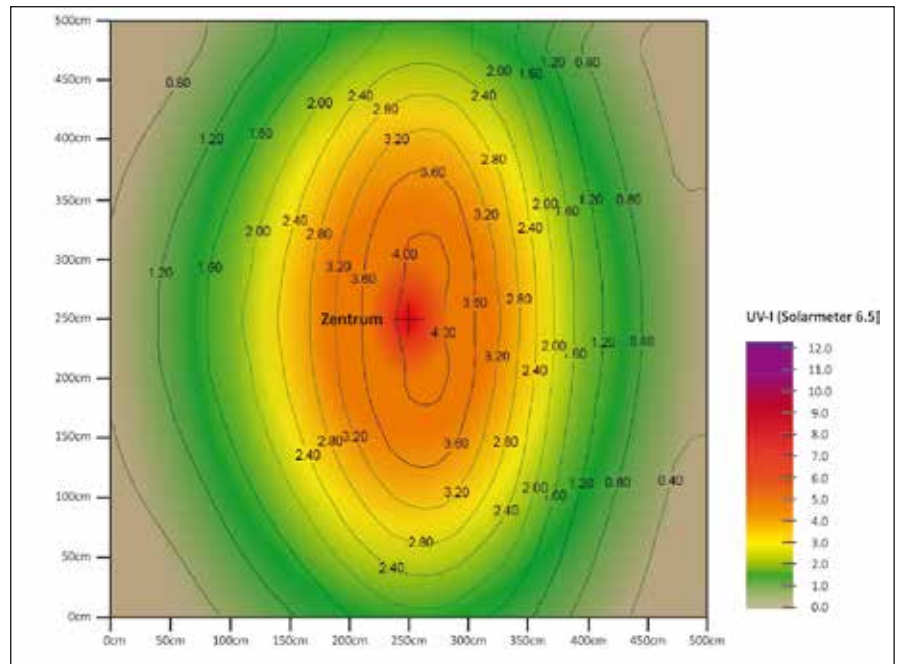
Durch den großen Abstand der Leuchtmittel von mehreren (meist 4–8) Metern musste bei den Großanlagen anders vorgegangen werden. Zum Einsatz kamen äußerst leistungsstarke Leuchtmittel: zur Gesamtausleuchtung High-Power-LED-Strahler, für das wichtige, ergänzende UV-Spektrum wattstarke UV-Metall dampflampen (1.000 und 2.000 W) mit speziellem Spektrum, wie sie erst in neuester Zeit zu Verfügung stehen. Die LED-Strahler für die Krokodile und den Komodowaran mussten angesichts des großen Abstands sehr engstrahlig gewählt werden. Während für den Farbeindruck der Reptilien das Gesamtspektrum und weniger die nach menschlichen Maßstäben defi-

nierte Lichtfarbe in Kelvin entscheidend ist, kann sie für den Eindruck des Besuchers, die Stimmung als Ganzes oder die empfundene Tageszeit entscheidend sein. Nachdem verschiedene Lichtfarben der LED-Strahler vor Ort getestet wurden, entschied man sich, dass für die ganztägige Gesamtausleuchtung eine etwas wärmere Lichtfarbe von 5000 °K eingesetzt werden soll, also etwas wärmeres Licht als die 6000 °K der LEDs und Metaldampflampen in den neun Lebensraumterrarien. Diese Lichtfarbe liegt zwar immer noch im Bereich „Tageslichtweiß“, ergibt aber einen etwas sanfteren, gelblicheren Lichteindruck. Bekanntlich hat die Sonne am späten Morgen oder späten Nachmittag ebenfalls wieder mehr gelbe und rote Anteile (weniger Kelvin). Die Lichtfarbe harmonisiert schlussendlich hervorragend mit dem Gelbbraun der Felsstrukturen bei den Krokodilen.

Bei LEDs kann man den Chip entsprechend wählen, und so stehen verschiedene Lichtfarben zu Verfügung. Somit werden bei den drei Großanlagen gut 20 LED-Strahler X-Reptile von 150–280 W zur Gesamtausleuchtung eingesetzt, die durch maximal fünf zugeschaltete UV-Strahler „UV-Master“ mit 1.000 W bei den Krokodilen und maximal drei zugeschaltete UV-Strahler mit 2.000 W beim Komodowaran für einige Stunden am Tag ergänzt werden. Um Verbrennungen oder andere Schäden zu vermeiden, ist speziell bei diesen leistungsstarken UV-Strahlern der Abstand und Abstrahlungsbereich entscheidend, was nicht nur für den Sonnenplatz der Tiere, sondern auch für den eventuellen Aufenthaltsort des Tierpflegers berücksichtigt werden muss.

Dank

Für das große Vertrauen und die schöne Aufgabe, die mir entgegengebracht wurde, bedanke ich mich zuerst sehr herzlich bei den Hauptbeteiligten der beiden zoologischen Einrichtungen. Bei Michel Ansermet (Aquatris Lausanne) für die jahrelange Zusammenarbeit und die vielen bereichernden Diskussionen. In selber Weise gelten mein Dank und die besten Wünsche auch dem Team vom Abenteuerland Walter Zoo Gossau, insbesondere Dr. med. vet. Karin Federer und Leandra Pörtner. Weiterhin bin ich zu Dank verpflichtet: allen beteiligten



Die UV-Indexwerte beim Einsatz einer hochmodernen, 1.000 W starken UV-Metaldampflampe „UV-Master“ (hier im Abstand von 5 m) sind beeindruckend

Tierpflegern, Sabine Beutler für viele Fahrten nach Lausanne und zu den französischen Zoos sowie Assistenz für die Fotos, Nicola Colombo (Nephos Swiss Fog) für Infos zur großen Regenanlage, Torsten Henze (LIH Light Impex Henze GmbH) für die vielen freundlichen Infos zu den UV-Lampen und die UV-Messungen, Roland Andres (Jungle Boy) für die Ausführungen zu Terrariensteuerung und Beregnung, Tamara Blanc für die mehrfache, freiwillige Korrekturarbeit am Manuskript, Erich Hausamman (DGHT

Winterthur) für die interessanten Infos und Einladung zu seinen Krokodilen, Roger Aeberhard (snakeparadise.ch) für viele Infos, Fotos und Einladung zu seinen Giftschlangen, Adrien Derby (Universität Genf) für die Papers zur DNA-Sequenzierung vom Krokodilgenom, Roger Graf (Zoo Schweiz) für den kostenlosen Zooführer, Heike Asche und Alexander Rütter (CENO Membrane Technology GmbH) für die Detailinformationen, Messprotokolle und die kostenlose ETFE-Folienmuster für meine Messung. ■

Literatur

- AUCONE, B.M., W.H. GEHRMANN, G.W. FERGUSON, T. CHEN & M.F. HOLICK (2003): Comparison of two artificial ultraviolet light sources used for Chuckwalla, *Sauromalus obesus*, husbandry. – Journal of Herpetological Medicine and Surgery 13: 14–17.
- BAINES, F., J. CHATELL, J. DALE, D. GARRICK, I. GILL, M. GOETZ, T. SKELTON & M. SWATMAN (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(1): 42–63.
- DIEHL, J. J. E., F.M. BAINES, A.C. HEUBOER, J.P. VAN LEEUWEN, M. KIK, W.H. HENDRIKS, D.G.A.B. OONINCX (2017): A comparison of UVb compact lamps in enabling cutaneous vitamin D synthesis in growing bearded dragons. – J Anim. Physiol. Anim. Nutr. 10.1111/jpn.12728
- FISCHER, O. (2017): Wie stelle ich die Beleuchtung für mein Terrarium sonnenliebender Reptilien richtig zusammen? – REPTILIA Nr. 128: 16–27.
- GILLESPIE, D., F.L. FRYE, S.L. STOCKHAM & T. FREDEKING (2000): Blood values in wild and captive Komodo dragons (*Varanus komodoensis*). – Zoo Biology 19: 495–509.
- LINDGREN, J., W.H. GEHRMANN, G.W. FERGUSON & J.E. PINDER (2008): Measuring effective vitamin D 3-producing ultraviolet B radiation using Solartech's Solarmeter® 6.4 handheld, UVB radiometer. – Bull. Chicago Herp. Soc. 43(4): 57–62.
- NUBOER, J., H. VAN BRUG, M.A. TRYFONIDOU & J.P.T.M. VAN LEEUWEN (2007): UV-B and vitamin D3 metabolism in juvenile Komodo dragons (*Varanus komodoensis*). – Filander Verlag, Fürth, Germany.
- NORVAL, M., L.O. BJÖRN & F.R. DE GRUIJL (2010): Is the action spectrum for the UV-induced production of previtamin D3 in human skin correct? – Photochem Photobiol. Sci. 9: 11–17.
- SIMÕES, B.F., F.L. SAMPAIO, R.H. DOUGLAS, U. KODANDARAMAIAH, N.R. CASEWELL, R.A. HARRISON, N.S. HART, J.C. PARTRIDGE, D.M. HUNT & D.J. GOWER (2016): Visual Pigments, Ocular Filters and the Evolution of Snake Vision. – Molecular Biology and Evolution 33(10): 2483–2495.
- WUNDERLICH, S. (2017): Noch mehr Licht. – REPTILIA Nr. 123: 54–58.

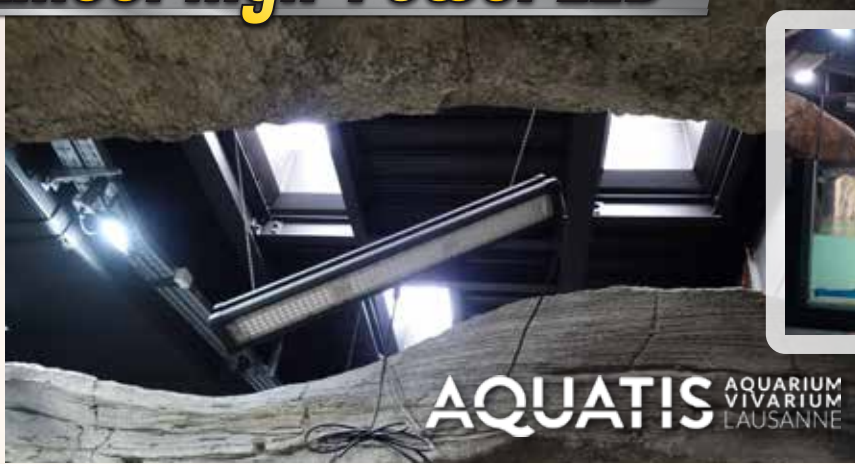
X-REPTILE ZOO LEDs

LED's für zoologische und botanische Gärten

Die LEDs für die Ausleuchtung grösserer zoologischer und botanischer Anlagen müssen einige Anforderungen erfüllen, die sie von den typischen Flood-LEDs der Industrie unterscheidet. Unsere LEDs werden individuell auf die Bedürfnisse jeder Zooanlage zugeschnitten. Bei den linearen und Flat-Flood High-Power LEDs werden z.B. die ungünstigen, starken Hell-Dunkelkontraste von nur aus einem Punkt strahlenden Flood-LED's ideal vermieden und eine gleichmässige Beleuchtung auf grosse Distanzen erzielt. In verschiedenen Abstrahlwinkel konfigurierbar sind sie beliebig kombinier- und erweiterbar:

Linear High-Power LED

150W 25° dimmable; DALI or 1-10V
IP66



Linear High-Power LED 150W
Krokodilanlage (Aquatris, Lausanne)



Flat-Flood High-Power LED

240W dimmable; DALI or 1-10V
IP66



Flat Flood High-Power LED 240W
Anlage Komodowaran (Aquatris, Lausanne)

www.x-reptile.ch

Ihr Schweizer Hersteller für Terrarienbeleuchtung

info@x-reptile.ch



«Wenn wir das Licht, das wir auf unsere Umwelt fallen sehen, mit unseren Augen betrachten und für ein Reptil beurteilen, haben wir wohl ein ebenso falsches Bild, wie wenn wir die Kommunikation unter Delphinen, nur nach dem beurteilen, was wir mit unseren Ohren hören.»

Oliver Fischer

