

Hans Dieter Lehmann

UV-Bestrahlung im Terrarium – der Status quo

Erste Erfahrungen mit einer UV-Bestrahlung im Terrarium reichen mindestens 75 Jahre zurück. 1932 berichtete WALTER SENFFT in der Zeitschrift „Der Zoologische Garten“ über die positiven Wirkungen einer Bestrahlung mit der Osram-Vitalux-Lampe (einem Vorläufer der Osram-Ultravitalux-Lampe mit einem Emissionsspektrum bis in den UVB-Bereich; HULDSCHINSKY 1929) auf die Haltung eines juvenilen grünen Leguans (*Iguana iguana*). Das zuvor kränkelnde Tier gewann seine Lebhaftigkeit sowie die „leuchtendgrüne Farbe“ zurück, und auch die Futteraufnahme wurde sehr deutlich verbessert.

Der Autor folgerte aus seinen Beobachtungen, dass die Ultraviolettstrahlung der Vitalux-Lampe Effekte beim Leguan auslöste, die über die Wirkung des mit dem Futter gereichten Vigantol® hinausgingen. SENFFT war sich der Risiken einer Bestrahlung mit dieser lichtstarken Lampe durchaus bewusst und wählte einen Abstand vom Tier von 120 cm und eine Bestrahlungsdauer von zunächst 10 min/Tag, die er sukzessive auf 30 min/Tag steigerte. Seine Erfahrungen wurden später von anderen bestätigt, und WALTER SACHS bezeichnete 1940 für die nun verbesserte Osram-Ultravitalux-Lampe mit stärkerer UV- und geringerer Infrarot-Strahlung (LARCHÉ 1942) eine Bestrahlungsdauer von 15 min bei einem Abstand von 50 cm als unkritisch für Reptilien. Diese Ansicht ist auch heute noch richtig.

1. Welche UV-Lampen werden gegenwärtig für Terrarientiere angeboten und wie sind sie zu bewerten?

In den Jahrzehnten etwa ab 1970 hat sich eine bemerkenswerte Entwicklung in der Herstellung von Beleuchtungskörpern für Terrarien vollzogen – beginnend mit so genannten True-Light-Röhren bis hin zu vermehrt UVA- und UVB-emittierenden Lichtquellen. In dem Wissen, dass auch dem UVB-Anteil des natürlichen Lichtes eine biologische Wirkung bei Reptilien und Amphibien zukommt und deshalb dieser mindestens den tagaktiven Spezies im Terrarium geboten werden sollte, war und ist es das Ziel des Handels, sowohl für kleine und mittelgroße Terrarien als auch für Großterrarien (z. B. in Zoos) geeignete Lampen entsprechend angepasster Wattstärke und einer Strahlungsintensität, die eine tägliche zwölfstündige Bestrahlung ohne Schädigung zulässt, zur Verfügung zu stellen. Wünschenswert ist, dass solche Lampen UV-Licht aussenden, das dem natürlichen Sonnenlicht in seinem Spek-

tralbereich entspricht, also UVB-Licht von 290 bis 320 nm und UVA-Licht von 320 bis 400 nm. Ein UVC-Anteil (200–280 nm) mit keimtötender, aber auch gewebsschädigender Wirkung hat in solchen Lampen nichts zu suchen.

Die heutzutage für Terrarien verfügbaren UV-Strahlungsquellen liegen in drei Lampentypen vor. Es handelt sich einerseits um Leuchtstoffröhren (Abb. 1) in verschiedenen Wattstärken (ab 14 W) und Längen, die vom Handel mit Angaben über den prozentualen UVA- und UVB-Strahlungsanteil (teilweise auch mit solchen der Farbtemperatur und Farbwiedergabestufe) versehen werden. Nicht für den Terrarianer zugänglich sind so genannte Sunlamps, wie sie von Sonnenstudios und für medizinische Zwecke, wie die Behandlung der Psoriasis (Schuppenflechte), Verwendung finden. Diese sehr lichtstarken Röhren dienen einer kurzdauernden Bestrahlung und verlangen eine sorgfältige Beachtung der Distanz, um Schäden für Mensch und Tier zu vermeiden. JES (1991) hat als Leiter des Kölner Zoo-Aquariums bereits Anfang der 90er-Jahre gezeigt, dass mit diesen Leuchtstoffröhren bei dosierter Anwendung sehr positive Haltungs- und Zuchterfolge bei Reptilien zu erzielen sind, und das Auftreten von Dermatosen und Kiefernekrosen (z. B. bei Chamäleons) verhindert werden konnte. Weiterhin gibt es Reflektorstrahler (Abb. 1), die der Osram-Ultravitalux-Lampe ähnlich sind, aber mit 100 bzw. 160 W für mittelgroße Behälter Vorteile bieten. Schließlich als jüngste Entwicklung: die Kompakt-Leuchtstoffröhren (Abb. 1) ab 15 W, die durch ihre spezielle Konstruktion als Energiesparlampen mit integriertem Vorschaltgerät und E27-Fassung besonders benutzerfreundlich sind. Durch den Einsatz von Reflektoren für die Leuchtstoffröhren lässt sich das emittierte Licht in einer Richtung bündeln und somit besser ausnutzen (Tab. 1). Von allen genannten Lampentypen sind die Produkte verschie-

dener Hersteller im Handel (produziert in Europa, USA und Asien), und diese sind keineswegs als gleichwertig anzusehen.

Zur Bewertung praktisch nutzlos sind die von den Vertriebsfirmen angegebenen prozentualen Emissionswerte für UVA und UVB. Sie dienen lediglich zur Unterscheidung der Lampen eines Sortiments untereinander. Um die tatsächliche UV-Strahlung zu erfassen, bedient man sich üblicherweise Radiometern, die die Strahlung in definiertem Abstand von der Strahlungsquelle in W/m^2 oder $\mu\text{W/cm}^2$ angeben (STECK 2004). GEHRMANN et al. (2004a), der Pionier in der herpetokulturellen Strahlenthematik, hat aber gezeigt, dass mit den Radiometern verschiedener Hersteller für ein und dieselbe Lampe unterschiedliche Messwerte gewonnen werden. Dies ist entsprechend zu berücksichtigen. In der Terraristik haben inzwischen die preiswerten Solarmeter[®] der US-Firma Solartech (Harrison Township, Michigan 48045, USA; www.solarmeter.com), die eine Messung von UVA und/oder UVB erlauben, breite Anwendung gefunden (GEHRMANN et al. 2004b). Solarmeter[®]-Messwerte für viele im Handel erhältliche Leuchtkörper sind über das Internet zugänglich (z. B. www.luckyreptile.de, www.uvguide.co.uk).

Radiometer erfassen das ultraviolette Licht mittels Sensoren, die eine charakteristische, mit der Wellenlänge sich ändernde spektrale Empfindlichkeit aufweisen (STECK 2004). Es kann deshalb nicht überraschen, dass ein derartig ermittelter Messwert nicht repräsentativ ist für die andersartige spektrale Charakteristik biologischer Wirkungen der UV-Strahlung – im UV-Bereich denkt man aktuell in erster Linie an die kutane (in der Haut ablaufende) Vitamin D₃-Bildung. Erinnern wir uns, unter dem Einfluss des ultravioletten Lichtes wird aus dem in der Haut vorhandenen Provitamin D₃ (7-Dehydro-

cholesterol, 7-DHC) das thermolabile Previtamin D₃ gebildet, das anschließend durch eine thermische Reaktion zu Vitamin D₃ transformiert wird. Die fotochemische Umwandlung von Provitamin D₃ (7-DHC) in Previtamin D₃ vollzieht sich in einer definierten Funktion (Abb. 2) im Bereich von 255–315 nm mit einem Maximum bei 295 nm. Das natürliche Sonnenlicht weist ein Spektrum auf, das in den kurzwelligen Bereich bis 290 nm reicht, d.h. das Spektrum schließt die für die Vitamin D₃-Bildung maximal wirksamen Wellenlängen ein (Änderungen des Sonnenlichtspektrums ergeben sich in Abhängigkeit von der Tageszeit, der Jahreszeit, dem Breitengrad u. a.). Von einem künstlichen Leuchtkörper mit deklarierter Fähigkeit zur Vitamin D₃-Bildung muss man entsprechend eine UV-Emission im Wellenlängenbereich unter 315 nm verlangen. Die von den Vertriebsfirmen auf den Verpackungen dargestellten briefmarkengroßen Spektren lassen eine eindeutige Beurteilung in dieser Hinsicht allerdings kaum zu.

Aufgrund der beschriebenen Gegebenheiten hat LINDGREN (2005) – um eine vergleichende Bewertung verschiedener Lampen mit deklarierter UVB-Emission vornehmen zu können – den D₃ Yield Index kreiert. Dieser Index gibt das Vitamin D₃-Bildungspotential einer Lampe im Vergleich zu natürlichem Sonnenlicht (gemessen in Süd-Finnland an einem wolkenlosen Junitag um 13:08 Uhr) an und wird berechnet aus dem lampentypischen Emissionsspektrum, dem für jede Wellenlänge im UVB-Bereich ≤ 313 nm das Vitamin D₃-Bildungspotential aus dem Aktionsspektrum der Pro- zu Previtamin-D₃-Transformation (Abb. 2) zugeordnet wird. Der D₃ Yield Index wurde für zwölf verschiedene Leuchtstoffröhren (darunter keine Kompakt-Leuchtstoffröhren) ermittelt. Für die Reptisun 5.0 UVB von Zoo Med (übrigens: made in Germany) ergab sich der beste Wert von 439 gegenüber der Sonnenlichtreferenz von 1000. In der Bewertungsskala folgen Reptilight von Narva (284), Exo-Terra Repti Glo 8.0 von Hagen (190), Reptistar von Sylvania (157) und Exo-Terra Repti Glo 5.0 (151). Allen anderen Leuchtstoffröhren wurden Werte von 22 bis 0 zugeordnet. LINDGREN'S D₃ Yield Index-Werte lassen sich rechnerisch nicht leicht nachvollziehen, aber ein Blick auf die der Pu-



Abb 1. Die drei Typen von UV-Licht emittierenden Lampen für Terrarien

Lampentyp Messbedingung Reflektortyp	UVB-Strahlung ohne Reflektor $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	UVB-Strahlung mit Reflektor $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
Zoo Med Reptisun 5.0 UVB 14 W horizontale Lagerung Arcadia Reflektor	max. 19	max. 33
Lucky Reptile Compact UV Sun 15 W horizontale Lagerung Arcadia Kompaktreflektor	max. 20	max. 44 ²⁾
Lucky Reptile Compact UV Sun 15 W senkrechte Lagerung Glühlampen-Reflektor	max. 13	max. 27
1) gemessen im Abstand von 30 cm von der Lichtquelle 2) bei Verwendung des mitgelieferten Schutzgitters geht die Strahlung zurück auf 22 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$		

Tabelle 1. Einfluss von Reflektoren auf die UVB-Strahlung von Leuchtstoffröhren (gemessen mit dem Solarmeter® 6.2)¹⁾

UVB-Strahlungsintensität keine generelle, sondern eine je nach Lampe variierende Korrelation besteht. Das bedeutet, dass Lampen mit etwa gleichen Solarmeter-Werten beträchtliche Unterschiede in ihrer Vitamin D₃-Bildungsfähigkeit aufweisen können (Tab. 2). Das Solarmeter® ist

blikation beigefügten Emissionskurven machen die numerischen Unterschiede zwischen den Lampen plausibel.

LINDGREN'S Bewertungsmethode ist eine indirekte, d. h. sie muss sich erst durch den tatsächlichen Nachweis des unter der UV-Strahlung gebildeten Fotoprodukts Previtamin D₃ bzw. Folgeprodukten bewähren. Hierfür steht seit etwa 20 Jahren ein einfacher *in vitro*-Assay aus dem Vitamin D-Labor von M. F. HOLICK (Boston University Medical Center, Boston, Massachusetts, USA) zur Verfügung (WEBB et al. 1988). UV-durchlässige Ampullen, die eine alkoholische Lösung von 7-Dehydrocholesterol enthalten, werden über eine definierte Zeit dem Sonnenlicht oder einer künstlichen Lichtquelle ausgesetzt und anschließend die entstandenen Produkte durch Chromatographie (HPLC) erfasst und in Prozent der Ausgangssubstanz ausgedrückt (Abb. 3). Die fotochemische Transformation von 7-DHC ist in Ampullen qualitativ gleich wie in Hautgewebestücken, quantitativ treten jedoch Unterschiede infolge von Pigmentierung, anderen Transmissionshindernissen in der Haut und anderen Faktoren auf. Für einige Leuchtmittel, die für Terrarien im Handel sind, liegen Werte aus diesem *in vitro*-Assay vor (Tab. 2; GEHRMANN et al. 2004b, HOLICK et al. 2002). Die Ergebnisse aus diesem Test stehen in guter Übereinstimmung zu den von LINDGREN (2005) publizierten Werten des D₃ Yield Index (GEHRMANN, pers. Mitteilg.). Aus den Untersuchungen von GEHRMANN et al. (2004b) geht auch hervor, dass zwischen dem *in vitro* gebildeten Fotoprodukt und der durch das Solarmeter® 6.2 gemessenen

somit zur vergleichenden Bewertung von Lampen verschiedener Hersteller ungeeignet. Dieses Messinstrument verdient aber eine weite Verbreitung in der Terraristik, um die Strahlungsquantität einer erworbenen Lampe, deren Alterung und die im Terrarium tatsächlich ankommende Strahlung (z. B. vermindert durch zwischengeschaltete Drahtgaze o. Ä.) kontrollieren zu können. Die Untersuchung einiger Lampen hat ergeben, dass eine Gleichwertigkeit von Lampen eines Produzenten keineswegs sicher ist (HOLICK et al. 2002, www.uvguide.co.uk). Tierärztliche Strahlungsmessungen mit dem Solarmeter® 6.2 im Rahmen von Bestandsbetreuungen haben zudem gezeigt, dass manche im Terrarium genutzte Lampen tatsächlich eine UV-Intensität von Null aufweisen (WITTICH, pers. Mitteilung). Für die Reptisun 5.0 UVB empfiehlt sich ein Wechsel der Lampe nach einem Jahr (GEHRMANN et al. 2005, LINDGREN 2005).

2. Wie viel UV-Licht brauchen Reptilien und Amphibien?

Der Wert der vom Handel angebotenen UV-Licht emittierenden Lampen für die Terraristik entscheidet sich letztendlich durch die Beantwortung der Frage: wie viel UV-Licht brauchen Reptilien und Amphibien? Diese Frage lässt sich gegenwärtig nur in Ansätzen beantworten (ADKINS et al. 2003). Kein Zweifel besteht darüber, dass herbivore (Pflanzen fressende) und carnivore (Fleisch fressende) Reptilien ebenso wie Amphibien unter dem Einfluss der UVB-Strahlung des Sonnenlichts oder künstlicher Lichtquellen Vitamin D₃ in der Haut bilden können

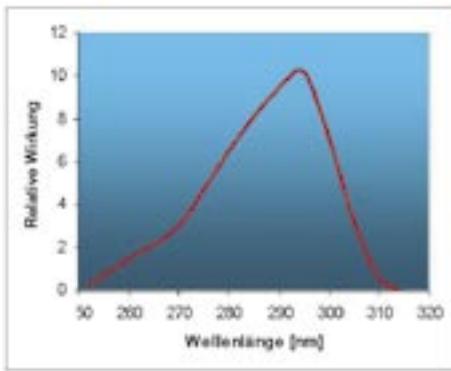


Abb. 2. Spektrale Wirkungsfunktion der Transformation von Pro- zu Previtamin D₃

und somit kein prinzipieller Unterschied zu warmblütigen Wirbeltieren besteht, wohl aber quantitative Unterschiede. In der Haut von Reptilien und Amphibien findet sich das Provitamin D₃ (7-DHC; HOLICK et al. 1989) und die temperaturabhängige Konversion des fotochemisch gebildeten Previtamin D₃ zu Vitamin D₃ erfolgt in der Haut von *Iguana iguana* und der des Grasfrosches (*Rana temporaria*) durch Anlagerung an die Zellmembran 10-fach rascher als in alkoholischer Lösung (HOLICK et al. 1995). Die Temperaturabhängigkeit der Vitamin D₃-Bildung wird durch diese Anlagerung beträchtlich vermindert, was speziell für poikilotherme (wechselwarme) Wirbeltiere von vitaler Bedeutung ist und ihnen u.a. auch in gemäßigten Klimazonen eine ausreichende Versorgung mit Vitamin D₃ sichert. Auch die enzymatischen Umwandlungsprodukte von Vitamin D₃ zu 25-Hydroxyvitamin D₃, dem im Plasma hauptsächlich vorkommenden Metaboliten, und zu 1,25-Dihydroxyvitamin D₃, der biologisch aktiven Form von Vitamin D₃, lassen sich im Blut von Reptilien nachweisen (Tab. 3; LAING et al. 1999). Für 1,25-Dihydroxyvitamin D₃ finden sich im Organismus von Reptilien und Amphibien, wie beim Warmblüter, zelluläre Bindungsstellen, Rezeptoren, nicht nur im Knochen und Darm, sondern auch u. a. im Gehirn mit noch unklarer biologischer Bedeutung (BIDMON 1995, BIDMON & STUMPF 1994, 1996). HOLICK et al. (1989) weisen sehr einleuchtend darauf hin, dass die Fähigkeit zur Vitamin D-Bildung unter dem Einfluss des Sonnenlichts bei niederen Wirbeltieren die Voraussetzung dafür war, dass sie im Rahmen der Evolution das Meer verlassen und das Land besiedeln konnten. Nur so war eine ausreichende enterale (im Darm stattfindende) Calci-

um-Resorption und damit die Bildung eines stabilen Skeletts und einer funktionsfähigen Muskulatur zu gewährleisten.

Herbivore Reptilien sind – im Unterschied zu carnivoren Reptilien – in der Natur praktisch ausschließlich auf die kutane Vitamin D₃-Bildung angewiesen. (Inwieweit das mit der Pflanzennahrung aufgenommene Provitamin D₂, Ergosterol, das analog zum Provitamin D₃ unter dem Einfluss des UV-Lichtes zu Vitamin D₂ und anschließend enzymatisch letztlich zu 1,25-Dihydroxyvitamin D₂ umgewandelt werden kann, an der Versorgung der Reptilien mit Vitamin D beteiligt ist, lässt sich mangels entsprechender Untersuchungen gegenwärtig nicht abschätzen.). Sie vermögen aber auch mit der Nahrung aufgenommenes Vitamin D₃ im Darm zu resorbieren; so lassen sich im Terrarium Haltungserfolge und auch Reproduktion ohne UV-Licht erzielen. Dies gilt allerdings nicht für alle herbivoren Reptilien, so bedarf u. a. *Iguana iguana* der UV-Strahlung, anderenfalls kommt es zur metabolischen Knochenerkrankung (ALLEN et al. 2003). Es gibt jedoch auch experimentelle Befunde, die diese Ansicht nicht stützen (HIBMA 2004). Die Diskrepanz ist letztlich nicht geklärt.

Generell lässt sich feststellen, dass viele Reptilien sehr positiv auf einen Freilandaufenthalt reagieren – und mindestens ein Teil dieses Effekts ist der UVB-Strahlung zuzumessen, wofür der nachgewiesene Anstieg des Plasmaspiegels von 25-Hydroxyvitamin D₃ spricht (GILLESPIE et al. 2000, GYIMESI & BURNS III 2002). Andererseits hört man immer wieder von Terrarianern, die ihre Tiere im Haus ohne UV-Bestrahlung halten, dass es bei der Reproduktion eierlegender Pfleglinge zu Schlupfproblemen kommt. Da sterben voll entwickelte Feten kurz vor dem Schlupf im Ei ab oder zeigen nach dem Schlupf erhebliche motorische Störungen. Dies beruht vermutlich – wie für das Geflügel hinlänglich bekannt (HART et al. 1986, NARBAITZ & TSANG 1989) – auf einer mangelhaften Skelettstabilität und/oder einer Funktionsstörung der Muskulatur infolge von Vitamin D₃- und Calcium-Mangel. FERGUSON et al. (1996, 2002, 2005a) haben entsprechende Untersuchungen zur Schlupfproblematik an Pantherchamäleons (*Furcifer pardalis*) über viele Jahre durchgeführt. Sie fanden, dass die Schlupfrate durch UVB-Bestrahlung der Muttertiere mit definierter Intensität für zwölf Stunden pro Tag mittels Leuchtstoffröhren signifikant zu verbessern war. Das Optimum wurde mit einer Bestrahlungsstärke erreicht, die einer Provitamin D₃-Transformation im *in vitro*-Assay (Abb. 3) von 0,52-1,32 % innerhalb von zwei Stunden entsprach. GEHRMANN et al. (2004b) haben durch zusätzliche Untersuchungen für die

Reptisun 5.0 UVB von Zoo Med eine Strahlungsintensität (gemessen mit dem Solarmeter® 6.2) von 15-33 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ und für die Westron Active UV Heat Spotlampe 160 W eine von 8-35 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ als äquivalent für die von FERGUSON et al. (2002) gefundene optimale Provitamin D_3 -Transformationsrate von 0,52-1,32 % ermittelt.

AUCONE et al. (2003) haben die Westron Active UV Heat Lampe Flood 300 W in ihrem Einfluss auf das Wachstum juveniler Chuckwallas (*Sauro-malus ater*) über einen Zeitraum von 15 Monaten verglichen mit der Bestrahlung durch zwei Sylvania 350 BL-Leuchtstoffröhren (Blacklight) 20 W (kombiniert mit einer Licht und Wärme liefernden 300 W Philips-Lampe). Die herbivoren Echsen erhielten einmal wöchentlich Calciumcarbonat, aber kein Vitamin D_3 mit dem Futter. Die Lampenanordnung gewährleistete, dass beiden Versuchsgruppen die gleiche Temperatur (41,1 °C) am Sonnenplatz geboten wurde, aber dort ein Unterschied in der UV-Strahlungsintensität bestand. Mit der Active UV Heat Lampe resultierte eine Strahlung von 1154 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ für UVA bzw. von 383 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ für UVB, mit der Sylvania-Lampe entsprechend von 538 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ (UVA) bzw. 168 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ (UVB). Zwischen beiden Gruppen wurde kein Unterschied im Wachstum (Kopf-Rumpflänge und Körpermasse) und der Kno-chendichte gefunden, wohl aber ein signifikanter Unterschied im Serumspiegel von 25-Hydroxyvita-

min D_3 : 234 nmol/l in der Active UV Heat-Gruppe (somit ähnlich dem Wert von Wildtieren: 211 nmol/l) und 103 nmol/l in der Sylvania-Gruppe. Aufgrund des gleichen Wachstums darf man folgern, dass die UV-Strahlung in der Sylvania-Gruppe ausreichte, um den Vitamin D_3 -Bedarf der wachsenden Chuck-wallas zu decken. Der Vorteil der Active UV Heat-Lampe besteht aber darin, dass sie die Bildung von Vitamin D_3 mit der Lieferung von Licht und Wärme verbindet. Die Wärmeentwicklung macht die An-wendung allerdings von der Behältergröße abhän-gig (der Vertrieb der Active UV Heat-Lampe 300W wurde inzwischen eingestellt). Die Strahlungswerte in der beschriebenen Studie wurden nicht mit dem Solarmeter® 6.2 von Solartech (siehe oben), sondern mit dem UVX Radiometer von VVP, Inc. (Upland, California) erfasst. Für die Messwerte mit diesem Radiometer liegt aber die publizierte Kor-relationsbeziehung zwischen Strahlungsdosis und der Transformation von Pro- zu Previtamin D_3 (siehe oben) im *in vitro*-Assay vor (GEHRMANN 2004a): 383 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ (UVB) entsprechen danach 2,98 % des Fotoprodukts und 168 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ (UVB) 2,40 % des Fotoprodukts (Expositions-dauer von 2 Std.). So-mit ist eine Vergleichsmöglichkeit mit anderen UV-Lampen gegeben (siehe Tab. 2).

Auch beim Komodo-Waran (*Varanus komodoen-sis*) sowie zwei weiteren Waranarten wurde mittels einer Active UV Heat Lampe 300 W (angebracht im

Tabelle 2. Fotochemische 7-DHC Transformation *in vitro* und die UVB-Strahlung für verschiedene Strahlungsquellen (GEHRMANN 2004, pers. Mitteilung 2006)

Strahlungsquelle	Methodik Abstand (cm)	Dauer (Std.)	Strahlung* Intensität ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)	Dosis (mJ/cm^2)	Fotoprodukt (%)
Leuchtstoffröhre Reptisun 5.0	23	2	16	115	0,54
Reflektorlampe Active Heat 160 W Spot	30	2	173	1246	4,39
Kompakt-Leuchtstoffr. Zoo Med ReptiSun 10, 26 W	25	1	26	94	8,8
Kompakt-Leuchtstoffr. Arcadia 7 % UVB 23 W	24	1	24	86	1,22
Natürliches Licht Boston Juli 2003 13.00 Uhr		1	275	990	7,4
*gemessen mit Solarmeter® 6.2					

Spezies	25 (OH) D ₃ (nmol/l)	Literatur
<i>Brachylophus</i> spp.	78	LAING et al. 2001
<i>Cyclura cornuta</i>	260-369	RAMER et al.2005
<i>Cyclura ricordii</i>	250-1118	RAMER et al. 2005
<i>Iguana iguana</i>	365	BERNARD et al.1991
<i>Iguana iguana</i>	51-393	NEVAREZ et al. 2002
<i>Sauromales obesus</i>	137-325	AUCONE et al. 2003
<i>Varanus komodoensis</i>	117-324	GILLESPIE et al. 2000
<i>Gopherus agassizii</i>	0-41	BERNARD 1995
<i>Testudo</i> spp.	21-42	EATWELL 2005

Tabelle 3. 25-Hydroxyvitamin D₃-Plasmaspiegel bei Reptilien in der Natur

(*Gopherus agassizii*) und europäische *Testudo*-Arten wiesen vergleichsweise sehr niedrige

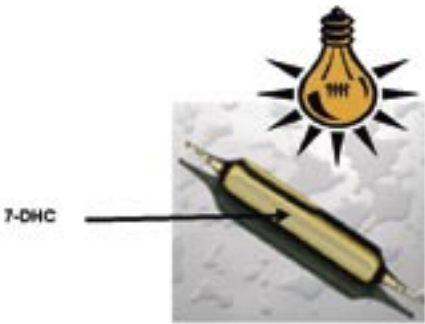


Abb. 3. In vitro-Modell der photochemischen Transformation von 7-DHC (WEBB et al. 1988)

Abstand von 2,44 m, Brenndauer 8-10 Std./Tag) ein Anstieg des Plasmaspiegels von 25-Hydroxyvitamin D₃ auf Werte von Wildtieren erreicht (GILLESPIE et al. 2000). Ein gleiches Resultat erzielte BERNARD (1995) bei *Iguana iguana* mit einem Versuchsmodell einer Sylvania (USA)-Leuchtstoffröhre (angebracht im Abstand von 61 cm, Brenndauer 12 Std./Tag), die durch eine Provitamin D₃-Konversion im *in vitro*-Assay (1 Std. Exposition, Abstand 61 cm) von 0,58 % charakterisiert war.

In auffälligem Gegensatz zu den Erfahrungen mit UV-Licht emittierenden Lampen bei der Terrarienhaltung von Echsen steht der Befund, dass bei drei Kilogramm schweren Spornschildkröten (*Geochelone sulcata*) durch Bestrahlung mit einer UV-Leuchtstoffröhre (einem Versuchsmodell von Sylvania USA) keine Veränderung des 25-Hydroxyvitamin D₃-Blutspiegels eintrat, während die gleiche Lampe bei *Iguana iguana* einen deutlichen Anstieg verursachte (BERNARD 1995). Der gleiche Unterschied in der Reaktion dieser Reptilien fand sich auch nach oraler Gabe von Vitamin D₃ (BERNARD 1995). Im Freiland gehaltene Gopher-Schildkröten

Blutspiegel von 25-Hydroxyvitamin D₃ auf (Tab. 3; BERNARD 1995, EATWELL 2005). Orientierende Untersuchungen an drei Schmuckschildkröten (*Trachemys scripta elegans*), die im Terrarium ohne UV-Bestrahlung gehalten wurden, ergaben ebenfalls Werte für 25-Hydroxyvitamin D₃ von 75-175 nmol/l, aber für 1,25-Dihydroxyvitamin D₃ von 225-277 pmol/l (HARMEYER, pers. Mitteilung). Dieser nicht gerade niedrige Wert für 1,25-Dihydroxyvitamin D₃ (entsprechender Wert für *Iguana iguana* in Costa Rica: 642 pmol/l, BERNARD et al. 1991) weist darauf hin, dass bei Blutuntersuchungen an Reptilien nicht nur der 25-Hydroxyvitamin D₃-Spiegel bestimmt werden sollte, wenn man einen Eindruck über den Vitamin D-Status gewinnen will. Entsprechende Plasmaspiegel-Werte liegen für die Chinesische Weichschildkröte (*Pelodiscus sinensis*: 25-Hydroxyvitamin D₃ – 40 nmol/l, 1,25-Dihydroxyvitamin D₃ – 30 pmol/l) und den Krallenfrosch (*Xenopus laevis*: 25-Hydroxyvitamin D₃ – 5 nmol/l, 1,25-Dihydroxyvitamin D₃ – 52,5 pmol/l) vor (KOBAYASHI et al. 1991). Publiizierte Befunde an Krokodilen und Schlangen scheinen völlig zu fehlen. Der Umfang verfügbarer Daten zur UV-Thematik ist somit begrenzt und praktisch ausschließlich auf Echsen bezogen. Da Wachstum und Reproduktion jedoch die stärksten Anforderungen an die Calcium-Versorgung und damit an den Vitamin D₃-Bedarf des Organismus stellen, können die vorgenannten Werte an Echsen als Orientierungshilfe für die Bestrahlung von Reptilien dienen.

UV-Strahlung hat auch im UVA-Bereich eine wichtige biologische Funktion, mindestens für Echsen verschiedener Taxa und für Schmuckschildkröten. Bestimmte Farbmuster an Kopf und Rumpf dieser Tiere reflektieren ultraviolette Strahlung z. T. bis in den UVB-Bereich hinein und dienen der Erkennung art eigener und artfremder Vertreter und konsekutiv der Revierverteidigung und Partnerwahl (Übersicht bei HORN 2004, STAPLEY & WHITING 2006, GEHRING & WITTE 2007). Bei Pantherchamäleons und bei Chuckwallas wurde im Übrigen ge-

funden, dass sie bei Vitamin D₃-Mangel die Strahlung einer UVB-Lichtquelle vermehrt aufsuchen, d. h. über ein optisches Erkennungsvermögen verfügen (FERGUSON et al. 2003; AUCONE et al. 2003).

UV-Strahlung kann in Abhängigkeit von der Wellenlänge und der Strahlungsdosis auch negative, toxische Wirkungen haben, beim Menschen am besten bekannt als Sonnenbrand. Gefahren gehen vor allem aus von Strahlung im UVB- und UVC-Bereich. Bei Verwendung lichtstarker Leuchtstoffröhren, deren Emission teilweise bis in den kurzwelligen UV-Bereich (≤ 275 nm) hineinreicht, die aber für Terrarianer nicht im Handel sind, wurden Todesfälle bei *Iguana iguana* (HIBMA 2004), Förderung von Hauttumoren und Verkürzung der Lebenserwartung bei Chamäleons (FERGUSON et al. 2002), Hautschäden, Futterverweigerung und verminderte Aktivität bei Seitenfleckenleguanen (*Uta stansburiana*; GEHRMANN 1994) und Konjunktivitis (Bindehautentzündung) bei Krokodilen (JES 1991) beschrieben. An einheimischen Fröschen (*Rana temporaria* und *R. esculenta*) und Salamandern (*Salamandra salamandra* und *S. atra*) liegen Untersuchungen mit dem Quecksilberhochdruckbrenner der Osram-Ultravitaluxlampe vor, die zeigten, dass vor allem die Strahlung im Wellenlängenbereich von 250–260 nm zu schwerer kutaner Zellzerstörung mit Todesfolge führt (DORN 1955a, b). Durch Vorschaltung eines Filterglases, das Strahlung unterhalb von 280 nm zurückhält (und damit etwa den Bedingungen der käuflichen Osram-Ultravitaluxlampe entspricht), ließ sich bei beiden Froscharten und beim Alpensalamander die Gewebeschädigung verhindern. Beim Feuersalamander dagegen kam es zu Blasenbildung der Haut und Abstoßung der oberen Epidermisschichten. Filterung auch des UVB-Bereichs, sodass nur der UVA-Anteil verblieb, hatte bei beiden Salamanderarten keine schädigende Wirkung. *Salamandra salamandra* reagierte im Übrigen auf beide Bestrahlungsarten mit senkrechtem Aufrichten an der Wand des Versuchsgefäßes, die normale Haltung wurde erst nach Abschalten des Lichtes wieder eingenommen. Das solare UVB-Licht wurde auch als ein ursächlicher Faktor für den Rückgang der Amphibienpopulationen diskutiert (BLAUSTEIN et al. 1996).

Schäden der vorgenannten Art sind bei den in der Terraristik jetzt in Gebrauch befindlichen UV-Lampen bislang nicht beschrieben. Dies gilt insbesondere für jene Lampen, die in Langzeitstudien an Echsen (siehe oben) erprobt wurden. BERNARD (1995) hat in diesem Zusammenhang bei *Iguana iguana* detaillierte Untersuchungen der Augen und der Haut vor und am Ende einer 35-tägigen Strahlenexposition vorgenommen und keine Anhalts-

punkte für pathologische Veränderungen gefunden. Nach eigenen Erfahrungen mit der Reptisun 5.0 UVB bei Wasserschildkröten (Distanz 25 cm), wo durch Strahlenreflektion von der Wasseroberfläche mit einer Zunahme der Strahlungsintensität (u. a. im Augenbereich) zu rechnen ist, konnte keine Konjunktivitis bei den sich sonnenden Tieren beobachtet werden. Grundsätzlich muss man sich aber darüber im Klaren sein, dass bei der Verwendung UVB-Licht-starker Lampen die Nichteinhaltung eines entsprechenden Abstandes zu Schäden bei den Terrarientieren führen kann (Tab. 4). Als warnende Beispiele für einen falschen Einsatz von UV-Licht emittierenden Lampen seien folgende Beobachtungen angeführt (KÖBER, pers. Mitteilung): nach seitlicher Bestrahlung eines grünen Leguans mit einer Osram-Ultravitalux-Lampe (300 W) für 20 min im Abstand von 70 cm kam es zu einer ausgeprägten, reversiblen Konjunktivitis und senkrechte Bestrahlung von oben von zwei Dornschwänzen, *Uromastix acanthinura nigriventris*, und eines Chamäleons, *Chamaeleo calyptatus*, mit Halogen-Metall dampf-Lampen, bei denen das Schutzglas (das die UV-Strahlung absorbieren soll) gegen Drahtgaze ausgetauscht wurde, führte wenige Stunden später zu einer deutlichen Konjunktivitis und bei dem Chamäleon zusätzlich zu Hautschäden, außerdem wurde eine Schädigung der Terrarienbepflanzung verursacht.

Für die vom Zoo-Fachhandel angebotenen UV-Lampen sind vertiefte Untersuchungen zur Verträglichkeit zweifellos wünschenswert. Auch ist die Entwicklung solcher Lampen gegenwärtig noch nicht zu einem Abschluss gekommen und bedarf deshalb der aufmerksamen Verfolgung.

LINDGREN (2005) diskutiert in seiner Publikation einen möglichen fotochemischen Abbau („Photodestruction“) von Vitamin D₃ in der Haut unter dem Einfluss von UVA-Licht. Diese Überlegungen basieren auf dem *in vitro*-Befund an menschlicher Haut, dass die Vitamin D₃-Produktion auf zehn bis fünfzehn Prozent des in der Haut deponierten Provitamins D₃ begrenzt ist und bei fortbestehender Strahlenexposition weiteres Provitamin D₃ über Previtamin D₃ zu Tachysterol und vor allem zu Lumisterol, biologisch inerten Derivaten, umgesetzt wird. Dies hat zur Folge, dass intensive Sonneneinstrahlung keine Vitamin D₃-Intoxikation (Vergiftung) hervorrufen kann (HOLICK et al. 1981; MACLAUGHLIN et al. 1982). Dieser Schutzmechanismus wird zudem dadurch gewährleistet, dass auch das Vitamin D₃ selbst in der Haut durch UV-Licht zu weiteren Folgeprodukten umgewandelt werden kann, die nur teilweise biologische Wirkung aufweisen (WEBB et al. 1989). Der Abbau von Vitamin

D₃ in der Haut wird durch UV-Strahlung bis in den UVA-Bereich (bis 330 nm) hinein verursacht und LINDGREN (2005) hält es deshalb für möglich, dass UV-Lampen, die nur im UVA-Bereich emittieren und deshalb kein Vitamin D₃ bilden, das in der Haut vorhandene Vitamin D₃ fotochemisch abbauen. Bislang gibt es zu dieser Frage keine Untersuchungen an Reptilien. Auch fehlt es an Befunden am Warmblüter. HOLICK et al. (1981) weisen zudem darauf hin, dass die Bildung von Lumisterol und Tachysterol umkehrbare Vorgänge sind, die sich in einem Gleichgewichtszustand befinden, sodass bei Absinken des kutanen Previtamin D₃-Spiegels eine Rückführung zu Previtamin D₃ eintritt. Die Erfahrungen mit Lampen, die sowohl im UVA- wie im UVB-Bereich emittieren (siehe oben) und damit das Hauptinteresse verdienen, machen schließlich deutlich, dass unter diesen Bedingungen ein Abbau von Vitamin D₃ ohne Bedeutung für Reptilien ist.

UV-Strahlung im UVA-Bereich kann auch zu einer Fotodestruktion von Vitamin A führen (TANG et al. 1994). Nach Untersuchungen an menschlicher Haut *in vitro* ist von einem Abbau jedoch nur die Speicherform des Vitamins, Retinylester, nicht aber die aktive, an Trägereiweiße gebundene Form, Retinol, betroffen, sodass der Organismus vor einer Schädigung geschützt ist. An Reptilien liegen keine entsprechenden Erkenntnisse vor.

3. Schlussfolgerungen für die Bestrahlung von Terrarientieren mit UV-Lampen

In einem Roundtable zum Thema „Ultraviolettes Licht und Reptilien, Amphibien“ (ADKINS et al. 2003) wurde die Frage nach Empfehlungen für die UV-Bestrahlung von Terrarientieren gestellt. Die Professoren GEHRMANN und FERGUSON von der Texas Christian University in Fort Worth, USA, – als Spezialisten zu dieser Thematik durch zahlrei-

che Publikationen ausgewiesen – antworteten darauf wie folgt:

Tagaktiven Echsen sollte UVB-Licht (senkrecht von oben in Form eines Gradienten) geboten werden, wobei das Bedürfnis jedoch in Abhängigkeit von der Vitamin D₃-Aufnahme mit dem Futter und der Spezies variere. Auch Krokodile sowie Wasserschildkröten, die sich in der Natur der Sonne aussetzen, und manche Amphibienarten bedürfen wohl der UVB-Bestrahlung. Bei Schlangen wird UVB-Licht nur dann für nötig angesehen, wenn es sich um tagaktive, sich sonnende Spezies handelt. Bei Landschildkröten ist man der Meinung, dass für sie kein UVB-Licht erforderlich sei. Diese Sicht der Dinge steht unter dem ausdrücklichen Vorbehalt eines gegenwärtig sehr begrenzten Wissensstandes.

In Anbetracht der bestehenden Wissenslücken über den Bedarf an ultravioletter Strahlung bei den meisten Reptilien und Amphibien erscheint es tatsächlich sinnvoll, sich am Ausmaß der Sonnenexposition dieser Tiere in der Natur zu orientieren. Es wird dabei allerdings bald klar, dass sich nicht nur tagaktive, sondern auch nachtaktive Reptilien und Amphibien der Sonne aussetzen; es besteht lediglich ein Unterschied in der Expositionsdauer. Für den nachtaktiven Hausgecko (*Hemidactylus turcicus*) wurde inzwischen nachgewiesen, dass er ebenso wie tagaktive Echsen von der kutanen Fotoformation von Vitamin D₃ abhängig ist, da seine natürliche Nahrung offenbar wenig Vitamin D₃ enthält; die für ihn typische kürzere Sonnenlicht-Expositionsdauer wird durch eine erhöhte Fähigkeit zur kutanen Vitamin D₃-Bildung kompensiert (CARMAN et al. 2000). Eine gleiche Anpassung an eine geringere Vitamin D₃-Versorgung über das Futter und eine kürzere Expositionsdauer ergab sich auch beim Vergleich von im Schatten lebenden Anolis mit solchen, die sich der vollen Sonne aussetzen (FERGUSON et al.

Tabelle 4. Erforderliche Bestrahlungsdistanz einiger UV-Lampen zur Gewährleistung der kutanen fotochemischen Vitamin D₃-Bildung bei Echsen auf der Basis des 7-DHC-*in vitro*-Assays (GEHRMANN et al. 2004b, pers. Mitteilungen 2006, 2007)

Lampe	7-DHC-Transformation (%)		
	0,52*	1,32*	2,40**
Leuchtstoffröhre ZooMed Reptisun 5,0 UVB	24 cm	12 cm	—
Reflektorlampe Active UV Heat 160 W, Spot	187 cm	82 cm	50 cm
Kompakt-Leuchtstoffr. ZooMed Reptisun 10, 26 W	141 cm	89 cm	66 cm
Kompakt-Leuchtstoffr. Arcadia 7% UVB, 23 W	ca. 53 cm	ca. 33 cm	ca. 24 cm

*FERGUSON et al. 2002; **AUCONE et al. 2003

2005b). Aus der heimischen Fauna ist uns das lange Verweilen in der Sonne von Froschlurchen bekannt und selbst der Feuersalamander (*Salamandra salamandra*) wurde schon beim Sonnen beobachtet (siehe HORN 2004, Abb. 219). Das Sonnen von Froschlurchen gewinnt noch dadurch einen besonderen Akzent, dass juvenile, also noch wachsende Frösche – nicht jedoch adulte Frösche – zweier australischer Spezies wiederholt beim Sonnenbaden in den Sommermonaten an der Peripherie der ariden Zone, also unter durchaus kritischen Umweltbedingungen, gefunden wurden (HENLE 2006).

Die Sonnenexposition von variabler Dauer ist offensichtlich ein bei Reptilien und Amphibien verbreitetes Verhaltensmuster. Es fällt deshalb schwer, einige Gruppen aus einer Bestrahlung mit ultraviolettem Licht im Terrarium auszuschließen. Man sollte sich auch darüber klar sein, dass alle Terrarientiere, die üblicherweise mit Vitamin D₃-supplementiertem Futter ernährt werden, alternativ eine UVB-Bestrahlung erhalten könnten. In praxi werden die meisten Terrarianer, die ihre Tiere mit UV-Licht versorgen, an der üblichen Supplementierung mit Vitamin D₃ festhalten – was vermutlich mit keiner Schädigung verbunden ist. Angesichts der Tatsache, dass nahezu alle käuflichen Vitamin-Mineral-Mischungen Vitamin D₃ enthalten, stößt eine potenzielle Vitamin D₃-Reduzierung auf nicht unbedeutende Schwierigkeiten. Meines Wissens bietet nur die kalifornische Firma Rep-Cal® mit ihren verschiedenen Supplements die Möglichkeit, Vitamin-Mineral-Mischungen mit unterschiedlichen Vitamin D₃-Anteilen zu versehen. Den Pionieren unter den Hobbyisten und natürlich der Wissenschaft bleibt es vorbehalten, in sorgfältig geplanten Studien – von denen einige Muster im Text erwähnt wurden – die optimale Versorgung von Amphibien und Reptilien mit UV-Licht und ohne Vitamin D₃-Zufuhr zu ergründen und damit eine weitere Grundlage für eine naturnahe Haltung dieser Wirbeltiere im Terrarium zu schaffen.

Der UVB-Bestrahlung sollte stets auch ein UVA-Anteil beigelegt sein (darauf wies JES bereits 1991 hin), ebenso wie ein Licht- und Wärmesponder (so weit erforderlich). Hinsichtlich der Bestrahlungsstärke (und der bei Bestrahlung einzuhaltenen Distanz) muss man sich zunächst an den für Echsen gefundenen Werten orientieren – bis für weitere Spezies Erfahrungen vorliegen (Tab. 2 und 4). Es empfiehlt sich zweifellos, bei Spezies deren UV-Bedarf nicht bekannt ist (insbesondere bei Amphibien), mit zunächst niedriger Strahlendosis zu beginnen – entweder durch Auswahl eines schwachen Strahlers oder durch Bestrahlung aus größerer Distanz (und selbstverständlich sollte es den Tieren

möglich sein, sich einer Bestrahlung durch Rückzug in Schattenplätze o. Ä. zu entziehen). Der Handel bietet zahlreiche Lampen an, und es ist zu hoffen, dass alle angebotenen Lampen zukünftig mit wirklich brauchbaren Kenngrößen hinsichtlich der UVA- und UVB-Emission versehen werden.

Danksagung

Mein sehr herzlicher Dank gilt Herrn Professor WILLIAM GEHRMANN, PhD, von der Texas Christian University, Fort Worth, USA, der durch viele Hinweise und Ratschläge, besonders aber durch bislang unveröffentlichte Daten ganz wesentlich zu diesem Artikel beigetragen hat. Herzlicher Dank gebührt auch den Herren JÜRGEN und PETER HOCH, Lucky Reptiles, Waldkirch, die es mir ermöglichten, eigene Messungen an verschiedenen UV-Lampen vorzunehmen.

Schriften

- ADKINS, E., T. DRIGGERS, G. FERGUSON, W. GEHRMANN; Z. GYIMESI, E. MAY, M. OGLE, T. OWENS, & E. KLAPHAKE (2003): Roundtable ultraviolet light and reptiles, amphibians. – *Journal of Herpetological Medicine and Surgery*, **13**: 27-37.
- ALLEN, M. E. & O. T. OFTEDAL (2003): Nutrition in captivity. – In: E. R. JACOBSON (ed.): *Biology, husbandry and medicine of the green iguana*, pp. 47-74. Malabar, Florida (Krieger Publishing Company).
- AUCONE, B. M., W. H. GEHRMANN, G. W. FERGUSON, T. C. CHEN & M. F. HOLICK (2003): Comparison of two artificial ultraviolet sources used for chuckwallas, *Sauromalus obesus*, husbandry. – *Journal of Herpetological Medicine and Surgery*, **13**: 14-17.
- BERNARD, J. B. (1995): Spectral irradiance of fluorescent lamps and their efficacy for promoting vitamin D synthesis in herbivorous reptiles. – Ph. D. Dissertation. Michigan State University, East Lansing.
- , O. T. OFTEDAL, P. S. BARBOZA, C. E. MATHIAS, M. E. ALLEN, S. B. CITINO, D. E. ULLREY & R. J. MONTALI (1991): The response of vitamin D-deficient green iguanas (*Iguana iguana*) to artificial ultraviolet light. – *Proceedings American Association of Zoo Veterinarians*, **1991**: 147-150.
- BIDMON, H.-J. (1995): 1,25-Dihydroxyvitamin D₃ rezeptive Organe in Amphibien und Reptilien: Hinweise auf multiple endokrine und neuroendokrine Funktionen von Vitamin D. – In: Protokoll der 5. Arbeitssitzung der DGHT AG ARK, pp. 1-9. Rheinbach (DGHT-Schriftensammlung).
- & W. E. STUMPF (1994): Distribution of target cells for 1,25-Dihydroxyvitamin D₃ in the brain of the

- yellow bellied turtle *Trachemys scripta*. – Brain Research, **640**: 277-285.
- & W. E. STUMPF (1996): Vitamin D target systems in the brain of the green lizard *Anolis carolinensis*. – Anatomy and Embryology, **193**: 145-160.
- BLAUSTEIN, A. R., J. M. KIESECKER, S. C. WALLS & D. G. HOKIT (1996): Field experiments, amphibian mortality, and UV radiation. – Bioscience, **46**: 386-388.
- CARMAN, E. N., G. W. FERGUSON, W. H. GEHRMANN, T. C. CHEN & M. F. HOLICK (2000): Photobiosynthetic opportunity and ability for UV-B generated vitamin D synthesis in free-living house geckos (*Hemidactylus turcicus*) and Texas spiny lizards (*Sceloporus olivaceus*). – Copeia, **2000**: 245-250.
- DORN, E. (1955a): Die Wirkung kurzwelligen ultravioletten Lichtes auf Frösche. – Zeitschrift für vergleichende Physiologie, **37**: 459-481.
- (1955b): Die Wirkung von ultraviolettem Licht auf die Haut von *Salamandra salamandra* und *Salamandra atra*. – Zeitschrift für vergleichende Physiologie, **37**: 482-489.
- EATWELL, K. (2005): Seasonal and gender variation in serum levels of ionized calcium and 25-hydroxycholecalciferol in *Testudo* species. – Exotic DVM, **7**: 17-22.
- FERGUSON, G. W., J. R. JONES, W. H. GEHRMANN, S. H. HAMMACK, L. G. TALENT, R. D. HUDSON, E. S. DIERENFELD, M. P. DIERENFELD, M. P. FITZPATRICK, F. L. FRYE, M. F. HOLICK, T. C. CHEN, Z. LU, T. S. GROSS & J. J. VOGEL (1996): Indoor husbandry of the panther chameleon *Chameleo [Furcifer] pardalis*: effects of dietary vitamin A and D and ultraviolet irradiation on pathology and life history traits. – Zoo Biology, **15**: 279-299.
- , W. H. GEHRMANN, T. C. CHEN, E. S. DIERENFELD & M. F. HOLICK (2002): Effects of artificial ultraviolet light exposure on reproductive success of the female panther chameleon (*Furcifer pardalis*) in captivity. – Zoo Biology, **21**: 525-537.
- , W. H. GEHRMANN, K. B. KARSTEN, S. H. HAMMACK, M. MCRAE, T. C. CHEN, N. P. LUNG & M. F. HOLICK (2003): Do panther chameleons bask to regulate endogenous vitamin D₃ production? – Physiological and Biochemical Zoology, **76**: 52-59.
- , W. H. GEHRMANN, T. C. CHEN & M. F. HOLICK (2005a): Vitamin D-content of the eggs of the panther chameleon *Furcifer pardalis*: its relationship to UVB exposure/vitamin D-condition of mother, incubation and hatching success. – Journal of Herpetological Medicine and Surgery, **15**: 9-13.
- , W. H. GEHRMANN, K. B. KARSTEN, E. N. CARMAN, T. C. CHEN & M. F. HOLICK (2005b): Ultraviolet exposure and vitamin D synthesis in a sun-dwelling and a shade-dwelling species of *Anolis*: are there adaptations for lower ultraviolet B and dietary vitamin D₃ availability in the shade? – Physiological and Biochemical Zoology, **78**: 193-200.
- GEHRING, P.-S. & K. WITTE (2007): Ultraviolet reflectance in Malagasy chameleons of the genus *Furcifer* (Squamata: Chamaeleonidae). – Salamandra, **43**: 43-48.
- GEHRMANN, W. H. (1994): Light requirements of captive amphibians and reptiles. – In: Murphy, J. B., K. ADLER & J. T. COLLINS (eds.): Captive management and conservation of amphibians and reptiles, pp. 53-59. Ithaca, New York, USA (Society for the Study of Amphibians and Reptiles).
- , J. D. HORNER, G. W. FERGUSON, T. C. CHEN & M. F. HOLICK (2004a): A comparison of responses by three broadband radiometers to different ultraviolet-B sources. – Zoo Biology, **23**: 355-363.
- , D. JAMIESON, G. W. FERGUSON, J. D. HORNER, T. C. CHEN & M. F. HOLICK (2004b): A comparison of vitamin D-synthesizing ability of different light sources to irradiances measured with a solarmeter model 6.2 UVB meter. – Herpetological Review, **35**: 361-364.
- & G. W. FERGUSON (2005): Replacing fluorescent lamps. – Bulletin of the Chicago Herpetological Society, **40**: 85-86.
- 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.
- GYIMESI, Z. S. & R. B. BURNS III (2002): Monitoring of plasma 25-hydroxyvitamin D concentrations in two Komodo dragons: *Varanus komodoensis*: a case study. – Journal of Herpetological Medicine and Surgery, **12**: 4-9.
- HART, L. E., H. K. SCHNOES & H. DELUCA (1986): Studies on the role of 1,25-dihydroxyvitamin D in chick embryonic development. – Archives of Biochemistry and Biophysics, **250**: 426-434.
- HENLE, K. (2006): Sun-basking and desiccation in two frog species from the periphery of the Australian arid zone. – Herpetological Review, **37**: 419-420.
- HIBMA, J. C. (2004): Dietary vitamin D₃ and UV-B exposure effects on green iguana growth rate: is full-spectrum lighting necessary? – Bulletin of the Chicago Herpetological Society, **39**: 145-150.
- HOLICK, M. F., J. A. MACLAUGHLIN & S. H. DOPPELT (1981): Regulation of cutaneous previtamin D₃ photosynthesis in man: skin pigment is not an essential regulator. – Science, **211**: 590-593.

- (1989): Phylogenetic and evolutionary aspects of vitamin D from phytoplankton to humans. – In: P. K. PANG, & M. P. SCHREIBMAN (eds.): Vertebrate endocrinology: fundamentals and biomedical implications. Vol. 3, pp. 7-43. Orlando (Academic Press).
- , X. Q. TIAN & M. ALLEN (1995): Evolutionary importance for the membrane enhancement of the production of vitamin D₃ in the skin of poikilothermic animals. – Proceedings of the National Academy of Science USA, **92**: 3124-3126.
- , Z. LU, M. T. HOLICK, T. C. CHEN, J. SHEPHERD & M. F. HOLICK (2002): Production of previtamin D₃ by a mercury arc lamp and a hybrid incandescent/mercury arc lamp. – In: HOLICK, M. F. (ed.): Biologic effects of light 2001, pp. 205-212. Boston, Ma. (Klüwer Academic Pub).
- HORN, H.-G. (2004): Reptilien und Licht/Amphibien und Licht. – In: SAUER, K., B. STECK, H. SCHUCHART & H.-G. HORN: Vivarienbeleuchtung, pp. 183-225/240-244. Frankfurt am Main (Edition Chimaira).
- HULDSCHINSKY, K. (1929): Die Osram-Vitaluxlampe. – Deutsche Medizinische Wochenschrift, **47**: 1963-1964.
- JES, H. (1991): Der Einsatz von UV-Licht in Terrarien. – Deutsche Aquarien- und Terrarienzeitschrift, **44**: 172-174.
- KOBAYASHI, T., A. TAKEUCHI & T. OKANO (1991): An evolutionary aspect in vertebrates from the viewpoint of vitamin D₃ metabolism. – In: NORMAN, A. W., R. BOUILLON & M. THOMASSET (eds.): Vitamin D gene regulation, structure-function, analogies, and clinical application, pp. 679-680. Berlin (De Gruyter).
- LAING, C. J. & D. R. FRASER (1999): The vitamin D system in iguanian lizards. – Comparative Biochemistry and Physiology, Part B, **123**: 373-379.
- , A. TRAUBE, G. M. SHEA & D. R. FRASER (2001): The requirement for natural sunlight to prevent vitamin D deficiency in iguanian lizards. – Journal of Zoo and Wildlife Medicine, **32**: 342-348.
- LARCHÉ, K. (1942): Die Ultra-Vitaluxlampe mit Innenreflektor, eine neue Lichtquelle für künstliche Sonnenstrahlung und ihr Einbau in Bestrahlungsanlagen und Bestrahlungsräumen. – Das Licht, **42**: 43-49.
- LINDGREN, J. (2005): UV-lamps for terrariums: their spectral characteristics and efficiency in promoting vitamin D₃ synthesis by UV irradiation. – Bulletin of the Chicago Herpetological Society, **40**: 1-9.
- MACLAUGHLIN, J. A., R. R. ANDERSON & M. F. HOLICK (1982): Spectral character of sunlight modulates photosynthesis of previtamin D₃ and its photoisomers in human skin. – Science, **216**: 1001-1003.
- NARBAITZ, R. & C. P. W. TSANG (1989): Vitamin D deficiency in the chick embryo: effects on prehatching motility and on the growth and differentiation of bones, muscles, and parathyroid glands. – Calcified Tissue International, **44**: 348-355.
- NEVAREZ, J. G., M. A. MITCHELL, C. LE BLANC & P. GRAHAM (2002): Determination of plasma biochemistries, ionized calcium, Vitamin D₃, and hematocrit values in captive green iguanas (*Iguana iguana*) from El Salvador. – Proceedings Association of Reptilian and Amphibian Veterinarians, **2002**: 87-93.
- RAMER, J. C., R. MARIA, T. REICHARD, P. J. TOLSON, T. C. CHEN & M. F. HOLICK (2005): Vitamin D status of wild Ricord's iguanas (*Cyclura ricordii*) and captive and wild rhinoceros iguanas (*Cyclura cornuta*) in the Dominican Republic. – Journal of Zoo and Wildlife Medicine, **36**: 188-191.
- SACHS, W. (1940): Erfahrungen mit der Osram-Vitalux-U-Lampe in der Terrarienhaltung. – Wochenschrift für Aquarien- und Terrarienkunde, **37**: 271-272.
- SENFETT, W. (1932): Erfolgreiche Anwendung der Vitalux-Bestrahlung bei der Haltung eines jungen Grünen Leguans (*Iguana tuberculata* LAUR.). – Der Zoologische Garten, **5**: 230-235.
- STAPLEY, J. & M. J. WHITING (2006): Ultraviolet signals fighting ability in a lizard. – Biological Letters, **2**: 169-172.
- STECK, B. (2004): Die Grundbegriffe des Lichtes. – In: LAUER, K., B. STECK, H. SCHUCHART, H.-G. HORN: Vivarienbeleuchtung, pp. 23-36. Frankfurt am Main (Edition Chimaira).
- TANG, G., A. R. WEBB, R. M. RUSSELL & M. F. HOLICK (1994): Epidermis and serum protect retinol but not retinyl esters from sunlight-induced photodegradation. – Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine, **10**: 1-7.
- WEBB, A. R., L. KLINE & M. F. HOLICK (1988): Influence of season and latitude on the cutaneous synthesis of vitamin D₃; exposure to the winter sunlight in Boston and Edmonton will not promote vitamin D₃ synthesis in human skin. – Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism, **67**: 373-378.
- , B. R. DECOSTA & M. F. HOLICK (1989): Sunlight regulates the cutaneous production of vitamin D₃ by causing its photodegradation. – Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism, **68**: 882-887.

Autor

Prof. Dr. HANS DIETER LEHMANN
Im Hefen 15, D-69493 Hirschberg