

Jahresverlauf von Bodentemperaturen im Trockenwald von Ankarafantsika, Region Ambato-Boeny, West-Madagaskar

Dr. Alexandra Laube

Harison Zoe Radimbiniaina

Thorsten Negro

Insbesondere bei wenig gehaltenen Chamäleonarten ist die Zucht oft eine Herausforderung – und eine der größten dabei ist die erfolgreiche Inkubation der Eier. Die logischste und vermeintlich einfachste Methode wäre, die Bodentemperaturen des Herkunftsortes exakt zu imitieren. Leider gibt – oder gab – es bisher jedoch keinerlei Daten zu Bodentemperaturen auf Madagaskar.

Daher haben wir uns 2018, bewaffnet mit einem Rucksack voller Bodenthermometer, nach Madagaskar aufgemacht. „So viel wie möglich messen“, war unser Plan. Und wir fingen im Westen damit an. Nach über einem Jahr hatten wir in Ankarafantsika wesentlich mehr Daten gesammelt als geplant. Einem exakten Studiendesign sind wir dabei nicht gefolgt, denn die Datensammlung war ursprünglich nicht zur Veröffentlichung vorgesehen. Da wir die Daten aber inzwischen zu interessant finden, um sie in der Schublade verschwinden zu lassen, haben wir sie schließlich doch statistisch ausgewertet. Entstanden ist der folgende Artikel.

Der Nationalpark Ankarafantsika liegt im Westen Madagaskars in der Region Ambato-Boeny. Der Trockenwald des Nationalparks wird von der Route Nationale 4 in zwei Teile getrennt. An der RN4, direkt an Parkeingang und Campground, liegt das kleine Dorf Ampijoroa. Gegenüber befindet sich der ungefähr 33 ha große See Rav-lobe. Die Regenzeit reicht hier von November bis März, die Trockenzeit von April bis Oktober. Neben etlichen anderen Reptilien leben drei Chamäleonarten im Trockenwald von Ankarafantsika: *Furcifer*

angeli (Brygoo & Domergue, 1968, [6]), *Furcifer rhinoceratus* (Gray, 1845, [11]) und *Furcifer oustaleti* (Mocquard, 1894, [14]). Weibchen dieser drei Arten können vor allem während der Regenzeit immer wieder im Trockenwald beobachtet werden [10]. Von *Furcifer oustaleti* sind Gelege mit bis zu 72 Eiern bekannt [9, 16], von den anderen beiden Arten gibt es keinerlei publizierte Berichte über Gelege. Über die Eiablagestellen selbst existieren lediglich innerhalb der Gattung *Furcifer* vereinzelte Berichte. Die Eiablagetiefe variierte dabei zwischen 9 und 20 cm, abhängig von der Kopf-Rumpf-Länge (SVL, snout-vent-length = gemessen von der Nasenspitze bis zur Kloake) des Weibchens [15, 8]. Zwischen dem 01. April 2018 und dem 17. März 2019 wurden täglich Bodentemperaturen im Trockenwald von Ankarafantsika gemessen. Die Messpunkte lagen in einer imaginären Raute zwischen -16.30621, 46.80126 westlich der RN4, -16.29784, 46.82523 nördlich des See Ravelobe, -16.31667, 46.82194 südlich des Sees sowie -16.30621, 46.80126 südwestlich des Campgrounds (Abb. 1). Die Messstellen wurden nach zwei Methoden ausgewählt: Zum einen wurde gemessen, wo Weibchen von *Furcifer rhinoceratus* und *Furcifer oustaleti* bei der Eiablage beobachtet worden waren oder wo gerade frisch geschlüpfte Jungtiere gefunden worden waren. Zusätzlich wurden zufällig ausgewählte, schattige Stellen im Wald gemessen. Während der Trockenzeit – also außerhalb der Eiablage-Saison der Chamäleons – wurden alle diese Stellen wiederholt gemessen.

Der Boden an allen Messstellen bestand aus einer Mischung aus Laterit, Sand und Erde. Für die Messung wurden X4-Life Bodentester (Lived non food GmbH, Friedrich-Seele-Str. 20, 38122 Braunschweig) verwendet (Abb. 2). Die Bodentester verfügen über einen Messbereich von -9 bis 50°C. Die Thermometer wurden zur Messung bis zum Anschlag in den Boden gesteckt, was einer Messtiefe von 20 cm entspricht. Bei jeder Messung wurde drei bis fünf Minuten gewartet, bis die Anzeige im Display stabil blieb.

Mit Ausnahme zweier Tage innerhalb des genannten Zeitraumes wurden täglich vier Messungen vorgenommen: Eine direkt nach Sonnenaufgang zwischen 05 und 06 Uhr morgens, eine am Mittag zwischen 12 und 13 Uhr, eine am späten Nachmittag zwischen 16 und 17 Uhr sowie eine letzte Messung in der Nacht zwischen 21 und

23 Uhr. Der Sonnenaufgang liegt auf Madagaskar im Jahresverlauf zwischen 05:15 und 06.30 Uhr in der Frühe, der Sonnenuntergang etwa zwischen 17.30 und 18.30 Uhr.



Abbildung 1: Studiengebiet in Ankarafantsika, Kartendaten von GoogleMyMaps © 2020 CNES / Airbus, Maxar Technologies.



Abbildung 2: Messung der Bodentemperatur neben einem grabenden *Furcifer rhinocerotus*-Weibchen in Ankarafantsika, März 2019.

Um den Jahresverlauf der Bodentemperaturen nachzuverfolgen, wurden für jeden Monat das arithmetische Mittel und die Standardabweichung für die vier Messungen berechnet. Für die Vergleiche zwischen den Temperaturen in Regen- und Trockenzeit wurden gepaarte t-tests verwendet. Alle statistischen Berechnungen wurden mit Microsoft Excel (Microsoft Ireland Operations Limited, 70 Sir Rogerson's Quay, Dublin, Irland) durchgeführt. $P \geq 0,05$ wurde als signifikant festgelegt.

Insgesamt wurden 1396 Bodentemperaturmessungen durchgeführt und geschätzte 300 verschiedene Stellen gemessen. Am häufigsten wurde *Furcifer rhinocerotus* bei der Eiablage beobachtet (Abb. 3), ähnlich oft *Furcifer oustaleti*. *Furcifer angeli* wurde in der untersuchten Region nur sporadisch überhaupt entdeckt und konnte zwischen dem 01. April 2018 und dem 17. März 2019 nicht bei der Eiablage beobachtet werden. Schlüpflinge wurden ausschließlich in der Regenzeit gefunden. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht über die

durchschnittlichen Bodentemperaturen aller Monate zu den vier verschiedenen Messzeiten. Abbildung 4 zeigt den Verlauf aller gemessenen Bodentemperatur-Einzelwerte über den gesamten Messzeitraum.



Abbildung 3: *Furcifer rhinoceros*-Weibchen in Ankarafantsika am Graben, März 2019.

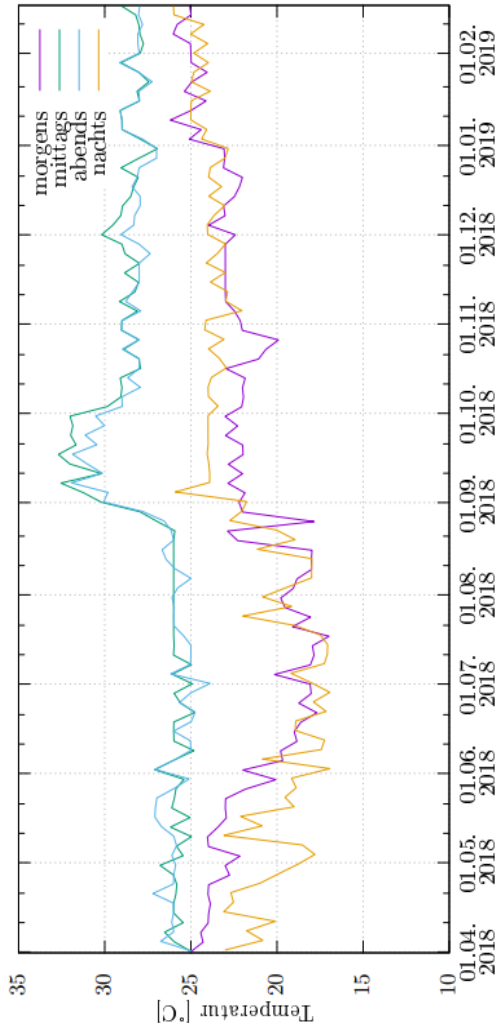


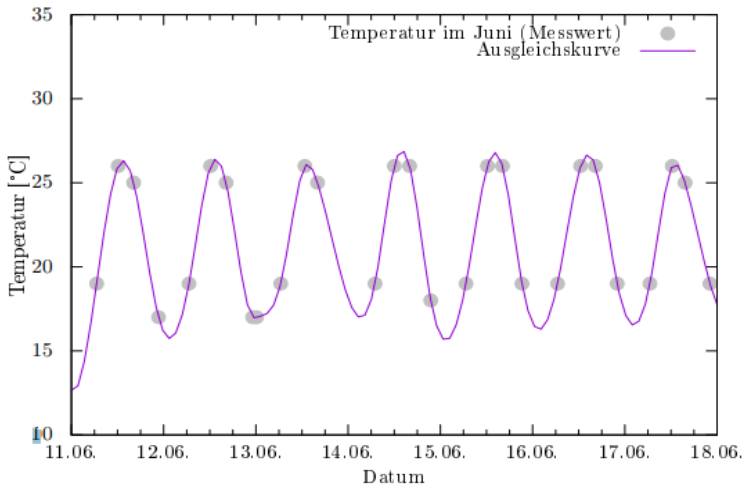
Abbildung 4: Temperaturprofil [°C] des Bodens um Ampijoroa, West-Madagaskar, in einer Tiefe von 20 cm zwischen April 2018 und März 2019, alle 1396 Messwerte zeigend. Vertikale Linien zeigen den Beginn eines neuen Monats an. Die hellblaue Linie zeigt Messungen unmittelbar nach Sonnenaufgang an, die gelbe Linie zeigt Messungen zur Mittagszeit an, die dunkelblaue Linie zeigt Messungen zwischen 16.00 und 17.00 Uhr am Nachmittag an, die orange Linie zeigt Messungen zwischen 21.00 und 23.00 Uhr in der Nacht an.

Monat	Morgens	Mittags	Nachmittags	Nachts
April	24,2 ± 1,0	26,1 ± 0,6	26,1 ± 0,4	21,7 ± 2,1
Mai	22,6 ± 1,6	25,6 ± 0,6	26,1 ± 0,8	19,8 ± 1,8
Juni	19,2 ± 1,0	25,8 ± 0,5	25,3 ± 0,5	17,9 ± 0,7
Juli	18,4 ± 0,9	25,8 ± 0,2	25,5 ± 0,6	18,7 ± 1,2
August	19,5 ± 1,9	26,5 ± 2,4	26,8 ± 2,2	20,2 ± 2,6
September	22,3 ± 0,5	31,7 ± 1,2	30,8 ± 1,1	24,2 ± 0,3
Oktober	21,8 ± 0,9	28,8 ± 0,5	28,5 ± 0,5	23,5 ± 0,7
November	22,9 ± 0,4	28,6 ± 0,6	28,1 ± 0,5	23,3 ± 0,5
Dezember	22,7 ± 0,9	28,5 ± 0,8	27,8 ± 0,8	23,5 ± 0,8
Januar	24,9 ± 0,5	28,2 ± 0,6	28,3 ± 0,6	24,5 ± 0,5
Februar	26,1 ± 1,7	28,7 ± 1,4	28,1 ± 0,9	26,1 ± 1,3
März	25,6 ± 1,2	26,9 ± 1,1	27,2 ± 1,0	25,3 ± 0,9

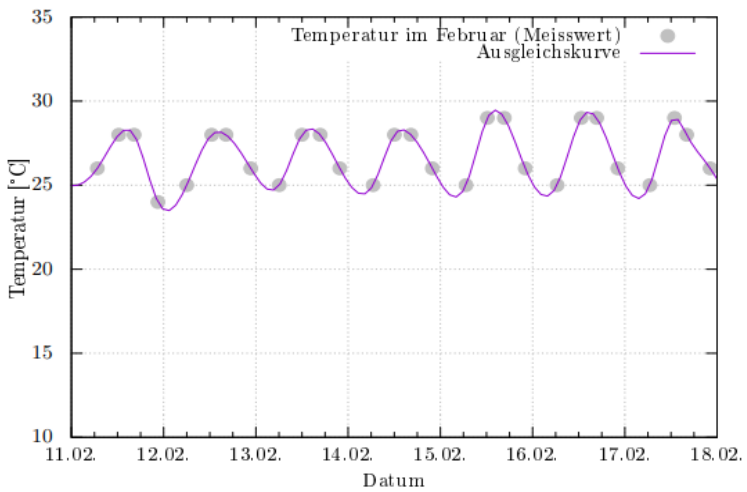
Tabelle 1: Durchschnittliche monatliche Bodentemperaturdaten in Ankarafantsika, Region Ambato-Boeny, Westmadagaskar, zwischen April 2018 und März 2019. Die Daten werden als Mittelwert ± Standardabweichung [°C] dargestellt.

Während der Regenzeit waren die Bodentemperaturen in der Nacht und am frühen Morgen signifikant höher ($P = 0.04$) als während der Trockenzeit in Ankarafantsika. Zwischen den Temperaturen am Mittag und Nachmittag gab es zwischen Regen- und Trockenzeit keine signifikanten Unterschiede im Monatsmittel. Nur die Bodentemperaturen zweier Monate mit jeweils Höchstwerten der dazugehörigen Saison, Februar (Regenzeit) und Juni (Trockenzeit), unterschieden sich signifikant ($P = 0.05$) zu allen gemessenen Uhrzeiten voneinander. Die Bodentemperaturen im Februar waren alleamt signifikant höher als die im Juni, wiesen jedoch eine wesentlich geringere Nachtabsenkung von maximal 4°C auf. Im Juni dagegen betrug der Unterschied zwischen Mittag- und Nachttemperatur bis zu 12°C. Abbildung 5 und 6 zeigen jeweils eine Wochenübersicht des Bodentemperaturverlaufs in Ankarafantsika im Vergleich, einmal im Juni 2018 zur Trockenzeit und im Februar 2019 zur Regenzeit.

Die niedrigsten Bodentemperaturen im Beobachtungszeitraum wurden mit 14°C um 22:10 Uhr am 10. Juni 2018 gemessen. Die höchsten Bodentemperaturen in Ankarafantsika betragen 33°C und



(a) Trockenzeit im Juni 2018.



(b) Regenzeit im Februar 2019.

Abbildung 5: Temperaturprofil des Bodens in Ankarafantsika in einer Tiefe von 20 cm zur Trocken- und Regenzeit.

wurden am 08. September 2018 festgestellt. Zwischen diesen beiden Spitzenwerten liegen immerhin 19°C. Dieser massive Unterschied zeigt, dass die Gelege von *Furcifer angeli*, *Furcifer rhinocerotus* und *Furcifer oustaleti* im Jahresverlauf starken Temperaturschwankungen ausgesetzt sind.

Worüber man bei den Messungen sicherlich diskutieren kann, ist die kontinuierliche Messung der Bodentemperaturen in einer Tiefe von 20 cm. Wir haben bereits mehrere Eiablagestellen noch grabender Weibchen in Ankarafantsika gemessen, sie alle lagen etwa in dieser Tiefe. Daher haben wir die 20 cm als Anhaltspunkt verwendet. Wissenschaftliche Untersuchungen der Tiefe gegrabener Eiablagestellen verschiedener Chamäleonarten sind jedoch rar. Die bisher bekannten Tiefenmessungen beruhen meist auf anekdotischen Berichten [15, 8]. Weitere Forschung auf diesem Gebiet wäre wünschenswert.

Das aktuell verfügbare Wissen zu Inkubation und Entwicklung von Chamäleon-Eiern stammt fast ausschließlich aus der Terraristik. Eier werden dabei meist mit konstanten Tages- und Nachttemperaturen inkubiert [13], auch wenn Nachtabsenkungen immer mal wieder diskutiert werden. Untersuchungen an eingeschleppten *Furcifer oustaleti* in Florida (USA), deren Gelege experimentell bei 19-23°C statt der in der Literatur oft empfohlenen kontinuierlichen 28°C bebrütet wurden, zeigten, dass auch bei niedrigeren Temperaturen lebensfähige Jungtiere schlüpfen [13, 16]. Untersuchungen an madagassischen Geckos und nicht-madagassischen Chamäleons bestätigen außerdem den Einfluss der Inkubationstemperaturen auf das Überleben der Einzeltiere sowie die Inkubationsdauer [5, 7, 2, 1, 3]. Vergleichbare Studien für madagassische Chamäleons stehen noch aus. Die zurzeit verfügbaren Daten deuten jedoch darauf hin, dass Nachtabsenkungen der Bodentemperatur für die Fitness madagassischer Chamäleonschlüpflinge wichtiger sein könnten als bisher angenommen.

Seit Jahren ist der gesamte Ankarafantsika-Nationalpark durch außer Kontrolle geratene Brandrodung und illegalem Holzschlag massiv bedroht, was den Lebensraum der Tiere weiter einschränkt [4, 17]. Angesichts der zunehmenden Zerstörung von Lebensraum auch innerhalb der ausgewiesenen Nationalparkgrenzen in Madagaskar

besteht ein hohes Risiko, dass sich die Bodenbedingungen für die Eiablage von Chamäleons auch in Zukunft erheblich verändern. Auch der Klimawandel, der die Tropeninsel Madagaskar bereits mit extremen Wetterbedingungen heimsucht, trägt zu diesem Thema bei [12]. Es wäre sehr interessant, die Bodentemperaturen gerodeter ehemaliger Waldflächen mit den Daten zu vergleichen, die wir im Trockenwald gesammelt haben, um die Auswirkungen der Umweltzerstörung auf die Bebrütung von Chamäleoneiern im Westen Madagaskars zu untersuchen. In Anbetracht des wechselnden Profils der Nesttemperaturen im Laufe des Jahres wäre es denkbar, dass die Bebrütung von Chamäleoneiern in Nichtwaldgebieten zu einem geringeren Schlupferfolg führen könnte.

Ein großes und herzliches Dankeschön möchten wir zum Schluss an Ralahy Andriamasy (Ndrema) richten, der im Nationalpark Ankarafantsika als *local guide* arbeitet, für seine unermüdliche Unterstützung bei jedem unserer Aufenthalte im Westen Madagaskars.

Als nächstes anstehendes Projekt sind übrigens erst einmal Temperaturmessungen direkt in den Nestern diverser Chamäleonweibchen im Jahresverlauf geplant. Dabei wollen wir sowohl verschiedene Arten als auch unterschiedliche Orte auf Madagaskar abdecken. Wir testen bereits diverse spezielle, sehr kleine, wasserdichte Thermometer auf ihre Eignung und Robustheit in nassem Boden. Bisher scheint das größte Problem darin zu liegen, die winzigen Thermometer nach einem ganzen Jahr überhaupt wiederzufinden.

Literatur

- [1] Andrews, R.M., Díaz-Paniagua, C., Marco, A., Portheault, A. (2007): Developmental arrest during embryonic development of the Common Chameleon (*Chamaeleo chamaeleon*) in Spain. *Comparative Biochemistry and Physiology* **148** (3)A: 698-706.

- [2] Andrews, R.M. (2008): Effects of incubation temperature on growth and performance of the Veiled Chameleon (*Chamaeleo calypratus*). *Journal of Experimental Zoology* **309** A: 435-446.
- [3] Ballen, C.J., Shine, R., Olsson, M.M. (2015): Developmental plasticity in an unusual animal: the effects of incubation temperature on behavior in chameleons. *Behavior* **152**(10): 1307-1324.
- [4] Bloesch, U. (1999): Fire as a tool in the management of a savanna/dry forest reserve in Madagascar. *Applied Vegetation Science* **2**: 117-124.
- [5] Blumberg, M.S., Lewis, S.J., Sokoloff, G. (2002): Incubation temperature modulates post-hatching thermoregulatory behavior in the Madagascar ground gecko, *Paroedura picta*. *Journal of Experimental Biology* **205**: 2777-2784.
- [6] Brygoo, E.R., Domergue, C.A. (1968): Les caméléons à rostre impair et rigide de l'ouest de Madagascar. In: *Mémoires du Muséum national d'histoire naturelle* **52**: 71-110,
- [7] Díaz-Paniagua, C., Cuadrado, M. (2003): Influence of incubation conditions on hatching success, embryo development and hatchling phenotype of common chameleon (*Chamaeleo chamaeleon*) eggs. *Amphibia-Reptilia* **24**(4): 429-440.
- [8] Eppley, T.M. (2019): Evidence of spatiotemporal planning in a panther chameleon (*Furcifer pardalis*) on the Masoala Peninsula, Madagascar. *Herpetology Notes* **12**: 909-911.
- [9] Glaw, F., Vences, M. (2001): Ein seltenes Chamäleon aus Madagaskar, *Furcifer angeli*. *DATZ Die Aquarienzeitschrift* **7**: 16-19.
- [10] Glaw, F., Vences, M. (2007): *A Field Guide to the Amphibians and Reptiles of Madagascar*, Third edition. Cologne, Germany, Vences & Glaw Verlag.
- [11] Gray, J.E. (1845): *Catalogue of the specimens of lizards in the collection of the British Museum*. British Museum, Department of Zoology: 332.
- [12] Hannah, L., Dave, R., Lowry, P.P. II, Anelman, S., Andrianarisata, M., Andriamaro, L., Cameron, A., Hijmans, R., Kremen, C., MacKinnon, J., Randrianasolo, H.H., Andriambololona, S., Razafimpahanana, A., Randriamahazo,

- H., Randrianarisoa, J., Razafinjatovo, P., Raxworthy, C., Schatz, G.E., Tadross, M., Wilmé, L. (2008): Climate change adaption for conservation in Madagascar. *Biology Letters* **4**: 590-594.
- [13] Köhler, G., Seipp, R. (2004): Chamäleons. In: Inkubation von Reptilieneiern, p. 127-128. Köhler, G., Ed., Offenbach, Germany, Verlag Elke Köhler.
- [14] Mocquard, F. (1894): Diagnoses de quelques reptiles nouveaux de Madagascar. In: *Bulletin de la Société philomatique de Paris* **9**: 3-5.
- [15] Rabearivony, J., Brady, L.D., Jenkins, R.K.B., Ravoahangimalala, O.R. (2007): Habitat use and abundance of a low-altitude chameleon assemblage in eastern Madagascar. *Herpetological Journal* **17**: 247-254.
- [16] Smith, D., Vinci, J., Anderson, C.V., Ketterlin Eckles, J., Ridgley, F., Mazzotti, F.J. (2016): Observations on Nesting and Clutch Size in *Furcifer oustaleti* (Oustalet's Chameleon) in South Florida. *Southeastern Naturalist* **15**: 75-88.
- [17] Vyawahare, M. (2019): Madagascar calls for assistance as fires imperil its protected areas. <https://news.mongabay.com>. Abgerufen am 03. September 2020.