



# U LTRA VIOLET LAMPEN VOOR TERRARIA/

# U V-LAMPS FOR TERRARIUMS

**Hun bijzondere karakteristieken en hun efficiëntie met betrekking tot de bevordering van de synthese van vitamine D3 in de huid door UVB-bestraling**

**Jukka Lindgren**

De redactie is prof. em. dr. A.A. Verveen dankbaar voor zijn vertaling uit het Engels van dit gespecialiseerde artikel, voor zijn toevoegingen en nawoord. De toevoegingen aan de Nederlandse vertaling zijn herkenbaar aan de cursivering.

## **Samenvatting**

Een voorwaarde voor de fotosynthese van vitamine D3 in de huid is de aanwezigheid van een voldoende hoeveelheid bestraling met licht in de vorm van een smal gebiedje binnen het UVB-bereik (*UV is het deel van het ultraviolette spectrum van bijvoorbeeld het zonlicht in het golflengtegebied tussen 250 en 399 nanometer (nm), UVB omvat het bereik tussen 280 en 320 nm*). Ofschoon een bestraling beneden de golflengte van 300 nm de opbouw (fotosynthese) van vitamine D3 bevordert, heeft een bestraling met golflengtes boven de 300 nm tot gevolg dat het reeds in de huid, hetzij aangemaakte dan wel oorspronkelijk uit het voedsel opgenomen vitamine D3

**Their spectral characteristics and efficiency in promoting vitamin D3 synthesis by UVB irradiation**

**Jukka Lindgren**

Sufficient irradiation within a narrow sub-band of the UVB range is a prerequisite for the photosynthesis of vitamin D3 in skin. Although radiation below wavelength of 300 nm (nanometres) promotes photosynthesis of vitamin D3, radiation above 300 nm destroys vitamin D3 that has been already synthesised in skin tissue or nutritionally obtained.

Furthermore, skin temperature has a significant effect on the pace of vitamin D3 synthesis. In terrarium, the required UVB-radiation has to be artificially produced with dedicated lamps. In the study, the characteristics of light produced by fourteen different models of UV and full spectrum lamps specifically designed for terrarium use were measured over a range of 250-800 nm. As a reference, the spectrum of natural sunlight was also measured when the sun was at its highest point of elevation in the southern sky of Finland. The proportion of radiation energy that takes part in the photosynthesis of vitamin D3 was determined and the D3 Yield Index was calculated. Significant differences as large as thousand fold were found in the D3 Yield Indices. It is



wordt afgebroken. Bovendien heeft de huidtemperatuur een duidelijk effect op de snelheid van de D3-synthese. In het terrarium moet de vereiste UVB-straling kunstmatig worden verkregen met behulp van speciaal daarvoor vervaardigde lampen.

In dit onderzoek werden de eigenschappen van het licht onderzocht van veertien verschillende, speciaal voor terraria ontworpen lampen. Het betrof zowel UV-lampen als lampen die over het hele spectrum licht produceerden. De metingen werden in het golflengtegebied van 250 tot 800 nm uitgevoerd. Het natuurlijke zonlicht werd als referentie gebruikt, waarbij het zonnenspectrum werd doorgemeten op het moment dat de zon in de noordelijke hemel van Finland op het hoogste punt stond.

Het deel van de stralingsenergie, betrokken bij de synthese van vitamine D3, werd bepaald en daaruit werd de D3-*'Yield Index'* berekend (*'Yield Index'* wordt in het Nederlands onvertaald gebruikt. Letterlijk betekent het *'opbrengst-verhoudingsgetal'*. Het is een maat voor de relatieve opbrengst in de vorm van een percentage of promillage. Zie hiervoor het nawoord van de vertaler). In deze indices werden significante verschillen gevonden die soms het duizendvoudige bedroegen. Hieruit volgt dat het percentage UVB-straling met betrekking tot de totale hoeveelheid straling niet noodzakelijkerwijs een goede indicatie vormt voor het vermogen van de lamp om de productie van vitamine D3 door de huid te onderhouden.

Reptielen die uitsluitend herbivoor zijn, zoals schildpadden en sommige hagedis-

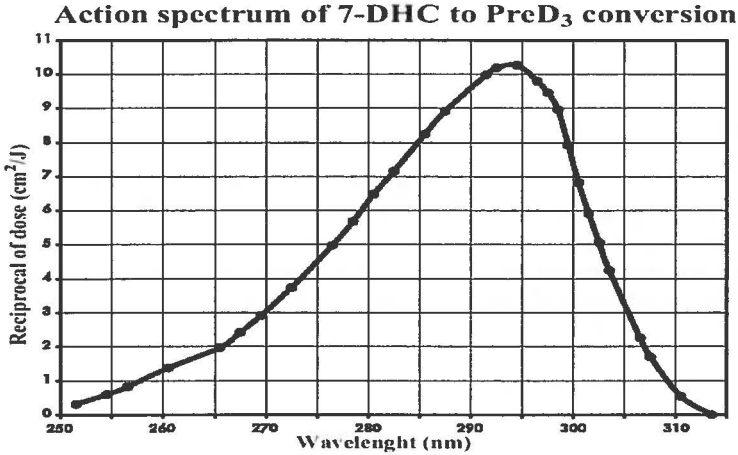
concluded that the percentage of UVB radiation from the total radiation figure does not necessarily give a true indication of a lamp's capability to maintain cutaneous production of vitamin D3.

Exclusively herbivorous reptiles like lizards and tortoises cannot obtain sufficient amount of vitamin D3 solely from their natural diet. Nevertheless, vitamin D3 is fundamental to ensure normal functioning of many organs. In addition to regulating calcium metabolism, vitamin D3 also acts as a hormone in organ development. Active vitamin D3 also takes part in the functioning of immune system. Furthermore, it controls build up of bone matter and also appears to be important for female fertility (Jones et. al., 1998).

In plants, the large proportion of D-vitamins consists of vitamin D2 (ergocalciferol) that is not absorbed very well by the intestinal system. Vitamin D3 (cholecalciferol) promotes calcium metabolism much more efficiently, but fresh plants are almost completely devoid of it. Only sundried plants, like hay for instance, contain small amounts of vitamin D3 (Raulio, J., pers. comm.). Herbivorous animals must compensate for this deficiency by photosynthesising vitamin D3 by ultraviolet light.

Vitamin D3 is photosynthesised in the skin of terrestrial vertebrates and birds by the action of UVB radiation on 7-dehydrocholesterol (7-DHC). This steroid is most sensitive to radiation in the range of 270-305 nm (fig. 1. MacLaughlin et. al., 1982). This range coincides with the lowest wavelengths of sunlight that can actually penetrate the atmosphere, the lower limit of the active range being 290 nm. While

fig. 1.



sen, slagen er niet in via hun natuurlijke dieet een voldoende hoeveelheid vitamine D<sub>3</sub> binnen te krijgen. Desondanks is de aanwezigheid van vitamine D<sub>3</sub> essentieel voor de normale werking van veel van hun organen. Vitamine D<sub>3</sub> speelt niet alleen een rol in de regeling van de calciumstofwisseling, maar werkt ook als een hormoon bij de ontwikkeling van organen. Actieve vitamine D<sub>3</sub> is ook betrokken bij de werking van het immuunsysteem. Verder bestuurt het de opbouw van het materiaal van de beenderen, terwijl het ook belangrijk lijkt te zijn voor de vruchtbaarheid van vrouwelijke dieren (Jones e.a., 1998).

Het grootste deel van de D-vitamines dat in planten zit, bestaat uit het vitamine D<sub>2</sub> (ook ergo-calciferol genoemd). Deze vitamine wordt niet goed door de darmen opgenomen. Vitamine D<sub>3</sub> (cholecalciferol) bevordert de calciumstofwisseling veel effectiever, maar verse planten bevatten er praktisch niets van. Alleen in de zon gedroogde planten, zoals hooi, bevatten

absorbed by a 7-DHC molecule, the UVB photon opens the ring structure of the molecule and converts it to a precursor of vitamin D<sub>3</sub> (preD<sub>3</sub>). Subsequently, this is thermally isomerised slowly, over several days, to cholecalciferol that is the actual vitamin D<sub>3</sub>.

Vitamin D<sub>3</sub> is transferred to the liver by the vitamin D binding protein, where it is transformed to calcidiol [25-hydroxycholecalciferol, 25[OH] D<sub>3</sub>]. Calcidiol is then transferred to the kidneys, which in association with parathyroid hormone, further convert it to calcitriol [1,25-dihydroxycholecalciferol, 1,25[OH]<sub>2</sub>D<sub>3</sub>]. A recent study carried out in the University of Tampere (Lou et. al., 2003) suggests that both of these metabolic products have their own significant role in the operation of the organic system: calcidiol acts as a hormone and controls for instance cell division, whereas calcitriol takes part in the calcium/phosphate regulatory mechanism and is thereby the actual active substance while controlling



vitamine D3, zij het in kleine hoeveelheden (mededeling van Raulio). Herbivore dieren moeten dit tekort dus compenseren door vitamine D3 met behulp van ultraviolet licht aan te maken (*fotosynthese*).

Bij de op het land levende vertebraten, inclusief de vogels, wordt vitamine D3 in de huid gevormd door de fotosynthetische werking van UVB-straling op de stof 7 dehydrocholesterol (7 DHC). Deze steroïde is het gevoeligst voor straling in het gebied van 207 tot 305 nm (fig. 1 in MacLaughlin e.a., 1982). Dit bereik komt overeen met de laagste golflengten van het zonlicht die nog door onze atmosfeer worden doorgelaten, waarbij de ondergrens van dit actieve gebied op 290 nm ligt. Wanneer een UVB-foton door een 7 DHC-molecuul wordt geabsorbeerd, opent het de ringstructuur van het molecuul en zet dit om in een voorganger van vitamine D3 (preD3). Vervolgens worden deze moleculen door de lichaamstemperatuur langzaam omgezet (geïsomereerd) in calciferol, het eigenlijke vitamine D3. Deze omzetting duurt verscheidene dagen.

Vitamine D3 wordt door het vitamine D bindende eiwit naar de lever getransporteerd, waar het wordt omgezet tot calcidiol [25 hydroxycholecalciferol, 25[OH] D3]. Het calcidiol wordt naar de nieren overgebracht, waar het in samenwerking met het bijschildklierhormoon in calcitriol [1,25 dihydroxycholecalciferol, 1,25[OH]2D3] overgaat. Uit een recent in de Universiteit van Tampere uitgevoerde studie (Lou e.a., 2003) volgt de suggestie, dat deze twee stofwisselingsproducten elk hun eigen belangrijke rol in de werking van het orgaansysteem hebben.

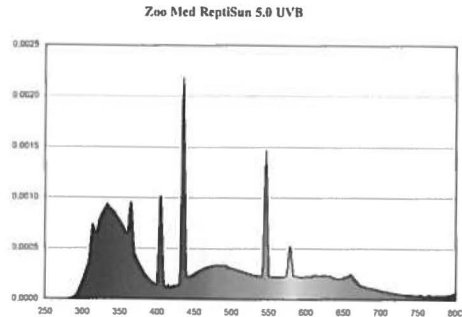


fig. 2.

the calcium level of blood serum. It increases absorption of calcium and phosphate through the wall of small intestine and also controls their transfer from bone matter to plasma. Calcitriol also decreases the amount of calcium and phosphate secreted in urine. Since calcitriol receptors have been found in various tissues, it apparently also has several other tasks within organs. For the sake of simplicity, calcidiol and calcitriol are by common consensus called vitamin D, even though a more accurate name for calcidiol would be hormone D.

If excess preD3 is formed in the skin it is further photoisomerized by UVB irradiation to lumisterol and tachysterol. This rapid reaction is photo-reversible: radiation isomerises tachysterol back to preD3, although at a slower rate, and further to lumisterol. Being the least photosensitive product, lumisterol is finally accumulated to plasma. These reactions act as a natural regulation mechanism, preventing excessive synthesis of vitamin D3 under strong UVB irradiation.

The spectral characteristics of light in the UVB/UVA range are an important factor in

Calcitriol werkt als een hormoon en bestuurt bijvoorbeeld de celdeling, terwijl calcitriol deelneemt in het calcium/fosfaatregelsysteem. Calcitriol is daardoor de eigenlijke actieve substantie voor de besturing van de calciumspiegel van het bloed (plasma). Het verhoogt de absorptie van calcium en fosfaat door de wand van de dunne darm en het bestuurt ook de overdracht van materiaal uit de botten naar het plasma. Calcitriol vermindert tevens de uitscheiding van calcium en fosfaat in de urine. Omdat calcitriol-receptoren in allerlei weefsels zijn gevonden, moet het nog andere taken in organen uitvoeren. Om de zaken niet al te ingewikkeld voor te stellen, is men overeengekomen zowel calcitriol als calcitriol vitamine D te noemen, hoewel 'hormoon D' een betere naam voor het calcitriol zou zijn.

Wanneer er in de huid een overmaat aan preD3 wordt gevormd, dan wordt dit door de UVB-bestraling omgezet (fotoïsomerisatie) in lumisterol en tachysterol. Deze snelle reactie is fotoreversibel: bestraling isomeriseert tachysterol terug naar preD3, ofschoon wat langzamer, en verder tot lumisterol. Omdat lumisterol het minst lichtgevoelig is, accumuleert dit ten slotte in het plasma. Deze reacties vormen een natuurlijk regulatiemechanisme, waarmee voorkomen wordt dat er onder de invloed van sterke UVB-straling een overmatige synthese van vitamine D3 optreedt.

De spectrale eigenschappen van het licht binnen het UVB/UVA-gebied (UVA heeft iets grotere golflengten) zijn van groot belang voor de fotosynthese van vitamine D3. Terwijl 7 DHC gevoelig is voor straling tot ten hoogste 315 nm, wordt de vit-

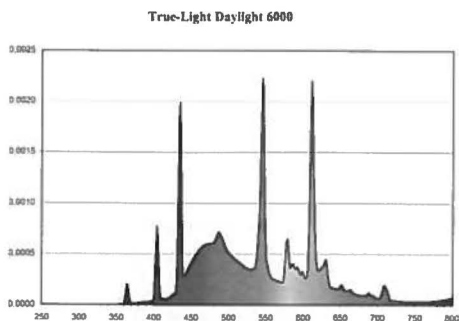


fig. 3.

vitamin D3 photosynthesis. While 7-DHC is sensitive to irradiation up to 315 nm, cutaneous vitamin D3 that has been photosynthesised or obtained nutritionally is destroyed by radiation up to 330 nm (Webb et. al., 1989.) This makes any radiation in the range 315-330 nm highly undesirable for the synthesis of vitamin D3.

The skin temperature also plays a very important role in the synthesis of vitamin D3. This was established in a study with green iguana (*Iguana iguana*), common frog (*Rana temporaria*) and human skin samples (Holick et. al., 1995.) In vitro tests showed that a temperature increase from 5 °C to 25 °C accelerated thermal isomerization of vitamin D3 by eight. In a separate study with human and chicken skin at even higher temperatures (40 °C), the tendency re-mained the same.

To ensure that this complex chain of reactions on reptile's skin can be completed, sufficiently high irradiation at wavelengths 270-315 nm is required, while higher wavelengths (315-330 nm) should be avoided. The skin temperature must also be high enough. Low UVB irra-



amine D3 die door fotosynthese of via de voeding al in de huid zit, door een bestraling tot 330 nm afgebroken (Webb e.a., 1989). Dit betekent, dat elke straling in het 315 tot 330 nm bereik voor de opbouw van vitamine D3 hoogst ongewenst is.

De temperatuur van de huid speelt ook een belangrijke rol in de synthese van vitamine D3. Dit werd vastgesteld in een onderzoek aan de groene leguaan (*Iguana iguana*), de gewone kikker (*Rana temporaria*) en aan stukjes huid van mensen (Holick e.a., 1995). Bij reageerbuisonderzoek (invitro-tests) vonden zij, dat een stijging van de temperatuur van 5°C tot 25°C de thermische omzetting (isomerisatie) acht keer versnelde. Een andere studie met huid van mensen en van kippen bij hogere temperatuur (tot 40°C) leidde tot vergelijkbare resultaten.

Om er zeker van te zijn dat deze ingewikkelde keten van reacties zich goed in de huid van reptielen kan afspeelen, is een voldoende hoog stralingsniveau in het golflengtegebied van 270 tot 315 nm vereist, terwijl langere golflengten (315 tot 330 nm) moeten worden vermeden. Ondertussen moet ook de temperatuur van de huid hoog genoeg zijn. Een laag niveau van UVB-straling beneden de 315 nm of een te lage lichaamstemperatuur bij een poikilotherm ('koudbloedig') dier, kan het ongewenste gevolg hebben, dat er geen nieuwe vitamine D3 in de huid wordt aangemaakt en dat straling de nog in de huid aanwezige vitamine D3 afbreekt. Deze hypothese houdt in, dat de niet in de tropen levende herbivore dieren makkelijker een vitamine D3-deficiëntie (*tekort*) kunnen oplopen. De nadelige gevolgen van de zojuist be-

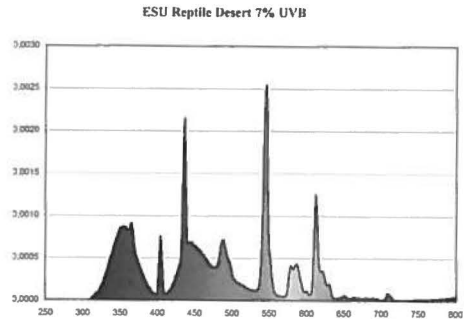


fig. 4.

diation below 315 nm or too low a body temperature of a cold blooded (poikilothermic) animal might create an undesirable situation where new vitamin D3 is no longer produced in the skin and at the time the radiation starts destroying cutaneous vitamin D3.

Under this hypothesis, non-equatorial herbivorous animals should be susceptible to vitamin D3 deficiency. The detrimental effects of photodestruction of vitamin D3, as described above, may however be alleviated by the equilibrium seeking properties of many biological processes (Ball, J., pers. comm.). It is possible, for instance, that the membrane enhancement of the production of vitamin D3 (Holick et al., 1995) may automatically compensate for the reduced radiation.

It should be noted that the theory and research discussed above relate to human skin. However, the chemistry of the skin of terrestrial vertebrates is similar enough to that of human to justify the theory to be extrapolated to reptiles as well. Human osteoporosis caused by UVB deficiency is well documented in Nordic countries, but this is yet to be

schreven, door het UVB-licht veroorzaakte afbraak van vitamine D3 zouden echter kunnen worden getemperd door de naar evenwicht strevende eigenschappen die veel biologische processen bezitten (mededeling van J. Ball). Het is bijvoorbeeld mogelijk, dat een in celmembranen gelokaliseerd proces voor de productie van vitamine D3 het effect van de afgenomen UVB-straling compenseert (Holick e.a., 1995).

We moeten er wel aan denken, dat het leeuwendeel van de hierboven besproken theorieën en onderzoeken op de menselijke huid betrekking heeft. Maar de chemie van de huid van de op het land levende gewervelde dieren lijkt genoeg op die van de mens om te rechtvaardigen die ook op de reptielen toe te passen. Bij mensen is osteoporose, *een verzwakking van de botten* tengevolge van een tekort aan UVB in de noordelijke regionen duidelijk vastgesteld, maar deze ziekte is (nog) niet aangetoond bij in het wild levende reptielen.

Ten slotte kunnen wij vaststellen, dat, om een voldoende vorming van vitamine D3 te waarborgen, de terraria moeten worden uitgerust met een efficiënte belichting met kunstlicht met behulp van breed spectrum UVB-lampen en dat de temperatuur in het gebied waarin de dieren zich graag ophouden voldoende hoog moet zijn. Meer specifiek: de straling moet in het gebied van de korte golf lengten ver genoeg omlaag reiken.

Er zijn in de laatste jaren veel onderzoeken gepubliceerd over de kwaliteit van de lampen die voor het gebruik in terraria zijn ontworpen. In sommige studies werden maar enkele lampen

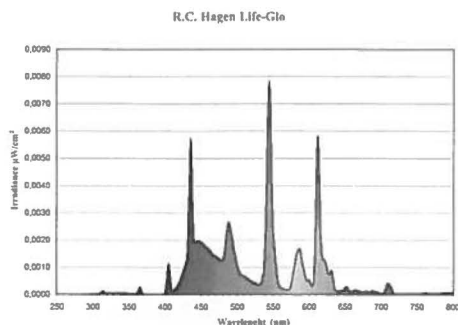


fig. 5.

demonstrated in wild reptiles.

In conclusion, to ensure sufficient vitamin D3 synthesis, a terrarium must be fitted with efficient artificial lighting with broad-spectrum UVB lamps and temperature must be kept sufficiently high in the basking area. More specifically, the radiation in the region of short wavelengths must reach far enough.

Over recent years, there have been numerous research papers written on the quality of lamps designed for terrarium use. Some studies have included only a few lamps, while some studies cover lamps of which many are no longer available (e.g. Ball, 1995). This makes evaluation of lamps difficult, as there are no comparable results available for current models. For this study, as large as possible selection of lamps available in Finland was obtained. Some lamps that are not locally commonly available were also included, either because they were especially interesting or had received contradictory reviews elsewhere.

Several papers have focused only on the percentage of UVB radiation. As cuta-



bekeken, terwijl andere weer gaan over lampen die niet meer verkrijgbaar zijn (zie bijvoorbeeld Ball, 1995). Dit maakt het moeilijk om lampen te beoordelen, omdat er geen vergelijkbare resultaten beschikbaar zijn over nu gangbare modellen. Voor deze studie maakten wij daarom een zo groot mogelijke keus uit de lampen die in er Finland zijn te krijgen. Ook werden enkele lampen die niet overal te koop zijn in dit onderzoek betrokken, omdat die óf bijzonder interessant waren, dan wel omdat deze elders tot elkaar tegensprekende uitkomsten hadden gevoerd.

Er zijn nogal wat artikelen verschenen die zich uitsluitend beperkten tot het percentage UVB-straling. Omdat de vitamine-D3-synthese in de huid alleen wordt onderhouden door een extreem nauw bandje binnen het gebied waarin UVB en UVC elkaar overlappen, geeft een waarde voor het volledige UVB-gebied onvoldoende informatie over het vermogen tot vitamine-D3-productie van de lamp. Daarvoor zijn meer gedetailleerde gegevens nodig.

Voor deze studie werd de D3-Yield-Index ontwikkeld om de hoeveelheid straling die in feite op de fotosynthese van vitamine D3 betrekking heeft, duidelijk kenbaar te maken. Een gewoon indexgetal, zoals de hier gebruikte Yield Index, laat dit op een ondubbelzinnige manier zien. De berekeningsmethode voor de index werd zo ontworpen, dat die gemakkelijk aan een andere referentie kan worden aangepast. Binnen het kader van dit onderzoek werd de indexwaarde gebaseerd op de straling van de zon om 12 uur 's middags tijdens het hartje van de zomer in Finland. Door met vergelijk-

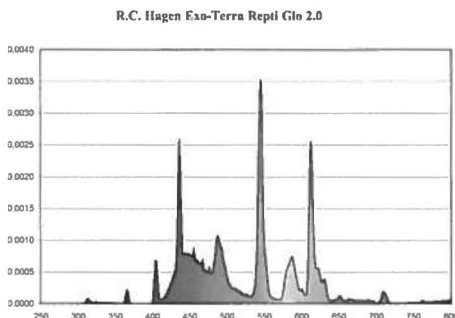


fig. 6.

neous vitamin D3 synthesis is only sustained in an extremely narrow band within the crossover of UVB and UVC, the full UVB-range irradiance figure alone does not tell the whole truth about the ability of a lamp to promote vitamin D3 production. More detailed information is required.

For the purpose of this study, the D3 Yield Index was developed to indicate the amount of radiation that can actually participate in the photosynthesis of vitamin D3. A plain index number such as the Yield Index used here shows this in an unambiguous manner. The calculation method for the index was devised in such a way that it can be easily adapted to any reference. Within the framework of this study, the index value is based on radiation energy of the sun in midsummer noon in Finland. Measuring the sunlight with compatible equipment at the equator would enable the index to be adjusted for use as a universal baseline.

The results indicate significant variation in the capability of different lamps to promote the photosynthesis of vitamin D3. They range from half of that of natural sunlight in Finland to virtually nil. On this



bare apparatuur het zonlicht op de equator door te meten, moet het mogelijk zijn de index zó aan te passen, dat die algemeen toepasbaar wordt.

Uit de resultaten van dit onderzoek volgt, dat er een aanzienlijke variatie bestaat in het vermogen van de verschillende lampen om de fotosynthese van vitamine D3 te bevorderen. Dit varieert van circa de helft van dat van de zon tot praktisch niets. Dit betekent, dat men bij het ontwerpen van UV-lampen voor het gebruik in terraria gedetailleerde aandacht moet geven aan de spectrale karakteristiek van het UVB-1-gebied (zie verderop) dat vitamine D3 aanmaakt.

#### Materialen en methoden

Voor het onderzoek werden veertien lampen van verschillende merken en typen aangeschaft (zie tabel 1). Een 'Zoo Med ReptiSun 5.0'-toestel dat al tien maanden was gebruikt, werd ook opgenomen, omdat dit algemene informatie kon verschaffen over de teruggang in UV-straling van een kwaliteitslamp over een langere gebruiksduur. Sommige lampen (bijvoorbeeld 'True Light') behoorden tot de zogenaamde volledig-spectrum-lampen en om deze reden zal hun straling binnen het UVB-gebied niet op het niveau liggen van de echte UV-lampen. Hier moest natuurlijk rekening mee worden gehouden bij de evaluatie van de resultaten van het onderzoek.

Het spectrum van de zon fungeert als referentie en werd daarom speciaal opgemeten. Deze meting werd in de zuidelijke hemel van Finland uitgevoerd op het moment dat de zon daar op het hoogste punt stond. De meting vond plaats in Raisio, dat 8 km noordwestelijk

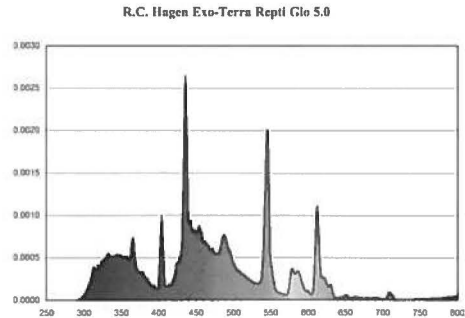


fig. 7.

basis, it is clear that the design of UV lamps for terrarium use must focus more precisely on the spectral characteristics of the UVB-1 range which produces vitamin D3.

#### Materials and Methods

Fourteen lamps of various makes and models were obtained for testing purposes (see table 1). A Zoo Med ReptiSun 5.0 unit which had been used for 10 months was also included because it could provide general information about the declining of UV radiation of a high-quality lamp over a long period of time. Some of the lamps included (e.g. True-Light) are so-called full spectrum lamps and because of this, their irradiance in the UVB range will not be at the same level as actual UV lamps. Naturally this has to be accounted for when evaluating the results.

As a reference, the spectrum of the sun was also measured. The measurement was made when the sun was at its highest point of elevation in the southern sky of Finland and natural UV radiation is strongest. Measurement was made in Raisio, 8 kilometres northwest from Turku (60°28'60N 22°10'60E).



van Turku is gelegen op 60°28'60N en 22°10'60E.

De te meten lampen werden van winkeliers geleend of voor persoonlijk gebruik aangeschaft. Anja Kairisalo was zo vriendelijk ons het tien maanden oude ReptiSun 5.0-toestel te doneren. Rolf C. Hagen Inc. gaf ons haar eigen typen: Exo Terra Repti Glo type 2.0, 5.0 en 8.0, evenals de door Energy Savers Unlimited geproduceerde lampen Reptile Super UV Daylight en Reptile Desert 7% UVB.

Omdat er van elk type lamp maar één exemplaar aanwezig was, is de statistische betrouwbaarheid van de metingen zwak (steekproef = 1). Maar het vertegenwoordigt wel de situatie waarin de consument bij de aankoop van een nieuwe lamp verkeert. Wanneer die maar één lamp koopt, is de kans van de koper op het verkrijgen van een defect of minder goed exemplaar gelijk aan die in deze test. Om in het oog springende fouten te verwijderen, werden alle uitzonderlijke, inconsequente of anderszins verdachte gegevens met de producenten van de lampen opgenomen.

Alle nieuwe lampen werden eerst in een normale terrariumfitting geschroefd en vervolgens aangezet. Zij brandden twaalf uren per dag, tot er een totaal van 100 branduren was bereikt. Elke lamp werd 30 minuten voor de eigenlijke meting aangezet om de normale werktemperatuur te bereiken. Deze procedure werd toegepast om verzekerd te zijn van het benodigde stabiele gedrag van de lamp.

De metingen werden gedaan door Suomen Aurinkosimulaattori Oy/Solar Simulator Finland Ltd. De voor alle metin-

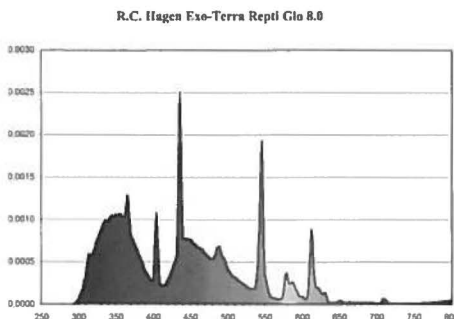


fig. 8.

The lamps to be measured were borrowed from retailers or purchased for personal use. Anja Kairisalo kindly donated the 10 months old ReptiSun 5.0 unit. Rolf C. Hagen Inc. provided their own models: Exo Terra Repti Glo models 2.0, 5.0 and 8.0, as well as Reptile Super UV Daylight and Reptile Desert 7 % UVB, the latter two being manufactured by Energy Savers Unlimited.

As there was only one unit of each lamp, the statistical reliability of the measurements is weak (sample=1). Nevertheless, it represents quite well the situation of a consumer purchasing a new lamp. When buying only one unit, the chance of consumer getting a faulty unit is the same as in this test. To eliminate obvious errors, all exceptional, inconsequent or otherwise suspicious measurement data was confirmed with the manufacturers. All new lamps were preconditioned by using them in a normal terrarium lighting fixture for 100 hours, 12 hours a day. Prior to actual measurements, each lamp was preheated for 30 minutes to allow it to reach its nominal working temperature

gen gebruikte spectroradiometer was een IL700A Research Radiometer, vervaardigd door International Light Inc., Newburyport, Massachusetts, USA. De sensor was een S-20 fotomultiplier PM271D. Deze spectroradiometer wordt jaarlijks gekalibreerd voor golflengte en gevoeligheid. Om de geijkte golflengte te kunnen controleren, werd er vóór elke meting een snel-ijking uitgevoerd met behulp van een HeliumNeon laser met de bekende golflengte van 633 nm. De nauwkeurigheid van de golflengtemeting was 3 nm.

De spectrale metingen van de straling werden in een obstructievrij gebied uitgevoerd op een afstand van 30 cm van het oppervlak van de lamp. Fluorescentielampen werden op hun centrale punt gemeten, loodrecht op de lange as van de lamp. Wanneer de lamp een ingebouwde reflector bezat of een bijzondere opening bezat, werd de meting in het hart van de stralingsbundel uitgevoerd. Lampen die van de Europese E27-fitting waren voorzien, werden gemeten in de richting van de basale lengteas op een afstand van 30 cm van het lampoppervlak.

Met behulp van het programma Microsoft Excel 2000 werden de gemeten gegevens getalsmatig geanalyseerd en werden de spectrale diagrammen vervaardigd. De metingen geven de gemeten irradiaties ( $\text{mW}/\text{m}^2$ ) weer bij een resolutie van één nanometer in het gebied tussen 250 en 800 nm, alles bij elkaar 551 meetpunten *per meting*. Deze werden op een Excel-werkblad geplaatst, vervolgens geconverteerd tot  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ , waarna de waarden voor de verschillende golflengten per gebied *bij elkaar werden opgeteld*. Omdat er geen standaard

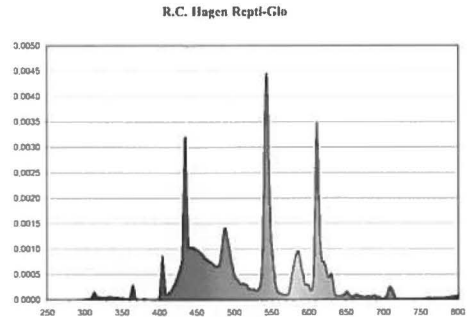


fig. 9.

and to ensure lamp stability.

Measurements were made by Suomen Aurinkosimulaattori Oy/Solar Simulator Finland Ltd. The spectroradiometer used for all measurements was IL700A Research Radiometer, manufactured by International Light Inc., Newburyport, Massachusetts, USA. The measuring head used was an S-20 photomultiplier PM271D. The spectroradiometer is being calibrated on a yearly basis by wavelength and sensitivity. In order to control wavelength calibration, the device is quick-calibrated by measuring a HeNe laser's known wavelength of 633 nm before each session. Wavelength measuring accuracy is  $\pm 3$  nm.

Measurements of spectral irradiance were made in a free field, at a distance of 30 centimetres from the surface of the lamp. Fluorescent lamps were measured at their centre point, perpendicular to the longitudinal axis of the lamp. In case the lamp had a fixed reflector or a particular aperture, the measurement was made from the main direction of radiation. Lamps with a European E27 socket were measured from the direction of base lon-



bestaat waarmee de grenzen van de UVA-, UVB- en UVC-gebieden zijn vastgelegd, werden hiervoor de gebieden gebruikt die in de huidige literatuur algemeen gangbaar zijn. Vanwege de gedigitaliseerde structuur van de meetgegevens, werden de volgende grenzen gebruikt: UVC 250-279 nm, UVB 280-319 nm en UVA 320-399 nm. Het zichtbare licht ligt tussen 400 en 749 nm, het nabije infrarood tussen 750 en 800 nm.

Het actiespectrum van de 7 DHC naar preD3-conversie in de menselijke huid, vormde de basis voor de berekening van de D3 Yield Index (*het getal waarmee de opbrengst is te karakteriseren*). De index werd berekend door in het gebied van 252 tot 313 nm de irradiatie (*hoeveelheid straling*) per golflengte te wegen in overeenstemming met het actiespectrum van de genoemde conversie. De op deze manier verkregen effectieve irradiaties werden binnen dit gebied bij elkaar opgeteld. Het getal dat hieruit volgde werd aan de referentie aangepast met behulp van een geschikte vermenigvuldigingswaarde. Dit leverde dan de uiteindelijke D3-Yield Index op.

### Resultaten

De algemene informatie over de gebruikte eenheden staat in tabel 1. Hierin zijn de lampen genummerd om er in de volgende tabellen aan te kunnen refereren. Naast merknaam, type, producent of verkoper en het opgegeven vermogen staat er alle bijkomende informatie in die de resultaten zouden kunnen beïnvloeden.

In tabel 2 staat de intensiteit van de bestraling (*irradiatie*) in microwatt per vierkante centimeter ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )

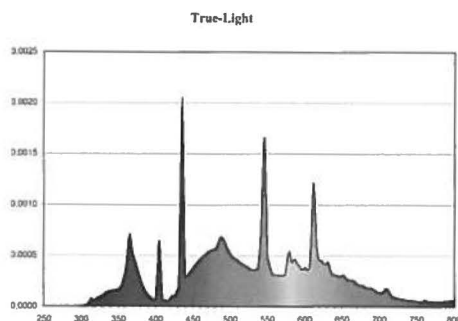


fig. 10.

itudinal axis at a distance of 30 centimetres from the face of the lamp.

Numerical analysis and spectrum diagrams of measured data were made with Microsoft Excel 2000. Measurement data shows measured irradiance ( $\text{mW}/\text{m}^2$ ) at one nanometre resolution between 250-800 nm, 551 data points in all. These were imported to an Excel spreadsheet, converted to  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ , and irradiances on different wavelength ranges were integrated. Because of the lack of a fixed standard determining the boundaries of UVA, UVB and UVC ranges, the ranges commonly used in current literature were adopted. Due to quantized nature of measurement data, the following limits were used in analyses: UVA 320-399 nm, UVB 280-319 nm and UVC 250-279 nm. Visible light is taken to be between 400-749 nm, and near infrared to be 750-800 nm.

The basis for the calculation of the D3 Yield Index was the action spectrum of 7-DHC to preD3 conversion in human skin. The index was calculated in the 252-313 nm range by weighing the irradiance at each wavelength in accordance with the action spectrum. The effective irradiances

aangegeven, evenals de procentuele verhoudingen van UVA, UVB en UVC met betrekking tot de totale irradiatie. Door equivalente waarden te gebruiken zoals die door de producenten worden verstrekt, kan men vergelijkingen maken met typen die niet in deze test zijn opgenomen. Die moeten dan wel betrekking hebben op identieke gebieden voor de UV bereiken: UVA 320-399 nm, UVB 280-319 nm, en UVC 250-279 nm.

Tabel 3 laat de irradiaties in het UVB-gebied zien. Er werden afzonderlijke waarden berekend voor het golflengtebereik dat hoofdzakelijk betrokken is bij de vitamine-D3-synthese (UVB-1, 280-304 nm) en voor het erboven gelegen gebied (UVB-2, 305-319 nm) dat het vermogen bezit vitamine D3 af te breken. Bernard (1995) noemde het 290-300 nm-gebied 'D UV', maar om de samenhang te bewaren met de bestaande gewoonte (UVA, UVB, UVC) werden de UVB-deelgebieden hier UVB-1 en UVB-2 genoemd. Het vermogen van een lamp om effectief vitamine D3 te produceren, kan men evalueren door de waarden in tabel 3 met elkaar te vergelijken. Hoe groter de irradiatie van UVB-2 is in vergelijking met UVB-1, des te groter is de kans dat UVB-2 straling in de huid aanwezig vitamine D3 af zal breken. In tabel 4 staan zowel de verkregen D3-Yield-Index als het percentage UVB als onderdeel van de totaal geproduceerde straling ter vergelijking aangegeven. Toen de D3-Yield-Indices werden berekend, maakte het gebrek aan accurate gegevens het onmogelijk om rekening te houden met de zojuist genoemde mogelijkheid dat zwakke straling in het UVB-1-gebied gecombineerd met sterke straling in het UVB-2-gebied de afbraak

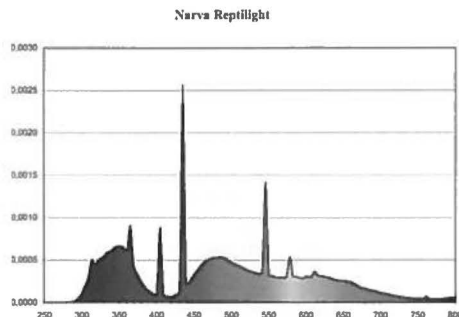


fig. 11.

thus obtained were summed over this range, and this value was finally adjusted to the reference by a suitable multiplication factor, resulting in the final D3 Yield Index.

### Results

General information about measured samples is listed in table 1. Lamps are numbered here for reference in other tables. Besides brand name, model, manufacturer or retailer, and nominal power, any additional information that may affect the results is given.

In table 2, irradiances as microwatts per square centimetre and percentage proportions of UVA, UVB and UVC from total irradiance are listed. Using equivalent values given by manufacturers, general comparisons to other models outside this test can be done. However, it has to be certified that the UV ranges have been specified with identical ranges: UVA 320-399 nm, UVB 280-319 nm, and UVC 250-279 nm.

Table 3 shows irradiances in the UVB range. Separate values have been calculated for the wavelength range that mainly contributes to vitamin D3 photosynthesis (UVB-1, 280-304 nm) and for range



van vitamine D3 kan opwekken. Dus wanneer een lamp met een grote waarde voor het percentage UVB, maar een kleine D3-Yield-Index heeft, dan is het mogelijk dat er een afbraak van vitamine D3 optreedt. Om de situatie te kunnen beoordelen, is het in dit geval nodig de spectrale curve van de lamp in het UVB/UVA overgangsgebied nader te onderzoeken.

### Discussie

Deze nogal breed opgezette studie brengt nogal wat verschillende testresultaten aan het licht. Sommige lampen uit onze reeks hebben duidelijk een ander doel dan alleen maar de verlichting van het terrarium. De meetresultaten van deze lampen moeten als een afzonderlijke groep worden beschouwd. Men kan het UV-spectrum van lampen die het hele spectrum geven bijvoorbeeld niet met echte UV-lampen vergelijken. De lampen uit de eerste groep zijn bedoeld om een zo natuurlijk en gelijkmatig spectrum van het geleverde licht te geven als maar mogelijk is. Hun UV-straling, als daar in deze gevallen al sprake van is, is niet meer dan een bijproduct van de fluorescerende lamp. Men zal dit type lampen nooit als de enige lichtbron voor dieren die UV-licht nodig hebben, moeten gebruiken. Evenzo kan men stellen, dat lampen die voor een maximale UVB-straling zijn ontworpen niet direct zijn te vergelijken met gewone UVB fluorescerende lampen. Ook moet men bedenken, dat het als referentie gebruikte zonlicht op de geografische breedte van Finland is gemeten, ook al is deze meting tijdens de zomerzonnewende toen de zon op haar hoogste punt stond uitgevoerd.

De natuurlijke leefomgeving van de

above it (UVB-2, 305-319 nm) that may potentially destroy vitamin D3. Bernard (1995) calls this range 290-300 nm as "D-UV", but in order to maintain consistency with the naming conventions (UVA, UVB, UVC), the sub-ranges of UVB are designated here UVB-1 and UVB-2. The ability of a lamp to efficiently produce vitamin D3 can be evaluated by comparing values in table 3. The higher the irradiance of UVB-2 is in comparison to UVB-1, the higher the probability that UVB-2 radiation will start destroying cutaneous vitamin D3.

Table 4 lists the D3 Yield Index of the target and the percentage of UVB from total output for comparison. While calculating D3 Yield Indices, the lack of accurate data made it impossible to take into account the above-mentioned possibility that weak radiation in the UVB-1 range, combined with strong radiation in the UVB-2 range, may cause photodestruction of vitamin D3. Thus, if a lamp has a high UVB percentage but a weak D3 Yield Index, it might suggest destruction of vitamin D3. In this case it will be necessary to closely examine the spectral curve of the lamp at UVB/UVA crossover point in order to evaluate the situation.

### Discussion

This kind of an extensive study brings forward many kinds of test results. Some of the measured lamps are obviously meant for a different purpose than being a sole light source of a terrarium. Measurement results of these lamps need to be handled as a separate group. For example, the UV spectrum of so-called full spectrum lamps and actual UV lamps cannot be compared. The lamps belonging to the former group are meant to produce visible light with as natural and uniform spec-



meeste terrariumdieren ligt meer naar het zuiden, waar de straling van de zon de atmosfeer praktisch verticaal binnenkomt en dus een veel dunnere laag ozon en lucht passeert. In de hier genoemde metingen is de gebruikte referentie, de zon, extreem zwak, in het bijzonder in het UV-gebied, vergeleken met het natuurlijke leefmilieu van menig terrariumdier. Nog een aspect dat de D3-Yield-Index kan beïnvloeden, is dat de gevoeligheid van de spectrofotometer moest worden teruggeschoefd tijdens de meting van het referentie zonnelicht, omdat de totale stralingsstroom uit de zon wel 200 keer sterker was dan die van de lampen. Dit had tot gevolg, dat aan de lage kant van het spectrum de gevoeligheid van de sensor onvoldoende kan zijn geweest, waardoor deze meetkromme daar te vroeg is afgesneden. Dit probleem zou mogelijk zijn op te lossen met een gespecialiseerde UV-meter, maar dat was in het kader van dit onderzoek niet in de praktijk haalbaar.

### **De verdeling van UV-licht**

Wanneer men de verdeling van het ultraviolette licht over de drie gebieden UVA, UVB en UVC vergelijkt, dan valt het op dat er in alle metingen sprake is van een krachtige UVA-stroom. Voor veel lampen valt meer dan 30 procent van de totaal uitgezonden straling in het UVA-gebied. Hoewel ook dit nadelig zou kunnen zijn voor de vitamine D3-synthese, wordt in sommige publicaties vermeld, dat het een positieve invloed op het gedrag van reptielen kan hebben (Gehrmann, 1994). Hierover is nog niet veel onderzoek gedaan. Studies bij de mens geven tegenstrijdige uitkomsten. Bij hen vond men, dat UVA oogschade zou kunnen veroorzaken, zoals het vergelijken van de

trum as possible. Their UV radiation - if any - is merely a by-product of any fluorescent lamp. These types of lamps should never be considered as the only light source for an animal requiring UV light. Equally, it can be said that lamps designed for maximum UVB radiation are not directly comparable with regular UVB fluorescent lamps. It should also be borne in mind that the sunlight used as reference has been measured at Finnish latitude (at summer solstice, when the sun is at its highest point of elevation). The natural habit of most terrarium animals is further to the south, where the radiation coming from the sun penetrates the atmosphere almost vertically and thus has to pass through a much thinner layer of ozone and air. This has a major effect on the shortest wavelengths of UV irradiation reaching the surface of the earth. In these measurements, the reference sun appears exceedingly weak, especially in the UV range, when compared to the situation in the natural habitat of many terrarium animals. Another issue that may affect the D3 Yield Index is the fact that the spectrophotometer's sensitivity had to be reduced during the measurement of reference sunlight because the total radiation flux of the sun was higher than that of the lamps by a factor of over 200. This results in a situation in which the sensitivity of the sensor might be insufficient in the extreme low end of the spectrum. This may cause the spectrum curve to fall off too early. Measurement with a specialised UV meter might have obviated this problem, but that would have been impractical within the scope of this study.

### **Distribution of UV light**

When comparing the distribution of ultraviolet light in the UVA, UVB and UVC



ooglenzen, dat het de huid voortijdig verouderd en dat het veranderingen in de immuunresponse opwekt. Om deze redenen is het te ontraden dieren aan excessieve hoeveelheden UVA-licht bloot te stellen. Maar hoe het ook zij, de UVA-irradiatie van alle doorgemeten lampen heeft maar een waarde van 1 tot 2 procent van die van het zonlicht en hoeft daarom niet zorgwekkend te zijn.

Enkele lampen uit deze studie vallen sterk op door een praktisch geheel ontbreken van ultraviolet licht. Van deze lampen zijn die van True Light duidelijk geen UV-lampen, ofschoon de verkoper deze hiervoor soms had aangeraden. De lampen Repti Glo, Life Glo, Exo Terra Repti Glo 2.0, en ESU Reptile Super UV Daylight zenden maar een paar procent van hun straling in het UVA-gebied uit en zelfs nog minder in het UVB. De Active UVHeat-lamp valt ook op door zijn nogal lage percentage UVB-straling, hoewel dit wat misleidend is, omdat het opgegeven vermogen van deze lamp duidelijk boven dat van elke andere lamp ligt. Ofschoon deze lamp nogal veel UVB-straling uitzendt, bewijst dit nog niet dat de lamp goed in staat is de fotosynthese van vitamine D3 op te voeren, zoals later zal blijken.

Wanneer men uitsluitend naar de proportie (*het percentage*) UVB-straling kijkt, vallen Zoo Med ReptiSun 5.0 en Sylvania Reptistar op. Meer dan 6 procent van hun totale irradiatie bevindt zich in het UVB-gebied. Narva Reptilight en R.C. Hagens Exo Terra Repti Glo type 5.0 en type 8.0 vormen met hun drie tot vier procent UVB weer een aparte groep. De overige lampen produceren slechts extreem lage hoeveelheden UVB.

regions, the strong emphasis of UVA can be seen in all results (see table 2). Many of the lamps have over 30% of their total radiation in the UVA range. Although this may be detrimental to vitamin D3 synthesis, according to some reports it might have a positive effect on reptile behaviour (Gehrmann, 1994). There is not much research material available on this subject. Human studies have given contradictory results. In humans it has been found out that UVA can cause eye damage (for example yellowing of the lens of eye), premature aging of the skin, and changes to the immune response. Because of this, excessive amounts cannot be recommended for animals either. In any case, the UVA irradiance of all lamps measured is only about 1-2 % of that of the sun, hardly a cause of concern in that respect.

A few lamps clearly stand out from the rest with their almost total lack of ultraviolet light. Of these, True-Light lamps are obviously not UV lamps, although their retailer has sometimes recommended them for this purpose. The lamp models Repti Glo, Life-Glo, Exo-Terra Repti Glo 2.0, and ESU Reptile Super UV Daylight, emit only a few percent of their radiation in the UVA range, with even less in the UVB range. Active UVHeat lamp also stands out with its rather low percentage of UVB radiation; this is, however, a bit misleading, since the nominal power of this lamp is significantly higher than that of any other. Although its irradiance in UVB region is quite high, this is still not a proof of its high capability to promoting photosynthesis of vitamin D3, as shown later.

When evaluating the proportion of UVB radiation only, Zoo Med ReptiSun 5.0 and



## UV-irradiatie en gevaren voor de gezondheid

Het Finse Ministerie voor Sociale Zaken en Gezondheid publiceerde op 16 december 1991 het decreet no. 1474 dat handelt over de maximale blootstelling aan niet-ioniserende straling. Volgens dit decreet mag de biologisch gewogen effectieve energiedichtheid van ultraviolette straling op ogen en huid niet meer bedragen dan 50 J per vierkant meter per dag.

De UV-afgifte van Active UVHeat ligt boven de voorgeschreven grens en kan daarom een potentieel gevaar voor de gezondheid zijn. Op een afstand van 30 cm wordt deze limiet in 40 minuten bereikt en op 1,5 meter in 390 minuten. In huis moet de Active UVHeat-lamp daarom worden afgeschermd, zodat het licht ervan niet de plaatsen kan bereiken waarin mensen zich langdurig ophouden. Ook in het terrarium moet een afgeschermd gebied zijn waarin alle dieren *gelijktijdig* en op elk willekeurig *door hen gewenst* ogenblik kunnen schuilen. Voor alle lampen met een hoog UV-vermogen geldt hetzelfde risico. Voor de andere lampen is de geschatte veilige tijd waarop men op een afstand van 30 cm aan het licht blootstaat ongeveer 1,5 uur. Vensterglas geeft al een goede bescherming tegen beschadigende straling. Zulk glas filtert 22 procent van het UVA weg en 96 procent van het UVB.

### De D3-Yield-Index

Het percentage UVB uit de totale output van een lamp wordt vaak als maatstaf gebruikt voor het vermogen van de lamp om in de huid van het dier de fotosynthese van vitamine D3 te onderhouden. Maar uit onderzoek aan de menselijke huid bleek al, dat deze zaken niet zo

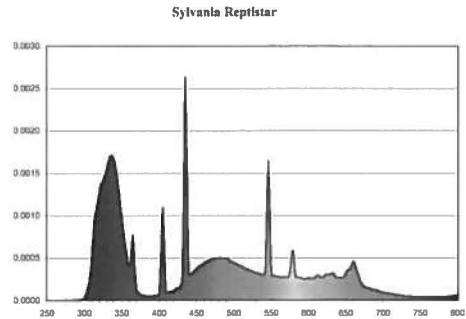


fig. 12.

Sylvania Reptistar stand out. Over 6% of their total irradiance is in the UVB range. Narva Reptilight and R.C. Hagens Exo-Terra Repti Glo, models 5.0 and 8.0, make up another group with their 3-4 percent UVB proportion. The rest of the lamps produce only extremely small amounts of UVB.

### Health hazard of UV irradiation

The Finnish Ministry of Social Affairs and Health has issued decree No: 1474 (Dec. 16. 1991) with regard to the maximum exposure to non-ionising radiation. According to this decree, the biologically weighted effective energy density of ultraviolet radiation on eye or skin must not exceed 50 J/m<sup>2</sup> per day.

The UV radiation of Active UVHeat exceeds this figure and it may therefore constitute a health hazard. At a distance of 30 cm, the limit is reached in 40 minutes; at 1.5 meters in 390 minutes. In the home, the Active UVHeat lamp must be shielded so that its light is screened from the areas where there are people for long periods of time. The terrarium must have a shaded area available for all animals at all times. The same risk is present also with other high output UV lamps. With



eenvoudig liggen. MacLaughlin e.a. (1982) lieten zien, dat het actiespectrum van de vitamine-D3-synthese extreem nauw is (fig. 1 in MacLaughlin e.a., 1982). De productie van vitamine D3 vindt hoofdzakelijk in het golflengtegebied van 295 tot 300 nm plaats (UVB 1), terwijl het UVB-gebied in het algemeen breder is. Meestal rekent men het gebied van 280 tot 320 nm hiertoe. Het verschil tussen deze twee gebieden is van grote betekenis, in het bijzonder in de top ervan, waar de productie van vitamine D3 stopt, maar de afbraak ervan door de straling met een wat grotere golflengte gewoon doorgaat. Hierdoor is het genoemde gebruik van het percentage UVB-straling als zodanig een slechte maat voor de effectiviteit van invallend licht met betrekking tot de fotosynthese van vitamine D3 in de dierlijke huid.

Het gebruik van de D3-Yield-Index als basis voor de beoordeling van UV-lampen maakt het mogelijk heel verschillende lampen met behulp van consistente criteria met elkaar te vergelijken. Deze index maakt de anders lastig te vergelijken attributen van een spectrale kromme doorzichtig en hanteerbaar, zodat zelfs de onervaren terrariumhouder hiermee goed overweg kan. Deze index geeft door middel van een niet voor tweeërlei uitleg vatbaar getal de efficiëntie van een lamp weer met betrekking tot het stimuleren van de fotosynthese van vitamine D3 en verzekert daardoor indirect het goede niveau van de calcium-stofwisseling.

Omdat het actiespectrum van de fotodestructie van vitamine D3 niet beschikbaar is, was het niet mogelijk het effect van dit proces op de D3-Yield-Index vast te stellen. Daar is meer onderzoek voor

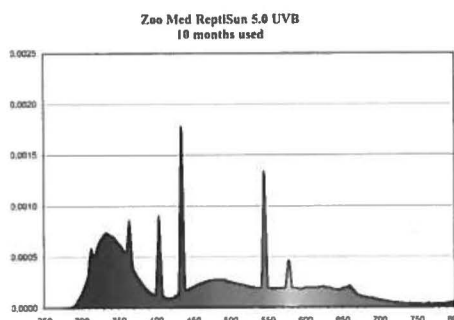


fig. 13.

other lamps, the estimated safe exposure time at 30 cm distance is about 1.5 hours. A single sheet of window glass secures adequate protection from harmful radiation. Such glass filters 22% of UVA and 96% of UVB radiation (Gehrmann, 1987).

### D3 Yield Index

The percentage of UVB radiation from the total output has often been taken as an indicator of the ability of a lamp to maintain vitamin D3 photosynthesis in the animal skin. According to research made on human skin, the issue is not as simple as that. MacLaughlin et. al. (1982) showed that the action spectrum of vitamin D3 photosynthesis is extremely narrow (fig. 1). Vitamin D3 production takes place mainly in the wavelength range 295-300 nm, while the UVB range is generally specified 280-320 nm. This difference is significant especially at the top of the range, where vitamin D3 production ceases, but photodestruction by longer wave-length radiation still continues. This makes the use of UVB irradiance figure by itself a poor indicator of the effectiveness of the incident light in photosynthe-

nodig. Een in situ analyse van 7 DHC en van diens reactieproducten is evenzo vereist om hun relatie tot deze index vast te kunnen stellen.

Men moet er rekening mee houden, dat de formule voor de berekening van de D3-Yield-Index geen rekening houdt met de verschillen in vermogen tussen de lampen. Dit betekent bij twee verder aan elkaar gelijke lampen, dat die met een hoger opgegeven vermogen ook een evenredig hoger indexgetal heeft.

De D3-Yield-Indices die op basis van de meetgegevens in deze studie zijn berekend, laten zien dat het percentage UVB met betrekking tot de totale lichtopbrengst niet noodzakelijkerwijs een directe relatie heeft met het vermogen van de lamp de vitamine D3 fotosynthese te bevorderen. Dit kan het duidelijkst worden toegelicht aan de Sylvania Reptistar: ofschoon zes procent van zijn opbrengst uit UVB bestaat is de D3-Yield-Index maar middelmatig. Wanneer wij het spectrum van deze lamp bekijken, dan is het duidelijk dat de irradiatie in het 290-300 nm-gebied, het belangrijkste gebied voor de index, praktisch gelijk is aan nul.

Even misleidend, maar in tegenovergestelde richting, is de UVB-verhouding van Active UVHeat. Deze is maar één procent, maar toch is de D3-Yield-Index ongeveer gelijk aan die van Sylvania Reptistar. In dit geval is het UVB-aandeel met betrekking tot de totale lichtopbrengst heel klein, maar de totale opbrengst is heel hoog. Uit het gegeven dat de totale irradiatie van Active UVHeat zoveel keer hoger is, 1308  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ , in tegenstelling tot de 188  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  van Reptistar, volgt duidelijk dat het uitslui-

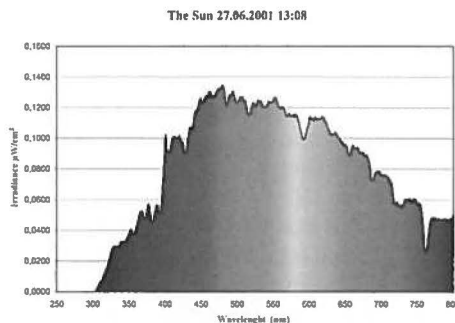


fig. 14.

sing vitamin D3 in animal skin. Use of the D3 Yield Index as a basis for evaluation of UV lamps gives a possibility to compare very different types of lamps with consistent criteria. The D3 Yield Index turns the attributes of a spectrum curve, that are otherwise difficult to compare, into an easily manageable and understandable form even for a novice keeper; they indicate with an unambiguous value the efficiency of a lamp to promote photosynthesis of vitamin D3 and by that, indirectly ensure sufficient level of calcium metabolism.

Because the action spectrum for vitamin D3 photodestruction was not available, it was not possible to evaluate the effect of this process on the D3 Yield Index. More research is needed to resolve this. An in situ analysis of 7-DHC and its reaction products is also required to confirm their relation to the D3 Yield Index.

It should also be noted that the formula for calculating the D3 Yield Index has not been tailored to compensate for power differences between lamps. Therefore, in case there are two otherwise identical lamps the one with higher nominal power



tend kijken naar percentages niet voldoet.

Van alle onderzochte lampen komt de beste bijdrage aan de fotosynthese van vitamine D3 in de huid van de Zoo Med ReptiSun, die een D3-Yield-Index heeft van 439. Dit resultaat is opmerkelijk gezien het feit dat dit slechts een lamp van veertien Watt is, terwijl de andere lampen uit deze studie een nominaal vermogen van 30 tot 40 Watt hadden. Het spectrum van ReptiSun begint heel laag in het UVB-gebied, maar de kromme vertoont een steile stijging. In de voor de vorming van vitamine D3 meest gevoelige golflengte, 295 nm, is de straling van de ReptiSun al 1,8 keer sterker dan die van de op één na beste lamp.

De lamp die op plaats twee staat, het Zoo Med ReptiSun-toestel dat al tien maanden in gebruik was, vertoont geen opmerkelijke vermindering van de UVB-radiatie. Wanneer men het hele spectrum bekijkt, dan blijkt dat de straling van de lamp door het hele spectrum een geleidelijke daling vertoont. Dit betekent, dat de UVB-radiatie niet plotseling stopt, zoals wel eens werd gesuggereerd, maar dat deze, net als het zichtbare licht, spectraal geleidelijk inzakt. Het advies om deze lamp op basis hiervan twee keer per jaar te vervangen zoals wel wordt aanbevolen is tot op zekere hoogte niet gerechtvaardigd. Deze conclusie is echter op maar één lamp gebaseerd en het is goed mogelijk, dat er vanwege de speling bij de productie e.d. verschillen tussen de lampen optreden. Een gedetailleerd onderzoek met een grotere steekproef is nodig om hier duidelijkheid in te brengen.

De lamp die op de derde plaats staat, Narva Reptilight, is ook heel effectief in

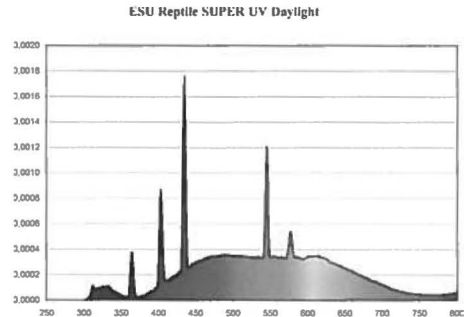


fig. 15.

receives a higher index figure, proportional to the power difference.

The D3 Yield Indices calculated on the basis of measurements of this study illustrate the fact that the percentage of UVB from total irradiance is not necessarily directly related to the capability of a lamp to promote vitamin D3 photosynthesis. Most clearly this can be seen in the case of Sylvania Reptistar; although 6% of its radiation is UVB, its D3 Yield Index is only mediocre. When examining the spectrum of this lamp (published elsewhere in this magazine), it can be seen that its irradiance is almost zero in the range 290-300 nm, which is the most important range for the index.

Similarly misleading, but in the opposite direction, is the UVB proportion of Active UVHeat: only 1% - yet its D3 Yield Index is approximately the same as for Sylvania Reptistar. In this case, the proportion of UVB from the total amount of radiation is extremely small, but its irradiance is very high. The fact that the total irradiance of Active UVHeat is many times higher, 1308  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  as opposed to Reptistar's 188  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ , makes the percentage com-

het stimuleren van de vorming van vitamine D3, gezien de D3-Yield-Index van 284. Daarbij heeft de lamp een uitzonderlijk gunstig effect, omdat de straling in het 315- tot 335-gebied, die het vermogen heeft vitamine D3 af te breken, bijzonder laag is.

Dan volgt een groep van vier lampen met ongeveer gelijke meetresultaten. Hun D3-Yield-Index ligt al op minder dan de helft van dat van de beste exemplaren uit dit onderzoek. In deze groep is Sylvania Reptistar interessant. Ofschoon deze lamp wat de straling in het UVB-gebied betreft op plaats drie staat, is de D3-Yield-Index maar matig. De spectrale curve begint pas bij 300 nm te stijgen. Hieruit volgt, dat de belangrijkste straling juist in de UVB-2 en de UVA-bereiken ligt. Dit zijn de gebieden waarvan bekend is dat zij schadelijk zijn voor de productie van vitamine D3.

Een andere lamp die in deze groep de aandacht trekt is Active UVHeat. Het spectrum van deze lamp is bijna vlak. De lamp is dus heel krachtig in de relevante stralingsgebieden. Voor het overige is het niveau ongeveer gelijk aan dat van de 14 W ReptiSun. Er is maar één piek in het UVB-1-gebied aanwezig, bij 302 tot 304 nm, waardoor de lamp een redelijke D3-Yield-Index vertoont. Maar het spectrum vertoont een andere piek op 313 nm en daarboven. Deze piek is ongeveer 10 keer hoger en draagt daardoor juist bij aan de afbraak van vitamine D3 in de huid.

De overige doorgemeten lampen vallen wat de D3-Yield-Index betreft flink tegen. Zelfs de beste lampen eruit (Rolf C. Hagen Repti Glo en Life Glo) hebben een

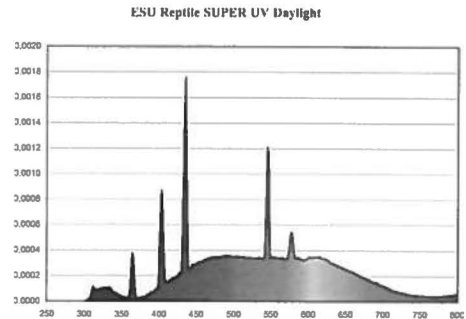


fig. 16.

parison alone look insufficient.

Of all the lamps measured, the best contributor to vitamin D3 photosynthesis in skin is Zoo Med ReptiSun, with a D3 Yield Index of 439. This result can be considered especially noteworthy for the fact that the lamp in question is only a 14 W unit, while other units in the study have a nominal power of 30-40 W. The spectrum of ReptiSun begins very low in the UVB range and the spectrum curve rises steeply. In the most sensitive wavelength for vitamin D3 synthesis, 295 nm, for example, the radiation of ReptiSun is already 1.8 times stronger than that of the next best lamp.

The second best lamp, a Zoo Med ReptiSun unit that had been used for 10 months, does not show remarkable weakening of UVB radiation. While examining the full spectrum, it can be seen that the irradiance of the lamp has dropped constantly throughout the whole spectrum. This means that the UVB radiation of a lamp does not cease abruptly, as is sometimes suggested, but seems to get gradually weaker along with the visible



indexgetal dat maar vijf procent bedraagt van dat van de ReptiSun. De lampen uit deze groep kunnen niet worden aanbevolen voor het gebruik als UV-lampen met de bedoeling vitamine D3 in de huid aan te maken.

De beide True Light-lampen vallen in deze groep. Maar het is duidelijk dat het niet de bedoeling van de producenten was dat zij voor UV-lampen doorgaan.

Het zijn lampen met een volledig spectrum waarbij de hoeveelheid UVB-straling klaarblijkelijk niet in de ontwerpcriteria was opgenomen. Deze lampen waren juist bedoeld om binnen het zichtbare licht een zo natuurlijk en constant mogelijke opbrengst te geven.

De door Energy Savers Unlimited (ESU) vervaardigde Reptile Desert 7% UVB bleek erg tegen te vallen. Ondanks zijn naam produceerde deze eenheid maar 0,3 procent UVB-straling en met een D3-Yield-Index van maar 0,5.

Het als referentie gemeten zonlicht vormt een klasse apart. Het resultaat zou natuurlijk beter zijn geweest, wanneer het zonlicht dichter bij de evenaar was opgemeten, maar de D3-Yield-Index van de zon (1000) is twee keer beter dan de beste lamp uit de test. De UVB-bijdrage is 0,3 procent, maar dit ligt aan de grote stralingsintensiteit van de zon over het hele spectrum.

Hierbij moet men bedenken, dat de meeste terrariumreptielen uit landen komen die ver ten zuiden van Finland liggen. De in Finland gemeten zonnestraling vormt daarom eigenlijk geen geschikte referentie voor het bepalen van de voor deze dieren adequate intensiteit aan UVB-straling (afgezien van het beoordelen van de lichtvoorziening van buiten in afgesloten ruimtes gehouden gedomes-ticeerde dieren). Een realistische referen-

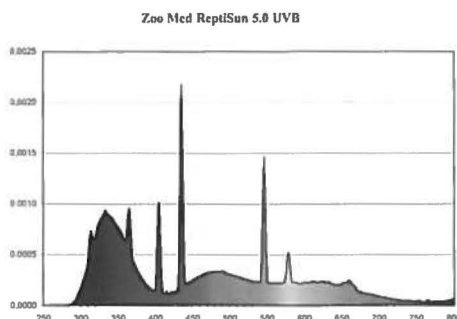


fig. 17.

light. On this basis a recommendation to replace the UV lamp twice a year due to alleged fading of UVB radiation is at least to some extent unwarranted. The conclusion is of course based only on one individual lamp; differences due to manufacturing tolerances etc. are entirely possible. A detailed research with a larger sample would be required to confirm this issue.

The next best lamp, Narva Reptilight, is also very efficient in promoting vitamin D3 synthesis with a D3 Yield Index of 284. Additionally, its spectrum is exceptionally beneficial; radiation at 315-335 nm range which potentially destroys vitamin D3 is very low.

Next comes a group of four lamps, the results for which are rather equal. Their D3 Yield Indices are already less than half of that of the best product. In this group, the case of Sylvania Reptistar is interesting. Even though its irradiance in UVB range is the third highest of all tested units, its D3 Yield Index is only modest. Its spectrum curve starts to rise only at about 300 nm; therefore, the main proportion of its radiation is concentrated in the UVB-2 and UVA ranges, in which

tie kunnen wij natuurlijk alleen krijgen, wanneer wij het zonnenspectrum in de natuurlijke leefomgeving van het dier opmeten. Om de hier verkregen resultaten te verifiëren en een algemene basis-referentiewaarde te krijgen, zouden er met een passend instrumentarium gelijksoortige waarnemingen bij de equator moeten worden gedaan.

Overigens moet men er wel op bedacht zijn, dat de D3-Yield-Index van de zon niet absoluut moet worden genomen, omdat de hier gedane meting alleen op de hoogste stand van de zon in het hartje van de zomer werd uitgevoerd. Kunstlicht produceert een uniform stralingsniveau zolang de lampen aan zijn. De zon staat 's ochtends en 's avonds en tijdens de andere seizoenen lager aan de hemel, waardoor het zonlicht onder wisselende hoeken door de atmosfeer schijnt. De daarbij effectief dikkere ozonlagen filteren meer ultraviolet licht weg en dus neemt de relatieve kracht van de UV-straling in deze situaties flink af. Dit geldt natuurlijk overal op aarde.

De gevoeligheid van het meetinstrument moest voor de meting van het zonlicht worden teruggebracht vanwege de sterke straling in het zichtbare licht. Dit kan een voortijdige afsnijding aan het begin van de spectrale verdeling tot gevolg hebben gehad, waardoor de D3-Yield-Index van de zon kan zijn aangetast.

Concluderend kan er worden gesteld, dat er uitgesproken verschillen bestaan in de geschiktheid van de verschillende lampen voor het bevorderen van de fotosynthese van vitamine D3 in de huid. Vaak ligt het percentage UVB dat door de producent werd aangegeven zó dicht bij de geme-

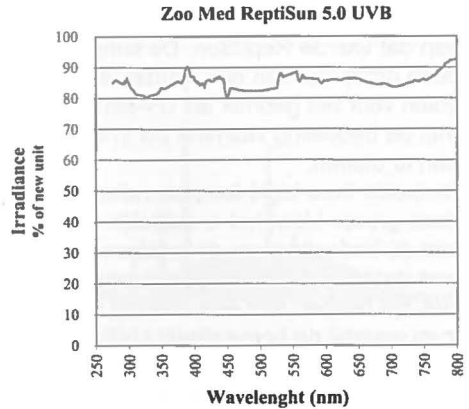


fig. 18.

strong irradiation is known to be detrimental to the production of vitamin D3.

Another sample that attracts attention in this group is Active UVHeat. The spectrum of this lamp is almost a pure line. In the wavelengths where radiation exists, it is very strong. In other areas radiation is at the same level as for the 14 W ReptiSun unit. There is only one single peak in the UVB-1 range, at 302-304 nm - this establishes the D3 Yield Index of this lamp at a reasonable level. However, its spectrum has another peak, over 10 times higher, at 313 nm and beyond that generally rather high irradiance values which may contribute to photodestruction of existing vitamin D3 in skin.

The rest of the measured lamps are disappointing in their D3 Yield Indices. Even the best (Rolf C. Hagen Repti Glo and Life-Glo) of these units have an index figure that is only 5% of that of the ReptiSun unit. Lamps in this group cannot be recommended for use as UV





ten waarde, dat verschillen hoogstwaarschijnlijk op variaties in de ijking en in de gevoeligheid van de meetapparatuur berusten. In sommige gevallen werden er echter forse discrepanties gevonden. Daarom dient men de waarden die op de verpakkingen zijn aangegeven met de nodige reserve te bezien.

### Dankbetuigingen

Hierbij betuig ik mijn dank aan Dr. James Ball (Milan, MI) en Dr. William Gehrmann van de Christelijke Universiteit van Texas voor het nakijken van het manuscript en voor hun waardevolle opmerkingen tijdens de voorbereidingen ervan. Dr. Pekka Mäenpää van de Kuopio Universiteit bekeek de Finse terminologie van het artikel. Senior researcher Tapani Koskela van het Finse Meteorologische Instituut gaf belangrijke informatie die de metingen aan de zon ten goede kwam. De ruime voorziening aan adviezen door Dr. Jarmo Perälä van de Universiteit van Helsinki kwam bij het schrijven van dit artikel in het bijzonder van pas.

Dit project werd mogelijk gemaakt door de fondsen die de Herpetologische Vereniging van Finland verstrekke. Rolf C. Hagen Inc. droeg in aanzienlijke mate bij aan de dure metingen en doneerde ook verschillende apparaten die voor het uitvoeren van de metingen nodig waren. AD-Lux Oy, Faunatar Oy en Tampereen Akvaario-ja Lintuliike Oy waren zo vriendelijk lampen voor de metingen uit te lenen. Anja Kairisalo doneerde het gebruikte Zoo Med ReptiSun toestel. Ik betuig hierbij mijn hartelijke dank aan mijn vrouw Sini. Haar geduld en ondersteuning vormden een onmisbare hulp tijdens de uitvoering van dit project dat meer dan vier jaren in beslag nam en

lamps with a purpose to promote vitamin D3 photosynthesis in skin.


Both True-Light units also belong to this group, and apparently their purpose is not to be actual UV lamps. They are full spectrum lamps that presumably have not had the amount of UVB radiation as one of their main design criteria; instead they are intended to have as constant and natural spectrum in visible light as possible.

The Reptile Desert 7% UVB, manufactured by Energy Savers Unlimited (ESU), turned out to be a disappointment. Despite its name, the unit only produces 0.3 % UVB radiation and its D3 Yield Index is only 0.5.

The sunlight that was measured as a reference is in its own league, and naturally the result would only get better if measured closer to the equator: the D3 Yield Index of the sun (1000) is over twice to that of the best of all the units tested. Due to the manifold radiation strength of the sun across the entire visible spectrum, its proportion of UVB is only 0.3%.

When examining the results of the reference sunlight it has to be kept in mind that most reptiles kept in terrarium originate from areas far south from Finland. Therefore, the radiation of the sun measured in Finland is not an appropriate reference for determining adequate strength of UVB radiation, except for evaluating the light supply for domestic outdoor enclosures. Realistic reference can only be obtained by measuring the radiation of the sun in the natural habitat of the animal. To verify the results published here, and to establish a common baseline, it would be necessary to do an analogous measurement with compatible equipment





waarin ik dikwijls was gedwongen mijn gezin maar weinig aandacht te geven.

### Referenties

(De URL-adressen werden geverifieerd op 30 december 2003)

Ball, J. C. 1995. 'A comparison of the UV-B irradiance of low-intensity, full spectrum lamps with natural sunlight'. *Bulletin of the Chicago Herpetological Society*, 30(4), 69-72.

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. 35 p.

Gehrmann, W. H. 1987. *Ultraviolet Irradiances of Various Lamps Used in Animal Husbandry*. *Zoo Biology* 6: 117-127.

Gehrmann, W. H. 1994. *Light requirements of captive amphibians and reptiles. In Captive Management and Conservation of Amphibians and Reptiles*. J. B. Murphy, K. Adler, and J. T. Collins (eds.) Soc. Study Amphib. Reptiles (SSAR), pp. 53-59..

Holick, M. F., Tian, X. Q., Allen, M. 1995. *'Evolutionary Importance for the Membrane Enhancement of the Production of Vitamin D3 in the Skin of Poikilothermic Animals'*. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 92, 3124-3126.

Jones, G., Strugnell, S.A., DeLuca, H.F. 1998. *'Current understanding of the molecular actions of vitamin D'*. *Physiological Reviews* 78:1193-231. [www.nutrisci.wisc.edu/fac\\_ns/f\\_deluca.html](http://www.nutrisci.wisc.edu/fac_ns/f_deluca.html)

near the equator.

However, the D3 Yield Index of the sun should not be considered as an absolute target figure since the irradiation measured here can only be achieved in a short time frame at noon in midsummer. Artificial lighting produces a uniform level of radiation during the time lamps are switched on. In the morning and evening, and during seasons other than summer, the radiation from sun penetrates the atmosphere in an inclined angle due to the lower elevation of the sun. Effectively thicker layer of ozone filters more ultraviolet light, and consequently the relative strength of UVB radiation of sun decreases rapidly. This is naturally equally applicable to all parts of the globe.

The sensitivity of the measurement device had to be reduced during the measurement due to the strong radiation of the sun in the visible range. This may have led to a premature cut-off at the very beginning of the spectrum that may affect the D3 Yield Index of the sun.

In conclusion, there are distinct differences in the suitability of different lamps to promote vitamin D3 photosynthesis in skin. In many cases, the percentage of UVB stated by the manufacturer is so close to measurement values that any differences are most likely caused by variations in calibration and spectral sensitivity of measurement equipment. However, in some cases larger discrepancies were found. For this reason, the UVB percentage given in the retail packages of products should be looked upon with appropriate reservations.





Lou, Y.R., Laaksi, I., Syväälä, H., Bläuer, M., Tammela, T.L., Ylikomi, T., Tuohimaa, P. 2003. '25-Hydroxyvitamin D3 is an active hormone in human primary prostatic stromal cells'. The FASEB Journal Express Article 10.1096/fj.03-0140fje. Published online December 4, 2003. <[www.fasebj.org/cgi/content/abstract/03-0140fjev1](http://www.fasebj.org/cgi/content/abstract/03-0140fjev1)>

MacLaughlin, J. A., Anderson, R. R., Holick, M. F. 1982. 'Spectral Character of Sunlight Modulates Photosynthesis of Previtamin D3 and its Photoisomers in Human Skin'. Science 216: 1001-1003.

Webb, AR., DeCosta, BR., Holick, MF. 1989. 'Sunlight regulates the cutaneous production of vitamin D3 by causing its photodegradation'. Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism 68(5): 882-887. <[jcem.endojournals.org/cgi/content/abstract/68/5/882](http://jcem.endojournals.org/cgi/content/abstract/68/5/882)>

**Translated into English by Tiina Siitonen, Jukka Lindgren, Barry Brown  
Vertaald uit het Engels door Bert Verveen.**

Dit artikel is eerder verschenen in *Herpetomania* vol. 13 (2004), nr. 3-4, 13-20.

#### **Nawoord van de vertaler**

Het begrip Yield Index wordt, voor zover de vertaler op het Internet kon nagaan, onvertaald in Nederlandse teksten gebruikt. Zo ook hier. Aangezien hij het begrip zelf niet kende, poogde hij op het Internet de samenstelling ervan te achterhalen. Dit bleek niet eenvoudig te zijn. Wat hij er ten slotte uit meende te begrijpen is het volgende. In de landbouw blijkt het te worden gebruikt om de verkregen

#### **Acknowledgements**

I would like to thank Dr. James Ball (Milan, MI) and Dr. William Gehrmann of Texas Christian University for reviewing this manuscript and for their valuable comments during its preparation. Dr. Pekka Mäenpää of Kuopio University reviewed the Finnish terminology of this article. Senior researcher Tapani Koskela of the Finnish Meteorological Institute gave valuable information to support measurements of the sun. Wide ranged advice given by Dr. Jarmo Perälä of the University of Helsinki was also of great help while writing this article.

This project was made possible by funding granted by the Herpetological Society of Finland. Rolf C. Hagen Inc. supported significantly the expensive measurements and also donated several units for measurements.

AD-Lux Oy, Faunatar Oy and Tampereen Akvaario- ja Lintuliike Oy kindly lent lamps for measurements. Anja Kairisalo donated the used Zoo Med ReptiSun unit.

I wish to express my heartfelt thanks to my wife Sini, whose patience and mental support have been of indispensable help during this project spanning over more than four years and during which I have often essentially neglected my family.

References (URL addresses verified on 30 Dec. 2003)

This article has first been published in *Herpetomania* vol. 13 (2004), nr. 3-4, 13-20.

#### **Postscript by the translator**

The translator was not familiar with the term Yield Index. He tried to obtain some information via the Internet. This was not

opbrengst van een stuk grond met een eenvoudig getal te karakteriseren als fractie (percentage of promillage) van de opbrengst die mogelijk zou zijn geweest. Deze laatste, de referentiewaarde, wordt verkregen door per eenheid van oppervlak de gemiddelde opbrengst van verschillende er sterk op lijkende landerijen over een aantal jaren als referentie te gebruiken, en die een ronde verhoudingswaarde te geven, bvb. 100 (percentage). Stel dat de gemiddelde opbrengst per vierkante kilometer uit 120 gewichtseenheden bestaat, dan is de Yield Index ervan  $100 \cdot 120 / 120 = 100$ . Een land dat op een gegeven moment 140,4 gewichtseenheden per vierkante kilometer heeft opgebracht heeft dan een Yield Index van  $100 \cdot 140,4 / 120 = 117$ .

Voor zover uit Lindgren's artikel kan worden nagegaan, vereiste zijn onderzoek een iets andere berekening. Het object van de index werd gevormd door de stralingsgevoeligheid van de omzetting van 7-DHC naar PreD3 in het stralingsbereik van 252 tot 313 nm. Per golflengte werd de referentiewaarde van deze golflengte uit het spectrum gewogen met de gevoeligheid van deze reactie ervoor. Deze getallen werden bij elkaar opgeteld en volgens een vergelijking die met die van hierboven overeenkomt vermenigvuldigd met 1000 (een promillage).

Stel dat de voor de zon gewogen som 610 eenheden groot was, dan volgde de D3 Yield Index uit  $1000 \cdot 610 / 610 = 1000$ . Stel dat voor een lamp deze som van de metingen voor dit golf-lengtegebied uitkomt op 244 eenheden. Dan is de D3-Yield-Index ervan gelijk aan het getal  $1000 \cdot 244 / 610 = 400$ .

**Bert Verveen**

an easy matter. What he gleaned from it may be described as follows. In agriculture the concept is used to characterise the yield of a given agricultural area for some product by means of a simple number. The number characterises the yield per unit area as a fraction of the actual yield per unit area for a set of comparable areas and obtained through a number of years. The average actual yield in product units per unit area, the reference value, was standardised to a value such as 100 (percentage). Suppose that the average actual yield per unit area is 120 units of weight. The corresponding Yield Index is then equal to  $100 \cdot 120 / 120$  which equals 100. A given area with an actual yield of 140.4 units of weight per unit area then has a Yield Index of  $100 \cdot 140.4 / 120 = 117$ .

A slightly different approach was necessary for Lindgren. As far as I am able to infer from his paper the reasoning goes as follows. The object of the index was given by the radiation sensitivity of the conversion of 7-DHC to preD3 within the range of 252 to 313 nm. This was inferred from its action spectrum. Those data per wavelength formed the basis to weigh the out-put of the sun for each wavelength. The results were summed and converted to 1000 (a permillage) according to the procedure mentioned above.

Suppose that the weighted sum is equal to 610 units for the sun. The corresponding D3 Yield Index then follows from  $1000 \cdot 610 / 610 = 1000$ . Suppose that for a given lamp this sum of the measurements within this range results in 244 units. Its D3 Yield Index is then equal to the number  $1000 \cdot 244 / 610 = 400$ .

**Bert Verveen**





Product	Power (W)	Manufacturer	Notes
ZooMed ReptiSun 5.0 UVB	14	Zoo Med Laboratories, Inc.	
ZooMed ReptiSun 5.0 UVB (used)	15	Zoo Med Laboratories, Inc.	10 months used, 12 hrs / day
Sylvania Reptistar	30	Sylvania	
Narva Reptilight	36	Narva	
R.C. Hagen Repti-Glo	40	Rolf C. Hagen Corp.	
R.C. Hagen Life-Glo	40	Rolf C. Hagen Corp.	Opening to concentrate and direct light beam
R.C. Hagen Exo-Terra Repti-Glo 2.0	40	Rolf C. Hagen Corp.	
R.C. Hagen Exo-Terra Repti-Glo 5.0	40	Rolf C. Hagen Corp.	
R.C. Hagen Exo-Terra Repti-Glo 8.0	40	Rolf C. Hagen Corp.	
ESU Reptile Super UV Daylight	40	Energy Savers Unlimited Inc.	
ESU Reptile Desert 7% UVB	40	Energy Savers Unlimited Inc.	Reflective foil to concentrate and direct light beam
Active UVHeat	100	Wild Inside	Type Flood E27 socket
True-Light	36	Manufactured for AD-Lux Oy	Full spectrum lamp 5500 K
True-Light-Daylight 6000	15	Manufactured for AD-Lux Oy	Full spectrum lamp 6000 K, E27 socket
Sun	-	-	Location: Raissa, Finland, 60°28' 60N 22°10' 60E, alt 27 m. June 27 2001 13.08 HRT DST No clouds. UV-Index 5.6. Sun's elevation 52°32'

Table 1. General Information

Product	UVA		UVB		UVC	
	$\mu\text{W}/\text{cm}^2$	%	$\mu\text{W}/\text{cm}^2$	%	$\mu\text{W}/\text{cm}^2$	%
ZooMed ReptiSun 5.0 UVB	48	31.9%	10	6.8%	0	0.0%
ZooMed ReptiSun 5.0 UVB (used)	40	31.3%	8	6.6%	0	0.0%
Sylvania Reptistar	59	31.2%	12	6.1%	0	0.0%
Narva Reptilight	37	23.2%	7	4.4%	0	0.0%
R.C. Hagen Repti-Glo	4	1.7%	1	0.6%	0	0.0%
R.C. Hagen Life-Glo	3	0.9%	1	0.3%	0	0.0%
R.C. Hagen Exo-Terra Repti-Glo 2.0	1	1.0%	1	0.3%	0	0.0%
R.C. Hagen Exo-Terra Repti-Glo 5.0	33	21.2%	5	3.4%	0	0.0%
R.C. Hagen Exo-Terra Repti-Glo 8.0	65	35.6%	8	4.2%	0	0.0%
ESU Reptile Super UV Daylight	7	5.7%	1	1.0%	0	0.0%
ESU Reptile Desert 7% UVB	38	26.2%	0	0.3%	0	0.0%
Active UVHeat	296	22.6%	16	1.2%	0	0.0%
True-Light	19	11.9%	1	0.5%	0	0.0%
True-Light-Daylight 6000	2	1.3%	0	0.0%	0	0.0%
Sun	3403	8.1%	118	0.3%	0	0.0%

Table 2. Distribution of light.

Product	Irradiance $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	
	UVB-1 280-304 nm	UVB-2 305-319 nm
ZooMed ReptiSun 5.0 UVB	2.057	8.232
ZooMed ReptiSun 5.0 UVB (used)	1.717	6.663
Sylvania Reptistar	0.497	10.982
Narva Reptilight	1.302	5.825
R.C. Hagen Repti-Glo	0.089	1.052
R.C. Hagen Life-Glo	0.083	0.863
R.C. Hagen Exo-Terra Repti-Glo 2.0	0.000	0.467
R.C. Hagen Exo-Terra Repti-Glo 5.0	0.635	4.659
R.C. Hagen Exo-Terra Repti-Glo 8.0	0.780	6.914
ESU Reptile Super UV Daylight	0.014	1.103
ESU Reptile Desert 7% UVB	0.000	0.443
Active UVHeat	0.815	14.617
True-Light	0.030	0.693
True-Light-Daylight 6000	0.000	0.003
Sun	0.000	117.699

Table 3. Irradiance.

Product	D3 Yield Index	UVB%
ZooMed ReptiSun 5.0 UVB	439.3	7%
ZooMed ReptiSun 5.0 UVB (used)	367.7	7%
Narva Reptilight	283.7	4%
R.C. Hagen Exo-Terra Repti-Glo 8.0	190.2	4%
Active UVHeat	165.3	1%
Sylvania Reptistar	157.5	6%
R.C. Hagen Exo-Terra Repti-Glo 5.0	150.8	3%
R.C. Hagen Repti-Glo	22.4	1%
R.C. Hagen Life-Glo	19.5	0%
ESU Reptile Super UV Daylight	11.2	1%
True-Light	9.2	1%
R.C. Hagen Exo-Terra Repti-Glo 2.0	2.2	0%
ESU Reptile Desert 7% UVB	0.5	0%
True-Light-Daylight 6000	0.0	0%
Sun	1000.0	0%

Table 4. D<sub>3</sub> yield index