

DER ZOOLOGISCHE GARTEN

Zeitschrift für die gesamte Tiergärtnerei (Neue Folge)



Offizielles Organ des Verbandes der Zoologischen Gärten – VdZ
Organ of the World Association of Zoos and Aquariums – WAZA



Impressum

DER ZOOLOGISCHE GARTEN

AG Zoologischer Garten Köln

Editorial Board: DER ZOOLOGISCHE GARTEN
Riehler Str. 173
50735 Köln
Deutschland/Germany

Verband der Zoologischen Gärten (VdZ) e.V.

Association of Zoological Gardens
Bundespressehaus (Büro 4109)
Schiffbauerdamm 40
10117 Berlin
Deutschland/Germany

Weltzoooverband (WAZA)

World Association of Zoos and Aquariums
WAZA Executive Office
Carrer de Roger de Llúria, 2, 2-2
08010 Barcelona
Spanien/Spain

Hinweise für Autoren findet man auf den letzten Seiten des Heftes.

Rezensionsexemplare senden Sie bitte direkt an die Anschrift der AG Zoologischer Garten Köln (siehe oben).

Instructions for Authors can be found on the last pages of each issue.

Books for review: Please send books for review directly to the address of AG Zoologischer Garten Köln (see above).

Copyright:

Die in dieser Zeitschrift veröffentlichten Artikel sind urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Kein Teil der Zeitschrift darf ohne schriftliche Genehmigung der AG Zoologischer Garten Köln in irgendeiner Form gewerblich genutzt werden.

The articles published in this journal are protected by copyright. All rights are reserved. No part of the journal may be used commercially in any form without the written permission of AG Zoologischer Garten Köln.

Satz und Druck/Typesetting and Print:

Verlag Natur & Wissenschaft Harro Hieronymus
Dompfaffweg 53
42659 Solingen

Umschlagseite/Cover:

Das Foto auf der Umschlagseite zeigt Löffelhunde (*Otocyon megalotis*). Foto: J. Beckmann.
The cover shows bat-eared foxes (*Otocyon megalotis*). Photo: J. Beckmann.

All rights reserved.

DER ZOOLOGISCHE GARTEN

Zeitschrift für die gesamte Tiergärtnerei (Neue Folge)

Volume 88 · 2020

DER ZOOLOGISCHE GARTEN

Zeitschrift für die gesamte Tiergärtnerei (Neue Folge)

Volume 88 · 2020



VNW

Verlag Natur & Wissenschaft · Solingen

DER ZOOLOGISCHE GARTEN

Zool. Garten N.F. 88 (2020) 1-5

From pairs to packs?

– Cooperative breeding in a family group of bat-eared foxes (*Otocyon megalotis* Desmarest, 1822) at Opel-Zoo Kronberg, Germany

Gruppenhaltung mit Zucht von Löffelhunden (*Otocyon megalotis* Desmarest, 1822) im Opel-Zoo Kronberg

Miriam Göbel¹, Dr. Uta Westerhüs², Jörg Beckmann^{3*}

¹⁾ Zoologischer Garten Frankfurt, Bernhard-Grzimek-Allee 1, 60316 Frankfurt am Main, Germany & von Opel Hessische Zoostiftung (Opel-Zoo), Am Opel-Zoo 3, 61476 Kronberg im Taunus, Germany

²⁾ von Opel Hessische Zoostiftung (Opel-Zoo), Am Opel-Zoo 3, 61476 Kronberg im Taunus, Germany

³⁾ Tiergarten der Stadt Nürnberg, Am Tiergarten 30, 90480 Nürnberg, Germany & von Opel Hessische Zoostiftung (Opel-Zoo), Am Opel-Zoo 3, 61476 Kronberg im Taunus, Germany

Summary

Bat-eared foxes (*Otocyon megalotis*) are medium sized monogamous canids, which are specialised on a myrmecophagous diet. In the wild, groups consisting of several adults and young have been observed. Occasionally, several females breed simultaneously and cooperatively in one group. In zoos, bat-eared foxes are usually kept as pairs and the offspring is removed from the group before reaching sexual maturity to avoid conflicts and inbreeding. At Opel-Zoo we started keeping a pair of bat-eared foxes in a mixed-species exhibit with African ostriches (*Struthio camelus*) in 2011. In 2012 the first cubs, two males, were born. Since then, the two males have lived with their parents. We have never observed aggression within the group that required intervention nor mating attempts of the offspring, even though we did not use any contraception. The two males even helped guarding and defending their siblings of the following litters. To declare paternity we tested three cubs born in 2015. We found that the breeding male, not the mature male offspring, sired the litter. That is why we believe that the need to separate young bat-eared foxes from their parents before the next mating season is reduced and that bat-eared foxes can be displayed as family group in zoos.

Keywords: Bat-eared fox, *Otocyon megalotis*, cooperative breeding, Opel-Zoo Kronberg

*Corresp. author:

E-Mail: joerg.beckmann@stadt.nuernberg.de (Jörg Beckmann)

Introduction

Bat-eared foxes (*Otocyon megalotis*) are medium sized, wide ranging African carnivores of about 4 kg. They are specialised on a myrmecophagous diet, consisting mainly of termites, other insects and occasionally fruits (Maas & Macdonald, 2004; Clark, 2005). The low energy and scattered distribution of their food sources leads to extraordinary pressure on females during lactation because they have to forage for many hours every night. Therefore, female bat-eared foxes are highly reliant on male care for the offspring (McNab, 1984; Maas, 1993; le Roux et al., 2013). Consequentially, bat-eared foxes mate for life. Pairs have one litter of up to six cubs per year; the gestation period is about 60-75 days (Maas & Macdonald, 2004).

Most young bat-eared foxes disperse as sub-adults at an age of about six months as sexual maturity is reached approximately with eight or nine months (Maas & Macdonald, 2004). Occasionally, however, young bitches remain with their family to breed (Clark, 2005). In the wild, groups consisting of two to five adults with two to four juveniles have been observed (le Roux et al., 2013). Several females can breed simultaneously within one group. In these cases, females nurse the cubs cooperatively (Maas & Macdonald, 2004).

Group sizes in carnivores vary in dependence of many factors, e.g. habitat quality (Macdonald, 1983). In bat-eared foxes, the presence of predators leads to increased group size, as larger group sizes seem to offer better protection from predators (Kamler et al., 2012; Kamler et al., 2013). Bat-eared foxes are furthermore known to mob potential predators, sometimes even in cooperation with non-group conspecifics (Malcom, 1986; Maas & Macdonald, 2004; Kamler et al., 2012).

To avoid conflicts between parents and yearlings as well as inbreeding in zoos, it is common to keep bat-eared foxes in pairs and separate the offspring before their mother comes into oestrus again (Mike Woolham, pers. comm.). Within the European Association of Zoos and Aquaria (EAZA), bat-eared foxes are managed as an EAZA Ex-situ Programme (EEP).

Husbandry and breeding at Opel-Zoo

In 2011 we started to keep a pair of bat-eared foxes within the EEP at Opel-Zoo Kronberg im Taunus. Both individuals were born in 2009, the male in Zoo Dvůr Králové (Czech Republic) and the female in GaiaZOO Kerkrade (Netherlands).

We keep the bat-eared foxes in a mixed species exhibit with ostriches (*Struthio camelus* spp.). The overall size of the enclosure is 1,316 m² with a slight slope facing to the east and south. At first, two stables at each side of the enclosure were accessible to the foxes, whereby the stable that was originally intended for the canids is part of a cheetah's house. The other stable is always available to the ostriches and frequently used by them during night-time and cold weather. Because the bat-eared foxes enter the ostrich stable, but have never used the indoor facility in the cheetah's house, we restricted access to the cheetah's house after a while. In the outdoor exhibit, two artificial caves made of concrete drain pipes (30 x 100 cm), covered with natural rocks and soil are provided as hiding places for the bat-eared foxes.

The ostriches had lived in the enclosure for several years when we introduced the bat-eared foxes. Reactions of the two species towards each other upon introduction were surprisingly sparse. Neither showed any sign of aggression or fear, they rather ignored each other. After a while, the foxes started to spend nights in a corner of the ostrich stable and to feed side by side with the ostriches, trying to snatch the most preferred food. While sunbathing, the two species often lie only a few meters apart from each other and the ostriches even mate in close proximity to the foxes from time to time. We interpret these behaviours as a vote of high (interspecific) confidence.

The bat-eared foxes bred for the first time in spring 2012. The pair started to dig a den at the eastern side of the slope in the middle of the enclosure. The den's entrances were exposed to the morning sun and in the slipstream. In May 2012, we could not spot the female for roughly two weeks and in June the pups started to leave the den. All worries concerning the young foxes and ostriches turned out to be gratuitous as the adult foxes guarded the cubs well and made sure they returned into the den when the ostriches came too close. In the following years the foxes bred in the same manner except for one instance: in May 2013, we found a young, hypothermic female pup with still closed eyes in the entrance of the den. We decided to hand raise the cub. In order to avoid the effects of imprinting by hand rearing, the second female of the litter was taken away from the group about five weeks later to become a fellow for the hand reared pup. No changes in the group's behaviour were observed after the second female was removed. Both young females were transferred to other zoos later on.

After the particular young foxes had reached sexual maturity, we never observed signs of aggression by the breeding pair nor did we observe dominant or mating behaviour by the offspring. Therefore, we did not separate offspring and parents prior to the next mating season. Hence, our group of bat-eared foxes consisted of up to 3.4 sexually mature individuals, of which only 1.1, the original breeding pair, were not closely related (fig. 1). We did not use any form of contraception. To clarify paternity we tested the three females born in 2015.

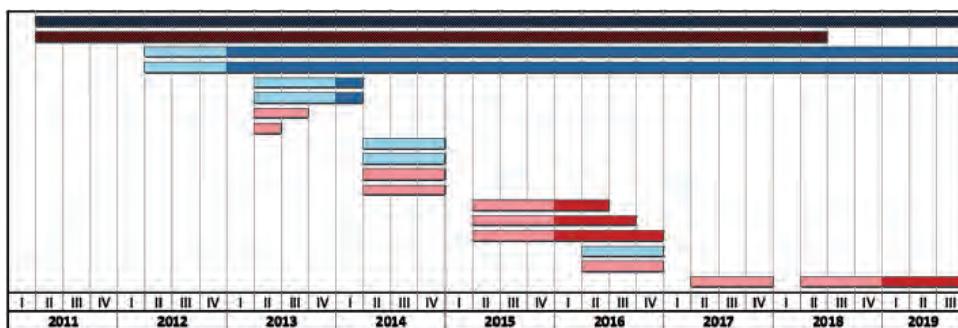


Fig. 1: Bat-eared foxes at Opel-Zoo Kronberg. Bars indicate the period individuals have spent in the ostrich/bat-eared fox enclosure. Colours indicate sex and state of sexual maturity. Red: sexually mature females, light red: sexually immature females, blue: sexually mature males, light blue: sexually immature males. The breeding pair is highlighted by ruled bars. (Fig.: M. Göbel)

Conclusion

Our group of bat-eared foxes has always been very harmonious. When the group is sunbathing or resting, the foxes occasionally form a circle with their heads pointing to different sides, so the whole enclosure is overseen by the pack (fig. 2). Sometimes, one fox serves as sentinel in front of the ostrich stable, while the others lie inside.

The two males born in 2012 helped to guard younger offspring of the following litters. Even though alloparental behaviour is common in canids, small canid species are usually restricted to female helpers (Moehlmann & Hofer, 1997). Only the originally breeding female gave birth at Opel-Zoo and sexually mature female offspring never left the zoo pregnant, even though different potential mates were available and bat-eared foxes are known to form groups with simultaneously breeding females (Clark, 2005). The breeding female died in May 2018 due to birth complications.

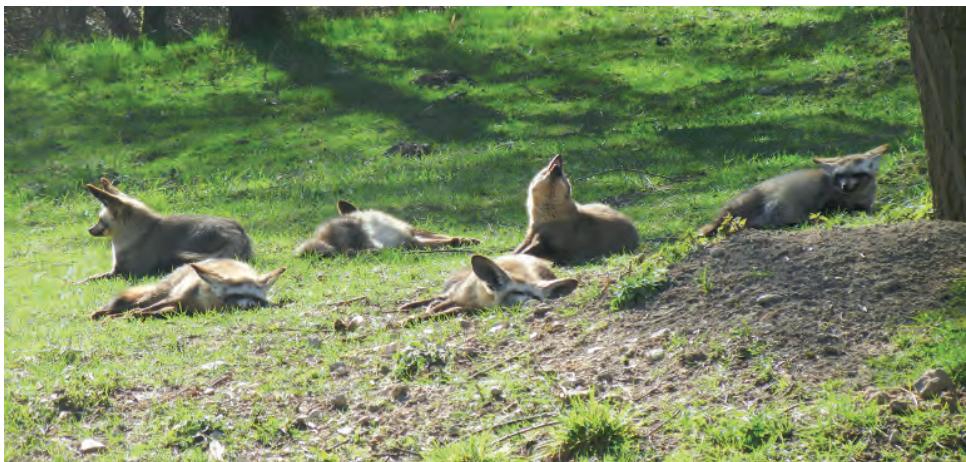


Fig. 2: Pack of bat-eared foxes consisting of the breeding pair and four sexually mature male offspring overseeing the enclosure while lying in a star-like formation. (Photo: J. Beckmann)

The results of the paternity test confirmed that the breeding male sired the litter born in 2015. Wright et al. (2010) found, that levels of extra pair paternity are low (about 10%) in bat-eared foxes. Furthermore, Maas & Macdonald (2004) observed breeding in wild populations while, besides the dominant male, sexually mature males were present in the group. They also observed a yearling guarding and grooming juvenile siblings.

The tolerance of the dominant breeding pair towards their adult offspring is probably a result of the canid mating system, in which helpers can increase reproductive success (Moehlmann & Hofer, 1997), combined with the plentiful food supply in human care. We think the effect could be intensified by the close proximity to the cheetah enclosure, as cheetahs are known to chase and kill bat-eared foxes (Clark, 2005) and anti-predator behaviour is more efficient if groups are larger (Maas & Macdonald, 2004). The presence of the ostriches in the enclosure might also positively affect tolerance towards adult offspring, as ostriches frequently induce guarding of youngsters.

Our observations indicate that it is possible to keep and present bat-eared foxes in established family groups or packs. This reduces the need to separate young bat-eared foxes before the next mating season starts. Husbandry settings like the presence or absence of other species in the exhibit or close-by predators can potentially be used as management tools to influence the behaviour of bat-eared foxes and other species in zoos.

Acknowledgement

We thank Mike Woolham, animal manager at the Zoological Society of East Anglia and EEP coordinator for the bat-eared fox for providing information about the EAZA population.

Zusammenfassung

Löffelhunde (*Otocyon megalotis*) sind mittelgroße, aus Afrika stammende Canidae, die auf eine Ernährung durch Termiten spezialisiert sind. Im Freiland wurden Gruppen bestehend aus

mehreren adulten Tieren und Jungen beobachtet; Weibchen einer Gruppe haben gelegentlich zeitgleich Junge, die auch gemeinschaftlich aufgezogen werden. In Zoologischen Gärten werden Löffelhunde meist paarweise gehalten. Um Konflikte in der Gruppe und Inzucht zu vermeiden, werden die Jungtiere normalerweise noch vor Erreichen der Geschlechtsreife abgegeben. Im Opel-Zoo wurde 2011 mit der Haltung von Löffelhunden in einer Vergesellschaftung mit Afrikanischen Straußen (*Struthio camelus*) begonnen. 2012 wurden die ersten beiden Jungtiere (2,0) geboren, die zwei Rüden verblieben auch bei weiteren Würfen beim Zuchtpaar. Es wurden seitdem weder Paarungsversuche mit dem Zuchtweibchen durch die Nachzuchten noch Aggressionen in der Gruppe beobachtet, welche ein Eingreifen erfordert hätten. Auf jegliche Kontrazeption wurde bewusst verzichtet. Die beiden jungen Rüden halfen bei der Aufzucht der nächsten Würfe. Ein Vaterschaftstest an den 2015 geborenen Jungtieren zeigte, dass kein Nachwuchsrüde von 2012, sondern der Zuchtrüde des Originalpaars der Vater war. Daher sind wir der Meinung, dass Löffelhunde auch in einer Familiengruppe gehalten und gezeigt werden können.

References

- Clark, H.O.Jr. (2005). *Otocyon megalotis*. Mammalian species, 766, 1-5.
- Kamler, J.F., Stenkewitz, U., Klare, U., Jacobsen, N.F. & Macdonald, D.W. (2012). Resource partitioning among cape foxes, bat-eared foxes, and black-backed jackals in South Africa. *The Journal of Wildlife Management*, 76(6), 1241-1253.
- Kamler, J.F., Stenkewitz, U. & Macdonald, D.W. (2013). Lethal and sublethal effects of black-backed jackals on cape foxes and bat-eared foxes. *Journal of Mammalogy*, 92(2), 295-306.
- le Roux, A., Beishuizen, R., Brekelmans, W., Ganswindt, A., Paris, M. & Dalerum, F. (2013). Innovative parental care in a myrmecophagous mammal. *Acta Ethologica*, 17, 63-66.
- Maas, B. (1993). Behavioral ecology and social organisation of the bat-eared fox in the Serengeti National Park, Tanzania. Ph.D. dissertation, University of Cambridge, Cambridge, UK.
- Maas, B. & Macdonald, D.W. (2004). Bat-eared foxes ‘insectivory’ and luck: lessons from an extreme canid. In: Macdonald, D.W. & Sillero-Zubiri, C. (eds): *The biology and conservation of wild canids*, 227-242. Oxford, UK: Oxford University Press, 227-242.
- Macdonald, D.W. (1983). The ecology of carnivore social behaviour. *Nature*, 301, 379-384.
- Malcom, J.R. (1986). Socio-ecology of bat-eared foxes (*Otocyon megalotis*). *Journal of Zoology*, 208(3), 457-469.
- McNab, B.K. (1984). Physiological convergence amongst ant-eating and termite-eating mammals. *Journal of Zoology*, 203, 485-510.
- Moehlmann, P.D. & Hofer, H. (1997). Cooperative breeding, reproductive suppression, and body mass in canids. In: Solomon, N.G. & French, J.A. (eds). *Cooperative breeding in mammals*, 76-128. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Wright, H.W.Y., Gray, M.M., Wayne, R.K. & Woodroffe, R.B. (2010). Mating tactics and paternity in a socially monogamous canid, the bat-eared fox (*Otocyon megalotis*). *Journal of Mammalogy*, 91(2), 437-446.

DER ZOOLOGISCHE GARTEN

Zool. Garten N.F. 88 (2020) 7-15

Erkenntnisse zur Fortpflanzungsbiologie von Flachlandtapiren (*Tapirus terrestris* Linnaeus, 1758) im Magdeburger Zoo

Insights into the reproductive biology of Lowland tapirs
(*Tapirus terrestris* Linnaeus, 1758) at Magdeburg Zoo

René Driechciarz*, Ellen Driechciarz

Zoologischer Garten Magdeburg gGmbH, Zooallee 1, 39124 Magdeburg

Zusammenfassung

Der Flachlandtapir (*Tapirus terrestris*) ist in Zoos eine häufig gehaltene Tierart, aber mit unbefriedigender Reproduktion. Selbst in der Literatur ist wenig über ihre Biologie zu finden.

Der Zoo Magdeburg hält seit 1980 Flachlandtapire und kann bis zum Jahr 2018 31 Geburten von drei Weibchen verzeichnen. Es wurden 15 männliche und 16 weibliche Jungtiere geboren, von denen sechs männliche und neun weibliche aufwuchsen. Das zuletzt geborene weibliche Jungtier wurde mit der Flasche aufgezogen.

Die vollständige Analyse des Archivmaterials des Zoologischen Gartens Magdeburg ergab spezielle Ergebnisse zur Fortpflanzungsbiologie. Es werden Aussagen zur Geschlechtsreife, zum Geburtsintervall der Weibchen, zum Geburtsgewicht und zur Gewichtsentwicklung einzelner Jungtiere gemacht. Die Geburten und Partusintervalle der drei Weibchen und die Geburtsgewichte von 21 Jungtieren sind jeweils in einer Tabelle dargestellt, die Gewichtsentwicklung von drei bei ihren Müttern aufgewachsenen Jungtieren und die Gewichtsentwicklung eines mit der Flasche aufgezogenen Jungtieres werden in zwei Grafiken gezeigt.

Schlüsselwörter: *Tapirus terrestris*; Flachlandtapir; Zoo Magdeburg; Fortpflanzungsbiologie

Einleitung

Die Haltung von Flachlandtapiren (*Tapirus terrestris*) im Zoologischen Garten Magdeburg begann 1980, als zur Jahreswende 1,1 erwachsene Tiere eingestellt wurden. Im Jahr

*Korresp. Autor:

E-Mail: driechciarzgulo@aol.com (René Driechciarz)

2018 kann somit auf eine Haltungsdauer von 38 Jahren ohne Unterbrechung zurückgeblickt werden.

Die Geschichte der Haltung von Flachlandtapiren in Europa ist ungleich länger, denn bereits 1704 soll ein Exemplar in Amsterdam durch eine Wandermenagerie zur Schau gestellt worden sein (Seitz, 2001). Im Jahr 2013, also mehr als 300 Jahre später, waren weltweit etwa 1000 Flachlandtapire in Zoologischen Gärten und ähnlichen Einrichtungen registriert, deren Reproduktion aber als suboptimal eingeschätzt wird (Pukazhenti et al., 2013). Überdies wurden in der Zwischenzeit durch genetische Untersuchungen zwei Spezies des Flachlandtapirs klassifiziert, was in dieser Arbeit noch keine Beachtung findet. In den meisten renommierten Tierhaltungen gehören Tapire heute zum dauerhaften Inventar. Diese relativ lange Tradition sollte ein Indiz dafür sein, dass umfassende Kenntnisse zur Fortpflanzungsbiologie vorhanden sind, jedoch zeigen sich mehr oder weniger große Wissenslücken. Bereits bei der Betrachtung der nur spärlich zur Verfügung stehenden Literatur stößt der Leser auf teilweise ungenaue oder sich häufig wiederholende Angaben oft nur eines Autors. Flachlandtapire gehören demnach zu den Tierarten, bei denen scheinbar vieles über die Fortpflanzung bekannt ist, aber Details zu Einzelfragen bisher nicht oder nur unzureichend untersucht wurden. Die lange Tragzeit von Flachlandtapiren und der damit verbundene lange Beobachtungszeitraum, der zum Erkenntnisgewinn benötigt wird, stellen eine besondere Herausforderung dar. Um aussagekräftige Datenreihen zu erhalten, sind in der Regel Aufzeichnungen einer ganzen Tierpflegergeneration notwendig.

Im folgenden Beitrag sollen konkrete Ergebnisse zur Fortpflanzungsbiologie der Flachlandtapire aus dem Zoologischen Garten Magdeburg mitgeteilt werden.

Methode

Das gesamte zur Verfügung stehende Archivmaterial des Zoologischen Gartens Magdeburg wurde bezugnehmend auf Flachlandtapire analysiert. Im Wesentlichen handelt es sich hierbei um Tagebücher, die eine lückenlose Dokumentation der Haltung von Flachlandtapiren im Magdeburger Zoo seit 1980 bis zum Jahr 2018 ermöglichen. Alle für diese Arbeit wichtig erscheinenden Daten wurden entnommen und bilden die Grundlage für weitere Ausführungen und Berechnungen.

Ergebnisse

Geschlechtsreife (Fertilitätsbeginn)

Der männliche Flachlandtapir „Kämpfer“ wurde am 01.05.2009 im Duisburger Zoo geboren, kam am 05.11.2009 mit gerade einmal sechs Monaten in den Magdeburger Zoo und wurde dort mit den Weibchen „Meta“ und „Tala“ vergesellschaftet.

Bei „Tala“, geboren am 02.01.2006, handelt es sich um das bis dahin letzte Jungtier von „Meta“.

Bereits in der zweiten Augusthälfte 2011 konnten regelmäßig Deckakte zwischen dem Männchen „Kämpfer“ und dem älteren Weibchen „Meta“ beobachtet werden, die offensichtlich zur Trächtigkeit führten. Die Abstände der Deckakte bestätigten den nachgewiesenen Östrusintervall von 28 – 32 Tagen (Barongi, 1993). Da die beiden weiblichen Tiere seit 2005 ohne Männchen standen, kam nur „Kämpfer“ als Vater in Frage. Am 16.10.2012 brachte das zu diesem Zeitpunkt 26 Jahre alte Flachlandtapirweibchen „Meta“ (geb. 29.07.1986)

ein weibliches Junges zur Welt, welches eine normale Entwicklung zeigte, aber wegen einer Rückenwirbeldeformation nicht lebensfähig war. Es war ihr bis dahin 12. Jungtier. Geht man von einer mittleren Tragzeit von etwa 400 Tagen aus, die Literaturangaben schwanken zwischen 371 und 420 Tagen, so betrug das Alter des männlichen Tieres zum Zeitpunkt der Zeugung etwa 16,5 Monate.

Das Weibchen „Tala“ brachte am 01.06.2013 ihr erstes Jungtier zur Welt. Das männliche Tier wurde tot geboren. In diesem Fall betrug das Alter des Vatertieres „Kämpfer“ zum Zeitpunkt der Zeugung etwa 25 Monate.

Barongi (1993) gibt die Geschlechtsreife von weiblichen Flachlandtapiren mit 14 – 24 Monaten an, ohne konkret auf die männlichen Tiere einzugehen, weist aber an anderer Stelle explizit darauf hin, dass sie bei Eintritt der Geschlechtsreife älter sind als weibliche. Pukazhen-thi et al. (2013) geben für die Geschlechtsreife männlicher Flachlandtapire 2 – 4 Jahre an, verweisen aber darauf, dass sie bereits mit 15 Monaten getrennt gehalten werden sollten. Damit fehlen aber konkrete Angaben zum frühestmöglichen Eintritt der Geschlechtsreife beider Geschlechter, was sich bei der Haltung in Zoologischen Gärten als nicht unerheblich für das Zuchtgescchehen erweist. Bereits Puschmann (2004) macht genauere Angaben zum frühen Eintritt der Geschlechtsreife eines männlichen Tieres aus dem Zoo Leipzig mit 17,5 Monaten. Im European Studbook for the Lowland Tapir 2012 & 2013 werden Männchen mit einem und zwei Jahren als pre-reproductive angegeben, Weibchen jedoch mit nur einem Jahr. Im AZA Tapir Care Manual 2013 werden männliche Tiere mit 24 Monaten und die weiblichen mit 13 Monaten als geschlechtsreif angegeben. Damit würde die frühe Geschlechtsreife des Magdeburger Männchens „Kämpfer“ mit 16,5 Monaten keine Ausnahme darstellen, denn bereits die Angabe von Puschmann (2004) weist darauf hin, dass es sich nicht um einen Einzelfall handeln muss.

Geburtsintervall (Partusintervall)

Im Laufe der 38-jährigen Haltung von Flachlandtapiren im Magdeburger Zoo ereigneten sich 31 Geburten von drei verschiedenen Weibchen. Insgesamt wurden 15 männliche und 16 weibliche Tiere geboren, von denen sechs männliche und neun weibliche aufgezogen wurden. Bei der letzten Geburt durch das Weibchen „Tala“ handelte es sich um ein weibliches Jungtier, das mit der Flasche aufgezogen werden musste, da sich das Muttertier dem Jungen gegenüber aggressiv verhielt. In der Folge dieser Geburten konnten 26 Partusintervalle errechnet werden. Ein Partusintervall von 866 Tagen bei dem Weibchen „Meta“ blieb unbeachtet, da es zu dieser Zeit häufig wegen Beißbereien abgetrennt werden musste. Um die Individualität der betrachteten Weibchen darzustellen, werden sie im Folgenden gesondert aufgeführt.

Das Weibchen „Inka“ brachte zwischen 1981 und 1998 14 Jungtiere zur Welt. Dabei handelte es sich um sechs männliche und acht weibliche Junge, wovon drei männliche und sechs weibliche aufwuchsen. Es wurde ein durchschnittliches Partusintervall von etwa 432 Tagen errechnet.

Das Weibchen „Meta“ brachte zwischen 1989 und 2014 13 Junge, sieben männliche und sechs weibliche, zur Welt. Drei männliche und zwei weibliche wuchsen auf. Das durchschnittliche Partusintervall betrug bei diesem Tier etwa 450 Tage.

Das Weibchen „Tala“ brachte 2013 bis 2016 vier Junge, zwei männliche und zwei weibliche, zur Welt. Die drei Partusintervalle mit 427, 415 und 415 Tagen sind relativ kurz, wahrscheinlich darauf basierend, dass die Jungtiere, mit Ausnahme des am 09.11.2016 geborenen, unmittelbar nach der Geburt vom Muttertier getötet wurden und eine Konzeption während des anschließenden Post-partum-Östrus eintrat. Das letzte von ihr am 09.11.2016 im Zoo Magdeburg geborene Jungtier wurde mit der Flasche aufgezogen.

Alle weiteren Daten zu den drei Weibchen sind der Tabelle 1 zu entnehmen. Jedoch entsprechen die in der Tabelle unter Partusintervall aufgeführten Werte nicht in allen Fällen dem

Tab. 1: Geburten und Partusintervalle der Flachlandtapire „Inka“, „Meta“ und „Tala“. In Klammern steht die Zeitspanne vom ersten Tag der Zusammenführung mit dem Männchen bis zur darauf-folgenden Geburt.

	Geburtsdatum	Partusintervall in Tagen
Weibchen „Inka“	03.04.1981	438
	16.06.1982	591 (432)
	28.01.1984	500 (425)
	12.06.1985	412
	29.07.1986	484 (410)
	25.11.1987	514 (426)
	23.04.1989	509 (405)
	14.09.1990	457
	15.12.1991	426
	14.02.1993	456
	13.05.1994	421
	09.07.1995	427
Weibchen „Meta“	05.09.1996	506 (483)
	24.01.1998	560 (455)
	26.11.1989	427
	09.06.1991	441
	10.08.1992	866
	25.10.1993	523 (505)
	16.08.1997	593 (497)
	30.03.1999	416
	20.05.2000	464 (419)
	27.08.2001	
	02.06.2004	579 (440)
	02.01.2006	
Weibchen „Tala“	16.10.2012	452
	11.01.2014	427
	01.06.2013	
	02.08.2014	415
	21.09.2015	415
	09.11.2016	

tatsächlichen Abstand zwischen zwei Geburten. In einigen Fällen wurde der Abstand vom ersten Tag der erneuten Zusammenführung beider Geschlechter bis zur darauffolgenden Geburt ermittelt und in Klammern angegeben, was zu einem realeren Bild führt. Diesem Umstand muss Rechnung getragen werden, da es aus Sicherheitsgründen mitunter erforderlich war, die Mutter mit dem Jungtier für einige Zeit vom Männchen zu trennen.

Bei den Minimalwerten der Partusintervalle handelt es sich um Konzeptionen während des Post-partum-Östrus. Damit scheint eine Befruchtung während des Post-partum-Östrus bei Tapiren keine Seltenheit darzustellen. Auch Puschmann (2004) berichtet von acht beobachteten Fällen und bei Büschelberger (1987) lassen sich ebenfalls zwei solcher Fälle belegen. Barongi (1993) gibt für Flachlandtapire 18 Monate als Geburtsintervall an. Diese langen Intervalle konnten bei unseren Berechnungen nicht bestätigt werden.

Die kurzen Geburtsintervalle, die bei der Haltung von Flachlandtapiren wohl recht häufig zu beobachten sind, zeigen die fortlaufungsbiologischen Möglichkeiten dieser Art auf. Ob und wie sich dieser spezielle Sachverhalt unter den Bedingungen im Freileben bemerkbar macht und mit welcher Regelmäßigkeit es während des Post-partum-Östrus zu einer Konzeption kommt, ist unbekannt. Für den Bairds-Tapir wird das Einsetzen des Post-partum-Östrus mit etwa 14 – 18 Tagen nach der Niederkunft von Brown et al. (1994) beschrieben.

Geburtsgewichte

Wie bereits der Tabelle 1 zu entnehmen ist, ereigneten sich zwischen 1981 und 2016 bei den im Magdeburger Zoo gehaltenen Flachlandtapiren 31 Geburten. Da weibliche Tapire unmittelbar nach der Geburt, in einigen Fällen auch längere Zeit, sehr erregt sein können und jeden „negativen“ Einfluss von außen mit heftiger Aggression beantworten, konnte aus Gründen der Sicherheit für das Jungtier und für das zuständige Pflegepersonal nur in 21 Fällen das Geburtsgewicht

Tab. 2: Angaben zu den Geburtsgewichten von 21 Jungtieren der Flachlandtapirweibchen „Inka“, „Meta“ und „Tala“.

	Geburtsdatum	Geschlecht	Geburtsgewicht/g	Verbleib
Weibchen „Inka“	03.04.1981	männlich	6030	gestorben
	29.07.1986	weiblich	7200	aufgewachsen
	14.09.1990	weiblich	10000	aufgewachsen
	15.12.1991	weiblich	8700	aufgewachsen
	14.02.1993	weiblich	9420	gestorben
	13.05.1994	männlich	8070	aufgewachsen
	09.07.1995	männlich	7000	gestorben
	24.01.1998	männlich	8300	aufgewachsen
Weibchen „Meta“	09.06.1991	männlich	6800	gestorben
	10.08.1992	männlich	7350	aufgewachsen
	10.03.1996	weiblich	6550	gestorben
	16.08.1997	männlich	7400	aufgewachsen
	30.03.1999	männlich	7100	gestorben
	20.05.2000	männlich	7150	aufgewachsen
	27.08.2001	weiblich	6700	gestorben
	16.10.2012	weiblich	5600	gestorben
Weibchen „Tala“	11.01.2014	männlich	4750	gestorben
	01.06.2013	männlich	6900	Infantizid
	02.08.2014	weiblich		Infantizid
	21.09.2015	männlich	6500	Infantizid
	09.11.2016	weiblich	8095	Flaschenaufzucht

ermittelt werden. Um auch hier die Individualität der drei Weibchen zu wahren, werden die Geburtsgewichte getrennt betrachtet. Bei den Jungtieren des Weibchens „Inka“ konnte ein Geburtsgewicht acht Mal ermittelt werden, der Durchschnitt liegt ungeachtet des Geschlechts bei etwa 8090 g. Bei den Jungtieren des Weibchens „Meta“ konnte neun Mal ein Geburtsgewicht ermittelt werden, hier lag das durchschnittliche Geburtsgewicht für beide Geschlechter bei 6600 g. Das Weibchen „Tala“ brachte bisher vier Jungtiere zur Welt und verübte bei den ersten drei Malen Infantizid. Zwei männliche Jungtiere wogen 6900 g und 6500 g, ein weibliches Jungtier 8095 g. Das am 02.08.2014 geborene weibliche Junge wurde vom Muttertier angefressen, so dass von diesem nur die Reste gewogen werden konnten. Das Restgewicht von 6410 g fand bei der Ermittlung des durchschnittlichen Geburtsgewichtes von 7165 g keine Berücksichtigung. Detaillierte Angaben zu den Geburtsgewichten können der Tabelle 2 entnommen werden.

Bei genauerer Betrachtung der Geburtsgewichte fallen die enormen Unterschiede auf, die bereits in der vorhandenen Literatur zu finden sind. Angaben von 4,5 kg (Kuehn, 1986) bis 13 kg (Barongi, 1993) zeugen davon. Häufig werden auch für alle Tapirarten Gewichte zwischen 4,5 kg und 13 kg angegeben. Allein Puschmann (2004) macht an dieser Stelle auch konkrete Angaben zu Geburtsgewichten von Flachlandtapiren, die zwischen 4,1 und 7,4 kg, bei einem Mittelwert von 5,6 kg, schwanken. Der Arbeit von Büschelberger (1987) ist ein einzelnes Geburtsgewicht von 7000 g zu entnehmen. Dabei ist zu beachten, dass sehr hohe Gewichtsangaben für Jungtiere, die aus menschlicher Obhut stammen, in Verbindung mit einer klassischen Ernährung im Zoo stehen könnten. Oft wurde eine kohlehydratreiche Nahrung (Kraftfutter, Obst u.a.) verabreicht, was zu starken Gewichtsentwicklungen der Jungtiere führen kann.

Keiner der Autoren macht jedoch konkrete Anmerkungen zur Mortalität der Jungtiere, in Bezug auf das Gewicht. Daraus wäre der Schluss zu ziehen, dass Junge aller angegebenen Gewichte aufwachsen. Bei einer Mortalität von fast 50 % aller in Magdeburg zur Welt gekommenen Jungtiere lohnt sich ein genauerer Blick auf die Weibchen „Inka“ und „Meta“ in der obenstehenden Tabelle. Danach verstarben alle Jungtiere, die ein Geburtsgewicht von unter 7000 g aufwiesen. Ausnahmen sind das am 14.02.1993 von „Inka“ geborene Jungtier, welches mit hoher Wahrscheinlichkeit in Folge eines Traumas bewegungsunfähig und apathisch noch am 16.02.1993 bei der Mutter lag und aus diesem Grund euthanasiert werden musste, und das am 30.03.1999 als Totgeburt vermerkte Jungtier von „Meta“.

Sicher ist es bei dem vorliegenden geringen Datenmaterial unzulässig, die Überlebensrate von Jungtieren an Hand einer rein theoretischen Gewichtsgrenze von 7000 g festzulegen, dennoch gibt diese Betrachtungsweise möglicherweise einen ersten Hinweis auf die hohe Mortalität von neugeborenen Flachlandtapiren im Magdeburger Zoo. Woraus die große Spannbreite der Geburtsgewichte resultiert, kann an dieser Stelle nicht geklärt werden. Eine weitere Auffälligkeit sind die geringen Geburtsgewichte der Jungtiere des Weibchens „Meta“ in den Jahren 2012 und 2014, hier hatte sie bereits ein Alter von 26 und 28 Jahren. Ob und welcher Zusammenhang zwischen geringen Geburtsgewichten und dem Alter von Flachlandtapiren besteht, muss ebenfalls offen bleiben.

Gewichtsentwicklung

Auch die Angaben zur Gewichtsentwicklung junger Flachlandtapire sind in der Literatur eher spärlich gesät. Daher werden hier die wenigen im Magdeburger Zoo gewonnenen Daten mitgeteilt.

Barongi (1993) gibt eine Gewichtszunahme der Jungtiere in den ersten 30 Lebenstagen von bis zu 500 g an. Puschmann (2004) geht von einer Verzehnfachung des Geburtsgewichtes nach 4 – 4½ Monaten aus und benennt die Gewichtszunahme für eine Flaschenaufzucht, bei der nach

10 Tagen gekochtes Gemüse und nach 3 – 4 Wochen rohes Gemüse zugefüttert wurde, mit 3 kg pro Woche. Bereits im Abschnitt **Geburtsgewichte** wurde angemerkt, dass ein häufiges Wiegen der Jungtiere nur unter günstigen Bedingungen möglich ist. Darum können an dieser Stelle nur drei auswertbare Beispiele für die Gewichtsentwicklung von bei ihren Müttern aufgewachsenen Jungtieren (Abb. 1) und einer Flaschenaufzucht (siehe Abb. 2) vorgelegt werden.

1. Das Weibchen „Inka“ brachte am 14.09.1990 ein männliches Jungtier mit einem Gewicht von 10000 g zur Welt. Die letzte Wiegung am 25. Lebenstag ergab ein Gewicht von 22500 g, was eine Gewichtszunahme von durchschnittlich 500 g pro Tag ergibt. Das für Magdeburger Verhältnisse relativ hohe Geburtsgewicht, könnte in diesem Fall vermutlich auf einen hohen Anteil an Kohlehydraten im Futter zurückzuführen sein. Zu dieser Zeit wurden große Mengen an Kraftfutter („Tapirbrei“) sowie Obst und Süßfrüchte verabreicht.

2. Ebenfalls „Inka“ brachte am 15.12.1991 ein weibliches Junges mit einem Gewicht von 8700 g zur Welt. Hier ergab die letzte Wiegung, 18 Tage nach der Geburt, 14700 g. Daraus ergibt sich eine Gewichtszunahme von durchschnittlich 333 g pro Tag.

3. Das Weibchen „Meta“ brachte am 10.08.1992 ein männliches Jungtier mit einem Gewicht von 7350 g zur Welt. Die letzte Wiegung 23 Tage später ergab 12450 g. Somit lässt sich für diese Zeitspanne eine durchschnittliche Gewichtszunahme von knapp 222 g pro Tag errechnen.

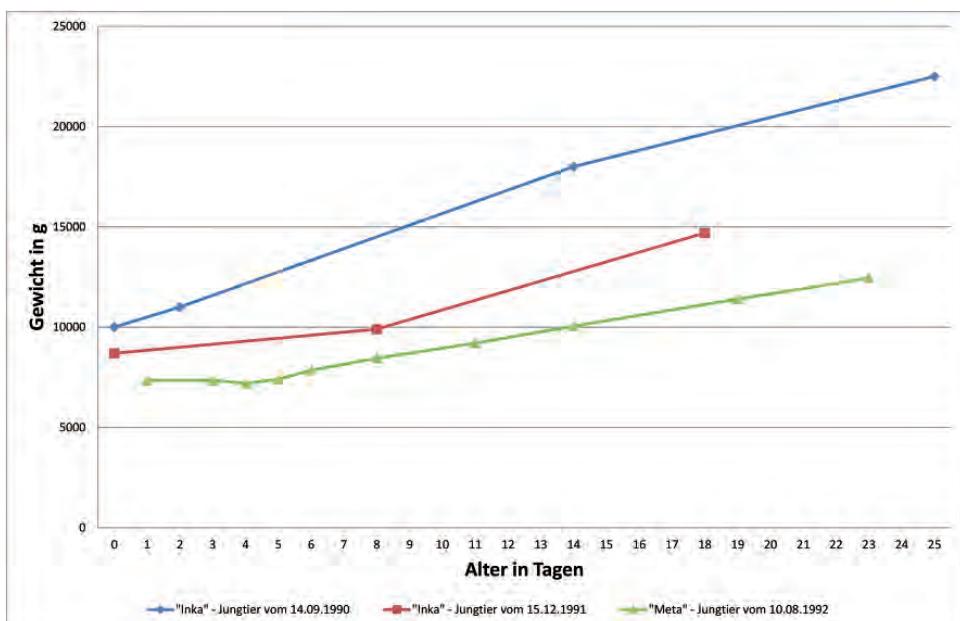


Abb. 1: Gewichtsentwicklung von drei bei ihren Müttern aufgewachsenen Jungtieren.

4. Das Weibchen „Tala“ brachte am 09.11.2016 ein weibliches Jungtier mit einem Gewicht von 8095 g zur Welt. Da das Jungtier von ihr attackiert wurde, musste es separiert werden. Es wurde mit „Meta“, die es anstandslos adoptierte und mütterlich umsorgte, zusammengeführt. Daraus folgte der glückliche Umstand, dass von menschlicher Seite nur die Milchgaben erfolgen mussten und das Jungtier problemlos aufwuchs. 60 Tage nach der Geburt wog das Jungtier 28,4 kg. Bis dahin ergibt sich eine Gewichtszunahme von durchschnittlich 338 g pro Tag. Die

letzte Wiegung, die am 12.07.2017 in einem Alter von etwa 8 Monaten erfolgte, ergab 135,7 kg. Daraus folgt die errechnete durchschnittliche Gewichtszunahme von 553 g. Eine Verzehnfachung des Geburtsgewichtes nach Puschmann (2004) war nach 5 Monaten, am 10.04.2017 mit 80,0 kg, zu verzeichnen.

Alle Jungtiere aus den vorangegangenen Beispielen wuchsen problemlos auf. Es zeigt sich, dass offensichtlich nicht nur das Geburtsgewicht, sondern auch die tägliche Gewichtszunahme der Jungtiere sehr differenziert betrachtet werden muss.

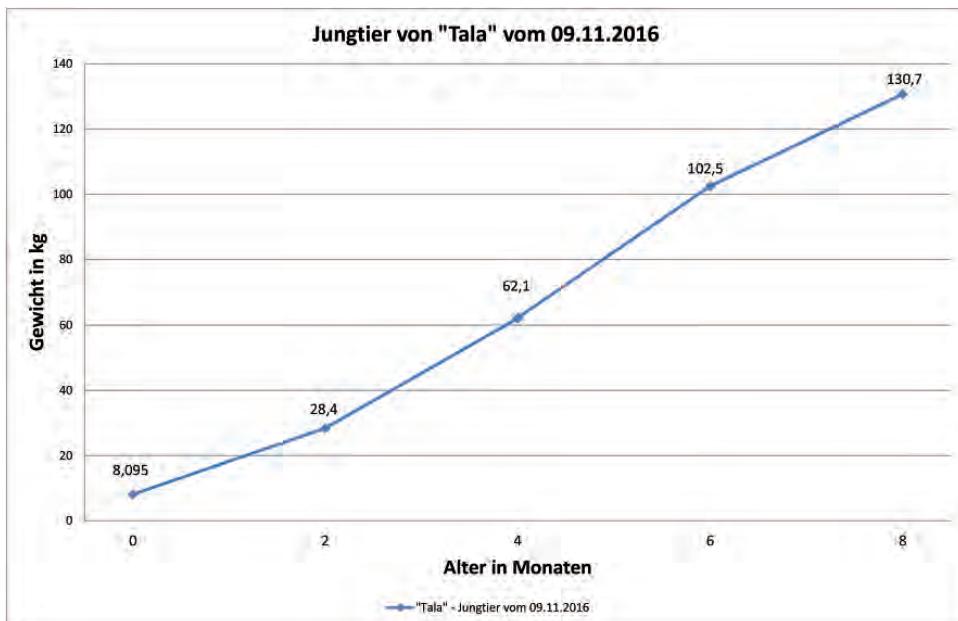


Abb. 2: Gewichtsentwicklung eines Jungtieres in Flaschenaufzucht.

Danksagung

Wir danken der Leitung des Zoologischen Gartens Magdeburg für die Bereitstellung des Archivmaterials. Ein besonderer Dank geht an Dr. Pierre Grothmann und seine Frau Dr. Hanna Grothmann für sachdienliche Hinweise und die Durchsicht des Manuskripts. Nicht zuletzt danken wir Frau Victoria Alex für die englische Zusammenfassung.

Summary

Lowland tapirs (*Tapirus terrestris*) are a species commonly kept in zoos, though with very unsatisfactory reproductive performance. Even in literature there is little to be found about their biology.

Magdeburg Zoo has kept lowland tapirs starting in the year 1980 and until the year 2018 thirty-one births by three females have been recorded. In total fifteen male and sixteen female tapirs have been born of which six male and nine female juveniles were raised successfully. The last born female was bottle raised.

The complete analysis of the archived records of Magdeburg Zoo show unique results of the reproductive biology of Lowland tapirs. Statements about sexual maturity, birth intervals of the females, birth weights, and the weight development of certain juvenile animals can be made. The births and birth intervals of three females and the birth weights of twenty one juveniles are presented in a table, the weight development of three juveniles that were raised by their mothers as well as the weight development of the single bottle raised animal are shown in two graphs.

Literatur

- AZA Tapir TAG (2013). AZA Tapir (*Tapiridae*) Care Manual. – Association of Zoos and Aquariums. –Silver Spring, MD
- Barongi, R. A. (1993). Husbandry and conservation of tapirs *Tapirus* spp. International Zoo Yearbook, 32, 7-15.
- Brown, J., Citino, S., Shaw, J., & Miller, C. (1994). Endocrine profiles during – the estrous cycle and pregnancy in the Baird's tapir (*Tapirus bairdii*). Zoo Biology, 13, 107–17.
- Büschelberger, P. (1987). Mitteilung zur Lebenserwartung und Fortpflanzung von *Tapirus terrestris*. Der Zoolo-gische Garten (N.F.), 57, 371-372.
- Haelewyn-Desmoulins, A. (2013): European Studbook for the Lowland Tapir *Tapirus terrestris*. ZooParc de Beauval, Edition 7.2.
- Kuehn, G. (1986): Tapiridae. In: Zoo and Wild Animal Medicine, 2. Aufl. (Fowler, M.E., Hrsg.), Philadelphia: W. B. Saunders & Co.
- Montenegro, O. L., & Bodmer, R. E. (2006): Der Flachlandtapir (*Tapirus terrestris*). In Todd, S., & Gansloßer , U. (Hrsg.): Die Tapire. Fürth: Filander Verlag.
- Pukazhenthi, B., Quse, V., Hoyer, M., van Engeldorf Gastelaars, H., Sanjur, O., & Brown, J.L. (2013). A review of the reproductive biology and breeding management of tapirs. Integrative Zoology, 8, 18-34.
- Puschmann, W. (2004): Zootierhaltung – Tiere in menschlicher Obhut, Säugetiere. Frankfurt am Main: Verlag Harry Deutsch.
- Seitz, S. (2001): Vergleichende Untersuchungen zu Verhalten und Schauwert von Tapiren (Familie Tapiridae) in Zoologischen Gärten. Göttingen: Cuvillier Verlag.

DER ZOOLOGISCHE GARTEN

Zool. Garten N.F. 88 (2020) 17-30

Genetic screening of captive crocodile lizards (*Shinisaurus crocodilurus*) in Europe

Genetische Identifizierung von in Menschenhand gehaltenen Krokodilschwanzechen (*Shinisaurus crocodilurus*) in Europa

Hanh T. Ngo^{1,2}, Tham T. Nguyen³, Minh D. Le^{2,3,4}, Mona van Schingen-Khan⁵, Truong Q. Nguyen^{6,7}, Anna Rauhaus⁸, Miguel Vences⁹, Thomas Ziegler^{8,10*}

¹Department of Genetics, Faculty of Biology, University of Science, Vietnam National University, Hanoi, 334 Nguyen Trai Road, Hanoi, Vietnam.

²Central Institute for Natural Resources and Environmental Studies, Vietnam National University, Hanoi, 19 Le Thanh Tong, Hanoi, Vietnam.

³Department of Environmental Ecology, Faculty of Environmental Sciences, University of Science, Vietnam National University, Hanoi, 334 Nguyen Trai Road, Hanoi, Vietnam.

⁴Department of Herpetology, American Museum of Natural History, Central Park West at 79th Street, New York, New York 10024, USA.

⁵Federal Agency for Nature Conservation, CITES Scientific Authority, Konstantinstrasse 110, 53179 Bonn, Germany.

⁶Institute of Ecology and Biological Resources, Vietnam Academy of Science and Technology, 18 Hoang Quoc Viet, Hanoi, Vietnam.

⁷Graduate University of Science and Technology, Vietnam Academy of Science and Technology, 18 Hoang Quoc Viet, Cau Giay, Hanoi, Vietnam.

⁸Cologne Zoological Garden, Riehler Strasse 173, D-50735 Cologne, Germany.

⁹Zoological Institute, Braunschweig University of Technology, Braunschweig, Germany.

¹⁰Institute of Zoology, University of Cologne, Zülpicher Straße 47b, D-50674 Cologne, Germany.

Abstract

The endangered crocodile lizard (*Shinisaurus crocodilurus*) is a reptile species regularly kept in zoos and private collections across Europe, Japan, the United States and other countries. This species had long been thought to represent a single conservation unit, but a recent study show-

* Corresp. Author:

E-Mail: ziegler@koelnerzoo.de (Thomas Ziegler)

ed that the population from Vietnam is morphologically, ecologically and genetically distinct from several populations from China. As such, the populations should be managed separately to avoid hybridization with other independently evolving natural populations. Until now, the identification of different populations remains challenging because of their subtle morphological differences. In this study, we undertook a genetic screening of crocodile lizard individuals from zoos and private holdings in Europe using mitochondrial DNA sequences. Our results based on phylogenetic and network analyses strongly support four different mitochondrial clades, one from Vietnam and three from China. Most screened individuals belonged to one mitochondrial clade from China, while a few others clustered in the Vietnamese clade. The low number of specimens from the Vietnamese population found in captivity might be explained by specimens from Vietnam arriving only recently in Europe through the international pet trade, or by the extremely small size of the Vietnamese population. Interestingly, our analyses identified a new mitochondrial clade of the crocodile lizard, which we suggest originates from China. We recommend that further investigation should be conducted to better understand the distinctiveness of the three lineages in China for future conservation actions. Our study illustrates the potential of molecular data for assigning crocodile lizards to distinct genetic clades. However, to determine genetic purity of individuals in captivity, other nuclear markers, such as microsatellites, should be employed.

Keywords: Sauria, Shinisauridae, *Shinisaurus*, *S. c. crocodilurus*, *S. c. vietnamensis*, conservation breeding management, genetic screening, zoo holdings, mitochondrial markers

Introduction

The crocodile lizard (*Shinisaurus crocodilurus*) is a frequently kept reptile species both in zoological gardens and by hobbyists. Originally only known from southern China, the species was subsequently discovered in Vietnam (Le & Ziegler, 2003). The latest integrative taxonomic study revealed Vietnamese representatives to be morphologically, ecologically, and genetically distinct from Chinese populations (van Schingen et al., 2016b). As a consequence, the importance of establishing separate conservation breeding programs for two different taxa from Vietnam and China to maintain their genetic integrity within ex situ facilities has been highlighted, in particular for the newly described subspecies from Vietnam (*Shinisaurus crocodilurus vietnamensis*) (see also Ziegler et al., 2016) due to its extremely low population estimates (van Schingen et al., 2014; 2016a).

Since the two subspecies are exposed to different ecological conditions and occur in different microhabitats in China and Vietnam (van Schingen et al., 2015a, 2016b), husbandry parameters have to be adjusted accordingly. A recent review of habitat use of Vietnamese crocodile lizards by Ziegler et al. (2019) provided recommendations for enhanced and adjusted husbandry conditions for both subspecies and proposed new husbandry models. However, accurate identification of the two subspecies without reliable information on their geographic origin remains difficult, as their morphological differences are subtle. So far, the identification of captive or confiscated animals without locality information has been extremely challenging.

Because Vietnamese crocodile lizards have increasingly been collected for the international pet trade during recent years (van Schingen et al., 2015; Auliya et al., 2016), it is crucial to identify the origin of ex situ individuals to maintain genetic integrity of the conservation units, and avoid hybridization between breeding populations that may potentially be recruited for future restocking/release programs. At time, it is not yet known whether Vietnamese crocodile lizards are already represented in captive stocks, both in private and zoo facilities in Europe. To

trace the origin of captive individuals in the region, we undertook a genetic screening of animals maintained in zoos and private collections in Europe using mitochondrial markers. This approach, if successfully applied, should also enable reliable taxonomic assignments of crocodile lizards in future confiscations.

Material & Methods

A total of 119 (swab or tissue) samples of crocodile lizards were received from private keepers and zoos in Europe. A fragment spanning various mitochondrial genes, including cytochrome b, partial ND6, and partial tRNA-Glu were amplified using primer 1 (5'-GCAATTGAATAAGCAAAAC-CAC-3') and primer 2 (5'-TAGTTTATTAAAAATGCTAGTTTGGG-3') developed by Huang et al. (2014). DNA of samples was extracted using proteinase K digestion (10 mg/ml concentration) followed by a standard salt-extraction protocol (Bruford et al., 1998). Extracted DNA from the fresh tissue or swab was amplified by Go Taq DNA Polymerase (Promega, USA). Tissue samples or oral cavity swabs from zoos and private holdings were included in the study. In addition to 11 sequences of *S. crocodilurus* from China, we also incorporated three previously sequenced samples from Quang Ninh and Bac Giang provinces, northern Vietnam, all available from GenBank. All samples of crocodile lizards are summarized in Table 1. Three taxa were used as outgroups based on their phylogenetic relationships with *Shinisaurus crocodilurus* (Li et al., 2012).

The PCR volume consisted of 12.7 µl (2.5 µl of buffer 5x, 0.5 µl dNTPs, 0.1 µl Go Taq, 8 µl of water, 0.3 µl of each primer at 10 pmol/ µl and 1 µl of DNA or higher depending on the quantity of DNA in the final extraction solution). The following temperature profile for PCR reactions was used: 95 °C for 5 min to activate the taq; with 35 cycles at 95 °C for 30s, 48 °C for 45s, 72 °C for 60s; and the final extension at 72 °C for 6 min. Successful amplifications were purified to eliminate PCR components using ExoSAPIT (ThermoFisher Scientific, Waltham, MA, USA) and sequenced on a 3130xl Genetic Analyser (Applied Bio-systems) using Big Dye v3.1 cycle sequencing chemistry.

Sequences generated in this study were checked by eye and trimmed for low-quality stretches. Heterozygote positions were identified, and errors corrected using Codon Code Aligner (v5.1.5, Codon Code Corporation) and were aligned in BioEdit v7.1.3 (Hall, 1999) with default settings. All newly generated sequences were submitted to GenBank (accession numbers MT507115-MT507213). Data were analyzed using maximum likelihood (ML) as implemented in IQtree (Minh et al., 2013), Bayesian inference (BI) as implemented in MrBayes 3.2.1 (Ronquist et al., 2012), and NeighborNet analysis as implemented in SplitsTree 4.14.2 (Huson & Bryant., 2006). For ML and BI analyses, the optimal model for nucleotide evolution was determined using jModeltest v2.1.4 (Guindon & Gascuel, 2003; Darriba et al., 2012). Support for the likelihood hypothesis was evaluated by 10,000 ultrafast bootstrap analysis. We regarded ultrafast bootstrap values of ≥ 95% as strong support and values of < 95% as weak support (Minh et al., 2013).

For BI and ML analyses, we used TPM2uf+G model as determined by jModeltest. For BI, two simultaneous analyses with four Markov chains (one cold and three heated) were run for 10 million generations with a random starting tree and trees were sampled every 1000 generations. Log-likelihood scores of sample points were plotted against generation time to determine stationarity of Markov chains. Trees generated before log-likelihood scores reached stationarity were discarded from the final analyses using the burn-in function. The cutoff point for the burn-in function was set to 38 in the Bayesian analysis, as -lnL scores reached stationarity after 38,000 generations in both runs. The posterior probability values for all clades in the final majority rule consensus tree were provided. Uncorrected pairwise divergences were calculated in PAUP*4.0b10 (Swofford, 2001).

Alternative intraspecific relationships were visualized with the NeighborNet algorithm (Bryant & Moulton, 2002) with the following settings: edge fitting as ordinary least squares, equal angle as chosen splits transformation, least squares to modify weights, and four maximum dimensions as the filtering option. The split graph generated showed a visual representation of conflicting signals in the data by presenting them as a series of parallel edges. The program computed the least squares fit (LSfit) between the pair-wise distances from the graph and the distances from the matrix. Internal node supports were estimated by 1,000 bootstrap pseudo-replicates (Felsenstein, 1985).

Tab. 1: GenBank accession numbers, and associated voucher specimens/tissue that were used in this study, wild (versus captive individuals) are marked in bold.

No.	Lab ID / Genbank Accession Nr.	Sample Nr.	Origin
1	Si 81 / MT507115	Duisburg, confiscated	Duisburg
2	Si 82 / MT507116	Duisburg, confiscated	Duisburg
3	Si 83 / MT507117	Cologne Zoo, old	Cologne
4	Si 84 / MT507118	0.0.1	Private 1
5	Si 85 / MT507119	RH1	Reherp Rotterdam
6	Si 86 / MT507120	RH2	Reherp Rotterdam
7	Si 87	RH3	Reherp Rotterdam
8	Si 90 / MT507121	MV2	Reherp Rotterdam
9	Si 91 / MT507122	MV3	Reherp Rotterdam
10	Si 92 / MT507123	MV4	Reherp Rotterdam
11	Si 93 / MT507124	MV5	Reherp Rotterdam
12	Si 94 / MT507125	MV6	Reherp Rotterdam
13	Si 95 / MT507126	MV7	Reherp Rotterdam
14	Si 96	MV8	Reherp Rotterdam
15	Si 97	R01339 0.1	Leipzig Zoo
16	Si 98 / MT507127	R01272 1.0	Leipzig Zoo
17	Si 99	R01338 0.1	Leipzig Zoo
18	Si 100 / MT507128	G01840	ZSL London
19	Si 101 / MT507129	G01843	ZSL London
20	Si 102 / MT507130	G01842	ZSL London
21	Si 103 / MT507131	G01841	ZSL London
22	Si 104 / MT507132	G01292	ZSL London
23	Si 105 / MT507133	G01293	ZSL London
24	Si 106	HdM1	Haus des Meeres Wien
25	Si 107 / MT507134	HdM2	Haus des Meeres Wien
26	Si 108 / MT507135	HdM3	Haus des Meeres Wien
27	Si 109 / MT507136	HdM4	Haus des Meeres Wien
28	Si 110 / MT507137	HdM5	Haus des Meeres Wien
29	Si 111 / MT507138	HdM6	Haus des Meeres Wien
30	Si 112 / MT507139	HdM7	Haus des Meeres Wien
31	Si 113 / MT507140	HdM8	Haus des Meeres Wien
32	Si 114 / MT507141	HdM9	Haus des Meeres Wien
33	Si 115 / MT507142	1,0	Vivarium Darmstadt
34	Si 116	1,0	Wilhelma Stuttgart
35	Si 117 / MT507143	0,1	Wilhelma Stuttgart
36	Si 118 / MT507144	Parijs 1	Reherp Rotterdam
37	Si 119	ZI5359	Blijdorp Rotterdam
38	Si 120 / MT507145	705531	Blijdorp Rotterdam
39	Si 121 / MT507146	ZI5348	Blijdorp Rotterdam

40	Si 122 / MT507147	ZI5349	Blijdorp Rotterdam
41	Si 123 / MT507148	ZI5359	Blijdorp Rotterdam
42	Si 124	ZI5350	Blijdorp Rotterdam
43	Si 125 / MT507149	704405	Blijdorp Rotterdam
44	Si 126 / MT507150	707183	Blijdorp Rotterdam
45	Si 127 / MT507151	704408	Blijdorp Rotterdam
46	Si 128 / MT507152	V1 967000009784260	Antwerp Zoo
47	Si 129 / MT507153	V2 967000009784225	Antwerp Zoo
48	Si 130 / MT507154	V3 967000009784289	Antwerp Zoo
49	Si 133 / MT507155	V4 967000009784282	Antwerp Zoo
50	Si 134 / MT507156	V5 967000009784269	Antwerp Zoo
51	Si 135 / MT507157	V6 967000009784271	Antwerp Zoo
52	Si 136 / MT507158	Quar 1	Antwerp Zoo
53	Si 137 / MT507159	Quar 2	Antwerp Zoo
54	Si 138 / MT507160	Quar 3	Antwerp Zoo
55	Si 139	Quar 4	Antwerp Zoo
56	Si 140 / MT507161	Quar 5	Antwerp Zoo
57	Si 144 / MT507162	Quar B1 Basel	Antwerp Zoo
58	Si 145 / MT507163	Quar B2 Basel	Antwerp Zoo
59	Si 146 / MT507164	Quar B3 Basel	Antwerp Zoo
60	Si 147 / MT507165	Quar B4 Basel	Antwerp Zoo
61	Si 148 / MT507166	Quar B5 Basel	Antwerp Zoo
62	Si 149 / MT507167	Quar B6 Basel	Antwerp Zoo
63	Si 150 / MT507168	Quar B7 Basel	Antwerp Zoo
64	Si 151 / MT507169	Quar B8 Basel	Antwerp Zoo
65	Si 152	1	Private 6
66	Si 153 / MT507170	2 (skin)	Private 6
67	Si 154 / MT507171	3 (skin)	Private 6
68	Si 155 / MT507172	4 (swab)	Private 6
69	Si 156 / MT507173	5 (swab)	Private 6
70	Si 157 / MT507174	6 (swab)	Private 6
71	Si 158	7	Private 6
72	Si 159	8	Private 6
73	Si 160 / MT507175	9,00 C S	Private 2
74	Si 161 / MT507176	132481	Bristol Zoo
75	Si 162 / MT507177	132482	Bristol Zoo
76	Si 163 / MT507178	132483	Bristol Zoo
77	Si 164 / MT507179	132484	Bristol Zoo
78	Si 165 / MT507180	132485	Bristol Zoo
79	Si 166 / MT507181	4 ZB 28 1,0	Private 3
80	Si 167 / MT507182	6 ZB 22 1,0	Private 3
81	Si 168 / MT507183	3 ZB 97 1,0	Private 3
82	Si 169 / MT507184	ZB 30 1 1,0	Private 3
83	Si 170	2 ZB 99	Private 3
84	Si 171 / MT507185	7 ZB 23 0,1	Private 3
85	Si 172 / MT507186	5 ZB 12 0,1	Private 3
86	Si 173 / MT507187	211049 local 10, female	Helsinki Zoo
87	Si 174 / MT507188	211050 local 10, male	Helsinki Zoo
88	Si 175 / MT507189	276095610109887	Private 4
89	Si 176 / MT507190	276095610147418	Private 4
90	Si 177 / MT507191	276095610147610	Private 4
91	Si 178 / MT507192	276095610146597	Private 4
92	Si 179 / MT507193	276095610147829	Private 4
93	Si 180 / MT507194	276095610148119	Private 4
94	Si 181 / MT507195	276095610148979	Private 4
95	Si 182	276095610149787	Private 4

96	Si 183 / MT507196	276095610150014	Private 4
97	Si 184 / MT507197	276095610150253	Private 4
98	Si 185	276095610150389	Private 4
99	Si 186	276095610150658	Private 4
100	Si 187	276095610154110	Private 4
101	Si 188 (1) / MT507198	Tier 1 (1), Nr.1	Aquazoo
102	Si 189 (1) / MT507199	Tier 2 (13), Nr.2	Aquazoo
103	Si 190 (1) / MT507200	Tier 420 (5)	Aquazoo
104	Si 191 (1) / MT507201	Tier 421A (7)	Aquazoo
105	Si 192 (1)	Tier 421B (9)	Aquazoo
106	Si 193 (1)	Tier 421C (11)	Aquazoo
107	Si 194 (1)	Tier 450 (3)	Haus des Meeres Wien
108	Si 195 / MT507202	MV3/Second screening	Wilhelma
109	Si 196 / MT507203	MV4/Second screening	Haus des Meeres Wien
110	S2 / MT507204	Second screening, dead. ind.	Reherp Rotterdam
111	MV1 / MT507205	Second screening, swab (red)	Cologne
112	MV2 / MT507206	Second screening, swab (yellow)	Cologne
113	MV6 / MT507207	Second screening, HdM3	Haus des Meeres Wien
114	MVTIS3221 / MT507208	CZ TZ 2019 third screening	Private 5
115	MVTIS3222 / MT507209	CZ TZ 2019 B 3 third screening	Reherp Rotterdam
116	MVTIS3223 / MT507210	CZ TZ 2019 5001 third screening	Reherp Rotterdam
117	MVTIS3224 / MT507211	CZ TZ 2019 5002 third screening	Reherp Rotterdam
118	MVTIS3225 / MT507212	CZ TZ 2019 third screening	Private 5
119	MVTIS3226 / MT507213	CZ TZ 2019 third screening	Private 5
120	AB080274	GenBank, MtGenome	probably China
121	AY099995	GenBank	probably China
122	HQ008865	GenBank, MtGenome	probably China
123	KF928266	GenBank	haplotype1
124	KF928268	GenBank	haplotype3
125	KF928269	GenBank	haplotype4
126	KF928270	GenBank	haplotype5
127	KF928271	GenBank	haplotype6
128	KF928272	GenBank	haplotype7
129	KF928275	GenBank	haplotype10
130	KF928276	GenBank	haplotype11
131	KX430035	GenBank	HH_QN4 (Hai Ha, Quang Ninh)
132	KX430036	GenBank	TYT4 (Tay Yen Tu, Bac Giang)
133	KX430038	GenBank	DSKT2 (Dong Son-Ky Thuong, Quang Ninh)

Results

In total, of the 119 *Shinisaurus* samples available for this study, 99 were successfully amplified and sequenced. Of these, 89 belonged to a known Chinese clade “China clade 1” (Fig. 3), one specimen was assigned to an unknown Chinese clade named “China new clade”, and nine to the Vietnam clade (Fig. 4). The 20 samples remaining unamplified included Si 87, Si 96 (Reherp Rotterdam), Si 97, Si 99 (Leipzig Zoo), Si 106, Si 116 (Wilhelma), Si 119 (Blijdorp Rotterdam), Si 124 (Blijdorp Rotterdam), Si 139 (Antwerp Zoo), Si 152, Si 158, Si 159 (Private 6), Si 170 (Private 3), Si 182, Si 185, Si 186, Si 187 (Private 4), Si 192 (1), Si 193 (1) (Aquazoo), Si 194 (1) (Haus des Meeres Wien) (Table 2).

Our genetic analyses of 1368-character matrix clearly recovered at least four different mitochondrial lineages, in the following referred to as clades. All of these mitochondrial clades received a high statistical value from every analysis (ultrafast BP > 95%; PP > 95%) (Fig. 1 and 2). China clade 1 contained the majority of individuals currently

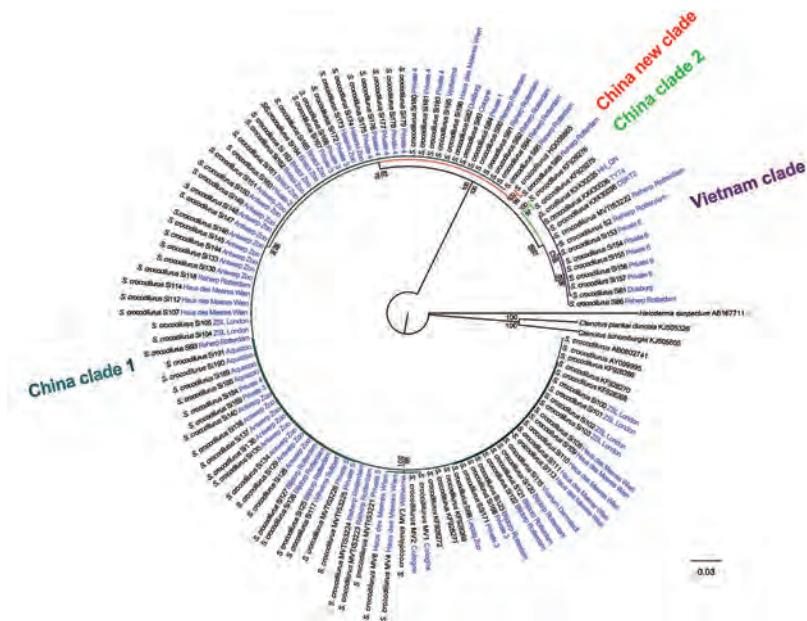


Fig. 1: Bayesian cladogram based on 117 DNA sequences of *Shinisaurus* (total alignment length 1368 nucleotides) of mitochondrial genes (cytochrome b, partial ND6, and partial tRNA-Glu for 100 newly sequenced specimens, plus 17 sequences retrieved from GenBank). The numbers above and below branches are Bayesian posterior probability and bootstrap values, respectively (both in percent).

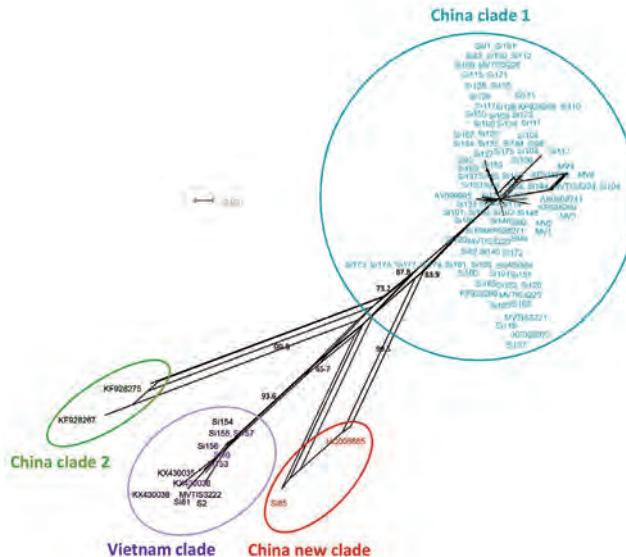


Fig. 2: Split tree calculated from 117 *Shinisaurus* DNA sequences (total alignment length 1368 nucleotides) of mitochondrial genes (cytochrome b, partial ND6, and partial tRNA-Glu). Numbers at nodes are bootstrap values in percent.



Fig. 3: A living individual (currently kept at Cologne Zoo) of the China clade 1 (MV 2), which contains the majority of individuals currently managed by zoos and private collectors in Europe. Photo: T. Ziegler.



Fig. 4: A living individual of the Vietnam clade currently kept at Cologne Zoo. Photo: T. Ziegler.



Fig. 5: A living individual of the new clade from China (Si 85), initially rescued by Reherp Foundation and currently kept at Cologne Zoo. Photo: T. Ziegler.

managed by zoos and private collectors in Europe (Fig. 3). China clade 2, which was represented by two samples retrieved from GenBank, did not seem to be represented by any individual in European facilities. Besides this second clade among the Chinese populations, as already shown in van Schingen et al. (2016), we identified a new mitochondrial clade. This group probably originated from China and therefore was named China new clade (Fig. 5), because the second sample assignable to this clade, without precise locality and with GenBank accession number HQ008865 (Table 2), was sequenced in China (Li et al., 2012).

Five living individuals deriving from the pet trade in Europe were assigned to the Vietnamese clade, including a confiscated individual temporarily housed at the Duisburg Zoo and four individuals (with multiple samples per individual taken for our analyses) from the pet trade (Fig. 4) currently being housed in the crocodile lizard facility at Cologne Zoo's terrarium section. Two further individuals assigned to the Vietnamese clade and likewise originating from the trade in Europe (also with multiple samples taken) died at the Reherp Foundation facility shortly after being rescued (Table 2). Pairwise genetic divergences based on the cytochrome b gene showed the highest values within China clade 1 (0.91%), and lowest within China clade 2. The new clade was 1.10% – 3.61% divergent from the other three (Table 3).

Tab. 2: Genetically identified *Shinisaurus crocodilurus* samples from China and Vietnam, assigned to the four mitochondrial clades. Bold accession numbers refer to sequences retrieved from GenBank.

China clade 1					China clade 2	China new clade	Vietnam clade
AB080274	Si98	Si122	Si149	Si178	KF928275	HQ008865	KX430035
AY099995	Si100	Si123	Si150	Si179	KF928276	Si85	KX430036
KF928266	Si101	Si125	Si151	Si180			KX430038
KF928268	Si102	Si126	Si160	Si183			S2
KF928269	Si103	Si127	Si161	Si184			Si81
KF928270	Si104	Si128	Si162	Si188(1)			Si86
KF928271	Si105	Si129	Si163	Si189(1)			Si153
KF928272	Si107	Si130	Si164	Si190a			Si154
MV1	Si108	Si133	Si165	Si191(1)			Si155
MV2	Si109	Si134	Si166	Si195			Si156
MV6	Si110	Si135	Si167	Si196			Si157
Si82	Si111	Si136	Si168	MVTIS3221			MVTIS3222
Si83	Si112	Si137	Si169	MVTIS3223			
Si84	Si113	Si138	Si171	MVTIS3224			
Si90	Si114	Si140	Si172	MVTIS3225			
Si91	Si115	Si144	Si173	MVTIS3226			
Si92	Si117	Si145	Si174				
Si93	Si118	Si146	Si175				
Si94	Si120	Si147	Si176				
Si95	Si121	Si148	Si177				

Tab. 3: Percentages of uncorrected pairwise distance based on 1138 bp of cytochrome b between and within four clades of *Shinisaurus* identified by this study. Average distances within clades are italicized and shown in parentheses.

	China clade 1	China clade 2	China new clade	Vietnam clade
China clade 1	(0.91)			
China clade 2	2.20 – 3.26	(0.19)		
China new clade	1.10 – 2.60	2.83 – 3.61	(0.41)	
Vietnam clade	1.93 – 3.14	2.2 – 3.26	2.14 – 3.61	(0.46)

Discussion

The morphological differentiation between Chinese and Vietnamese crocodile lizards appears to be challenging. The head shape may help to distinguish between the two currently recognized subspecies (van Schingen et al., 2016a), while it remains unclear if morphological differences can be identified among other Chinese populations. Another potential approach might be determining isotopic signatures of individuals, which was successfully employed to differentiate between wild and captive crocodile lizards, the first case study of its kind for lizards (van Schingen et al., 2016b). Future studies could assess whether this method can be used to identify the geographic origin of *Shinisaurus* representatives. In principle, this approach appears promising because the populations in Vietnam and China occur in different microhabitats with distinct, separate trophic networks.

In this study, we show that genetic screening of animals using mitochondrial markers is a suitable technique to assign crocodile lizard individuals to conservation units. Of the 119 Shini-

saurus samples available for this study, 19 could not be successfully amplified and sequenced. It is likely that these samples were not collected correctly, or DNA was too degraded for successful amplification. Our analyses revealed that the majority of *Shinisaurus crocodilurus* kept in Europe, both in zoos and in private holdings, originated from one clade in China. It is surprising that none of the screened individuals came from China clade 2 and only one from China new clade. A better understanding of captive stocks in Europe might therefore require expansion of genetic screening among all zoos and private collections. In the future, screening of captive colonies in Japan, the United States, and other countries will help to better characterize movement of crocodile lizards from their native range and develop suitable management strategies for maintaining their genetic integrity.

The results of our study suggest that crocodile lizards from Vietnam have only arrived in Europe recently through the international pet trade, which could be due to the relatively recent discovery of the Vietnamese population (Le and Ziegler 2003) and the inclusion of the species in CITES in 1990. Relatively high numbers of crocodile lizards have been imported into Europe before the inclusion of the species in CITES, indicating that a high percentage of the current breeding stock in Europe may still originate from these first imports (CITES 1989; van Schingen et al. 2015b). The limited number of Vietnamese crocodile lizards occurring in Europe could also be due to the extreme small population size in the country (van Schingen et al. 2016a). Either way, given the rarity of Vietnamese representatives in captivity in Europe, there is a low probability for accidental crosses between the taxonomic and conservation units in captivity so far. Nonetheless, as only maternally inherited mitochondrial markers were employed in this study, it is not possible to determine putative hybrid individuals from the available samples. It is recommended that future studies employ both mitochondrial and nuclear markers, e.g., microsatellites, to provide more definite answers.

As discussed by van Schingen et al. (2016a), the geographic barrier separating the Vietnamese and Chinese subspecies is not yet known. At the time of writing, we assume that it coincides with the border between China and Vietnam; however, it cannot be ruled out that the Vietnamese subspecies also ranges into southern China. It is also likely that China harbors more than one form of crocodile lizards, which can only be resolved with more comprehensive morphological and molecular analyses of inter-population variation. In this respect, the herein uncovered new clade is of high interest. There is a high probability that it originates from China as a whole mitochondrial genome of this form was sequenced by Chinese researchers (Li et al., 2012).

A single living individual of this clade (sample Si 85), initially rescued by Reherp Foundation, is currently kept at the Cologne Zoo (Fig. 5). For the time being, we keep the living individual separately and treat it as an independent conservation unit within *Shinisaurus crocodilurus*. Different subclades known from China necessitate further integrative taxonomic analysis/revision of the nominate form using additional morphological, molecular, and ecological evidence.

Concerning the Chinese populations, Fellowes et al. (2002) stated that a multi-disciplinary conservation program for *Shinisaurus crocodilurus* is needed to ensure the survival of this unique species and that a study focusing on the phylogenetic relationships, distribution and status of the other recently discovered populations is required in order to design a comprehensive conservation action plan for this endangered lizard. If restocking/supplementing is needed, cooperation from zoos that breed the species in captivity should be sought. For example, *S. c. vietnamensis* is successfully bred at the Cologne Zoo, Germany, and offspring is available to be placed at other institutions interested in participating and extending the conservation breeding network in Europe as a measure for future repatriation. Conservation breeding is not only important due to habitat destruction and over-collection for pet trade but also because of disease outbreaks that can cause a high mortality rate as recently reported by Jiang et al. (2019). Given the rarity of the range restricted crocodile lizard in the wild, its specific lifestyle and habitat

requirements, as well as severe anthropogenic threats, it is an ideal flagship species for regional zoos and conservation institutions to establish well developed breeding programs based on individuals with known origin or genetically identified in advance, as shown in this study, to safeguard its future survival. Thereby, our research again underscores the IUCN's One Plan Approach, which aims to develop integrative strategies to combine in situ and ex situ measures with support from international experts for the purpose of species conservation.

Acknowledgements

We cordially thank the donators of tissue and swab samples. We also are grateful to Meike Kondermann for assistance with laboratory work. This research was funded by Vietnam's Ministry of Science and Technology (Program 562) and Cologne Zoo. Cologne Zoo is partner of the World Association of Zoos and Aquariums (WAZA): Conservation Projects 07011, 07012 (Herpetodiversity Research, Amphibian and Reptilian Breeding and Rescue Stations).

Zusammenfassung

Die stark bedrohte Krokodilschwanzechse (*Shinisaurus crocodilurus*) ist eine in Europa sowohl in Zoos als auch in Privathand häufig gehaltene Reptilienspezies. Ging man früher davon aus, dass es sich um ein einziges Taxon handelt, so haben aktuelle Studien gezeigt, dass sich die Populationen in China und Vietnam morphologisch, ökologisch und genetisch voneinander unterscheiden und demnach als unterschiedliche Einheiten betrachtet und entsprechend in separaten Erhaltungszuchtprogrammen gehalten werden sollten, um Hybridisierung in Menschenhand zu vermeiden. Die vietnamesische Form wird seither als eigene Unterart, *S. crocodilurus vietnamensis*, von den chinesischen Populationen (*S. c. crocodilurus*) abgegrenzt. Eine eindeutige Zuordnung zu einer der Unterarten ist bislang ohne Fundortinformationen, z. B. bei Tieren aus Beschlagnahmungen, nicht zufriedenstellend möglich, da die morphologischen Unterschiede zwischen den beiden Formen zu gering sind. In dieser Studie führen wir ein genetisches Screening anhand mitochondrialer DNA-Sequenzen von in Zoos und Privathand in Europa gehaltenen Krokodilschwanzechsen durch. Unsere auf phylogenetischen und Netzwerkanalysen basierenden Ergebnisse deuten darauf hin, dass es insgesamt vier verschiedene mitochondriale Kläden gibt, und zwar eine aus Vietnam und drei aus China. Der Großteil der von uns getesteten Tiere lässt sich einer der chinesischen Kläden zuordnen, einige wenige Individuen entstammen der vietnamesischen Klade. Die geringere Anzahl der aus Vietnam stammenden Tiere ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass Individuen aus Vietnam erst vor Kurzem über den Tierhandel nach Europa gelangt sind, während Tiere aus China bereits seit mehreren Jahrzehnten gehalten werden. Anhand unserer Analysen konnten wir weiterhin eine neue mitochondriale Klade der Krokodilschwanzechse identifizieren, die vermutlich aus China stammt. Es besteht Bedarf an weiterer Forschung, um die genaue Abgrenzung der verschiedenen Linien aus China zu untersuchen und zukünftige Schutzmaßnahmen effektiv durchzuführen zu können. Unsere Studie zeigt, dass mitochondriale Marker für die genetische Zuordnung von Krokodilschwanzechsen zu den verschiedenen Schutzeinheiten geeignet sind. Um allerdings die Reinerbigkeit gehaltener Tiere zu ermitteln und potenzielle Hybridisierungen auszuschließen, sollten weitere nukleare Marker, beispielsweise Mikrosatelliten, herangezogen werden.

References

- Auliya, M. et al. (2016). Trade in live reptiles, its impact on wild populations, and the role of the European market. *Biological Conservation*, 204, 103–119.
- Bruford, M.W., Hanotte, O., Brookfield, J.F.Y. & Burke, T. (1998). Single locus and multilocus DNA fingerprinting. pp. 225–269 in: Hoelzel, A.R. (ed.): *Molecular genetic analysis of populations*. Oxford University Press, Oxford.
- Bryant, D. & Moulton, V. (2002). Neighbor-Net: an agglomerative method for the construction of planar phylogenetic networks. *Molecular Biology Evolution*, 21, 255–265. CITES CoP7 Prop. 41 (1989). <https://cites.org>
- Darriba, D., Taboada, G.L., Doallo, R. & Posada, D. (2012). jModelTest 2: more models, new heuristics and parallel computing. *Nature Methods*, 9(8), 772.
- Fellowes, J.R., Chan, B.P.L., Lau, M.W.N., Sai-Chit, N. & Hau, B.C.H. (2002). Report of rapid biodiversity assessments at Dayaoshan National Nature Reserve, East Guangxi, China, 1998 and 2001. *South China Forest Biodiversity Survey Report Series*: No. 18, Kadoorie Farm and Botanic Garden.
- Felsenstein, J. (1985). Confidence limits on phylogenies: an approach using the bootstrap. *Evolution*, 39, 783–791.
- Guindon, S. & Gascuel, O. (2003). A simple, fast and accurate method to estimate large phylogenies by maximum-likelihood. *Systematic Biology*, 52, 696–704.
- Hall, T.A. (1999). Bioedit. A user-friendly biological sequences alignment and analysis program for windows 95/98/NT. *Nucleic Acids Symposium Series*, 41, 95–98.
- Hillis, D.M. & Bull, J.J. (1993). An empirical test of bootstrapping as a method for assessing confidence in phylogenetic analysis. *Systematic Biology*, 42, 182–192.
- Huang, H., Wang, H., Linmiao, L., Wu, Z. & Chen, J. (2014). Genetic diversity and population demography of the Chinese crocodile lizard (*Shinisaurus crocodilurus*) in China. *PLoS ONE*, 9, 1–7.
- Huson, H.D. & Bryant, D. (2006). Application of phylogenetic networks in evolutionary studies. *Molecular Biology and Evolution*, 23, 254–267.
- Jiang, H., Zhang, X., Li, L., Ma, J., He, N., Liu, H., Han, R., Li, H., Wu, Z. & Chen, J. (2019). Identification of Austwickia chelonae as cause of cutaneous granuloma in endangered crocodile lizards using metataxonomics. *PeerJ*, 7, e6574.
- Le, Q.K. & Ziegler, T. (2003). First record of the Chinese crocodile lizard from outside of China: Report on a population *Shinisaurus crocodilurus* Ahl, 1930 from North-eastern Vietnam. *Hamadryad*, 27, 193–199.
- Li, H.M., Guo, L., Zeng, D.L., Guan, Q.X., Wu, Z.J. & Qin, X.M. (2012). Complete mitochondrial genome of *Shinisaurus crocodilurus* (Squamata: Shinisaurus) and its genetic relationship with related species. *Mitochondrial DNA*, 23, 315–317.
- Minh, B.Q., Nguyen, M.A. & von Haeseler, A. (2013). Ultrafast approximation for phylogenetic bootstrap. *Molecular Biology and Evolution*, 30, 1188–1195.
- Nguyen, L.T., Schmidt, H.A., von Haeseler, A. & Bui, M.Q. (2015). IQ-TREE: A fast and effective stochastic algorithm for estimating maximum-likelihood phylogenies. *Molecular Biology Evolution*, 32, 268–274.
- Ronquist, F., Teslenko, M., van der Mark, P., Ayres, D.L. & Darling, A. (2012). MrBayes 3.2: efficient Bayesian phylogenetic. *Systematic Biology*, 61, 539–542.
- Swofford, D.L. (2001). PAUP*. *Phylogenetic Analysis Using Parsimony (* and Other Methods)*, version 4. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.
- van Schingen, M., Le, M.D., Ngo, H.T., Pham, C.T., Ha, Q.Q., Nguyen, T.Q. & Ziegler, T. (2016a). Is there more than one crocodile lizard? An integrative taxonomic approach reveals Vietnamese and Chinese *Shinisaurus crocodilurus* represent separate conservation and taxonomic units. *Der Zoologische Garten*, 85, 240–260.
- van Schingen, M., Pham, C.T., Hang, A.T., Bernardes, M., Hecht, V., Nguyen, T.Q., Bonkowski, M. & Ziegler, T. (2014). Current status of the Crocodile Lizard *Shinisaurus crocodilurus* Ahl, 1930 in Vietnam with implications for conservation measures. *Revue Suisse de Zoologie*, 121, 425–439.
- van Schingen, M., Pham, C.T., Hang, A.T., Nguyen, T.Q., Bernardes, M., Bonkowski, M. & Ziegler, T. (2015a). First ecological assessment of the endangered Crocodile Lizard, *Shinisaurus crocodilurus*, Ahl, 1930 in Vietnam: Microhabitat characterization and habitat selection. *Herpetological Conservation and Biology*, 10, 948–958.
- van Schingen, M., Schepp, U., Pham, C.T., Nguyen, T.Q. & Ziegler, T. (2015b). Last chance to see? A review of the threats to and use of the Crocodile Lizard. *TRAFFIC Bulletin*, 27, 19–26.
- van Schingen, M., Ziegler, T., Boner, M., Streit, B., Nguyen, T.Q., Crook, V. & Ziegler, S. (2016b). Can isotope markers differentiate between wild and captive reptile populations? A case study based on crocodile lizard (*Shinisaurus crocodilurus*) from Vietnam. *Global Ecology and Conservation*, 6, 232–241.
- Ziegler, T., Rauhaus, A., Mutschmann, F., Dang, P.H., Pham, C.T. & Nguyen, T.Q. (2016). Building up of keeping facilities and breeding projects for frogs, newts and lizards at the Me Linh Station for Biodiversity in northern Vietnam, including improvement of housing conditions for confiscated reptiles and primates. *Der Zoologische Garten*, 85, 91–120.

Ziegler, T., van Schingen, M., Rauhaus, A., Dang, P.H., Pham, D.T.K., Pham, C.T. & Nguyen, T.Q. (2019). New insights into the habitat use and husbandry of crocodile lizards (Reptilia: Shinisauridae) including the conception of new facilities for Vietnamese crocodile lizards *Shinisaurus crocodilurus vietnamensis* in Vietnam and Germany. International Zoo Yearbook, 53, 250–269.

DER ZOOLOGISCHE GARTEN

Zool. Garten N.F. 88 (2020) 31-50

Molecular identification of water monitors (*Varanus salvator* complex) from confiscations and the pet trade, including phylogenetic placement of *V. s. ziegleri* – a molecular reference for species conservation enforcement and conservation breeding

Genetische Identifizierung von Bindenwaranen (*Varanus salvator*-Komplex) aus Beschlagnahmungen und dem Tierhandel, einschließlich der phylogenetischen Einordnung von *V. s. ziegleri* – eine molekulare Referenz für Artenschutzvollzug und Erhaltungszucht

Thomas Ziegler¹ & Miguel Vences²

¹⁾ AG Zoologischer Garten Köln, Riehler Str. 173, 50735 Köln, Germany

²⁾ Zoologisches Institut, Technische Universität Braunschweig, Mendelssohnstr. 4, 38106 Braunschweig, Germany

Abstract

Monitor lizards of the *Varanus salvator* species complex recently were split up into 15 taxa, either at the species or subspecies level. Most of them, viz. eight species, are endemic to the Philippines: *V. bangonorum*, *V. cumingi*, *V. dalubhasa*, *V. marmoratus*, *V. nuchalis*, *V. palawanensis*, *V. rasmusseni* and *V. samarensis*. However, almost none of these species from the Philippines, except for *V. cumingi*, have so far been held in zoological gardens. Considering that monitors of this complex are regularly confiscated from the illegal pet trade, mainly for private keeping purposes, and several taxa are difficult to diagnose morphologically, we aimed to contribute to a molecular reference data set to facilitate their quick and reliable identification for setting up conservation breeding programs. We sequenced a fragment of the mitochondrial ND2 gene from 28 individuals confiscated at the airports of Leipzig/Halle, Germany in 2016 and 2018, and Vienna,

*Corresp. author:

E-Mail: ziegler@koelnerzoo.de (Thomas Ziegler)

Austria, September 2019, as well as several other individuals held in zoological institutions. This included individuals of *V. salvator ziegleri* from Obi Island (Moluccas, Indonesia) for which so far no DNA sequence information was available. The molecular data identified the confiscated monitors from the Philippines as *V. marmoratus*, *V. nuchalis* and *V. cumingi*, building the basis for the first breeding groups of *V. marmoratus* and *V. nuchalis* in Europe. Individuals from Obi Island, the type locality of *V. s. ziegleri*, clustered with other individuals purportedly originating from Halmahera, suggesting that this taxon may also occur on this latter island. We found *V. s. ziegleri* to be sister to *V. togianus*, from which it differed by 3.6% uncorrected pairwise sequence divergence in the ND2 gene. In contrast, the two purported species *V. cumingi* and *V. samarensis*, originally considered as subspecies, only differed by 2.4–2.6%. We conclude that the taxonomy within the *V. salvator* complex is in need of critical re-assessment, given that extremely young evolutionary ages inferred in other studies for some species-level taxa would rather suggest their classification as subspecies. The phylogenetic tree with updated/renewed identifications and names presented herein can be used as a reference for allocating samples from the *V. salvator* complex lacking locality information or being difficult to identify, including living individuals as well as confiscated skins and manufactured products of *Varanus* skins, thus providing an important service to relevant conservation authorities and zoos.

Keywords: Sauria, Varanidae, *Varanus*, *V. salvator* complex, *V. cumingi*, *V. marmoratus*, *V. nuchalis*, *V. salvator macromaculatus*, *V. s. ziegleri*, confiscations, conservation breeding, molecular identification, phylogeny

Introduction

The monitor lizards, genus *Varanus*, are predominantly large-sized squamates native to Africa, Asia, and Oceania. About 80 nominal species of monitors are recognized at present, the most prominent of which is the Komodo dragon (*Varanus komodoensis*) – one of the largest extant species of lizards, growing to a maximum length of over 3 metres (Ciofi, 2004; Brennan, et al. 2020).

Monitor lizards face diverse threats, including habitat destruction, human consumption, traditional medicine, and are harvested for the international leather and pet industry (Schlaepfer et al., 2005; Bennett et al., 2010; Ziegler et al., 2018). Thus, the entire genus *Varanus* was listed in Appendix II of the Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (CITES) in 1975, and *V. bengalensis*, *V. flavescens*, *V. griseus*, *V. komodoensis* and *V. nebulosus* were included in Appendix I. Several species are probably sold for high prices in the international pet trade and have extremely narrow distribution ranges, resulting in potential overexploitation of the wild populations (e.g. Bennett, 2015; Koch et al., 2013).

To still meet the international demand for leather products and pets by reducing the pressure on wild populations, several countries have established captive breeding facilities. However, reservations exist about the conservation impact of such an approach, due to reports that many animals traded as captive-bred have in fact been collected illegally from the wild (Outhwaite et al., 2015; Bennett, 2015; Crook & Musing, 2016; Ziegler et al., 2018).

Recently, Ziegler et al. (2016) provided an overview of monitor lizard species held in zoological gardens, to highlight species currently either underrepresented or still not represented in zoos and thus not available for conservation breeding programs. Among the 79 monitor lizard species recognized at that time, 30 species (38 %) were not held in zoos. Remarkably, eight of these were representatives of the *V. salvator* species complex: *Varanus bangonorum*, *V. dalubhasa*, *V. marmoratus*, *V. nuchalis*, *V. palawanensis*, *V. rasmussenii*, *V. samarensis* and *V. togianus*. All of these spe-

cies are island endemics, either from the Philippines (seven species) or from Sulawesi, Indonesia (one species). The *V. salvator* complex is a diverse group that in recent years has been split up into 15 taxa, either at the species or subspecies level: *V. bangonorum*, *V. cumingi*, *V. dalubhasa*, *V. marmoratus*, *V. nuchalis*, *V. palawanensis*, *V. rasmussenii*, *V. salvator andamanensis*, *V. s. bivittatus*, *V. s. celebensis*, *V. s. macromaculatus*, *V. s. salvator*, *V. s. ziegleri*, *V. samarensis* and *V. togianus* (e.g., Koch & Böhme, 2010; Welton et al., 2013a, b, 2014a; Brennan et al., 2020). Most of them, viz. eight species, occur on the Philippines, a region of high global evolutionary significance and conservation priority for monitors. However, cryptic taxa within this species complex are difficult to distinguish by morphology alone, and for *V. rasmussenii*, *V. salvator andamanensis*, *V. s. celebensis*, *V. s. salvator*, and *V. s. ziegleri* genetic reference sequences are lacking. Representatives of this group regularly appear in the international pet trade. All of them are listed in Appendix II of CITES. Confiscations of a considerable number of individuals of taxa of the *V. salvator* complex regularly occur (e.g. Koch et al., 2013; Auliya et al., 2016).

Given the underrepresentation of members of this group in zoos, frequent confiscations and difficulties to morphologically identify at least some of the taxa, it was the aim of this study to provide a molecular reference to facilitate a quick and reliable identification of taxa of the *V. salvator* group. Reliable, molecular identification of monitor lizards is important for building up homogeneous breeding groups in zoos for conservation breeding, or even for subsequent repatriation within a suitable framework of legal, scientific and conservation management provisions. The exact identification of species or subspecies in the trade is also essential for the enforcement of CITES to warrant legality and sustainability of the trade with specimens of different taxa and populations, because different taxa face different threats. This makes this study of high relevance for species conservation authorities. Specifically, in this study we genetically analysed representatives of the *V. salvator* complex which originated from the pet trade and from recent confiscations in Europe, held in zoological institutions.

To include also the most recently and only morphologically described taxon from this group, *V. salvator ziegleri*, for the first time in a molecular phylogeny we initially tried to extract DNA from the holotype. The subspecies was described based on a single specimen from Obi Island (Moluccas, Indonesia) (see Koch & Böhme, 2010). However, as the holotype was collected already several decades ago, in 1953, and thus might also have been preserved for some time in formalin, amplification of mitochondrial gene fragments by PCR was unsuccessful. Because potential representatives of this *V. salvator* form were held in zoos in Germany (to our knowledge in Bochum and Cologne zoos), initially received from the Zoological Research Museum Alexander Koenig (ZFMK) in Bonn, Germany, but without locality information, genetic identification seemed reasonable before building breeding groups. Because we were unable to use the holotype as molecular reference, we have instead included topotypic samples from the pet trade, viz., deriving from the type locality of *V. salvator ziegleri*, Obi Island, Indonesia. The topotypic samples from the type locality were compared with the individuals kept in zoos in Germany and included in the molecular tree to both resolve the phylogenetic position of *V. salvator ziegleri* and confirm validity of this taxon.

Material & methods

For this study, blood samples or buccal swabs were available from the following individuals of the *V. salvator* complex: (1) Derived from confiscations: 1 individual from the Philippines, confiscated at Leipzig/Halle Airport, Germany, March 2016 (TempV); 2 specimens from the Philippines, confiscated at Leipzig/Halle Airport, Germany, October 2018 (MVTIS 3219, 3220); 11 individuals from the Philippines, confiscated at Vienna International Airport, Austria, September

2019 (TZTIS 12-22). (2) From the pet trade: 3 individuals, allegedly from Obi Island, Indonesia (MVTIS 3381-3383); 6 individuals allegedly from Halmahera Island, Indonesia (MVTIS 3384-3389); 2 melanic individuals, allegedly from Sumatra, Indonesia (MVTIS 3379, 3380). (3) Additional specimens from zoos: 2 individuals of *V. salvator* cf. *ziegleri* (TempVs3-1, TempVs3-2) from Tierpark Bochum; 1 individual of *V. salvator* cf. *ziegleri* (TempVs2) from Cologne Zoo.

Tab. 1: Samples used in the molecular analyses.

Taxon name	Genbank accession	Voucher	Locality
<i>Varanus salvator macromaculatus</i>	AB980995	NA	Thailand, Bangkok
<i>Varanus salvator macromaculatus</i>	AB980996	NA	Thailand, Bangkok
<i>Varanus cumingi</i>	AF407523	UMFS_10369	from Ast (2001)
<i>Varanus togianus</i>	AF407524	UMFS_10298	from Ast (2001)
<i>Varanus salvator bivittatus</i>	AF407525	UMFS_10670	from Ast (2001)
<i>Varanus salvator macromaculatus</i>	AF407526	UMFS_10374	probably Sumatra (trade)
<i>Varanus marmoratus</i>	AY264942	USNM-FS_054742	from Ast (2002)
<i>Varanus salvator</i> complex	EU747731	NA	
<i>Varanus salvator macromaculatus</i>	JX677688	ACD3585	Singapore
<i>Varanus salvator macromaculatus</i>	JX677690	CAS212011	Myanmar
<i>Varanus salvator bivittatus</i>	JX677693	UMMZ227122	Java
<i>Varanus togianus</i>	JX677696	RMB	Sulawesi
<i>Varanus palawanensis</i>	JX677697	KU309607	Philippines, Palawan
<i>Varanus bangonorum</i>	JX677698	KU305163	Philippines, Semirara
<i>Varanus bangonorum</i>	JX677701	KU308437	Philippines, Mindoro
<i>Varanus dalubhasa</i>	JX677702	KU313880	Philippines, Bicol, Luzon
<i>Varanus dalubhasa</i>	JX677703	KU306601	Philippines, Bicol, Luzon
<i>Varanus dalubhasa</i>	JX677704	KU306602	Philippines, Bicol, Luzon
<i>Varanus dalubhasa</i>	JX677705	KU306603	Philippines, Bicol, Luzon
<i>Varanus dalubhasa</i>	JX677706	KU308216	Philippines, Catanduanes
<i>Varanus nuchalis</i>	JX677707	RMB3326	Philippines, Negros
<i>Varanus palawanensis</i>	JX677708	JAE1339	from Welton et al. (2013)
<i>Varanus nuchalis</i>	JX677710	H768	Philippines, Panay
<i>Varanus nuchalis</i>	JX677711	KU305153	Philippines, Negros
<i>Varanus nuchalis</i>	JX677712	KU305157	Philippines, Negros
<i>Varanus nuchalis</i>	JX677713	CDS4399	Philippines, Negros
<i>Varanus nuchalis</i>	JX677714	CDS5151	Philippines, Masbate
<i>Varanus nuchalis</i>	JX677715	KU305172	Philippines, Sibuyan
<i>Varanus nuchalis</i>	JX677716	KU305148	Philippines, Sibuyan
<i>Varanus dalubhasa</i>	JX677718	KU326702	Philippines, Polillo
<i>Varanus dalubhasa</i>	JX677719	KU326703	Philippines, Polillo
<i>Varanus samarensis</i>	JX677721	KU310870	Philippines, Samar
<i>Varanus samarensis</i>	JX677722	CDS4768	Philippines, Bohol

<i>Varanus cumingi</i>	JX677723	CDSGS08	Philippines, Camiguin Sur
<i>Varanus cumingi</i>	JX677725	H1400	Philippines, Talikud Island
<i>Varanus cumingi</i>	JX677726	KU314128	Philippines, East Mindanao
<i>Varanus cumingi</i>	JX677727	INA0003	Phillipines, Dinagat Island
<i>Varanus cumingi</i>	JX677728	H1627	Philippines, Mindanao
<i>Varanus cumingi</i>	JX677730	KU315216	Philippines, West Mindanao
<i>Varanus cumingi</i>	JX677731	KU315218	Philippines, West Mindanao
<i>Varanus cumingi</i>	JX677732	KU321814	Philippines, West Mindanao
<i>Varanus cumingi</i>	JX677736	MLD008	from Welton et al. (2013)
<i>Varanus marmoratus</i>	JX677738	CDS5538	from Welton et al. (2013)
<i>Varanus nuchalis</i>	JX677739	EYS103	from Welton et al. (2013)
<i>Varanus cumingi</i>	JX677740	CDS5537	from Welton et al. (2013)
<i>Varanus marmoratus</i>	JX677741	KU314033	Philippines, Batan
<i>Varanus marmoratus</i>	JX677742	KU304879	Philippines, Calayan
<i>Varanus marmoratus</i>	JX677744	KU327752	Philippines, Calayan
<i>Varanus marmoratus</i>	JX677745	ACD2575	Philippines, North Luzon
<i>Varanus marmoratus</i>	JX677746	KU304595	Philippines, Calayan
<i>Varanus marmoratus</i>	JX677747	KU326697	Philippines, North Luzon
<i>Varanus marmoratus</i>	JX677748	KU323435	Philippines, East Luzon
<i>Varanus marmoratus</i>	JX677749	KU323439	Philippines, East Luzon
<i>Varanus marmoratus</i>	JX677750	KU323434	Philippines, East Luzon
<i>Varanus marmoratus</i>	JX677759	RMB4290	Philippines, West Luzon
<i>Varanus marmoratus</i>	JX677760	TNHC63000	Philippines, South Luzon
<i>Varanus marmoratus</i>	JX677762	KU304853	Philippines, Babuyan Claro
<i>Varanus marmoratus</i>	JX677763	ACD5863	Phillipines, South Luzon
<i>Varanus marmoratus</i>	JX677766	KU305158	Phillipines, Lubang
<i>Varanus marmoratus</i>	JX677769	CDS5528	from Welton et al. (2013)
<i>Varanus marmoratus</i>	JX677770	EYS009	from Welton et al. (2013)
<i>Varanus marmoratus</i>	JX677772	EYS014	from Welton et al. (2013)
<i>Varanus rudicollis</i>	JX677774	LJW0088	unknown (trade)
<i>Varanus bangonorum</i>	KM888678	KU335742	Philippines, Mindoro
<i>Varanus bangonorum</i>	KM888681	KU335743	Philippines, Mindoro
<i>Varanus nuchalis</i>	NewSequence	TempV	probably Philippines (trade – Zoo Halle)
<i>Varanus nuchalis</i>	NewSequence	MVTIS3219	probably Philippines
<i>Varanus nuchalis</i>	NewSequence	MVTIS3220	probably Philippines
<i>Varanus salvator</i> complex	NewSequence	TempVs2	unknown (trade – Cologne Zoo)
<i>Varanus salvator</i> complex	NewSequence	TempVs3-1	unknown (trade – Bochum Zoo)
<i>Varanus salvator</i> complex	NewSequence	TempVs3-2	unknown (trade – Bochum Zoo)
<i>Varanus salvator</i>	NewSequence	MVTIS 3379	Sumatra (trade) – melanic
<i>Varanus salvator</i>	NewSequence	MVTIS 3380	Sumatra (trade) – melanic
<i>Varanus salvator ziegleri</i>	NewSequence	MVTIS 3381	Obi (trade)
<i>Varanus salvator ziegleri</i>	NewSequence	MVTIS 3382	Obi (trade)

<i>Varanus salvator ziegleri</i>	NewSequence	MVTIS 3383	Obi (trade)
<i>Varanus salvator ziegleri</i>	NewSequence	MVTIS 3384	Halmahera (trade)
<i>Varanus salvator ziegleri</i>	NewSequence	MVTIS 3385	Halmahera (trade)
<i>Varanus salvator ziegleri</i>	NewSequence	MVTIS 3386	Halmahera (trade)
<i>Varanus salvator ziegleri</i>	NewSequence	MVTIS 3387	Halmahera (trade)
<i>Varanus salvator ziegleri</i>	NewSequence	MVTIS 3388	Halmahera (trade)
<i>Varanus salvator ziegleri</i>	NewSequence	MVTIS 3389	Halmahera (trade)
<i>Varanus marmoratus</i>	NewSequence	TZTIS 12	Philippines (trade), probably Luzon
<i>Varanus marmoratus</i>	NewSequence	TZTIS 13	Philippines (trade), probably Luzon
<i>Varanus marmoratus</i>	NewSequence	TZTIS 14	Philippines (trade), probably Luzon
<i>Varanus marmoratus</i>	NewSequence	TZTIS 15	Philippines (trade), probably Luzon
<i>Varanus marmoratus</i>	NewSequence	TZTIS 16	Philippines (trade), probably Luzon
<i>Varanus cumingi</i>	NewSequence	TZTIS 17	Philippines (trade), probably Mindanao
<i>Varanus cumingi</i>	NewSequence	TZTIS 18	Philippines (trade), probably Mindanao
<i>Varanus cumingi</i>	NewSequence	TZTIS 19	Philippines (trade), probably Mindanao
<i>Varanus cumingi</i>	NewSequence	TZTIS 20	Philippines (trade), probably Mindanao
<i>Varanus cumingi</i>	NewSequence	TZTIS 21	Philippines (trade), probably Mindanao
<i>Varanus cumingi</i>	NewSequence	TZTIS 22	Philippines (trade), probably Mindanao

DNA was extracted from swabs and blood samples using a standard salt extraction protocol. We amplified a segment of the mitochondrial gene for NADH dehydrogenase subunit 2 (ND2) and the adjacent gene for tRNA-Trp, using standard PCR protocols with the primers ND2F17 (5'-TGACAAAAAAAT TGCNCC-3') from Macey et al. (2000) and ALAR2 (5'-AAAA-TRTCTGRGTTGCATTCAAG-3') from Macey et al. (1997). PCR products were purified using ExoSAPIT (USB) and sequenced on automated DNA sequencers at LGC Genomics (Berlin, Germany). The newly determined DNA sequences were quality-checked with the software CodonCode Aligner (CodonCode Corporation), and submitted to GenBank (accession numbers MT439923–MT439950). We then downloaded all ND2 samples of the *V. salvator* complex from Genbank (accessed November 2019) (e.g., from Ast 2001, Welton et al. 2013; see Tab. 1), and aligned these together with the sequences determined by us in MEGA7 (Kumar et al. 2016). The alignment only required a single gap at one nucleotide position, and therefore no unalignable sections had to be excluded before analysis. The best-fitting substitution model (General Time-Reversible, GTR+G) was determined based on the Bayesian Information Criterion implemented in MEGA7. We used this model for unpartitioned phylogenetic analysis of the ND2 matrix under Maximum Likelihood (ML) in MEGA7 with SPR-3 branch swapping, and assessed node support with 2000 nonparametric ML bootstrap pseudoreplicates.

Results

The total alignment of the mitochondrial ND2+tRNA-Trp fragment consisted of 616 base pairs. Maximum likelihood analysis resulted in a reasonably supported phylogenetic tree (Fig. 1) with bootstrap support >90% for the majority of species and subspecies in the *V. salvator* complex. As exceptions, *V. marmoratus* was only supported as monophyletic with a bootstrap support of 54%, and *V. salvator macromaculatus*, a very widespread subspecies, was resolved as monophyletic but received no relevant bootstrap support.

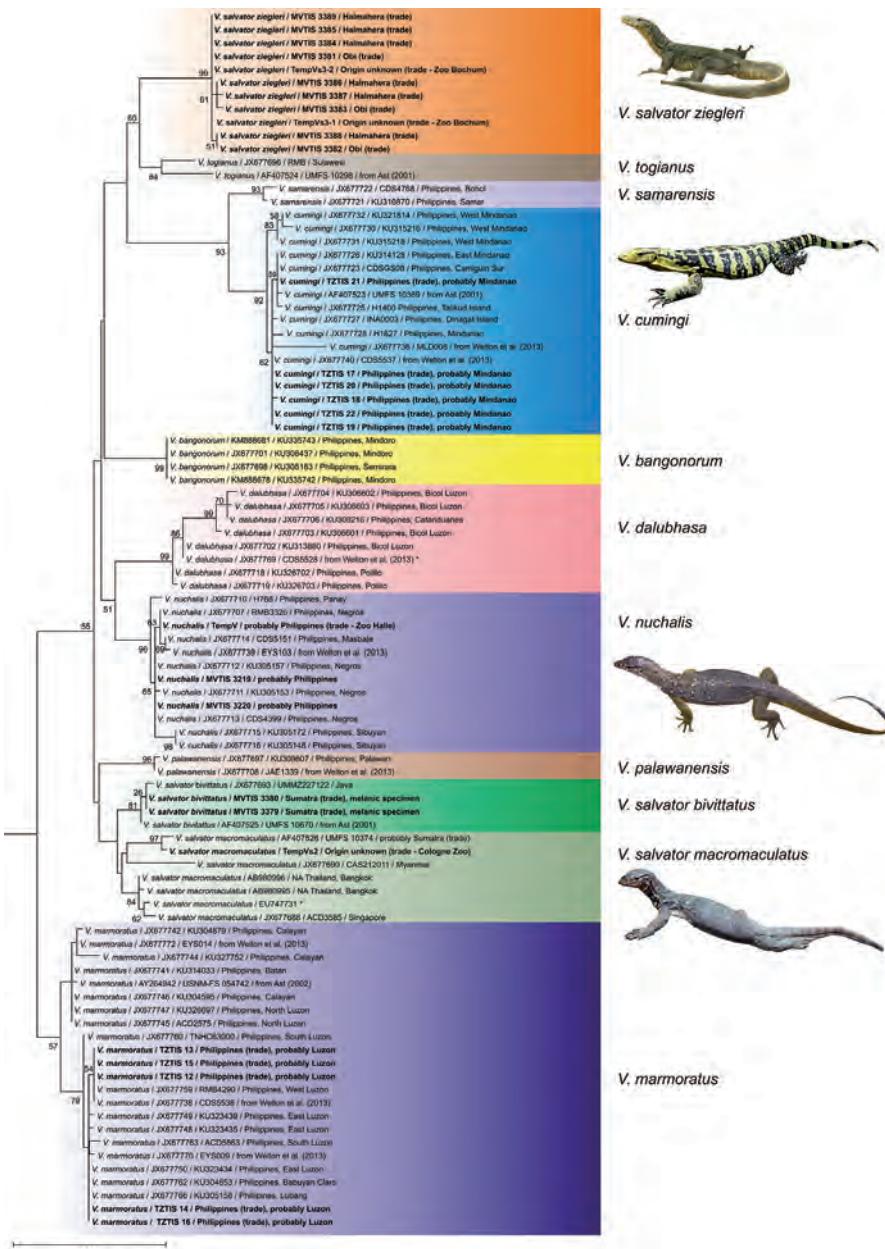


Fig. 1: Maximum-likelihood phylogenetic tree based on DNA sequences of a fragment of the mitochondrial ND2 gene (616 bp) for samples of the *Varanus salvator* complex. Numbers at nodes are bootstrap proportions in percent from 2000 replicates (not shown if <50%). A sequence of *V. rudicollis* (Genbank accession JX677774) was used as the outgroup (graphically removed for better visualization of shallow branch lengths). New sequences from this study are in bold. Sequences with an asterisk were assigned to taxa different from their Genbank records based on their phylogenetic position in the tree.



Fig. 2: *Varanus* individual of the *V. salvator* complex from the Philippines confiscated at Leipzig/Halle Airport, Germany in March 2016, held at Halle Zoo, that revealed to be *V. nuchalis*. Photo: Halle Zoo



Fig. 3: *Varanus* individuals of the *V. salvator* complex from the Philippines confiscated at Leipzig/Halle Airport, Germany in October 2018, that revealed to be *V. nuchalis*. Photos: Veterinärmedizinische Fakultät Universität Leipzig



Fig. 4: Three *Varanus* individuals of the *V. salvator* complex from the Philippines confiscated at Leipzig/Halle Airport, Germany, in March 2016 (left the individual depicted in Fig. 2, right the individuals depicted in Fig. 3), that revealed to be *V. nuchalis* and which finally were brought to Zagreb Zoo, Croatia, with the aim to build up a breeding program. Photos: I. Cizelj (taken in May 2020 in Zagreb Zoo)

The analysis unambiguously identified the confiscated monitor lizards of the *V. salvator* complex as *V. marmoratus*, *V. nuchalis* and *V. cumingi* (Figs. 2–5). The melanic individuals from Sumatra were nested in a clade consisting of *V. salvator bivittatus*, e.g., from Java. The individual kept at Cologne Zoo was nested in the *V. s. macromaculatus* clade, close to a Genbank sequence (AF407526) deriving from an individual allegedly from Sumatra.

The representatives of the *Varanus salvator* complex that derived from the pet trade with locality information Obi, from where *V. s. ziegleri* was described, were placed in a clade with specimens with locality information Halmahera and with the two individuals from Bochum (Figs. 6–8). This clade, here considered to represent *V. s. ziegleri*, was sister to *V. togianus*, and differed from that taxon by uncorrected genetic distances in the ND2 gene of 3.6% (Table 2).

Overall, genetic distances among taxa of the *V. salvator* complex were comparatively low (Table 2). The highest average distance was observed between *V. cumingi* and *V. nuchalis* (6.1%) whereas the lowest distance distinguishes *V. s. bivittatus* and *V. s. macromaculatus* (1.9%), followed by *V. cumingi* and *V. samaranensis* (2.7%), and *V. s. bivittatus* and *V. palawanensis* (2.9%). According to current knowledge, taxa of the *V. salvator* complex are strictly allopatric, with the exception of the purported co-occurrence of the wide-ranging *V. s. macromaculatus* with *V. togianus* on Sulawesi (Welton et al., 2014a) (see also Fig. 10). In our ND2 data set these two taxa differ by 3.7% mean inter-group genetic distance, but no ND2 sequences of *V. s. macromaculatus* populations from Sulawesi were available; the genetic identity of these populations thus remains unclarified.



Fig. 5: *Varanus* individuals of the *V. salvator* complex from the Philippines confiscated at Vienna International Airport, Austria, in September 2019, that revealed to be *V. cumingi* (yellow-headed) and *V. marmoratus* (dark-headed). Photo: A. Weissenbacher



Fig. 6: Juvenile *Varanus salvator ziegleri*, allegedly Obi Island (Indonesia). Photos: T. Ziegler



Fig. 7: Subadult *Varanus salvator ziegleri*, allegedly from Obi Island (Indonesia). Photos: A. Rauhaus



Fig. 8: Adult *Varanus salvator ziegleri*, Bochum Zoo. Photos: J. Stirnberg

Tab. 2: Uncorrected pairwise distances in a 616 bp fragment of the mitochondrial ND2 gene among taxa of the *V. salvator* complex. The values are means from all between-species comparisons among sequenced individuals included in the phylogenetic analysis (Fig. 1).

	bang	cumi	samar	dalu	marm	nuch	palaw	bivi	macr	zieg
<i>V. bangonorum</i>										
<i>V. cumingi</i>	0.058									
<i>V. samarensis</i>	0.054	0.027								
<i>V. dalubhasa</i>	0.045	0.061	0.060							
<i>V. marmoratus</i>	0.049	0.059	0.056	0.050						
<i>V. nuchalis</i>	0.036	0.062	0.057	0.038	0.043					
<i>V. palawanensis</i>	0.034	0.060	0.057	0.042	0.042	0.036				
<i>V. s. bivittatus</i>	0.033	0.057	0.054	0.045	0.040	0.033	0.029			
<i>V. s. macromaculatus</i>	0.036	0.059	0.052	0.045	0.042	0.036	0.030	0.019		
<i>V. s. ziegleri</i>	0.042	0.058	0.058	0.043	0.053	0.044	0.036	0.043	0.042	
<i>V. togianus</i>	0.040	0.059	0.058	0.051	0.055	0.039	0.039	0.037	0.038	0.036

Discussion

Relevance for species conservation enforcement and conservation breeding

A reliable identification of species and subspecies is the basis for all conservation management measures, including the regulation of sustainable trade. In the *V. salvator* species complex, names and taxonomic allocation of populations have changed over the years due to numerous descriptions of new taxa in recent years (e.g., Koch & Böhme, 2010; Koch et al., 2010; Welton et al., 2014a). The continuous taxonomic changes complicated a proper species allocation of samples and sequences from earlier publications. For example some of the individuals assigned to *V. marmoratus* in Welton et al. (2013b) revealed to be new species (see Welton et al., 2014a). In this study we provide an updated phylogenetic tree (Fig. 1) which can be used as a reference for allocating individuals from the *V. salvator* complex that lack locality information or are difficult to identify based on morphology, which supplies an important service for building up conservation breeding programs in zoos. This baseline will also be useful in forensic approaches, not only to identify living individuals but also confiscated skins and manufactured products of *Varanus* skins, which can help to improve the regulation of trade in monitor lizards.

With the phylogenetic analysis presented herein we were able to unambiguously identify individuals from the trade and different confiscations over the last years in different countries, allowing them to be used in future (conservation) breeding efforts. In the case of *V. marmoratus* and *V. nuchalis*, our results even build the baseline to establish the first breeding groups of these species in Europe, representing an excellent example for constructive cooperation with local and international conservation authorities such as the Federal Agency for Nature Conservation in Germany and the Department of Environment and Natural Resources (DENR) in the Philippines which were involved in pioneering the buildup of a breeding program for *V. nuchalis* in Croatia at the Zagreb Zoo. It also highlights that genetic identification is useful even when only one confiscated individual is involved, because further confiscations cannot be excluded and breeding groups may thus be formed in the future. This was the case for *V. nuchalis* where multiple specimens became available from successive confiscations in 2016 and 2018. It also shows the importance and responsibility of zoological gardens as institutions with facilities and



Fig. 9: *Varanus salvator macromaculatus*, Cologne Zoo (top), and juvenile specimen UMFS 10374 from Indonesia (eastern Central Sumatra) (bottom). Photos: T. Ziegler (top) and G. Schneider (bottom)

expertise being able to house confiscated individuals until proper breeding groups are built up, that could - after in-depth genetic screening - even be used for repatriation.

This study also underlines the importance of applying modern identification tools before building up breeding groups, because the presumed *V. salvator ziegleri* held at Cologne Zoo, revealed not to be conspecific with the group held at Bochum Zoo but turned out to be *V. salvator macromaculatus* instead. The monitor from Cologne Zoo, in the phylogenetic tree, was sister to a *V. s. macromaculatus* specimen, UMMZ 227119 (= UMFS 10374) from Indonesia (eastern Central Sumatra) (Fig. 9, bottom), with a divergence of only 0.5 %. This specimen, UMFS 10374, is a juvenile (Fig. 9, bottom) with no morphological resemblance to *V. s. ziegleri*, thereby supporting that also the individual from Cologne Zoo belongs to *V. s. macromaculatus*.

The melanic individuals studied herein, phylogenetically clustering with *V. salvator bivittatus*, allegedly originated from Sumatra, but according to Welton et al. (2014a) Sumatra is inhabited by *V. salvator macromaculatus*. Polyphyly of *V. salvator macromaculatus* is also discernible from Fig. S4 in Welton et al. (2013a) who explain this by gene flow between nearby occurring populations / subspecies at the outermost occurrences of Java and Sumatra including offshore islands.

Phylogenetic position and validity of *Varanus salvator ziegleri* as well as taxonomy of the *V. salvator* group

Our analysis for the first time included *V. salvator* complex representatives from Obi Island, the type locality of *V. salvator ziegleri*, into a molecular analysis. The phenotype of individuals from Obi Island (see also Fig. 17 in Weijola, 2010) conformed with main morphological characters being diagnostic for *V. s. ziegleri*, such as the light yellow dorsal head pattern and the dark bands on the belly, and identifying our individuals as belonging to this taxon therefore has high plausibility. Because individuals with locality information Halmahera were characterized by the same colour pattern as *V. ziegleri*, and were included in the same molecular clade, it is probable that *V. s. ziegleri* also occurs on Halmahera Island, which is geographically very close to Obi, assuming the locality information provided from the pet trade were accurate (Fig. 10). The sister clade of *V. s. ziegleri* in our analysis was *V. togianus*, which is convincing from zoogeographic and morphological perspectives as *V. togianus* occurs in Sulawesi, not far from Obi and Halmahera, and phenetically resembles *V. s. ziegleri* although being distinctly darker in appearance.

Concerning the taxonomic status of *V. salvator ziegleri*, we found the studied individuals from Obi and Halmahera to be 3.6% divergent in the ND2 gene from its sister taxon *V. togianus*. For comparison, the two purported species *V. cumingi* and *V. samarensis*, originally considered as subspecies *V. c. cumingi* and *V. c. samarensis*, only differed by an average 2.7% in this gene. Although genetic divergence alone can only serve as a preliminary comparative yardstick to identify genetic lineages potentially deserving species status, it appears likely that the taxonomy within the *V. salvator* complex is in need of critical re-assessment and revision. Many taxa were assigned species status based mainly on weak mitochondrial and morphological differences, without a thorough assessment of gene flow using multiple nuclear genes. In the case mentioned above, our data would rather indicate that *V. salvator ziegleri* deserves full species status; or that taxa of very low divergences such as *cumingi* and *samarensis* may more appropriately be considered as infraspecific taxa (*V. c. cumingi* and *V. c. samarensis*) as originally suggested in the description of *V. c. samarensis* (Koch et al., 2010). In this context, elucidating the identity, relationships and possible patterns of sympatry or parapatry of Sulawesi populations of the *V. salvator* complex based on genetic data thus emerges as a high priority (see also Arida, 2017). If indeed two taxa occur sympatrically or parapatrically on Sulawesi without admixture, as sug-

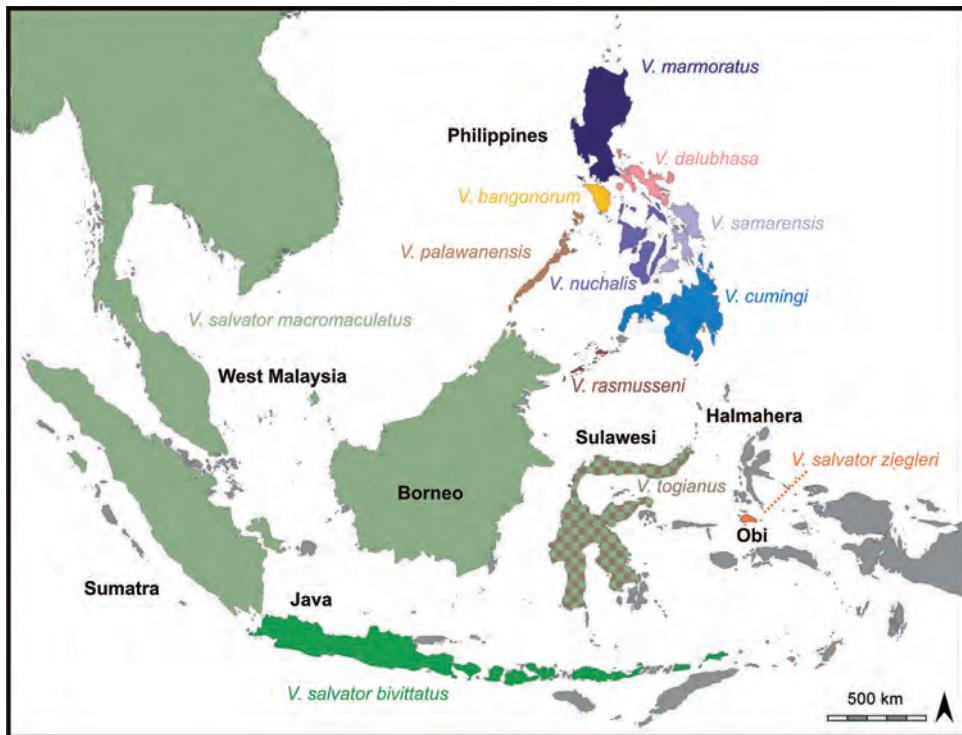


Fig. 10: Distribution map of selected taxa of the *Varanus salvator* complex, modified from Welton et al. (2014a). Colors correspond to those used in the phylogenetic tree (Fig. 1). Note that the identity of populations from Sulawesi attributed by Welton et al. (2014a) to *V. s. macromaculatus*, and the relationships and pattern of sympatry or parapatry of these populations to *V. togianus*, require further study.

gested by the map of Welton et al. (2014a) (see Fig. 10), it would provide conclusive evidence for species-level distinctness of the taxa involved. And thereby, it would represent a yardstick to understand the levels of genetic and morphological differentiation that separate unambiguous biological species in the complex.

To evaluate the available information on genetic differentiation in the complex, it must first be taken into account that ND2 is a rather fast evolving gene, and that the encountered genetic distances are thus comparably low. Secondly, mitochondrial evidence alone is insufficient to draw taxonomic conclusions, given that the mitochondrial genome can be affected by introgressive hybridization – i.e. lineages that are well-differentiated in their nuclear genome can be very similar to each other in the mitochondrial genome, and individuals of mitochondrial “ghost lineages” can have no or negligible nuclear differentiation (e.g. Zielinski et al., 2014; Dufresnes et al., 2020).

For *Varanus*, comprehensive nuclear phylogenomic evidence has recently become available (Brennan et al., 2020) and confirms that some taxa show only extremely low differentiation. According to the timetree in Fig. S3 of Brennan et al. (2020), several taxa within the *V. salvator* group are distinctly younger than 1 million years, such as *cumingi*, *marmoratus*, *palawanensis*, and *samarensis*. Overall, this points to taxonomic oversplitting in this group, and future comprehensive revisions

may put in doubt the species status of some of these taxa, similar to recent reviews of Eurasian vipers and other reptiles (Freitas et al., 2020; Speybroeck et al., 2020). As compellingly argued by Hillis (2020), if we subdivide “evolutionary lineages into ever smaller slices that we call species (even though they exhibit reproductive continuity), we will lose the biological meaning of species and misinform the rest of biology”. In such cases, the use of subspecies is a very useful alternative, especially in the case of island populations (Hawlitschek et al.. 2012). We agree with claims to use a subspecific taxonomy to refer to somewhat divergent, infraspecific lineages, i.e., evolutionary significant units (Coates et al., 2018), even if the definition and delimitation of a subspecies will necessarily remain ambiguous in many cases. Especially for the purpose of legislation and conservation, a sound and well-established subspecies-level taxonomy can be of high value (e.g., Haig et al., 2006; Miralles et al.. 2017), and is more biologically informative than taxonomic inflation.

Acknowledgements

We thank G. Köhler (SMF, Frankfurt am Main) for kindly providing a tissue sample of the holotype of *Varanus salvator ziegleri*. We thank M. D. Le, H. T. Ngo and T. T. Nguyen (National University, Hanoi) for trying to extract DNA from the holotype of *V. salvator ziegleri*, and M. Kondermann for assistance with laboratory work at the Technische Universität Braunschweig. Thanks also to the Federal Agency for Nature Conservation (BfN), Germany, for issuing permits for sample transfer from Germany to Vietnam. We thank C. Fritz (Mudershausen) for provision of samples and Greg Schneider (Division of Reptiles and Amphibians, Museum of Zoology, University of Michigan) for providing us pictures. We thank L. Klare and M. Glau- bauf (Hauptzollamt Dresden), the Veterinärmedizinische Fakultät Universität Leipzig, I. Cizelj (Zagreb Zoo, Croatia) and A. Weissenbacher (Zoo Schönbrunn, Vienna) as well as Halle Zoo for providing us with information and pictures. Thanks also to F. Böhmer, U. Schepp, M. v. Schingen-Khan (BfN) and R. Manalo, E. Sy, A. Tagtag (Manila) for sharing their thoughts with us. In addition we thank M. Auliya, W. Böhme, A. Koch and D. Rödder (Zoological Research Museum A. Koenig, Bonn) for providing individuals previously kept at ZFMK holdings and for fruitful discussions. Anna Rauhaus (Cologne Zoo, Köln) kindly prepared the plates.

Zusammenfassung

Bindenwarane (*Varanus salvator*-Komplex) sind in den letzten Jahren in 15 Taxa, sowohl auf Art-, als auch Unterartniveau, aufgespalten worden. Die meisten davon, insgesamt acht Taxa, sind endemisch für die Philippinen: *V. bangonorum*, *V. cumingi*, *V. dalubhasa*, *V. marmoratus*, *V. nuchalis*, *V. palawanensis*, *V. rasmusseni* und *V. samarensis*. Gemäß einer kürzlich veröffentlichten Studie über in Zoos gehaltene Warane sind keine davon bis auf *V. cumingi* in Zoos vertreten. Angesichts der Unterrepräsentation philippinischer Bindenwarane in Zoos, regelmäßiger Beschlagnahmungen und Identifizierungsproblemen zumindest bei einigen der Taxa wollten wir mit dieser Studie eine molekulare Referenz vorlegen, mit der Taxa schnell und zuverlässig identifiziert werden können. Weiterhin wollten wir wissenschaftlich basiert passende Zuchtgruppen in Zoos ermitteln und so die Grundlage für Erhaltungszuchten oder sogar Rückführungen in das Heimatland schaffen. Basierend auf Abschnitten des mitochondrialen Gens NADH Dehydrogenase Untereinheit 2 (ND2) haben wir 28 Vertreter des *V. salvator*-Komplexes aus europäischen Beschlagnahmungen (Flughäfen Leipzig/Halle, Deutschland, 2016 und 2018, sowie Wien, Österreich, September 2019), dem Tierhandel und aus zoologischen Institutionen

untersucht. Weiterhin haben wir das zuletzt und lediglich morphologisch beschriebene Taxon aus der Gruppe, *V. salvator ziegleri* von der Insel Obi (Molukken, Indonesien), in unsere molekulare Phylogenie einzubauen versucht, da potenzielle Vertreter in deutschen Zoos (in Bochum und Köln) vertreten waren, allerdings ohne Herkunftsangaben. Da wir keine DNA aus dem Holotypus von *V. s. ziegleri* isolieren konnten, haben wir stattdessen Proben von topotypischen, also von Obi stammenden Waranen aus dem Tierhandel hinzugezogen, um einerseits diese mit Proben von den deutschen Zooexemplaren zu vergleichen, andererseits um erstmals die phylogenetische Stellung von *V. s. ziegleri* aufzuzeigen zu können. Mit unserer phylogenetischen Analyse konnten die beschlagnahmten Warane aus dem *Varanus salvator*-Komplex von den Philippinen eindeutig drei Arten zugeordnet werden: *V. marmoratus*, *V. nuchalis* und *V. cumingi*. Für *V. marmoratus* und *V. nuchalis* bildeten unsere Ergebnisse sogar die Basis für den Aufbau erster Erhaltungszuchten dieser Arten in Europa. Dies unterstreicht auch die Bedeutung von Zoos als Institutionen mit Anlagen und Expertise für den Auffang konfiszierter Warane, um diese bis zum Aufbau passender Zuchtgruppen zwischenzuhältern. Im Falle einer genetischen Identifizierung können dann Nachzuchten später sogar für Rückführungen zur Verfügung stehen. Die Vertreter aus dem *Varanus salvator*-Komplex, die aus dem Tierhandel mit Herkunftsangabe Obi stammten, erwiesen sich als Schwesterntaxon zu *V. togianus* und als identisch mit Vertretern aus dem *Varanus salvator*-Komplex, die aus dem Tierhandel mit Herkunftsangabe Halmahera stammten. Demnach ist es wahrscheinlich, dass *V. salvator ziegleri* auch auf der nördlich von Obi gelegenen Insel Halmahera vorkommt, sofern die Tierhandels-Herkunftsangaben verlässlich waren. Die in Zoos gehaltenen Vertreter, die zuvor *V. s. ziegleri* zugeordnet worden sind, stellten sich anhand unserer molekularen Vergleiche einerseits als *V. s. ziegleri*, andererseits als *V. s. macromaculatus* heraus. Was den taxonomischen Status von *V. s. ziegleri* betrifft, so zeigten sich die von uns untersuchten Tiere in der phylogenetischen Analyse als im ND2-Gen zu 3,6 % unterschiedlich vom Schwesterntaxon *V. togianus* und insofern auch als molekular divergent heraus. Die zuletzt im Artstatus geführten *V. cumingi* und *V. samarensis* unterscheiden sich in unserer Phylogenie dagegen durch nur 2,4-2,6 %. Es scheint, dass die Taxonomie innerhalb des *V. salvator*-Komplexes überarbeitungsbedürftig ist und eine kritische Revision angesichts des teils extrem jungen evolutiven Alters zumindest einiger der Taxa erforderlich ist. Es gibt Anzeichen dafür, dass der Artstatus einiger Taxa überbewertet ist und ein Unterartstatus angemessener erscheint. Der hier vorgestellte phylogenetische Baum mit seinen aktualisierten und erweiterten Artidentifizierungen kann als Referenz für Vertreter des *V. salvator*-Komplexes genutzt werden, die keine Herkunftsangaben haben oder nicht eindeutig zu identifizieren sind. Da so nicht nur lebende Individuen für den Aufbau passender Zuchtgruppen, sondern auch beschlagnahmte Häute und daraus hergestellte Produkte identifiziert werden können, stellt unser Referenzstammbaum auch eine bedeutende Amtshilfe für die Artenschutzbehörden und den Zoll dar.

References

- Arida, E. (2017). Genetic divergence and phylogenetic relationships among Indonesian species of monitor lizards of the genus *Varanus* based on cytochrome oxidase I sequences. *Hayati Journal of Biosciences* 24, 41–45.
- Ast, J.C. (2001). Mitochondrial DNA evidence and evolution in Varanoidea (Squamata). *Cladistics* 17(3), 211–226.
- Auliya, M., Altherr, S., Ariano-Sánchez, D., Baard, E.H., Brown, C., Cantu, J.-C., Gentile, G., Gildenhuys, P., Henningheim, E., Hintzmann, J., Kanari, K., Kravac, M., Lettink, M., Lippert, J., Luiselli, L., Nilson, G., Nguyen, T.Q., Nijman, V., Parham, J., Pasachnik, S. A., Pedrono, M., Rauhaus, A., Rueda, D., Sanchez, M.-E., Schepp, U., van Schingen, M., Schneeweiss, N., Segniagbeto, G.H., Shepherd, C., Stoner, S., Somaweera, R., Sy, E., Türkosan, O., Vinke, S., Vinke, T., Vyas, R., Williamson, S. & Ziegler, T. (2016). Trade in live reptiles, its impact on wild populations, and the role of the European market. *Biological Conservation* 204(2016), 103–119.

- Bennett, D. (2015). International Trade in the Blue Tree Monitor Lizard *Varanus macraei*. Biawak 9(2), 50–57.
- Bennett, D., Gaulke, M., Pianka, E.R., Somaweera, R. & Sweet, S.S. (2010). *Varanus salvator*. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.3. <www.iucnredlist.org>. Downloaded on 6 January 2015.
- Brennan, I.G., Lemmon, A.R., Lemmon, E.M., Portik, D.M., Weijola, V., Welton, L., Donnellan, S.C. & Keogh, J.S. (2020). Phylogenomics of monitor lizards and the role of competition in dictating body size disparity. Preprint, available at BioRxiv. doi: <https://doi.org/10.1101/2020.02.02.931188>.
- Ciofi, C. (2004). *Varanus komodoensis*. In: Pianka, R., King, D. (eds) Varanoid Lizards of the World, 197–204. Bloomington & Indianapolis: Indiana University Press.
- Coatés, D.J., Byrne, M. & Moritz, C. (2018). Genetic diversity and conservation units: Dealing with the species–population continuum in the age of genomics. Frontiers in Ecology and Evolution. 2018, 6, 165.
- Crook, V. & Musing, L. (2016). Monitoring Lizards. Part I – Trade data analysis - International trade in monitor lizards (*Varanus* spp.). Final report for BfN funded project. TRAFFIC, UK.
- Dufresnes, C., Nicieza, A.G., Litvinchuk, S.N., Rodrigues, N., Jeffries, D.L., Vences, M., Perrin, N. & Martínez-Solano, I. (2020). Are glacial refugia hotspots of speciation and cyto-nuclear discordances? Answers from the genomic phylogeography of Spanish common frogs. Molecular Ecology 29, 986–1000.
- Freitas, I., Ursenbacher, S., Mebert, K., Zinenko, O., Schweiger, S., Wüster, W., Brito, J. C., Crnobrnja-Isailovic, J., Halpern, B., Fahd, S., Santos, X., Pleguezuelos, J.M., Joger, U., Orlov, N., Mizsei, E., Lourdais, O., Zuffi, M.A.L., Strugariu, A., Remus Zamfirescu, S., Martínez-Solano, I., Velo-Antón, G., Kaliontzopoulou, A. & Martínez-Freiría, F. (2020). Evaluating taxonomic inflation: towards evidence-based species delimitation in Eurasian vipers (Serpentes: Viperinae). Amphibia-Reptilia, advance online publication, <https://doi.org/10.1163/15685381-bja10007>
- Haig, S.M., Beever, E.A., Chambers, S.M., Draheim, H.M., Dugger, B.D., Dunham, S., Elliott-Smith, E., Fontaine, J.B., Kesler, D.C., Knaus, B.J., Lopes, I.F., Loschl, P., Mullins, T.D., Sheffield, L.M. (2006). Taxonomic considerations in listing subspecies under the U.S. Endangered Species Act. Conservation Biology 20(6), 1584–1594.
- Hawlitschek, O., Nagy, Z.T. & Glaw, F. (2012). Island evolution and systematic revision of Comoran snakes: why and when subspecies still make sense. PLoS ONE 7, e42970.
- Hillis, D. M. (2020). The detection and naming of geographic variation within species. Herpetological Review 51, 52–56.
- Koch, A. & Böhme, W. (2010). Heading East: A new subspecies of *Varanus salvator* from Obi Island, Maluku Province, Indonesia, with a discussion about the easternmost natural occurrence of Southeast Asian Water Monitor Lizards. Russian Journal of Herpetology 17(4), 299–309.
- Koch, A., Gaulke, M. & Böhme, W. (2010). Unravelling the underestimated diversity of Philippine water monitor lizards (Squamata: *Varanus salvator* complex), with the description of two new species and a new subspecies. Zootaxa 2446, 1–54
- Koch, A., Ziegler, T., Böhme, W., Arida, E. & Auliya, M. (2013). Pressing problems: Distribution, threats, and conservation status of the monitor lizards (Varanidae: *Varanus* spp.) of Southeast Asia and the Indo-Australian Archipelago. Herpetological Conservation & Biology Vol. 8, Monograph 3, 1–63.
- Kumar, S., Stecher, G. & Tamura, K. (2016). MEGA7: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 7.0 for bigger datasets. Molecular Biology and Evolution, 33 (7), 1870–1874.
- Macey, J.R., Larson, A., Ananjeva, N.B., Fang, Z. & Papenfuss, T.J. (1997). Two novel gene orders and the role of light-strand replication in rearrangement of the vertebrate mitochondrial genome. Molecular Biology and Evolution, 14, 91–104.
- Macey, J.R., Schulte II, J.A., Larson, A., Ananjeva, N.B., Wang, Y., Pethiyagoda, R., Rastegar-Pouyani, N. & Papenfuss, T.J. (2000). Evaluating trans-Tethys migration: an example using acrodont lizard phylogenetics. Systematic Biology, 49, 233–256.
- Miralles, A., MacLeod, A., Rodríguez, A., Ibañez, A., Jiménez-Uzcategui, G., Quezada, G., Vences, M. & Steinfartz, S. (2017). Shedding light on the Imps of Darkness: an integrative taxonomic revision of the Galápagos marine iguanas (genus *Amblyrhynchus*). Zoological Journal of the Linnean Society 181, 678–710.
- Outhwaite, W., Mundy, V., Kecse-Nagy, K. & Crook, V. (2015). Concerns regarding trade in specimens claimed to be derived from captive breeding or ranching – Assessment of select examples. Report commissioned by the CITES Secretariat.
- Schlaepfer, M.A., Hoover, C. & Dodd, C.K. (2005). Challenges in evaluating the impact of the trade in amphibians and reptiles on wild populations. Bioscience 55, 256–264.
- Speybroeck, J., Beukema, W., Dufresnes, C., Fritz, U., Jablonski, D., Lymberakis, P., Martínez-Solano, I., Razetti, E., Vamberger, M., Vences, M., Vörös, J. & Crochet, P.A. (2020). Species list of the European herpetofauna – 2020 update by the Taxonomic Committee of the Societas Europaea Herpetologica. Amphibia-Reptilia, advance online publication, <https://doi.org/10.1163/15685381-bja10010>
- Weijola, V. S. (2010). Geographical distribution and habitat use of monitor lizards of the North Moluccas. Biawak 4(1), 7–23.

- Welton, L.J., Siler, C.D., Oaks, J.R., Diesmos, A.C. & Brown, R.M. (2013a). Multilocus phylogeny and Bayesian estimates of species boundaries reveal hidden evolutionary relationships and cryptic diversity in Southeast Asian monitor lizards. *Molecular Ecology* 22(13), 3495–3510.
- Welton, L.J., Siler, C.D., Linkem, C.W., Diesmos, A.C., Diesmos, M.L., Sy, E. & Brown, R.M. (2013b). Dragons in our midst: Phyloforensics of illegally traded Southeast Asian monitor lizards. *Biological Conservation* 159, 7–15.
- Welton, L.J., Travers, S.L., Siler, C.D. & Brown, R.M. (2014a). Integrative taxonomy and phylogeny-based species delimitation of Philippine water monitor lizards (*Varanus salvator* complex) with descriptions of two new cryptic species. *Zootaxa* 3881(3), 201–227.
- Welton, L.J., Wood, P.L., Oaks, J.R., Siler, C.D. & Brown, R.M. (2014b). Fossil-calibrated phylogeny and historical biogeography of Southeast Asian water monitors (*Varanus salvator* complex). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 74, 29–37.
- Ziegler, S., Giesen, K., van Schingen, M., Rauhaus, A. & Ziegler, T. (2018). Testing the applicability of ^{15}N isotopic marker in skin tissue to distinguish between captive and wild monitor lizards. *Biawak* 12(2), 73–83.
- Ziegler, T., Rauhaus, A. & Gill, I. (2016). A preliminary review of monitor lizards in Zoological Gardens. *Biawak* 10(1), 26–35.
- Zielinski, P., Nadachowska-Brzyska, K., Wielstra, B., Szkołak, R., Covaci-Marcov, S.D., Cogălniceanu, D. & Babik, W. (2014). No evidence for nuclear introgression despite complete mtDNA replacement in the Carpathian newt (*Lissotriton montandoni*). *Molecular Ecology* 22, 1884–1903.

DER ZOOLOGISCHE GARTEN

Zool. Garten N.F. 88 (2020) 51-75

Über Neuguinea-Buschkängurus der Gattungen *Dorcopsis* Schlegel & Müller, 1845 und *Dorcopsulus* Matschie, 1916

On New Guinean marsupials of the genera *Dorcopsis* Schlegel & Müller, 1845 and *Dorcopsulus* Matschie, 1916

Ulrich Schürer

Nümmener Str. 24, 42653 Solingen

Zusammenfassung

Es wurde versucht, die Geschichte der Haltung aller *Dorcopsis*- und *Dorcopsulus*-Arten in zoologischen Einrichtungen zu dokumentieren, unter Auslassung solcher Haltungen, in denen die Arbestimmung nicht nachvollziehbar war. Ebenso wie die Importe von 1964 und 1968, in Wirklichkeit *D. luctuosa*, aber eingeführt als *D. macleayi*, gehören die neuen Importe von 2013 und 2015, die nach Angaben der Importeure *D. hageni* sein sollten, nicht zu dieser Art, sondern meines Erachtens zu *D. muelleri*. Die Angaben in ZIMS wären zu korrigieren.

Einleitung

Buschkängurus der Gattungen *Dorcopsis* und *Dorcopsulus* sind ausschließlich auf der Hauptinsel Neuguinea und den benachbarten Inseln Goodenough, Misool, Japen und Salawati beheimatet. Nach neuester Nomenklatur erkennt man vier Arten der Gattung *Dorcopsis* und zwei der Gattung *Dorcopsulus* an (Groves & Flannery, 1989; Flannery, 1995a/b; Wilson & Reeder, 2005; Menzies, 2011; Wilson & Mittermeier, 2015; Nowak, 2018), allerdings gibt es Hinweise darauf, dass noch weitere Arten identifiziert werden könnten (Eldridge et al., 2019). Von allen anderen Känguru-Arten unterscheiden sich Buschkängurus dadurch, dass sie beim Stehen auf zwei Beinen und beim Stützhoppeln die nackte Schwanzspitze aufsetzen können (Abb. 1). Daran sind sie unschwer zu erkennen, allerdings habe ich

* Autor:

E-Mail: m.u.schuerer@t-online.de (Ulrich Schürer)



Abb. 1: Braunes Buschkänguru *Dorcopsis muelleri*, Zoo Prag 2019. Foto: Petr Hamerník

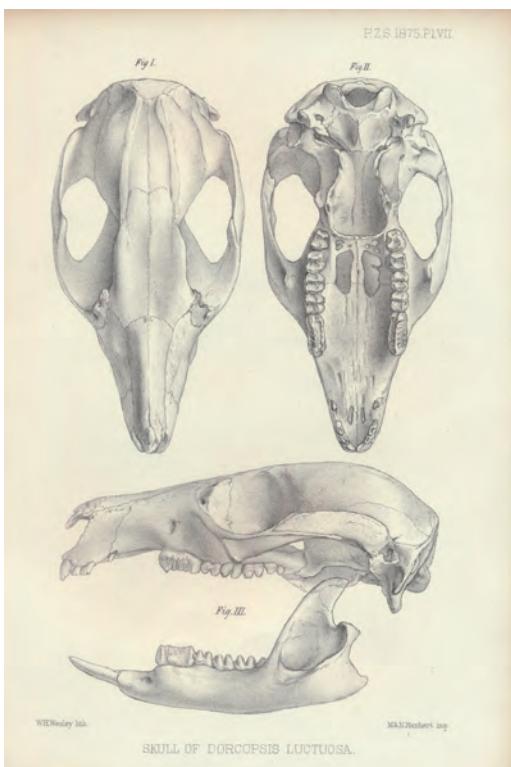


Abb. 2: Schädel des Typus-Exemplars des Grauen Buschkängurus *Dorcopsis luctuosa* aus Garrod (1875, Pl. 7).

Dorcopsis atrata und *Dorcopsulus macleayi* noch nicht lebend beobachten können, andere Autoren, die dies als Merkmal der beiden Gattungen angeben, wohl auch nicht. Kennzeichnend sind auch die sehr langen schneidenden Prämolaren (Abb. 2), die zum Abbeißen von Teilen von heruntergefallenen Früchten oder Blättern dienen, die dazu nach Aufnahme mit dem Mund in den Händen gehalten werden.

Buschkängurus von drei *Dorcopsis* und der beiden *Dorcopsulus*-Arten wurden in zoologischen Gärten gepflegt. Von *D. atrata* liegen keine Haltungserfahrungen vor. Unklare Nomenklatur hat häufig zu falschen Artbestimmungen mit misslichen Folgen geführt (George & Schürer, 1978). Beides soll dieser Beitrag erhellen.

Kurzbeschreibung der Arten

Eine übersichtliche Verbreitungskarte für die vier *Dorcopsis*-Arten findet man bei Groves & Flannery (1989, S. 119), noch genauere mit einzelnen Fundorten auch für *Dorcopsulus* bei Menzies (1991, S. 110). Grundlage der folgenden Beschreibungen sind die Arbeiten von Groves & Flannery (1989), Flannery (1995 a/b), Wilson & Mittermeier (2015), Nowak (2018) und eigenen Beobachtungen und Fotos. Die Abbildungen auf Tafel 36 bei Wilson & Mittermeier (2015) sind sowohl in der Schwanzhaltung als auch in der Fellfärbung nicht immer überzeugend, wertvoll sind aber in diesem Buch die Farbfotos.

Dorcopsis muelleri Schlegel, 1866, Brown Dorcopsis, Western Forest Wallaby, Braunes Buschkänguru: Die Nominatform *D. muelleri muelleri* hat braunes Rückenfell mit einem oder zwei Haarwirbeln oder Scheiteln im Bereich der Schultern und eine weiße oder hellbraune Bauchseite. Die Haare sind an den Wurzeln heller. Manche Individuen haben einen weißen Stirnfleck. *D. mu-*

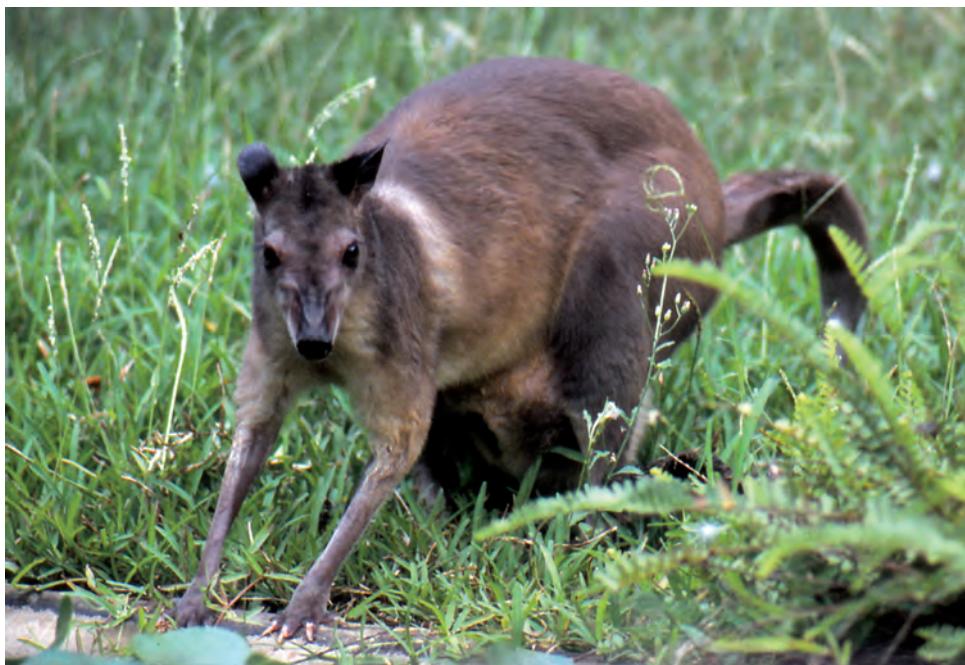


Abb. 3: Braunes Buschkänguru *Dorcopsis muelleri*, Zoo Colombo 1980. Foto: Ulrich Schürer.



Abb. 4: Braunes Buschkänguru *Dorcopsis muelleri lorentzii* (?), Moitake Wildlife Sanctuary Port Moresby 1974. Foto: Ulrich Schürer

elleri kommt in den Tieflandregenwäldern des nordwestlichen West Papua vor und auf den Inseln Japen, Misool und Salawati. Braune Buschkängurus, die vermutlich Angehörige der Nominatform waren, fotografierte ich 1980 im Dehiwala Zoo Colombo, Sri Lanka (Abb. 3).

Die Unterart *D. muelleri lorentzii* Jentink, 1908 ist oberseits dunkelbraun mit bis zur Wurzel dunkel gefärbten Haaren, Unterseite grauweiß bis gelb, im Mundbereich weiß (Jentink, 1908; Groves & Flannery, 1989). Ein 1974 von mir in der staatlichen Forschungsanstalt D.A.S.F. Moitake Wildlife Sanctuary in Port Moresby fotografiertes Exemplar, das aus dem Bereich westlich des Fly River stammen sollte, gehört wahrscheinlich zur Unterart *D. muelleri lorentzii* (Abb. 4). Andere farbige Abbildungen konnte ich bisher in der Literatur nicht finden. Es sind noch zwei weitere Unterarten *D. muelleri mysoliae* Thomas, 1913 und *D. muelleri yapeni* von Groves & Flannery (1989) beschrieben worden und eine weitere von Salawati. Für *D. m. mysoliae* geben Groves & Flannery (1989) „claws light in colour“ an, ebenso für die noch nicht formal beschriebene Unterart aus Salawati.

Dorcopsis luctuosa D'Albertis, 1874, Grey Dorcopsis, Eastern Forest Wallaby, Graues Buschkänguru: Fell kurz und dünn, graues Rückenfell mit V-förmigem Haarscheitel über den Schultern, Bauchseite etwas heller, Oberlippe und manchmal auch Hals und Kehle weiß, einige Individuen mit schmalem hellem Streifen auf der Stirn, nur Schwanzspitze nackt (Abb. 5 und 6). Lebt in Tiefland- Regenwäldern im Südosten Neuguineas unterhalb 400 m. Es wurde noch die wesentlich kleinere Unterart *D. luctuosa phyllis* Groves & Flannery, 1989 beschrieben.

Dorcopsis hageni Heller, 1897, White-striped Dorcopsis, Northern Forest Wallaby, Weißstreifen-Buschkänguru: Fell kurz, Fellfärbung sehr variabel, Oberseite des Körpers grau oder hellbraun bis schwarzbraun, Unterseite grau-weiß. Kennzeichnend ist ein weißer Rücken-

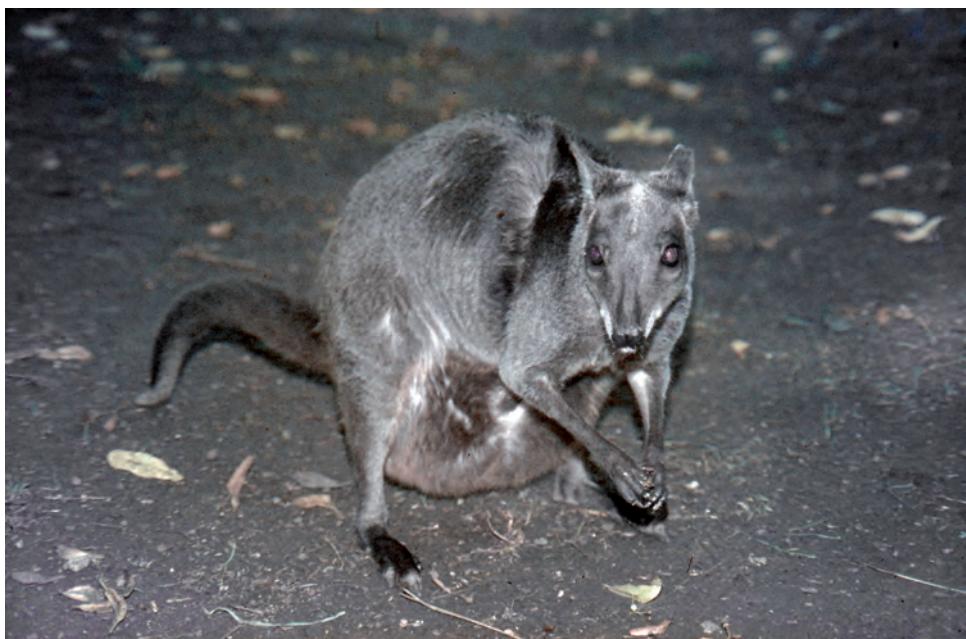


Abb. 5: Graues Buschkänguru, *Dorcopsis luctuosa*, Wilhelma Stuttgart 1972. Foto: Ulrich Schürer



Abb. 6: Graues Buschkänguru *Dorcopsis luctuosa*, V-förmiger Scheitel über den Schultern gut sichtbar, Wilhelma Stuttgart, 1972. Foto: Ulrich Schürer

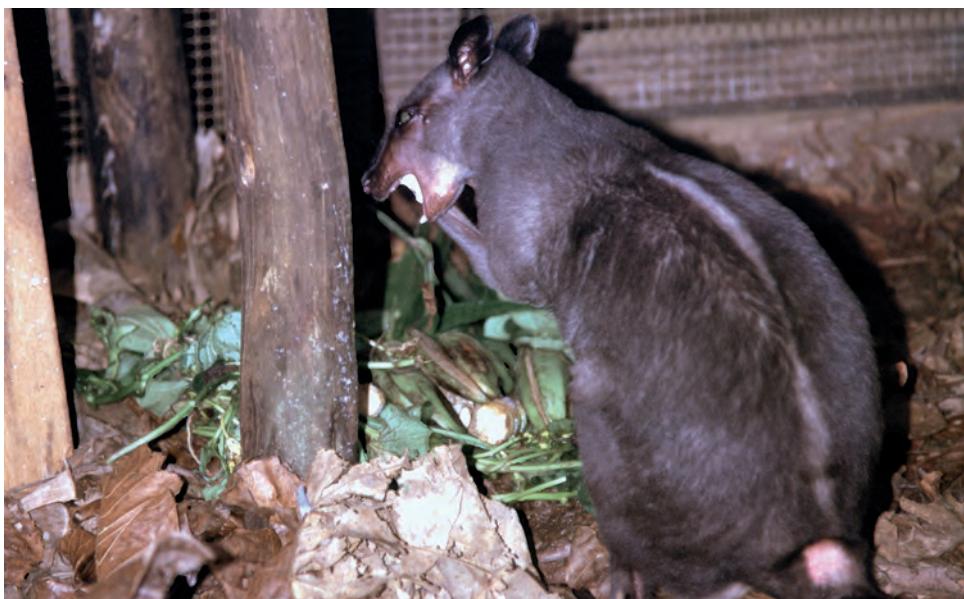


Abb. 7: Weißstreifen-Buschkänguru *Dorcopsis hageni*, Baiyer River 1974. Foto: Ulrich Schürer



Abb. 8: Schädel von *Dorcopsis hageni*, *Dorcopsulus vanheurni* und *Dorcopsis luctuosa*, Größenvergleich. University of Papua New Guinea 1974. Foto: Ulrich Schürer



Abb. 9: Berg-Buschkänguru *Dorcopsulus vanheurni*, Baiyer River Mai 1975. Foto: Graeme George



Abb. 10: Schwanzspitze eines juv. *Dorcopsis luctuosa*, Australian Reptile Park Gosford. Foto: Eric Worrell

streifen in der Längsrichtung des Körpers. Ist sehr dünn behaart, Haarwirbel im Schulterbereich, viele Exemplare haben eine nackte Stelle auf der oberen Schwanzwurzel (Abb. 7). Lebt in Tiefland-Regenwäldern des nordwestlichen Neuguinea, wohl überwiegend in alluvialen Flusstälern.

Dorcopsis atrata van Deusen, 1957, Black Dorcopsis, Goodenough Island Wallaby, Schwarzes oder Goodenough-Buschkänguru: hat schwarzes Rückenfell und eine weiße Bauchseite, ist viel dichter behaart als die anderen *Dorcopsis*-Arten, lebt in den Bergwäldern der Insel Goodenough zwischen 1200 und 1800 m (van Deusen, 1957). Fotos von lebenden Exemplaren sind mir nicht bekannt, solche von frisch erlegten mit deutlich sichtbaren weißen Pfoten gibt es bei Flannery (1995b, 2011).

Dorcopsulus vanheurni Thomas, 1922, Small Dorcopsis, Kleines Buschkänguru, Berg-Buschkänguru: Schon der Schädel zeigt die wesentlich geringere Größe im Vergleich zu den *Dorcopsis*-Arten (Abb. 8). Das Fell ist dunkel graubraun, an Brust und Kehle heller (Abb. 9) und viel dichter als bei *D. luctuosa* und *D. hageni*. Der Schwanz ist nach Flannery (1995a) bis zur Hälfte unbehaart, allerdings trifft das beim dort abgebildeten toten Exemplar nicht ganz zu. Bei den genannten *Dorcopsis*-Arten ist nur die Schwanzspitze unbehaart (Abb. 10). Der Lebensraum sind die Regenwälder der zentralen Gebirgskette Neuguineas in Höhenlagen zwischen 800 und 3100 m.

Dorcopsulus macleayi Miklouho-Macleay, 1885, Macleay's Dorcopsis, Macleay- oder Papua-Buschkänguru: Die bisher einzige mir bekannte farbige Abbildung eines freilebenden *D. macleayi* mit genauem Fundort findet man auf S. 317 bei Nowak (2018). Es zeigt auch die aufgesetzte Schwanzspitze. *D. macleayi* hat dunkelbraunes Fell mit einer etwas helleren Bauchseite. Etwa das letzte Drittel bis Viertel des Schwanzes ist unbehaart (Flannery, 1995a). Das Verbreitungsgebiet liegt im östlichsten Teil von Papua-Neuguinea in Bergregenwäldern mit Höhenlagen zwischen 1000 und 1800 m. Abbildung 11 zeigt ein vermutliches Macleay-Buschkänguru aus dem Australian Reptile Park Gosford, dessen Schwanz etwa im letzten Drittel unbehaart ist. Das Foto stammt aus dem dortigen ehemaligen Archiv.



Abb. 11: Vermutliches Macleay-Buschkänguru *Dorcopsulus macleayi*, erwachsen, etwa letztes Schwanzdrittel unbehaart. Australian Reptile Park Gosford. Foto: Eric Worrell

Buschkängurus in Zoologischen Gärten

Als wohl erstes gelangte ein weibliches, als Grey New Guinea Wallaby benanntes und mit dem wissenschaftlichen Namen *Dorcopsis luctuosa* belegtes Buschkänguru am 17.4.1874 in den Zoo London. Es war das von D'Albertis 1874 beschriebene Typusexemplar (D'Albertis, 1874; Garrod, 1875; Flower, 1929). Ein Matrose des Schiffs „H.M.S. Basilisk“, das die Südostküste Neuguineas bereiste, hatte diese Tier dort erworben und lebend nach Sydney gebracht. Dort kaufte es Herr L. M. D'Albertis. Er brachte es lebend nach London und schenkte es der Zoological Society. Es ist leider schon am 24.11.1874 gestorben „with congested lungs, after a severe frost, the first of the commencing winter“ (Garrod, 1875). Das dünne Fell hätte einen Hinweis auf Kälteempfindlichkeit geben können. Garrod (1875), der Prosektor der Zoological Society of London, beschrieb das verstorbene Tier exakt, auch mit einer Tafel von Schädelansichten (Abb. 2). Erstaunlich ist, dass dieses Tier zwei lange Reisen an Bord von Schiffen lebend überstanden hat. Diese Art ist auch die von 1964 bis 2006 am häufigsten in Zoologischen Gärten gehaltene.

D. luctuosa gelangte Ende November 1964 in einer größeren Gruppe nach Australien in den Australian Reptile Park Gosford. Sie wurden von Peter Krauss auf dem Frachtschiff „M. V. Bulo-



Abb. 12: Zum Verkauf angebotene Teile von Grauen Buschkängurus, Koki-Market, Port Moresby August 1979. Foto: Ulrich Schürer

lo“ von Port Moresby nach Sydney und weiter nach Gosford gebracht. Die sechs *D. luctuosa* waren in drei Kisten verpackt, die weiche Decken hatten. Das steht in einem Schreiben vom 16.11.1964, das Peter Krauss an Lothar Urban geschickt hat und das mir in Kopie vorliegt. Außerdem waren in diesem Transport ein kleines weibliches Buschkänguru, wahrscheinlich *D. macleayi* und mehrere Baumkängurus (Schürer, 2019, nach pers. Mitt. von Peter Krauss). Sie stammten von der privaten Tierhalterin Christine Sheedy in Port Moresby, die sie aus der näheren Umgebung dieser Stadt erhalten hatte. Die *D. luctuosa* kamen in benachbarten Regenwaldgebieten, z.B. am Brown River, vor und waren eine beliebte Jagdbeute der einheimischen Bevölkerung. Auf dem Koki Market in Port Moresby wurde ihr Fleisch in leicht angeräuchertem Zustand zum Kauf angeboten, wie ich 1979 selbst gesehen habe (Abb. 12). Das haben auch James Menzies (1991) als ständig und Brett Smith (pers. Mitt. 1.10.2019) als heute weniger häufig vorkommend beschrieben.

In Gosford vermehrten sich die *D. luctuosa* gut. 1970 wurden vier und 1971 sogar acht Nachzuchten im Bulletin of Zoo Management der Australischen Zoogesellschaft (später ARAZPA) gemeldet. Von den aus Papua-Neuguinea importierten Tieren wurde am 1.5.1968 ein Paar an den Zoo Melbourne abgegeben. In ZIMS (Zoological Information Management System) sind diese und alle in Melbourne nachgezogenen *D. luctuosa* registriert. Leider ging die Gruppe in Gosford durch eingedrungene wildernde Hunde fast völlig verloren. Von zwölf Tieren wurden zehn getötet und nur ein Paar überlebte, wie im Bulletin of Zoo Management Vol. 3 Nr. 4 vom Dezember 1971 berichtet wurde (Anonymus, 1971). Der Bitte aus dem Australian Reptile Park um ein weiteres Weibchen kam ein anderer nicht genannter australischer Zoo 1972 nach. Die damaligen Bestände in Australien kann man ZIMS und auch den Listen im International Zoo Yearbook entnehmen, in Letzterem allerdings unter verschiedenen Artbezeichnungen. ZIMS dokumentiert, dass eine sehr große Zahl nachgezüchteter *D. luctuosa* vom Zoo Melbourne und seinem Außen-Zoo Healesville Sanctuary an die Zoos von Perth und Sydney und an das Currumbin Wildlife Sanctuary in Queensland abgegeben worden sind.

Während meiner Tätigkeit als Tierpfleger im Zoo Adelaide im Jahr 1971 hatte ich die Gelegenheit, die dortigen *D. luctuosa* zu betreuen und zu fotografieren. Ihre Herkunft ist in ZIMS nicht dokumentiert. Vermutlich stammten sie auch aus dem Australian Reptile Park Gosford. Das Bulletin of Zoo Management meldete für die Jahre 1970, 1971 und 1972 jeweils zwei Geburten in Adelaide. Später gab es auch Austausch zwischen Melbourne, Healesville und Adelaide. Koordiniert wurden die Zuchtbemühungen vom damaligen Leiter des Healesville Sanctuary, Graeme George, der zuvor das Baiyer River Sanctuary in Papua-Neuguinea geleitet hatte und der damals der größte Kenner der Gattungen *Dorcopsis* und *Dorcopsulus* gewesen ist, später von Brett Smith (pers. Mitt. am 1.10.2019). Dazu wurde von ihm auch ein regionales Zuchtbuch geführt, das die Bestände von *D. luctuosa* in den australischen Zoos am 31.12.1985 wie folgt ausweist: Adelaide 2,4 (die Zahl vor dem Komma bezeichnet die Anzahl der Männchen, die hinter dem Komma die Anzahl der Weibchen), Healesville 5,3, Melbourne 6,6, Sydney 2,0, Perth 2,2. Currumbin erhielt ein Paar am 21.1.1986 und 7.4.1987 aus Healesville. Aus diesem Paar ging wiederum eine große Zahl von Nachkommen hervor (ZIMS). Aus den Eintragungen von Currumbin ergibt sich, dass Weibchen schon mit etwa einem Jahr geschlechtsreif sein können. Ein am 12.6.1987 dort geborenes Weibchen brachte am 24.7.1988 ein weibliches Jungtier zur Welt, das war im Alter von 12 Monaten und 12 Tagen. Hierbei sind natürlich die Unsicherheiten, wann ein Jungtier zum ersten Mal gesehen und gemeldet wird, zu berücksichtigen, und auch die nicht sicher bekannte Tragzeit. Die Aussage, Weibchen können mit einem Jahr geschlechtsreif sein, ist vertretbar.

Weibchen können zwei Jungtiere nacheinander innerhalb eines Jahres aufziehen. Der geringste Abstand zwischen zwei Geburtsmeldungen war 6 ½ Monate, zwei weiter hatten Abstände von sieben Monaten. Das erklärt das sehr schnelle Anwachsen einiger Zoobestände und ein hohes Vermehrungspotenzial.

Das Zuchtgeschehen und letztlich das Erlöschen des Bestandes in Australien zog sich über viele Jahre hin. Mit dem Tod der letzten Exemplare endete die Haltung im Currumbin Wildlife Sanctuary erst am 3.8.2006, im Taronga Zoo Sydney am 18.2.1998, im Zoo Adelaide am 29.8.1997, im Zoo Melbourne am 20.5.1997, im Zoo Perth am 26.2.1996 und im Healesville Sanctuary am 10.8.1992 (alle Daten aus ZIMS).

Systematische Untersuchungen zur Fortpflanzungsbiologie von *D. luctuosa* hat es in den australischen Zoos nach meiner Kenntnis nicht gegeben. Wichtig ist aber eine Bewertung des Zuchtgeschehens im Zoo Melbourne von Ditar Uka (1980). Er beschreibt witterungsbedingte Probleme bei der Haltung in den Wintermonaten. Diese beruhen darauf, dass *D. luctuosa* sich in Melbourne ganzjährig fortpflanzen, die Beuteljungen in der Entwicklungsphase, in der sie den mütterlichen Beutel verlassen und wieder dorthin zurückkehren, kürzer sei als bei anderen Kängurus und sie deshalb bei kalter Witterung besonders anfällig seien. Die Überlebensrate war beim ohnehin kräftigeren männlichen Nachwuchs besser als beim weiblichen, was zu einem Überwiegen von Männchen im Bestand geführt habe. Die Schwäche vieler Jungtiere, die im Zoo Melbourne geboren wurden, könnte seiner Meinung nach eine Folge von Inzuchtdepression gewesen sein, denn alle Nachzuchttiere des Zoo Melbourne, bis zu seiner Veröffentlichung im Jahr 1980, stammten nur von einem einzigen Importpaar ab (Uka, 1980).

Einige Daten zur Fortpflanzungsbiologie lieferte James Menzies (1989), der eine kleine Gruppe von *D. luctuosa* an der University of Papua New Guinea in Port Moresby zu Forschungszwecken hielt. Dort, im natürlichen Verbreitungsgebiet, pflanzten sie sich ganzjährig fort. Post partum Östrus und Keimruhe wurden festgestellt. Jungtiere wurden 180 bis 190 Tage im Beutel getragen. Seine Angabe, Weibchen würden erst mit 15 Monaten fortpflanzungsfähig, wird durch Daten aus Currumbin in ZIMS korrigiert (siehe oben). Menzies (1989) bemerkte eine hohe Toleranz der Individuen untereinander bei der Haltung in seinem Gehege.

Der Zoo Adelaide hat in ZIMS exakte Gewichte für beide Geschlechter dort gepflegerter *D. luctuosa* angegeben. Dort wogen ein 6-jähriges Männchen 10,2 kg, zwei 5- und 5 ½-jährige Männchen 11,5 und 10,5 kg, ein 2 ½-jähriges 10 kg. Ein 3-jähriges Weibchen im Zoo Adelaide wog 5,5 kg und ein 4-jähriges im Zoo Melbourne 6,2 kg. Man kann daraus erkennen, dass die Höchstgewichte der Männchen etwa doppelt so hoch sind wie die der Weibchen.

In ZIMS findet man auch exakte Daten über Höchstalter. Die Männchen mit dem höchsten Lebensalter wurden in Healesville 13 Jahre, 11 Monate und 3 Tage, in Melbourne 12 Jahre und 16 Tage, in Currumbin 11 Jahre und 13 Tage und in Sydney 11 Jahre. Die ältesten Weibchen wurden in Healesville 12 Jahre, 2 Monate und 29 Tage, in Currumbin 11 Jahre, 9 Monate und 3 Tage, ein zweites 11 Jahre, 3 Monate und 1 Tag. Das Erreichen eines Alters von mehr als zehn Jahren ist allerdings die Ausnahme.

***Dorcopsis luctuosa* in europäischen Zoos außer London und neueste Haltung in Papua-Neuguinea**

Das Vivarium Darmstadt hat 1968 aus Papua-Neuguinea eine Gruppe von *D. luctuosa* erhalten, die angeblich die erste gewesen sein soll, die einen Zoo in Europa erreicht hat (Koch-Isenburg, 1970). Der Autor hat selbst Neuguinea bereist und von dort Tiere mitgebracht (Heinz Ackermann, pers. Mitt. Juni 1975). Er erwähnt das aber auch nicht in einem zweiten Beitrag, in dem er sie „Macleay-Buschkänguru oder Antilopengesicht *Dorcopsis macleayi*“ nennt (Koch-Isenburg, 1971). Das genaue Ankunftsdatum in Darmstadt ist leider nicht überliefert, ebenso wenig die genaue Anzahl (Frank Velte, pers. Mitt. 2019), es wird aber nicht weit vom Datum der Ankunft weiterer *Dorcopsis* in der Wilhelma Stuttgart gewesen sein (s. auch Schappert, 1985), denn Ludwig Koch-Isenburg und Peter Krauss sind sich in Port Moresby begegnet. Koch-Isenburg hat junge *D. luctuosa* von Kraus erhalten, der diese in Dörfern in der Nähe von Port Mo-

resby von den Einheimischen gekauft hat. Es handelte sich um aufgepäppelte Jungtiere, die bei ihren Jagdzügen übriggeblieben waren (Peter Krauss pers. Mitt. 7.8.2019).

In Darmstadt hat die Gruppe gut gezüchtet. Für das Jahr 1970 ist im International Zoo Yearbook 12 ein Bestand von 3,3 mit 2,1 Jungtieren verzeichnet, allerdings unter dem Namen *Dorcopsulus macleayi*. Im Jahr 1975 waren es nach International Zoo Yearbook 16 schon 4,6 und vier unbestimmten Geschlechts. Als letzte Bestandsmeldung aus Darmstadt sind im International Zoo Yearbook 28 für 1987 noch 2,6 angegeben. Danach fehlen Bestands- und Nachzuchtmeldungen. In den „Vivarium Darmstadt Informationen“ von 1975 bis 1983 wurden die Daten von 14 Jungtieren wohl mit dem Datum ihrer erstmaligen Registrierung gemeldet. Davon lagen elf in den Monaten Januar bis Juni, eine im September und zwei im November. Angaben über die Weitergabe von Nachzuchten an die Zoos Berlin und Bremerhaven, den Kölner Zoo sowie an das Zoologische Institut der Universität Heidelberg verdanke ich Frank Velte (s. unten).

Ilona Schappert hat die Grauen Buschkängurus in Darmstadt, in der Wilhelma Stuttgart und im Zoologischen Institut der Universität Heidelberg intensiv für ihre Diplomarbeit beobachtet und vor allem über das Sozialverhalten publiziert (Schappert, 1984, 1985). Ich habe *D. luctuosa* für meine vergleichenden Untersuchungen am Ruheverhalten von Kängurus vom 5.6. bis 12.6.1975 in Darmstadt beobachtet (Schürer, 1978). In einer Arbeit über wiederäuähnliches Verhalten habe ich das bei Kängurus weitverbreitete Phänomen auch für diese Art an 1,4 Adulten in Darmstadt eingehend beschrieben (Schürer, 1980). Außerdem lieferte ich zwei kleine Beiträge für die Hauszeitschrift des Vivariums (Schürer, 1975, 1979). In diesen Arbeiten wurden die Grauen Buschkängurus *Dorcopsis muelleri* genannt, später nach der Veröffentlichung von George & Schürer (1978) *Dorcopsis muelleri luctuosa* und nach der Revision der Gattung durch Groves & Flannery (1989) *Dorcopsis luctuosa*.

Auch die Wilhelma Stuttgart hat 1968 Graue Buschkängurus aus Neuguinea importiert, die in der Tierkartei als *Dorcopsis macleayi* verzeichnet wurden. Der Lieferant war der oben schon genannte Peter Krauss, der als Tierpfleger in der Wilhelma gelernt hatte und nach Australien ausgewandert war, im Australian Reptile Park Gosford als Kurator angestellt war und mehrere Tiertransporte, 1964 mit den *D. luctuosa*, für diesen und andere Zoos organisiert und persönlich begleitet hat. Am 4.5.1968 sind 2,2 in der Wilhelma eingetroffen und am 27.6.1969 nochmals 1,3 mit einem Beuteljungen, das allerdings nur zwei Tage überlebt hat. Sie stammten alle aus der näheren Umgebung von Port Moresby in Papua-Neuguinea (Peter Krauss, pers. Mitt.).

In der Wilhelma wurden sie anfänglich, wohl nach Angaben von Peter Krauss, als *Dorcopsis macleayi* geführt. Es stellte sich aber später heraus, dass es sich um *Dorcopsis muelleri luctuosa*, heute *D. luctuosa*, gehandelt hat. Nach der Veröffentlichung von George & Schürer (1978) wurde die Fehlbestimmung in der Wilhelma von Dr. Anton Brotzler korrigiert und von nun an als *D. muelleri* bezeichnet, ganz eindeutig waren es die, die heute als *D. luctuosa* bezeichnet werden.

Die Gruppe in der Wilhelma brachte reichlich Nachwuchs (Abb. 13), wenn auch nicht alle Jungtiere aufwuchsen. Sie bestand nach Zusammenführung beider Importe (nach Feststellung des ersten von drei Jungtieren am 15.1.1970) am 31.12.1970 aus zwölf Tieren (3,5 Adulter, 1,0 subadult, 0,1 Jungtier und zwei Beuteljunge), am 31.12.1971 und 31.12.1972 jeweils aus zehn Individuen, nachdem am 14.7.1971 1,2 an den Münchener Tierpark Hellabrunn und am 27.10.1972 1,0 an Herrn Fischer, Erlebnispark Tripsdrill, und am 22.11.1972 2,0 an den Zoo von Tunis abgegeben worden waren. Am 31.12.1972 bestand die Gruppe aus 3,4 Adulter plus drei Beuteljungen und am 31.12.1973 aus 4,7 Adulter, darunter 1,1 von 1973 und drei oder vier Beuteljungen. Am 26.3.1973 hatte der Erlebnispark Tripsdrill ein erwachsenes Männchen bekommen. Am 31.12.1974 war die Gruppe auf 7,7 angewachsen, nachdem am 26.12.1974 2,1 an die Firma Ruhe in Gelsenkirchen abgegeben worden waren. Ein Männchen mit fehlender Schwanzspitze wurde am 28.7.1975 an Herrn Schubert weitergegeben. Am 19.5.1975 sind 1,1



Abb. 13: Zuchtgruppe von Grauen Buschkängurus *Dorcopsis luctuosa* in der Wilhelma Stuttgart 1972. Foto: Ulrich Schürer

Adulte und 1,1 Subadulte an den Blijdorp Zoo Rotterdam abgegeben worden. Der Bestand am 31.12.1975 wurde mit 15 plus Nachwuchs gemeldet, am 6.4.1976 waren es 7,10 Adulte und fünf kleine Beuteljunge. Beim Einbringen in das Winterquartier am 12.11.1976 wurden 4,13 Adulte und vier bis fünf kleine Beuteljunge gezählt. Am 22.2.1977 hat die Firma Ruhe 2,2 erhalten. Nach Abgabe von 1,1 an das Nordsee- Aquarium und Tiergrotten Bremerhaven am 14.11.1977 bestand die Gruppe beim Einstellen ins Winterquartier am gleichen oder folgenden Tag 1977 aus 3,13 plus fünf Beuteljungen. Am 24.4.1978, wohl beim Ausbringen in die Freianlage, waren es 6,13 und neun Beuteljunge, am 8.11.1978 10,14 und drei Beuteljunge. In den Jahren 1977 und 1978 gab es sehr viele Jungtierverluste, manche Jungtiere waren angefressen, wohl eine Folge zu dichten Besatzes. Am 10.4.1979 zählte die Gruppe 10,14 und sechs Beuteljunge, am 12.11. 1979 11,17 und sechs Beuteljunge. Am 21.5.1979 haben das Zoologische Institut der Universität Heidelberg ein erwachsenes Männchen und am 27.11.1979 der Zoo Berlin ein Männchen erhalten. Am 20.5.1980 bestand die Gruppe aus 39 Individuen einschließlich der Beuteljungen, am 22.10.1980 waren es nach erheblichen Verlusten nur noch 9,13. In das Außengehege gelangten am 26.3.1981 nur noch 14 Tiere, dennoch wurden am 15.7.1981 4,4, plus ein Jungtier unbestimmten Geschlechts an die Firma Van den Brink abgegeben. Am 31.12.1981 war die Gruppe wieder auf 3,10 angewachsen. Im Jahr 1982 gab es etliche Verluste, aber auch wieder Nachzuchten, so dass sich der Bestand am 31.12.1982 auf 6,7 belief. 1983 häuften sich die Verluste und am Jahresende war der Bestand nur noch 2,3, am Jahresende 1984 nur noch 1,1. Im Mai 1985 gab es noch eine weibliche, Nachzucht, nachdem am 13.1.1985 das letzte Männchen gestorben war. Die verbliebenen letzten zwei Weibchen wurden am 3.6.1986 an das Vivarium Darmstadt abgegeben, wo sie schon am vierten Tag nach der Ankunft verstorben sind.

Im Münchner Tierpark Hellabrunn haben die 1,2, die am 15.7.1971 aus der Wilhelma angekommen sind, ebenfalls gezüchtet. Leider ist diese Gruppe aber mit dem Tod des Männchens

am 30.7.1974 erloschen. Sie wurden gemeinsam mit Emus (*Dromaius novaehollandiae*) untergebracht, was zumindest einmal zu einem gravierenden Problem geführt hat (Beatrix Köhler, pers. Mitt.).

Im Ruhr Zoo Gelsenkirchen wurde am 7.7.1980 ein erstes Jungtier gemeldet (Köser, 1981), damals noch *D. muelleri* genannt. Die Gruppe, die ich dort auch selbst gesehen habe, stammte aus der Wilhelma und war nach heutiger Nomenklatur *D. luctuosa*. Wann und wie sie erloschen ist, ist mir nicht bekannt.

Der Kölner Zoo hat am 24.8.1972 ein Paar *Dorcopsis luctuosa* aus dem Vivarium Darmstadt erhalten. Am 8.11.1975 wurde ein männliches Jungtier gemeldet. Die Mutter ist am 29.1.1976 gestorben und die verbliebenen beiden Männchen wurden am 20.3.1977 an die Tierhandlung Raak abgegeben (Ralf Becker, Mitt. vom 21.1.2020).

Der Zoo Berlin hat am 12.6.1972 ein Paar *D. luctuosa* aus dem Vivarium Darmstadt erhalten und am 8.8.1975 weitere 1,2 in Darmstadt geborene auf dem Umweg über die Tierhandlung Schulz in Moers (Mitteilung von Heiner Klös an Frank Velte). Am 22.11.1979 erhielt der Zoo Berlin dann noch ein Männchen aus der Wilhelma. In seiner Dissertation beschrieb Dr. Bernhard Blaszkiewitz (1987) das Zuchtgescchehen in der Berliner Gruppe wie folgt: 1972-1978 wurden zehn Buschkängurus geboren, von denen 60 % aufgezogen werden konnten. Die zehn Geburten erstreckten sich über zehn Monate des Jahres. Für zwei Nachzuchttiere konnte das Erstzuchalter mit einem Jahr und fünf Monaten festgestellt werden. Die längste Haltungsdauer wurde für ein Nachzuchtkänguru verbucht, das im Alter von sieben Jahren starb. Die bei 40 % liegende Jungtiersterblichkeit sowie mehrmalige Adult-Verluste bedingen die relativ hohe Gesamt mortalität von 68 %.

In den letzten Jahren wurde *D. luctuosa* im Port Moresby Nature Park gehalten. Dort sah Dr. Wolfgang Dressen (pers. Mitt. 17.8.2019) im April 2016 mehrere Exemplare in Gemeinschaftshaltung mit Flinken Kängurus, *Macropus agilis*. Am 1.10.2019 bestätigte Brett Smith (pers. Mitt.), dass dort gelegentlich kleine Jungtiere eingeliefert werden, die im Park aufgezogen werden. Die Zucht gelingt regelmäßig, wird aber durch Absonderung der Männchen gelegentlich gebremst, um Überpopulation im Gehege zu vermeiden.

***Dorcopsis muelleri* in Zoologischen Gärten**

Für *D. muelleri* sind frühe Haltungsnachweise am ehesten aus den niederländischen Zoologischen Gärten zu erwarten, weil sie im ehemals niederländisch verwalteten Teil von Neuguinea vorkommen. Im „*Het Artisboek*“ von Portielje & Abramsz (1922) gibt es in Band 2 auf S. 162 ein Foto eines im Sitzen fressenden Braunen Buschkängurus aus dem Artis-Zoo Amsterdam. Es ist wahrscheinlich, dass es in den Niederlanden frühere Ankünfte gegeben hat.

Einen deutlich früheren Nachweis gibt es aus dem Zoo London. Ein als *Dorcopsis rufolateralis* W. & N. C. Rothschild, 1898 bezeichnetes Buschkänguru gelangte am 1.11.1898 in den Zoo London als „deposited“ und aus den „northern districts of New Guinea“ stammend (Flower, 1929). Es war das Typusexemplar eines später als Synonym von *D. muelleri* erkannten Braunen Buschkängurus (Groves & Flannery, 1989).

Ein Foto (Abb. 14) eines *D. muelleri* von Lothar Schlawe aus dem Jahr 1970 belegt das Vorhandensein dieser Art im Bestand des Zoo London auch zu späterer Zeit und die korrekte Bestimmung im Census of Rare Mammals im Internat. Zoo Yearbook 7, in dem 0,1 für 1965 angegeben wurde.

Selbst habe ich im März 1980 im Dehiwala Zoo Colombo in Sri Lanka ein weibliches *D. muelleri* mit einem großen Beuteljungen fotografiert (Abb. 15). Wie groß die Gruppe war, ist mir nicht in Erinnerung geblieben. In den Listen der International Zoo Yearbook für die Jahre 1978 bis 1984 sind sie nicht verzeichnet.



Abb. 14: Braunes Buschkänguru *Dorcopsis muelleri* 1970 im Zoo London. Foto: Lothar Schlawe



Abb. 15: Braunes Buschkänguru *Dorcopsis muelleri* 1980 im Dehiwala Zoo, Colombo. Foto: Ulrich Schürer

Marvin Jones (1963) gibt unter *Dorcopsis veterum*, das ein nomen nudum ist (bei ihm aber mit Zusatz „mulleri“), die Haltung im Zoo London im Jahr 1904, im Bronx Zoo New York vom 12.4.1942 bis 2.3.1946 und im Zoo Berlin im Jahr 1940 an. Im Zooführer von 1940 nennt Lutz Heck (1940) ein „selten im Tierhandel erscheinendes Aru-Känguru“, das besonders durch die eigenartig spitze Form seines Kopfes auffällt“, ein typisches *Dorcopsis*-Merkmal. Auch die Identität der Anderen ist nicht sicher. Über die *Dorcopsis* im Bronx Zoo schrieb Crandall (1964), „smallest are the charming and gentle gray wallabies (*Dorcopsis*), of New Guinea, barely exceeding two feet in total length“. Er nennt aber keinen Artnamen. Ich habe in der Literatur keine Nachweise gefunden, die Rückschlüsse auf die Art gestattet hätten. Dolan (1998) gibt für den Zoo San Diego 1,0 Brown *Dorcopsis* Wallaby mit dem Artnamen *Dorcopsis veterum* an, das vom 30.11.1969 bis 4.5.1972 dort gelebt hat und vom Händler David Mohilef stammte. Dieser Händler lieferte am 1.12.1969 ein weiteres Männchen an den Zoo Los Angeles. Es lebte dort bis zum 31.1.1975 (ZIMS). Die Angabe bei Jones (1963) für den Zoo Wuppertal im Jahr 1951 bezieht sich, durch Fotos und die Wuppertaler Tierkartei nachweisbar, eindeutig auf *Thylogale brunii*.

Der Phoenix Zoo in Arizona hat nach ZIMS am 1.1.1961 ein weibliches *D. muelleri* erhalten, das am 4.5.1975 im Alter von 13 Jahren, 4 Monaten und 3 Tagen gestorben ist. Es hat dort Geburten gegeben, die am 4.1.1973, 8.10.1974 und 3.11.1974 gemeldet wurden. Offenbar existierte eine größere Zuchtgruppe, die in ZIMS nicht vollständig dokumentiert ist, wohl aber in den Internat. Zoo Yearbook-Bänden 11-14. Für 1969 wird dort ein Bestand von 15 Tieren mit vier Nachzuchten angegeben, für 1970 von 4,5 mit 3,1 Nachzuchten, für 1971 von neun Tieren mit drei Nachzuchten. Die Gruppe ist durch Verkauf an den Tierhandel 1975 erloschen. Leider liegt kein Bildmaterial vor, anhand dessen die richtige Bestimmung als *D. muelleri* bestätigt werden könnte. Von den im Phoenix Zoo geborenen Jungtieren hat der Como Park Zoo in St. Paul, Minnesota, am 25.8.1975 ein Paar erhalten, das am 16.11.1975 auch noch eine Nachzucht brachte, die nicht lange überlebt hat. Auch das Paar lebte nur bis zum 24.12.1975 bzw. 1.1.1976 (ZIMS).

Im Gladys Porter Zoo Brownsville, Texas, lebten laut ZIMS dort als *Dorcopsis muelleri veterum* bezeichnete Braune Buschkängurus von 24.7.1971 bis 7.1.1974. Insgesamt waren es 6,6, davon waren 2,1 dort geboren. Die meisten starben sehr früh, nur ein Weibchen erreichte ein Alter von vier Jahren und sieben Monaten.

Der Zoo Prag erhielt am 12.10.2010 und 21.1.2011 1,1 *D. muelleri* vom Tierhändler Antonin Hnizdil. Das Männchen ist am 2.12.2012 und das Weibchen am 16.1.2015 verstorben (Pavel Brandl, pers. Mitt. vom 22.10.2019). Fotos dieser Tiere von Klaus Rudloff und Petr Hamerník zeigen, dass das Rückenfell dunkelbraun war und dass sich über der Schulter ein Haarwirbel befand.

Neue Importe von *Dorcopsis* spp. hat es ab 18.12.2013 in den Zoo Prag und am 20.8.2015 in den Zoo in Best (Niederlande) gegeben. Alle diese Tiere werden bislang in ZIMS als *D. hageni* geführt, allerdings sind sie keine *D. hageni* (Abb. 16). Angekommen sind in Best 1,2 von Todd Dalton, von denen am 30.12.2017 eine männliche und eine weibliche Nachzucht an ZIMS gemeldet wurden. Es hat noch etliche weitere Nachzuchten gegeben, von denen ein Männchen am 10.11.2017 an den Zoo Prag und ein Paar an Todd Dalton abgegeben wurden. Fotos der Buschkängurus in Best von Chris Brack, Klaus Rudloff und Fabian Schmidt haben mich und Ilona Schappert veranlasst, die dortige Gruppe am 2.10.2019 selbst in Augenschein zu nehmen. Der Besitzer des Best Zoo, Herr Jos Nooren, gestattete uns dankenswerter Weise sogar den Zugang in eine große, auch noch mit einem Paar Papua-Hornvögeln (*Aceros plicatus*) besetzte Anlage, in der der ausgewachsene Zuchtmann mit drei Weibchen lebte. Zwei weitere Männchen mussten vorher wegen kämpferischen Auseinandersetzungen aus der Gruppe entfernt werden. Alle 1,3 hatten keine Spur von einem Rückenstreifen im dunkelgraubraunen Fell des Rückens, deutliche Haarscheitel im Schulterbereich, eine helle Unterseite, eine nackte helle Schwanzspitze und nicht oder nur schwach pigmentierte Stellen



Abb. 16: Braunes Buschkänguru *Dorcopsis muelleri* im Best Zoo Niederlande am 21.4.2018.
Foto: Klaus Rudloff



Abb. 17: Braunes Buschkänguru *Dorcopsis muelleri*, Weibchen mit unpigmentierten Fingern und Krallen, Best Zoo 21.4.2018. Foto Klaus Rudloff



Abb. 18: Braunes Buschkänguru *Dorcopsis muelleri*, Weibchen mit Beuteljungen mit unpigmentierten Fingern und Krallen, Best Zoo 21.4.2018. Foto: Klaus Rudloff

im Bereich der Hände, beim Zuchtmännchen auch an den Innenseiten der Unterarme (Abb. 17 und 18). Bei mehreren Tieren waren die Krallen hell ohne Pigment. Alle Tiere hatten einen nackten Bereich an der oberen Schwanzwurzel, auf dem sie mit nach vorne gerichtetem Schwanz zu sitzen pflegen. Lediglich nicht pigmentierte Stellen an Händen und Unterarmen und die nackte obere Schwanzwurzel fehlen in der allgemeinen Beschreibung von *D. muelleri* bei Groves & Flannery (1989). Auffällig waren die sehr hellen basalen Teile der Haare auf dem Rücken im Bereich der Scheitel über den Schultern, die etwa rechtwinklig zur Körperlängssachse verlaufen. Sie scheinen in manchen Körperhaltungen hervor und verursachen den Eindruck heller Streifen (Abb. 16). Die falsche Interpretation des deutschen Namens „Streifenbuschkänguru“ bzw. des englischen „White-striped Dorcopsis“, die sich in Wirklichkeit auf den dorsalen Mittelstreifen in der Körperlängssachse bezieht, hat vermutlich zur Fehlbestimmung geführt. Für mich besteht kein Zweifel, dass es sich um *D. muelleri* handelt und die ZIMS-Eintragungen korrigiert werden müssen. Der Importeur der Buschkängurus in Best ist Todd Dalton, der mir dankenswerter Weise auf Nachfrage am 22.8.2019 mitgeteilt hat: „We imported in the past: *Dorcopsis hageni* and *Thylogale bruni* from Indonesia, they were collected as juveniles from the bush meat trade and were collected in West Papua. The animals in Best Zoo are definitely *D. hageni*.“ So beruht die Fehlbestimmung, wie auch schon bei den 1964 und 1968 aus Papua-Neuguinea als *D. macleayi* eingeführten *D. luctuosa*, auf Angaben der Importeure.

Die am 18. und 19.12.2013 in Prag angekommenen Tiere sehen auf einer Serie von Fotos, die Petr Hamerník dankenswerter Weise für mich aufgenommen hat (Abb. 19 und 20), so aus, wie die Importtiere, die der Zoo Best am 20.8.2015 erhalten hat. Importiert wurden sie vom Nature Resource Network (Mitt. von Pavel Brandl am 16.10.2019). Martin Davey vom Nature Resource Network hat mir am 29.9.2019 dankenswerter Weise



Abb. 19: Braunes Buschkänguru *Dorcopsis muelleri*, Weibchen, Zoo Prag 2019.
Foto: Petr Hamerink



Abb. 20: Braunes Buschkänguru *Dorcopsis muelleri*, Haarscheitel gut sichtbar, Zoo Prag 2019.
Foto: Petr Hamerink

mitgeteilt, dass die nach Prag gelieferten Buschkängurus von einem Exporteur in Sorong stammen. Sorong liegt im Norden des sog. Vogelkopfs, West Papua, Indonesien, innerhalb des bekannten Verbreitungsgebiets von *D. muelleri*. Martin Davey und Milos Pantelic haben zugesagt, sich weiterhin um die Klärung des genauen Herkunftsorates der Prager Gruppe zu bemühen. Sollten sie von der nahegelegenen Insel Misool stammen und nicht vom Festland, so könnte es sich, wie auch in Best, um *D. m. mysoliae* handeln. Die hellen Krallen und weitere bei Groves & Flannery (1989) beschriebene Merkmale sprechen dafür, aber auch eine weitere von Groves & Flannery (1989) nur als *Dorcopsis muelleri* subsp. bezeichnete Form von der Insel Salawati käme in Frage. Übereinstimmend mit der Beschreibung von Groves & Flannery (1989) wären hier die Scheitel über den Schultern, die die hellen Haarbasen hervortreten lassen, eine helle keilförmige Zeichnung der Flanken vor dem Knie, die nicht pigmentierten Krallen und das helle nackte Schwanzende. Groves & Flannery (1989) haben auf eine Namensgebung der Form von Salawati verzichtet, weil ihnen nur juvenile Museumsexemplare vorgelegen haben, die eine Beschreibung des Schädels Erwachsener unmöglich gemacht haben. Sie beschrieben sie als „*Dorcopsis muelleri* subsp. from Salawati“. Salawati liegt noch näher zu Sorong als Misool. Auf dem Luftbild von Salawati bei Google Maps ist zu erkennen, dass der nördliche Teil der Insel bewaldet ist, der südliche Teil der Insel aber durch Straßen erschlossen ist, die über eine schmale Meeresenge hinweg direkt nach Sorong führen. So lange es keine weiteren Erkenntnisse zur geografischen Herkunft gibt, sollten die neuen Importe in Prag und Best *D. muelleri* ssp. genannt werden.

In Prag hat es bis 12.8.2019 drei nicht überlebende und 4,2 überlebende Nachzuchten gegeben und eine, deren Geschlecht noch nicht festgestellt war. Inzwischen ist die Gruppe auf neun Tiere angewachsen. Das älteste Männchen der Prager Gruppe konnte im November 2019 ge-



Abb. 21: Weißstreifen-Buschkänguru *Dorcopsis hageni*, Weibchen, Baiyer River, 1974. Foto: Ulrich Schürer.

wogen werden. Es hatte das beachtliche Gewicht von 13,75 kg (Mitteilungen von Pavel Brandl, Zoo Prag, vom 12.8., 16.10. und 12.11.2019).

Der Park Pairi Daiza in Cambron, Belgien, hat vom Nature Resource Network am 20.12.2014 1,2 als *D. hageni* in ZIMS gemeldete Buschkängurus erhalten, von denen die beiden Weibchen schon am 20.2.2015 und 17.9.2015 gestorben sind. Das Männchen wurde am 2.11.2017 an den Zoo Prag abgegeben, wo es bis 21.11.2018 gelebt hat (ZIMS).

***Dorcopsis hageni* im Baiyer River Wildlife Sanctuary**

D. hageni wurde 1970 erstmals im Baiyer River Wildlife and Bird of Paradise Sanctuary in Papua-Neuguinea nachgezüchtet (Annual Report 1972-73). Mitte 1974 war dort noch ein Weibchen im Bestand, welches ich selbst beobachten konnte (Abb. 21). Bei ihm habe ich das Abbeißen mit den Prämolaren bildlich festhalten können (Abb. 7). Es hatte einen sehr deutlichen medianen Längsstreifen auf dem Rücken und eine nackte obere Schwanzwurzel. Dieses Tier ist 1974 an inneren Blutungen gestorben (Annual Report 1974-75). Im Rainforest Habitat der University of Technology in Lae, in Papua-Neuguinea, lebte ein weibliches *D. hageni* vom 6.3.2002 bis 11.8.2006 (ZIMS).

Der Wissenschaft zugänglich gemacht wurde *D. hageni* durch den deutschen Arzt Dr. Bernhard Hagen. Dieser hatte am 31.5.1894 ein in der Nähe von Stephansort frisch erlegtes Paar erhalten, ein lebendes hatte er nur flüchtig beobachten können. Er bezeichnete es als „die größte Art der Gattung *Dorcopsis*, rauchgrau, gegen den Bauch zu heller, mit einem hellen Rückenstreifen“ (Hagen, 1899). Den Namen hatte es von Heller (1897) zu seinen Ehren erhalten. Die heute nicht mehr existierende Ansiedlung Stephansort lag in der Nähe der heutigen Stadt Madang an der Nordküste von Papua-Neuguinea.



Abb. 22: Berg-Buschkänguru *Dorcopsulus vanheurni*, Baiyer River, 1974. Foto: Ulrich Schürer

Dorcopsulus vanheurni im Baiyer River Wildlife Sanctuary

Die Haltung von *D. vanheurni* ist im Baiyer River Wildlife and Bird of Paradise Sanctuary dokumentiert. Die erste Nachzucht dürfte 1973 dort gelungen sein. Mitte 1974 waren dort 4,1 im Bestand (Annual Report 1973-74). Ein von mir fotografiertes Exemplar (Abb. 22) wirkte im Vergleich zu den gleichzeitig dort gepflegten *D. luctuosa* und *D. hageni* sehr klein und war sehr dicht behaart. Am 30.6.1975 war der Bestand 2,1 (Annual Report 1974-75), am 1.1.1981 lebten dort 1,2 (Annual Report 1975-80), am 31.12.1980 2,0, die vor 31.12.1983 verstorben sind (Annual Report 1981-1982).

Dorcopsulus macleayi

Ein kleines weibliches Buschkänguru gelangte im November 1964 zusammen mit der vorher schon erwähnten Gruppe von Grauen Buschkängurus in den Australian Reptile Park Gosford. Später soll noch ein passendes Männchen dazugekommen sein (Peter Krauss, pers. Mitt.). Von einem dieser Tiere gibt es ein Foto aus dem Australian Reptile Park, das die Behaarung des Schwanzes genau zeigt (Abb.11). Nach den bei Flannery (1995a) angegebenen äußeren Merkmalen müsste es sich um ein *D. macleayi* handeln. Weitere sind meines Wissens, mit Ausnahme der 1,1, die laut ZIMS ab 21.11.2012 im Port Moresby Nature Park gehalten worden sind und drei weiteren an diesem Ort, bisher nicht in zoologischen Einrichtungen gepflegt worden. Der Leiter der Einrichtung, Brett Smith, schrieb mir am 1.10.2019: „We have 2 females in our collection and had held them for nearly 3 years. Our female was surrendered to us from a member of public along with a male. Unfortunately the male died shortly after his arrival from unknown causes but the female produced a female offspring, which she may have had already in the pouch at very early stages or was a result of being housed with the male. Both are now housed with our *Dorcopsis luctuosa* population.“ Es ist sehr wahrscheinlich, dass die beiden von mir als *D. macleayi* betrachteten Exemplare, die nach Gosford gelangt sind, eine ähnliche Vorgeschichte haben. Ein bekannter Fundort liegt in einer nicht sehr weit von Port Moresby entfernten hohen Gebirgskette (George, 1978; Flannery, 1995a). Auch Schädel und Fell des Typusexemplars wurde in Hanuabada, einem Ortsteil von Port Moresby, erworben (Miklouho-Maclay, 1885).

Irrtümer

Noch vor der Korrektur der weit verbreiteten Fehlbestimmung von *D. luctuosa* als *D. macleayi* durch George & Schürer (1978) war eine Publikation von Hayman & Martin (1974) über Beuteltierchromosomen erschienen, in der der Chromosomensatz ($2n = 18$) eines weiblichen, aus einem Zoo stammenden angeblichen *D. macleayi* detailliert beschrieben wurde. Von den anderen damals anerkannten *Dorcopsis*- und *Dorcopsulus*-Arten hat kein Material vorgelegen. Wahrscheinlich beruht die Chromosomenbeschreibung auf einem Irrtum. Hayman & Martin (1974) geben die Herkunft ihres Materials nur allgemein als mit „Zoo“ an. Sollte es naheliegend der Zoo Adelaide gewesen sein, denn beide Autoren arbeiteten in Instituten in Adelaide, so hat es sich um *D. luctuosa* gehandelt.

Aus der Wilhelma sind, wie oben schon erwähnt, *D. luctuosa* auch an etliche andere Zoologische Gärten abgegeben worden, u.a. nach Rotterdam. Es waren am 19.5.1976 zwei als *D. macleayi* bezeichnete Paare, die mit einem Tauschwert von 4000 DM in der Tierkartei der Wilhelma eingetragen sind. In Rotterdam hat ein Weibchen angeblich von *D. macleayi* nach Weigl (2005) ein Alter von mehr als sieben Jahren und elf Monaten erreicht. Es soll nach Weigl 1972 in der Wilhelma geboren und am 21.5.1976 (Eintragung zwei Tage später) an den Blijdorp Zoo Rotterdam abgegeben worden sein. Das Geburtsdatum kann allerdings nur grob geschätzt werden

sein. Eben diese falsche Höchstaltersangabe taucht bei Nowak (2018) für *D. macleayi* mit Zitat Weigl (2005) wieder auf. So lange können sich Fehler in der Literatur halten, für die eigentlich niemand etwas kann. Das Höchstalter für ein männliches *D. luctuosa* im Healesville Sanctuary ist 13 Jahre, 11 Monate und 3 Tage (ZIMS).

Auch im Internet sind die ursprünglich falsch als *D. macleayi* bestimmten Grauen Buschkängurus immer noch präsent. Unter www.Zootierliste.de findet man sie noch in den ehemaligen Beständen der Zoologischen Gärten Köln und Rotterdam sowie in denen des Vivariums Darmstadt und der Wilhelma Stuttgart.

Die derzeit in ZIMS als *D. hageni* eingetragenen Buschkängurus sind *D. muelleri* einer derzeit nicht sicher bestimmbaren Unterart. Leider wurden die ZIMS- Einträge von Best und Prag bis zum 12.2.2020 noch nicht korrigiert.

Diskussion

Der wissenschaftliche Wert aller Untersuchungen an Tieren, auch solchen genetischer Art, hängt von der korrekten Bestimmung der Tiere ab. Wenn nur wenige exakte Beschreibungen vorliegen, ist diese manchmal schwierig. Das ist bei den *Dorcopsis*- und *Dorcopsulus*-Arten der Fall. Von ihnen könnte es auch noch weitere, bisher noch nicht beschriebene Unterarten oder sogar Arten geben (Eldridge et al., 2019). Änderungen der Nomenklatur erschweren die Verwendung älterer Literatur (George & Schürer, 1978). Die Möglichkeit, von Buschkängurus in Menschenobhut die wichtigsten biologischen Basisdaten zu ermitteln, sind nur zu einem kleinen Teil genutzt worden. Material von verstorbenen Buschkängurus sollte unbedingt konserviert werden.

Danksagung

Für die Unterstützung dieser Arbeit danke ich den Damen und Herren Ralf Becker, Dr. Bernhard Blaszkiewitz, Christopher Brack, Dr. Pavel Brandl, Todd Dalton, Martin Davey, Dr. Wolfgang Dreßen, Petr Hamerník, Dr. Marianne Holtkötter, Heiner Klös, Beatrix Köhler, Peter Krauss, Jos Nooren, Dr. Milos Pantelic, Ilona Schappert, Lothar Schlawe, Dr. Alexander Sliwa, Brett Smith, Dirk Ullrich und Frank Velte.

Summary

This is an attempt to document the history of all species of *Dorcopsis* and *Dorcopsulus* in zoological institutions, with the exemption of places, where an exact determination of the species concerned cannot be guaranteed. The importers of *D. luctuosa* in 1964 and 1968 wrongly named them *D. macleayi*. New imports of 2013 and 2015 were delivered as *D. hageni*, which they are not. In my opinion they are *D. muelleri*. The ZIMS entries should be corrected.

Literatur

Annual Report 1972-73, 1973-74, 1974-75, 1975-80 & 1981-1983 of the Trustees of the Wildlife and Bird of Paradise Sanctuary Baiyer River.

- Anonymus (1971). Quarterly Zoo Reports. Australian Reptile Park Gosford. Bulletin of Zoo Management, Vol. 3 No. 4. 28.
- Blaszkiewitz, B. (1987). Untersuchungen zur Entwicklung des Säugetierbestandes (Chordata: Vertebrates: Mammalia) im Berliner Zoo für den Zeitraum vom 31.5.1945 bis zum 31.12.1979 – unter besonderer Berücksichtigung der Artenvielfalt und -repräsentanz in Zoologischen Gärten. Dissertation an der Universität des Landes Hessen, Gesamthochschule Kassel.
- Crandall, L.S. (1964). The Management of Wild Mammals in Captivity. University of Chicago Press; Chicago & London.
- D'Albertis, L.M. (1874). Characters of a new Species of Kangaroo (*Halmaturus luctuosus*) from New Guinea. Proceedings of the Zoological Society of London 1874, 110.
- Dolan, J.M. (1998). The Mammal Collection of the Zoological Society of San Diego – A Historical Perspective. Der Zoologische Garten, N.F. 68, 337-364.
- Eldridge, M.D.B., Beck, R.M.D., Croft, D.A., Travouillon, K.J. & Fox, B.J. (2019). An emerging consensus in the evolution, phylogeny, and systematics of marsupials and their fossil relatives (Metatheria). Journal of Mammalogy, 100, 802-837.
- Flannery, T. (1995a). Mammals of New Guinea, revised and updated edition. Reed Books; Chatswood, NSW.
- Flannery, T. (1995b). Mammals of the South-West Pacific & Moluccan Islands. Reed Books; Chatswood, NSW.
- Flannery, T. (2011). Im Reich der Inseln. S. Fischer, Frankfurt am Main.
- Flower, S.S. (1929). List of the Vertebrated Animals exhibited in the Gardens of the Zoological Society of London 1828-1927. Volume I Mammals. Zoological Society; London.
- Garrod, A.H. (1875). On the Kangaroo called *Halmaturus luctuosus* by D'Albertis, and its Affinities. Proceedings of the Zoological Society of London 1875, 48-58, plates 7-9.
- George, G.G. (1978). The status of endangered Papua New Guinea mammals. S. 93-100 in Tyler, M. J. (ed.): The status of endangered Australasian wildlife. Royal Zoological Society of South Australia; Adelaide.
- George, G.G. & Schürer, U. (1978). Some notes on Macropods commonly misidentified in Zoos. International Zoo Yearbook 18, 152-156.
- Groves, C.P. & Flannery, T.F. (1989). Revision of the genus *Dorcopsis*. S. 117-128 in Grigg, G., Jarman, P. & Hume, I.: Kangaroos, Wallabies and Rat- Kangaroos Vol. 1. Surrey Beatty & Sons; Chipping Norton, NSW.
- Hagen, B. (1899). Unter den Papuas. Land und Leute, Thiere und Pflanzen in Deutsch-Neuguinea, S. 85. Kreidel; Wiesbaden.
- Hayman, D.L. & Martin, P.G. (1974). Animal Cytogenetics Vol. 4: Chordata 4, Mammalia I: Monotremata and Marsupialia. Borntraeger; Berlin & Stuttgart.
- Heck, L. (1940). Wegweiser durch den Zoologischen Garten Berlin 1940. Aktien-Verein des Zoologischen Gartens; Berlin.
- Heller, K.M. (1897). Zwei neue Beutelthiere aus Deutsch Neuguinea nebst einer Aufzählung der bekannten paupanischen Säugethiere. Abhandlungen und Berichte des Königlichen Zoologischen und Anthropologisch-Ethnographischen Museums zu Dresden 1896/97, Band VI, Nr. 8, 1-7.
- Jentink, F.A. (1908). Mammals collected by the Dutch New Guinea Expedition 1907. Nova Guinea IX, 1-14 & Pl. 1. Brill; Leiden.
- Jones, M.L. (1963). Mammals in Captivity. Part one The Monotremata, The Marsupialia, 1-39. Private Publikation.
- Klöser, H. (1981). Die Tiere im Ruhr-Zoo- Känguruhs. Ruhr- Zoo Gelsenkirchen 2, (2), 8-12.
- Koch-Isenburg, L. (1970). Fünf Jahre Darmstädter Vivarium. Vivarium; Darmstadt.
- Koch-Isenburg, L. (1971). Vivarium Darmstadt moderne Heimstatt für Tiere. Reba- Verlag; Freising.
- Menzies, J.I. (1989). Observations on a captive forest wallaby (*Dorcopsis luctuosa*) colony. S. 629-631 in Grigg, G. Jarman, P. & Hume, I. (eds): Kangaroos, Wallabies and Rat-Kangaroos Vol. 2. Surrey Beatty & Sons; Chipping Norton, NSW.
- Menzies, J. (1991). A Handbook of New Guinea Marsupials & Monotremes. Kristen Press; Madang, Papua New Guinea.
- Menzies, J. (2011). A Handbook of New Guinea's Marsupials and Monotremes. Second edition. University of Papua New Guinea Press; Port Moresby.
- Miklouho-Maclay, N. de. (1885). On two new species of Dorcopsis from the south coast of New Guinea. Proceedings of the Linnean Society of New South Wales 10, 145-150.
- Nowak, R.M. (2018). Walker's Mammals of the World. Monotremes, Marsupials, Afrotherians, Xenarthrans, and Sundatherians. J. Hopkins University Press; Baltimore.
- Portielje, A.F.J. & Abramsz, S. (1922). Het Artisboek Tweede Deel. P. van Belkum; Zutphen.
- Schappert, I. (1984). Verhaltensbeobachtungen beim Buschkänguruh *Dorcopsis muelleri* in Zoologischen Gärten. Vivarium Darmstadt Informationen 1/1984, 2-12.
- Schappert, I. (1985). Sozialbeziehungen beim Streifenbuschkänguruh *Dorcopsis muelleri* (Lesson, 1827). Dipolmarbeit; Fakultät für Biologie der Universität Heidelberg.
- Schürer, U. (1975). Känguruhs aus Neuguinea. Vivarium Darmstadt Informationen, 4/1975, 3-9.

- Schürer, U. (1978). Vergleichende Untersuchungen des Ruheverhaltens von Känguruhs. Dissertation; Freie Universität Berlin.
- Schürer, U. (1979). Wenig bekannte Känguruhs aus Neuguinea: *Dorcopsis muelleri* und *Thylogale brunii*. Vivarium Darmstadt Informationen 2/1979, 2-6.
- Schürer, U. (1980). Wiederkäuähnliche Verhaltensweisen von Känguruhs (Macropodidae). Zeitschrift für Säugetierkunde 45, 1-12.
- Schürer, U. (2019). Zur Geschichte der Baumkänguru-Haltung in europäischen und einigen anderen Zoos. Bulette (Berlin) 7, 7-45.
- Uka, D. (1980). The breeding performance of species in the new macropod exhibit at the Royal Melbourne Zoo. Bulletin of Zoo Management 19, 13-21.
- van Deusen, H.M. (1957). Results of the Archbold Expeditions. No. 76. A New Species of Wallaby (Genus *Dorcopsis*) from Goodenough Island, Papua. American Museum Novitates 1826, 1-25.
- Weigl, R. (2005). Longevity of mammals in captivity from the living collections of the world. Kleine Senckenberg-Reihe 48. Schweizerbart'sche; Stuttgart.
- Wilson, D.E. & Mittermeier, R.A. (2015). Handbook of the Mammals of the World 5. Monotremes and Marsupials. Lynx; Barcelona.

DER ZOOLOGISCHE GARTEN

Zool. Garten N.F. 88 (2020) 77-78

Buchbesprechungen

Tim Brown & Scott Richardson (2019). America's Top 100 Zoos's and Aquariums. The essential guide to America's most important zoological establishments. From the Independent Zoo Enthusiasts Society. Page Bros (Norwich) Limited. 368 Seiten, 2 Schwarz-weiße Abbildungen, 722 Farbfotos. ISBN 978-0-9563831-5-0. 24,99 £.

Tim Brown ist der Präsident der Unabhängigen Zoo-Enthusiasten-Gesellschaft (Independent Zoo Enthusiasts Society) seit deren Gründung vor über einem Vierteljahrhundert im Vereinigten Königreich. In dieser Eigenschaft gibt er gemeinsam mit Mike Grayson die Zeitschrift „Zoo Grapevine“ heraus, die viermal im Jahr erscheint und seit Winter 2016 mit den „International Zoo News“ vereint ist. Tim Brown hat 800 Zoologische Gärten rund um den Globus besucht. Co-Autor Scott Richardson ist Gymnasiallehrer (High School) und lebt mit seiner Familie in British Columbia (Kanada). Er erforschte bisher 500 Tiergärten weltweit.

Die Behandlung der einzelnen Zoos erfolgt in alphabetischer Reihenfolge vom ABQ BioPark Zoo (Albuquerque, New Mexico) bis ZooTampa at Lowry Park (Tampa, Florida). Einleitend zu jedem Tiergarten sind folgende Angaben gemacht: Datum der Gründung, Anzahl der gehaltenen Arten, Größe (in Acres und ha), jährliche Besucherzahl, Eigentümer, Mitgliedschaft in der US-amerikanischen Zoovereinigung AZA, geschätzte Besuchszeit. Jeder Aufsatz über die einzelnen Zoos beginnt mit einem historischen Überblick, der die Entwicklung von Bauten und Anlagen schildert. Außerdem werden besonders bedeutende und verdienstvolle Direktoren behandelt. Zum Abschluss werden die besonders sehenswerten Tieranlagen (best exhibits), die bemerkenswerten Tierarten (enthusiasts choice) und die Naturschutzprojekte aufgeführt.

Jahresbesucherzahl, Anzahl der gehaltenen Tierarten, Geländegröße und Eröffnungsjahr finden sich noch einmal als Tabellen am Ende des Buches.

In Ergänzung zu den 100 Top-Zoos werden 20 kleinere Zoos und spezielle Sammlungen vorgestellt (Crane Foundation in Baraboo, Birch Aquarium in La Jolla, Kalifornien, Duke Lemur Center in Durham, North Carolina, Queens Zoo und Staten Island Zoo in New York).

Zu loben ist die reichhaltige Ausstattung mit Abbildungen, die Tiergehege, einzelne Tierarten, Aktivitäten wie Fütterungen und Tiervorstellungen, mitunter auch besondere Tierskulpturen usw. zeigen.

„America's Topp 100 Zoos and Aquariums“ gehört in jede Zoobibliothek und den Bücherschrank eines jeden Zoofreundes!

B. Blaszkiewitz
Berlin
b.blaszkiewitz@t-online.de

Tim Brown & Scott Richardson (2019). America's Top 100 Zoos's and Aquariums. The essential guide to America's most important zoological establishments. From the Independent Zoo Enthusiasts Society. Page Bros (Norwich) Limited. 368 Seiten, 2 Schwarz-weiße Abbildungen, 722 Farbfotos. ISBN 978-0-9563831-5-0. 24,99 £.

Tim Brown ist der Präsident der Unabhängigen Zoo-Enthusiasten-Gesellschaft (Independent Zoo Enthusiasts Society) seit deren Gründung vor über einem Vierteljahrhundert im Vereinigten Königreich. In dieser Eigenschaft gibt er gemeinsam mit Mike Grayson die Zeitschrift „Zoo Grapevine“ heraus, die viermal im Jahr erscheint und seit Winter 2016 mit den „International Zoo News“ vereint ist. Tim Brown hat 800 Zoologische Gärten rund um den Globus besucht. Co-Autor Scott Richardson ist Gymnasiallehrer (High School) und lebt mit seiner Familie in British Columbia (Kanada). Er erforschte bisher 500 Tiergärten weltweit.

Die Behandlung der einzelnen Zoos erfolgt in alphabetischer Reihenfolge vom ABQ BioPark Zoo (Albuquerque, New Mexico) bis ZooTampa at Lowry Park (Tampa, Florida). Einleitend zu jedem Tiergarten sind folgende Angaben gemacht: Datum der Gründung, Anzahl der gehaltenen Arten, Größe (in Acres und ha), jährliche Besucherzahl, Eigentümer, Mitgliedschaft in der US-amerikanischen Zoovereinigung AZA, geschätzte Besuchszeit. Jeder Aufsatz über die einzelnen Zoos beginnt mit einem historischen Überblick, der die Entwicklung von Bauten und Anlagen schildert. Außerdem werden besonders bedeutende und verdienstvolle Direktoren behandelt. Zum Abschluss werden die besonders sehenswerten Tieranlagen (best exhibits), die bemerkenswerten Tierarten (enthusiasts choice) und die Naturschutzprojekte aufgeführt.

Jahresbesucherzahl, Anzahl der gehaltenen Tierarten, Geländegröße und Eröffnungsjahr finden sich noch einmal als Tabellen am Ende des Buches.

In Ergänzung zu den 100 Top-Zoos werden 20 kleinere Zoos und spezielle Sammlungen vorgestellt (Crane Foundation in Baraboo, Birch Aquarium in La Jolla, Kalifornien, Duke Lemur Center in Durham, North Carolina, Queens Zoo und Staten Island Zoo in New York).

Zu loben ist die reichhaltige Ausstattung mit Abbildungen, die Tiergehege, einzelne Tierarten, Aktivitäten wie Fütterungen und Tiervorstellungen, mitunter auch besondere Tierskulpturen usw. zeigen.

„America's Topp 100 Zoos and Aquariums“ gehört in jede Zoobibliothek und den Bücherschrank eines jeden Zoofreundes!

B. Blaszkiewitz
Berlin
b.blaszkiewitz@t-online.de

DER ZOOLOGISCHE GARTEN

Zeitschrift für die gesamte Tiergärtnerei (Neue Folge)
Offizielles Organ des Verbandes der Zoologischen Gärten – VdZ
Organ of the World Association of Zoos and Aquariums – WAZA

DER ZOOLOGISCHE GARTEN ist eine internationale, wissenschaftliche Zeitschrift, die allen die Tiergärtnerei (im weitesten Sinne) betreffenden Originalarbeiten offensteht. Neben größeren Abhandlungen werden Kurzmitteilungen und Nachrichten aus zoologischen Gärten aufgenommen.

DER ZOOLOGISCHE GARTEN is an international scientific journal which is open to all original papers concerning zoo biology and related topics. In addition to larger original scientific contributions, we accept short notes and news from zoological gardens.

Abonnement/Subscription

Ich abonniere DER ZOOLOGISCHE GARTEN ab 2020 (2 Ausgaben pro Jahr) zum Preis von 30 €/Jahr (Deutschland) bzw. 50 €/Jahr (außerhalb Deutschlands).

Der Abonnementpreis ist im Voraus zu entrichten und enthält die Versandkosten. Die schriftliche Kündigung ist zum Jahresende möglich.

I subscribe to DER ZOOLOGISCHE GARTEN as of 2020 (2 issues per year) for the price of 30 €/year (Germany) or 50 €/year (outside Germany)

The subscription has to be paid in advance and includes shipping; it may be cancelled in writing at the end of each year.

Name: _____

Lieferanschrift/
Ship To Address: _____

Rechnungsanschrift, falls abweichend
Bill To Address, if different: _____

Ort/Place _____ Datum/Date _____

Unterschrift/Signature: _____

Bankenzug/SEPA: ja yes / nein no (please tick), bei „ja“ bitte ausfüllen/if „yes“ please fill in

SEPA-Mandat für Abonnement DER ZOOLOGISCHE GARTEN/ SEPA Direct Debit Mandate for DER ZOOLOGISCHE GARTEN

IBAN: _____ BIC: _____

Bank Name: _____

Bitte ausschneiden oder kopieren und senden an/Please clip or copy and send to:

Verband der Zoologischen Gärten (VdZ) e.V.
Bundespressehaus (Büro 4109)
Schiffbauerdamm 40
10117 Berlin
E-Mail: anne.zimmermann@vdz-zoos.org

DER ZOOLOGISCHE GARTEN

Hinweise für Autoren	Instruction for authors
<p>DER ZOOLOGISCHE GARTEN ist eine fachübergreifende wissenschaftliche Zeitschrift für die gesamte Tiergärtnerei. Zur Veröffentlichung angenommen werden Manuskripte, die im weitesten Sinne dazu beitragen, die Kenntnisse über die Tierhaltung in Zoologischen Gärten zu erweitern. Hierzu gehören neben wissenschaftlichen Originalbeiträgen auch Kurzmitteilungen über bemerkenswerte Beobachtungen und Nachrichten aus dem Umfeld zoologischer Einrichtungen sowie Buchbesprechungen (siehe „Aims and Scope“). Manuskripte sind einzureichen an editor@koelnerzoo.de.</p> <p>Manuskripte sind in deutscher oder englischer Sprache zu verfassen. Texte sind unformatiert und als Fließtext in gängiger Schriftart (Arial, Calibri oder Times New Roman) als Worddokument einzureichen. Ihr Aufbau sollte folgendermaßen strukturiert sein: Titel in deutscher und englischer Sprache mit Kennzeichnung für die Redaktion, ob britisches (UK) oder amerikanisches Englisch (US) verwendet wird; Kurzübersicht mit maximal 45 Zeichen, Vor- und Nachnamen sowie Forschungsstätten und Adressen sämtlicher Autoren; Anzahl der Abbildungen und Tabellen; Zusammenfassung und englisches Abstract (sofern der Artikel in Deutsch verfasst wurde); 3-5 Keywords in der Sprache, in der der Artikel verfasst wird; Einleitung; Hauptteil des Manuskripts (mögliche, aber nicht notwendige Gliederung, z. B.: Material und Methoden, Ergebnisse und Diskussion); Danksagung; Literatur; Zusammenfassung; Abbildungslegenden; Tabellen einschließlich ihrer Titel.</p> <p>Alle Abbildungen (einschließlich Bilder und Grafiken) sowie Tabellen sind fortlaufend zu nummerieren. Im Text ist an passenden Stellen auf jede Abbildung und Tabelle</p>	<p>DER ZOOLOGISCHE GARTEN is a multidisciplinary scientific journal publishing articles about zoo biology and related topics. We accept manuscripts for publication which will help to increase the knowledge of animal husbandry in zoological gardens. In addition to original scientific contributions this also includes short notes on remarkable observations and news from zoological institutions as well as book reviews (see "Aims and Scope"). Please send manuscripts by e-mail to editor@koelnerzoo.de.</p> <p>All manuscripts must be written in German or English. Texts have to be submitted as Word documents, unformatted and as continuous text in common fonts (Arial, Calibri or Times New Roman) with the following structure: title in German or English (for English texts, please indicate for the editorial staff whether British (UK) or American (US) English is used); short title in the main language with a maximum of 45 characters; first name, surname as well as affiliated institutions and addresses of each author; e-mail address of the corresponding author; number of figures and tables; abstract in English and also in German (if the article was written in English); 3-5 keywords in the language in which the article is written; introduction; main part of the text (e.g. material and methods, results and discussion); acknowledgement; summary; references; figure captions; tables with headings.</p> <p>All figures (including images and charts) and tables have to be numbered consecutively. Please check that all figures and tables have been cited in the text. Example: [Fig. 1] or [Tab. 2] etc.</p> <p>Figure legends and table titles should be comprehensive but brief. Captions in texts</p>

<p>hinzzuweisen. Beispiel: [Abb. 1] oder [Tab. 2] etc. Die Legenden der Abbildungen und die Überschriften der Tabellen sollen informativ, komplett aber kurz sein. Die Bildunterschriften in Manuskripten, die in deutscher Sprache eingereicht werden, sind in Deutsch und Englisch anzugeben. Zu allen Abbildungen (d. h. Bilder, Grafiken etc.) muss der Fotograf bzw. die Quelle angegeben werden. Beispiel: Abb. 1: Text. Foto: T.B. Pagel. Oder Abb. 1: Text. Quelle: Archiv Kölner Zoo.</p>	<p>submitted in German must be in German and English.</p>
<p>Die Bilder und Grafiken müssen unabhängig vom Text als eigenständiges Dokument eingereicht werden, wenn möglich in digitaler Form. Empfohlene Speicherformate sind TIFF, JPEG, EPS und PDF. Grafiken werden auch als Excel-Dateien angenommen. Die Abbildungen müssen als Farb- oder Graustufenbilder eine Druckauflösung von 300 dpi aufweisen. Bitmap-Grafiken benötigen für den Druck eine Auflösung von 600-1200 dpi. Im Titel sind wissenschaftliche Artnamen komplett mit Autor und Beschreibungsdatum anzugeben. Gattungsname und Artepitethon sind bei ihrer Erstnennung im Text auszuschreiben. Im Folgenden wird der Gattungsname durch den ersten Buchstaben abgekürzt. Artnamen und Gattungsbezeichnungen werden kursiv geschrieben.</p>	<p>Please submit images and charts as separate files, if possible in digital form. Recommended storage formats are TIFF, JPEG, EPS and PDF. Charts are also accepted as Excel files. Printing in journal quality requires color or grayscale images with resolutions of 300 dpi. Bitmap graphics require a resolution of 600-1200 dpi for printing.</p>
<p>Im Text müssen Autoren an entsprechenden Passagen in chronologischer Abfolge zitiert werden: Mayr (2003); Darwin & Wallace (2007)</p>	<p>Please indicate the photographer or source for all figures (i.e. pictures, graphics, etc.). Indicate scientific species names in the title completely with author and date. Binomial species names in the text should appear with the complete generic name when first mentioned. Thereafter, abbreviate the generic name with its first letter. All genus and species group names must be in italics. In-text citations to literature must be in chronological order, i.e. author's surname followed by the year of publication: Mayr (2003); Darwin & Wallace (2007); if a publication has more than two authors, cite first authors as e.g. Wallace et al. (2013), with all authors listed in the references. If more than one publication is cited in parenthesis, please separate the names by a semicolon, e.g. (Wilson, 2001; Flemming & Gould, 2010). If reference is made to more than one paper by the same author published in the same year, this should be indicated as follows: (Morgan, 2003a, b; Wallace et. al, 2013 a, 2013 b).</p>
<p>Wenn mehrere Autoren in Klammern eingefügt zitiert werden, sind sie durch ein Semikolon voneinander zu trennen, z.B. (Wilson, 2001; Flemming & Gould, 2010). Sofern auf verschiedene Veröffentlichungen eines Autors im selben Jahr verwiesen wird, sollte dies so erfolgen: (Morgan 2003a, b; Wallace et al., 2013a, b). Wenn mehrere Autoren in Klammern eingefügt zitiert werden, sind sie durch ein Semikolon voneinander zu trennen,</p>	<p>Please list the cited publications in the reference section alphabetically by author's name according to the following examples:</p> <p>Journals or magazines:</p>

<p>z.B. (Wilson, 2001; Flemming & Gould, 2010; Mayer et al., 2013). Sofern auf verschiedene Veröffentlichungen eines Autors im selben Jahr verwiesen wird, sollte dies so erfolgen: (Morgan 2003a, b; Wallace et al., 2013a, b).</p> <p>Die zitierten Publikationen sind am Ende des Artikels geordnet nach der alphabetischen Reihenfolge der Autoren aufzuführen. Die Literaturverweise sind nach folgendem Schema anzufertigen:</p> <p>Zeitschriften:</p> <p>Der Titel von Zeitschriften ist immer ganz auszuschreiben, aber nicht in Kapitälchen anzugeben.</p> <p>Backhaus, D., & Frädrich, H. (1965). Experiences keeping various species of Ungulates together at Frankfurt Zoo. International Zoo Yearbook, 5, 14-24.</p> <p>Bücher:</p> <p>Fowler, M.E., & Miller, R.E. (2003). Zoo and wild animal medicine. (5th ed.). Philadelphia: W.B. Saunders & Co.</p> <p>Kapitel aus Büchern:</p> <p>Folch, A. (1992). Family Apterygidae (Kiwis). In J. del Hoyo, A. Elliott, & J. Sargatal (Eds), Handbook of the Birds of the World. Vol. 1. Ostrich to Ducks (pp. 104-110). Barcelona: Lynx Edicions.</p> <p>An Stelle eines Honorars steht den Autoren ein PDF-Dokument ihres Betrages kostenlos zur Verfügung. Sonderdrucke können gegen Rechnung bezogen werden.</p>	<p>The title of journals or magazines must always be written out in full but not in small caps:</p> <p>Backhaus, D., & Frädrich, H. (1965). Experiences keeping various species of Ungulates together at Frankfurt Zoo. International Zoo Yearbook, 5, 14-24.</p> <p>Books:</p> <p>Fowler, M.E., & Miller, R.E. (2003). Zoo and wild animal medicine. (5th ed.). Philadelphia: W.B. Saunders & Co.</p> <p>Book chapter citations:</p> <p>Folch, A. (1992). Family Apterygidae (Kiwis). In J. del Hoyo, A. Elliott, & J. Sargatal (Eds), Handbook of the Birds of the World. Vol. 1. Ostrich to Ducks (pp. 104-110). Barcelona: Lynx Edicions.</p> <p>Instead of a gage, the authors will receive a PDF file of the article free of charge. Offprints will be available on request and invoice.</p>
--	--



Verlag Natur & Wissenschaft
gegründet 1991

Im Verlag werden folgende Arten von Schriften veröffentlicht:

- Wissenschaftliche Bücher und Zeitschriften
- Sachbücher und -zeitschriften
- Reihen, Serien und Supplementbände
- Magister- und Doktorarbeiten, Habilitationsschriften
- Auftragsarbeiten für Universitäten und Hochschulen
- Bücher und Auftragsarbeiten von Vereinen und Privatleuten

Das Verlagsangebot umfasst:

- Inverlagnahme mit ISBN, Aufnahme ins Verzeichnis lieferbarer Bücher
- Prüfung auf Druckprobleme (Auflösung, Layout)
- Druck bei erprobten Druckereien zur bestmöglichen Qualität und zum bestmöglichen Preis
- Ablieferung aller Pflichtexemplare
- Layout bis zum Druckfertigvermerk mit Korrekturläufen
- Korrektorat (auf Wunsch) in Deutsch für Rechtschreibung und Grammatik; englische Texte nach Absprache
- Lektorat (auf Wunsch fachliche Beratung)
- für Auflagenhöhen ab 10 bis ??
- Versand an Empfänger wie Abonnenten, Bibliotheken etc.
- Abonnementsverwaltung für Zeitschriften und Serien
- Abwicklungszeitdauer je nach Auftragsumfang zwischen sieben und 20 Werktagen nach Vorliegen der druckreifen Fassung

Fordern Sie bei Interesse einfach ein Angebot an

**Verlag Natur & Wissenschaft
Postfach 170209, D-42624 Solingen
Tel.: +49-212-819878; E-Mail info@veragnw.de**

DER ZOOLOGISCHE GARTEN

Zeitschrift für die gesamte Tiergärtnerie (Neue Folge)
Offizielles Organ des Verbandes der Zoologischen Gärten – VdZ
Organ of the World Association of Zoos and Aquariums – WAZA

DER ZOOLOGISCHE GARTEN ist eine internationale, wissenschaftliche Zeitschrift, die allen die Tiergärtnerie (im weitesten Sinne) betreffenden Originalarbeiten offensteht. Neben größeren Abhandlungen werden Kurzmitteilungen und Nachrichten aus Zoologischen Gärten aufgenommen.

DER ZOOLOGISCHE GARTEN is an international scientific journal which is open to all original papers concerning zoo biology and related topics. In addition to larger original scientific contributions, we accept short notes and news from zoological gardens.

Founded in 1859 and continued since 1929 as "New Series" by Georg Grimpe, Karl Max Schneider, Heinrich Dathe, Hans-Günter Petzold, Wolfgang Grummt, Bernhard Blaszkiewitz and Ragnar Kühne.

Aims and Scope

DER ZOOLOGISCHE GARTEN covers all aspects of zoological gardens, as for example

- experiences in breeding and keeping zoo animals
- management of zoological gardens
- behavioral science
- research on animals in the wild
- conservation of rare and threatened species
- reintroduction projects
- planning, building and designing at zoological gardens including horticulture
- veterinary medicine
- zoological pedagogic
- history of zoological gardens
- news from zoological gardens
- book reviews

Editor-in-Chief

Prof. Theo B. Pagel
AG Zoologischer Garten Köln
Riehler Str. 173
50735 Köln
Deutschland/Germany

Co-editors in Chief

Dr. Alexander Sliwa
Prof. Dr. Thomas Ziegler

Editorial board

Dr. Bernhard Blaszkiewitz
Dr. Sven Hammer
Dipl. Biologe Volker Homes
Prof. Dr. Dieter Jauch
Dipl. Biologe Claus Pohle
Dr. Dennis Rödder
Dipl. Biologe Michael Schröpel
Dr. Ulrich Schürer
Dr. Mona van Schingen-Khan

Editorial Assistant

Maerte Siemen
E-Mail: editor@koelnerzoo.de
Tel.: +49 221 7785 102

Contents/Inhalt

From pairs to packs? – Cooperative breeding in a family group of bat-eared foxes (<i>Otocyon megalotis</i> , Desmarest 1822) at Opel-Zoo Kronberg. MIRIAM GÖBEL, UTA WESTERHÜS, JÖRG BECKMANN, Germany	1
Erkenntnisse zur Fortpflanzungsbiologie von Flachlandtapiren (<i>Tapirus terrestris</i> Linnaeus, 1758) im Magdeburger Zoo. RENÉ DRIECHCIARZ, ELLEN DRIECHCIARZ, Magdeburg	7
Genetic screening of captive crocodile lizards (<i>Shinisaurus crocodilurus</i>) in Europe. HANH T. NGO, THAM T. NGUYEN, MINH D. LE, MONA VAN SCHINGEN-KHAN, TRUONG Q. NGUYEN, ANNA RAUHAUS, MIGUEL VENCES, THOMAS ZIEGLER	17
Molecular identification of water monitors (<i>Varanus salvator</i> complex) from confiscations and the pet trade, including phylogenetic placement of <i>V. s. ziegleri</i> . THOMAS ZIEGLER & MIGUEL VENCES	31
Über Neuguinea-Buschkängurus der Gattungen <i>Dorcopsis</i> Schlegel und Müller, 1845 and <i>Dorcopsulus</i> Matschie, 1916. Ulrich Schürer, Deutschland. ULRICH SCHÜRER, Solingen	51
 Buchbesprechung: Sabine Begall, Hynek Burda, Radim Sumbera (2018). Graumulle. <i>Cryptomys</i> und <i>Fukomys</i> . Die Neue Brehm-Bücherei 679. VerlagsKG Wolf. Magdeburg	77
 Buchbesprechung: Tim Brown & Scott Richardson (2019). America's Top 100 Zoos's and Aquariums. The essential guide to America's most important zoological establishments. From the Independent Zoo Enthusiasts Society. Page Bros (Norwich) Limited	78

Die Publikationen sind frei zugänglich unter www.vdz-zoos.org
The published articles are open access at www.vdz-zoos.org

Bibliographiert/Indiziert in – Abstracted/Index in

Biological Abstracts; BIOSIS database; CAB Abstracts database; Fisheries Review; Key Word Index of Wildlife Research; NISC – National Information Services Corporation; Protozoological Abstracts; Referativnyi Zhurnal; Wildlife & Ecology Studies Worldwide; Wildlife Review (Fort Collins); Zoological Record.