

## 2.5 Amphibien und Reptilien: Verbreitungs- und Verhaltensänderungen aufgrund der Erderwärmung

WOLFGANG BÖHME & DENNIS RÖDDER

**Amphibien und Reptilien – Veränderungen von Verbreitungs- und Verhaltensmustern aufgrund globaler Erwärmung:** *Als poikilotherme Wirbeltiere reagieren Amphibien und Reptilien empfindlicher auf Klimaveränderungen als dies bei den homoiothermen Vögeln und Säugetieren der Fall ist. Klimaschwankungen beeinflussen sowohl Arealgrößen als auch Populationsstrukturen bei Lurchen und Kriechtieren. Alarmierende Bestandsabnahmen, besonders von kleinräumig verbreiteten spezialisierten Arten, wurden während der letzten Jahrzehnte weltweit registriert. Allerdings konnten im Gegensatz dazu mehr generalistisch angepasste Arten auch ihre Areale erweitern, wobei einige sogar invasiv wurden. Die signifikanten Bedrohungsfaktoren für Amphibien und Reptilien sind Habitatverlust und -zerstörung, eingeschleppte invasive Arten, Umweltverschmutzung und Krankheiten. All diese Effekte werden durch Klimawandel verstärkt und machen Arten verwundbarer.*

**Amphibians and reptiles – changes of distributional and behavioral patterns due to global warming:** *As ectothermic vertebrates, amphibians and reptiles are more affected by climatic change than homeothermic birds and mammals. Climate change affects range sizes and population structure of reptiles and amphibians. Alarming declines, particularly of specialized species inhabiting small ranges, were observed all over the world during the last decades. In contrast, generalist species were able to extend their ranges, whereby some have become invasive. Significant threats to both reptiles and amphibians are habitat loss and degradation, introduced invasive species, environmental pollution, and diseases. All these effects are exacerbated by climate change making species more vulnerable.*

### Kennzeichnung von Amphibien und Reptilien

Unter den Landwirbeltieren (Tetrapoda) sind die Amphibien und Reptilien wechselwarm (ektotherm) und müssen zur Erreichung ihrer Betriebstemperatur die Umgebungswärme nutzen, während die gleichwarmen (homoeothermen) Vögel und Säugetiere über die Fähigkeit zu umweltunabhängiger Aufrechterhaltung konstanter Körpertemperaturen verfügen. Die Gründe für diesen tiefgreifenden physiologischen Unterschied liegen einmal darin, dass Amphibien und Reptilien über keine wärmeisolierende Hautbedeckung wie Federn oder Haare verfügen und auch kein fettspeicherndes Gewebe unter der Haut besitzen. Zum andern haben sie noch keine für den Sauerstofftransport optimierten Erythrozyten (rote Blutkörperchen) und auch noch keine Trennung von arteriellem und venösem Blutkreislauf; eine hierfür notwendige – aber noch unvollkommene – Scheidewand der Herzkammer besitzen nur die Krokodile. Diese sind auch die Gründe, warum die Reptilien insgesamt als paraphyletische Wirbeltierklasse gelten, denn sie enthalten als Abstammungsgemeinschaft auch stammesgeschichtliche Linien, die keine Reptilien sind: Die Vögel. So stehen die Krokodile den Vögeln verwandtschaftlich viel näher als irgendeinem anderen »Reptil«, also einem Vertreter der Schildkröten, der Schnabelköpfe oder der Schuppenkriechtiere (= Echsen und Schlangen).

Die heutigen Amphibien (Schwanzlurche, Froschlurche, Blindwühlen) bilden dagegen eine natürliche, monophyletische Abstammungseinheit (Lissamphibia),

die ohne weitere nicht zu den Amphibien gehörende Nachkommenslinien auf einen gemeinsamen Vorfahren zurückgeht.

Die Ektothermie, also die Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur, macht Amphibien und Reptilien zugleich zu wertvolleren Indikatoren, aber auch anfälliger für Klimaveränderungen als die homoeothermen Tetrapoden, die aufgrund ihrer konstanten Körperwärme Temperaturschwankungen viel besser kompensieren können. Auch sind Säugetiere und Vögel aufgrund ihrer Homoeothermie in der Lage, polare Regionen zu besiedeln, die den ektothermen Amphibien und Reptilien verschlossen bleiben. Doch mit der Ektothermie hören die Gemeinsamkeiten von Amphibien und Reptilien auch schon auf. Amphibien haben eine feuchte, drüsenreiche, fast unkeratinisierte Haut, und eine – von wenigen Ausnahmen abgesehen – äußere Befruchtung sowie gallertige Eihüllen. Dies macht sie von dauerfeuchten Lebensräumen abhängig und zwingt die meisten Taxa zur Fortpflanzung ins freie Süßwasser. Aufgrund ihres biphasischen Lebenszyklus sind sie generell stenöker als Reptilien, da sie auf geeignete Laichgewässer, und damit Mikrohabitate für ihre Larven, angewiesen sind. Viele Arten in den gemäßigten Breiten sind r-Strategen, die viele Nachkommen haben, in die sie relativ wenig Energie investieren, und sind damit an die wechselnde Verfügbarkeit geeigneter (temporärer-) Laichgewässer angepasst. Im Gegensatz dazu sind viele tropische Amphibien k-Strategen, die nur wenige Nachkommen produzieren, in die sie viel Energie investieren. Reptilien haben im Gegensatz zu Amphibien eine stark keratini-

sierte Haut, ein intramittentes Organ der Männchen zur Bewerksstellung innerer Befruchtung, und verkalkte Eischalen. Ihre wichtigste evolutionäre Schlüsselerfindung, die sie den homoeothermen Säugern und Vögeln weitervererbt haben, ist aber die zusätzliche flüssigkeitsgefüllte Embryonalhülle, das Amnion. Dieses »Privataquarium« im Ei macht die Reptilien vollends vom Wasser unabhängig und erlaubt ihnen die Besiedlung auch extremer Trockenlebensräume wie Wüsten. Alle semiaquatischen bis voll aquatischen Reptilien, auch die wenigen marinen Arten, sind also sekundäre Wasserbewohner, die – umgekehrt wie die Amphibien – zur Fortpflanzung fast immer festes Land aufsuchen müssen.

### Klimatische Nischen und das Kühnelt'sche Prinzip der regionalen Stenözie

Aktuelle Analysen zeigen, dass die globale Erwärmung sowohl Verschiebungen der potenziellen Verbreitungsgebiete als auch in der Phänologie vieler Tiere und Pflanzen hervorruft, was Auswirkungen auf den Reproduktionserfolg und damit auf das Überleben der Arten hat (PARMESAN & YOHE 2003). Veränderungen in der Phänologie haben Auswirkungen auf ökologische Gesellschaften und damit auf bestehende (Mikro-) Nischenstrukturen, da sie die intra-spezifischen Interaktionen beeinflussen.

Die potenzielle Verbreitung einer jeden Art wird durch ihre ökologische Nische determiniert, die sich aus abiotischen und biotischen Faktoren zusammensetzt. Dabei umfasst die fundamentale Nische einer Art alle Umweltparameter und -ressourcen, die zur Aufrechterhaltung überlebensfähiger und sich reproduzierender Populationen notwendig sind. Hierdurch wird das potenzielle Verbreitungsgebiet der Art bestimmt, wobei das realisierte Verbreitungsgebiet (Areal) durch biologische Interaktionen wie zum Beispiel Konkurrenz, Prädationsdruck sowie der Verfügbarkeit von Nahrung begrenzt wird. Ein Großteil der Faktoren, die die Nische und somit die potenzielle Verbreitung definieren, stellt dabei das Klima dar. Jede Art hat demnach einen ökologischen Fingerabdruck, der die klimatische Potenz der Art widerspiegelt, genannt »*Climate Envelope*«.

In einer klassischen Arbeit zur Ökologie der Landtiere hatte der Wiener Zoologe WILHELM KÜHNELT gezeigt, dass sich die Parameter der Habitatwahl vieler Tierarten, besonders der weit verbreiteten, oft stark verändern, je nach dem, ob man sich im Zentrum oder an den Rändern ihrer jeweiligen Areale befindet. Er zeigte, dass die Spanne der verschiedenen besiedel-

baren Habitattypen im Zentrum eines Areals am größten ist, dass also das Arealzentrum auch das Existenzoptimum darstellt. Die Art ist dort also euryök. Zu den Rändern großer Areale hin verschlechtern sich jedoch die Existenzbedingungen, da sich mindestens ein Parameter dem Pessimum annähert, weshalb die Art dort regional stenök wird. Das heißt, ein an sich euryökes, aber kontinental adaptiertes Reptil wie z.B. die Zauneidechse (*Lacerta agilis*) wird am atlantisch geprägten Nordwestrand ihres Areals (England, Niederlande, nordwestdeutsche Küste) zum regional stenöken Bewohner xerothermer, sandiger Standorte. So kann die nach Nordwesten zunehmende Luftfeuchtigkeit und die abnehmende Temperatur durch das Zurückziehen auf besonders trockene und warme, mikroklimatisch günstigere Standorte kompensiert werden. Entsprechend drückt sich die regional stenök werdende Habitatwahl derselben Art nach Süden (Pyrenäen, Balkan) bei zunehmenden Temperaturen und abnehmender Luftfeuchte durch ein Zurückziehen auf höhere Berglagen oder an besonders feuchte Standorte aus. Eine dünenbewohnende Zauneidechse Hollands und eine almbewohnende Artgenossin aus den Pyrenäen oder den dinarischen Gebirgen des Balkans sind also – scheinbar paradox – nicht unterschiedlich an ihre Lebensstätten angepasst, sondern kompensieren nur das lokale Klima ihrer jeweiligen Lebensräume im Rahmen ihrer angeborenen Reaktionsnorm, dem »*Climate Envelope*«, durch das Aufsuchen derjenigen mikroklimatischen Bereiche, die für sie noch tolerierbar sind. Das Verständnis dieser Zusammenhänge erleichtert es sehr, die durch Klimaveränderungen bedingte Dynamik von Arealen zu verstehen und in sich änderndem Habitatwahlverhalten eine erste Reaktion von Reptilien auf sich ändernde Klimabedingungen zu erkennen.

### Historische Klimaschwankungen

Während der letzten Eiszeiten (Glaziale) und der dazwischen liegenden Interglaziale veränderte sich das Klima insbesondere auf der Nordhalbkugel massiv. Historisch betrachtet haben die Organismen auf klimatische Veränderungen mit Verschiebung ihrer Verbreitungsgebiete reagiert, und dadurch bedingt haben sich die Areale der Reptilien und Amphibien mehrfach verkleinert und vergrößert. Das Ausmaß der Schwankungen wird deutlich, betrachtet man die fossilen Funde von an tropische Klimate angepassten Krokodilen auf Ellesmere Island, einer Insel vor der Nordküste Kanadas. Während in Europa die Alpen, die Karpaten und in Asien das Himalaya-Massiv als west-ost ausgerichtete Barrieren die Ausbreitungswege nach Süden versperrten und viele Arten ausstarben, waren die Wege nach Süden in Nordamerika frei. Hierdurch erklärt sich die relativ

geringe Amphibien- und Reptiliendiversität in Europa verglichen mit Nordamerika und den Tropen, wobei die europäischen und nordamerikanischen Taxa meist größere Areale besetzen als ihre tropischen Verwandten. In diesem Muster spiegelt sich die unterschiedliche Breite ihrer klimatischen Nischen wider.

In tropischen Regionen führten die Klimaschwankungen während der Glaziale und Interglaziale zu immer wiederkehrenden Oszillationen zwischen vorherrschenden Regenwald- und Wüstenformationen, und damit verbunden zu Änderungen der Verbreitungsgebiete von Regenwald- und Wüstenarten, ohne jedoch so häufige Aussterbeereignisse hervorzurufen, da Extremschwankungen meist ausblieben. Hierbei wurden die Verbreitungsgebiete der Amphibien und Reptilien vielfach fragmentiert und fusioniert, was oftmals die Bildung neuer Arten begünstigte. Während jedem dieser Zyklen gab es Taxa, die ihr Areal erweitern, aber auch Spezies, die ihr Areal verkleinern mussten, und somit »Gewinner« und »Verlierer«. Anhand der Verbreitung und Zusammensetzung der heutigen Herpetofaunen lässt sich die Klimageschichte einer Region oftmals rekonstruieren.

Bei Erwärmung sind die Ektothermen zunächst die Gewinner, da das Areal, das sie potenziell besiedeln können, wächst. Jedoch ist die Erderwärmung vielerorts mit einer Veränderung der Niederschläge und der Häufigkeit von extremen Wetterereignissen verbunden, auf die insbesondere die Spezialisten unter den Amphibien und Reptilien nicht angepasst sind.

### Auswirkungen des anthropogenen Klimawandels ...

Wie bereits erläutert, traten massive Klimaschwankungen bereits während der Eiszeiten auf und sind somit natürlich. Warum ist die heute beobachtete Klimaveränderung dann so bedenklich? Kurz gesagt, sie lässt der Fauna und Flora aufgrund der hohen Veränderungsrate weniger Zeit zur Anpassung und führt viele Arten an ihre Toleranzgrenze. Hierzu ein Beispiel:

Für die Hochländer des Guyana-Schildes in Südamerika wurde gezeigt, dass eine Veränderungsrate von  $0,025\text{ °C}$  pro Jahrhundert während des letzten Postglazials stattfand. Diese Rate wird als natürliche Veränderung betrachtet, an die die dort ansässigen Tier- und Pflanzenarten sich anpassen können. Im Laufe der letzten 250 Jahre stieg die Temperatur um ca.  $0,6\text{ °C}$  pro Jahrhundert, was bereits einer rund 10-fach höheren Rate entspricht ( $0,24\text{ °C}$  pro Jahrhundert) (RULL & VEGAS-VILARRÚBIA 2006). Der vom Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) für das Ende des 21. Jahrhunderts vorhergesagte Temperaturanstieg liegt im weltweiten Mittel zwischen  $1,8\text{--}4,0\text{ °C}$  pro Jahrhundert

(best estimate) und  $1,1\text{--}6,4\text{ °C}$  pro Jahrhundert, (likely range), wobei für das Amazonasgebiet ein Anstieg zwischen  $1.8$  und  $5.1\text{ °C}$  je nach angewandtem Modell erwartet wird (IPCC 2007). Das entspricht einer um 72- bis 204-mal höheren Rate!

Da erwartet wird, dass die Änderungsrate des Klimas weiter zunimmt, wird der Druck auf viele Amphibien und Reptilien weiter erhöht werden. Reduzierte Bodenfeuchtigkeit wird Habitate für manche Arten unbewohnbar machen und erhöhte Evaporation während des Sommers wird einen starken Effekt auf die Verfügbarkeit von temporären Gewässern, die als Laichplätze für viele Amphibienarten dienen, haben. Setzt man nun voraus, dass Amphibien und Reptilien einen zumindest über erdgeschichtlich kurze Zeiträume konservativen »Climate Envelope« haben und mit Arealverschiebungen in Richtung klimatisch geeigneter Gebiete reagieren müssen um ihre heutige Arealgröße halten zu können, führen sie diese hohen Raten oftmals an die Grenzen ihrer Ausbreitungsmöglichkeiten. Dazu kommt, dass das ohnehin relativ geringe Ausbreitungspotenzial der Amphibien und Reptilien durch Habitatzerstörung und -fragmentierung weiter beeinträchtigt wird. Das kann zu massiven Arealeinbußen bis hin zum Aussterben einzelner, insbesondere der hoch spezialisierten Taxa führen (s. auch TRAUTMANN et al. 2012)

### ... auf Reptilien

Bisher haben sich erst wenige Studien mit den Auswirkungen der globalen Erwärmung auf Reptilien beschäftigt (GIBBONS et al. 2000), jedoch ist anzunehmen, dass insbesondere spezialisierte, auf bestimmte Habitate angewiesene Arten mit kleinen Verbreitungsgebieten und geringem Ausbreitungspotenzial, betroffen sein werden. Hierzu zählen zum Beispiel einige australische Echsen (BRERETON et al. 1995) sowie Klapperschlangen in Nordamerika und in der Neotropis (GREENE & CAMPBELL 1993). Im Gegensatz dazu werden einige Generalisten von der Klimaerwärmung profitieren und ihr Areal ausbreiten können.

Reptilien können durch Wahl geeigneter Sonnen- bzw. Schattenplätze für sie klimatisch günstige Orte wählen und sind durch gezieltes Aufsuchen verschiedener mikroklimatischer Bereiche in ihrem Lebensraum in der Lage, ihre Körpertemperatur zu regulieren. Da die meisten Reptilien ihre Eier vergraben und keine Brutpflege betreiben, sind diese auf ein geeignetes Klima während ihrer Entwicklung angewiesen und damit besonders anfällig. Ein verregneteter oder zu heißer Sommer kann somit zum Verlust einer ganzen Generation führen, wenn die Entwicklung der Eier nicht möglich ist. Bedenkt man nun, dass viele Echsen, wie zum Beispiel die Zauneidechse, in der Natur nur wenige Jahre

alt werden und nur wenige Gelege produzieren können, kann bereits eine relativ kurze Serie von schlechten Sommern ganze Populationen auslöschen. Durch zur Eizeitigung geeignete klimatische Gegebenheiten wird vielfach das Gesamtareal bei Reptilien bestimmt. Nur wenige Taxa haben einen Ausweg gefunden: Aufgrund von Viviparie oder Ovoviviparie sind sie, wie zum Beispiel die Waldeidechse (*Zootoca vivipara*) oder die Blindschleiche (*Anguis fragilis*), in der Lage, ihre Eier an mikroklimatisch günstige Orte „mit zu nehmen“ und so für andere Reptilien zu kalte Regionen zu besiedeln.

Fast alle Reptilien sind nicht in der Lage bei Temperaturen unter  $-4\text{ °C}$  zu überleben, daher ziehen sich viele Reptilien in temperaten Regionen in der kalten Jahreszeit zu einem Winterschlaf zurück. Hierbei sind sie auf geeignete Rückzugsmöglichkeiten angewiesen, wobei eine mehrere Zentimeter dicke Schneedecke oft als wichtige Isolationsschicht dient. Ändern sich nun die Niederschlagsverhältnisse oder bleibt ein Winter für eine ausreichende Schneedecke zu warm, ist ein Winterschlaf – aber auch aufgrund der niedrigen Temperaturen eine Aktivitätsphase – nicht möglich und die Tiere sterben.

Veränderungen des Klimas können auch Auswirkungen auf die Populationsstruktur haben. Bei Krokodilen und den meisten Schildkröten wird die Geschlechtsdeterminierung durch die Temperatur während der Entwicklung im Ei bestimmt. Hier kann der Klimawandel eine Verschiebung der Geschlechtsverhältnisse bewirken. Stellt man sich vor, dass alle Jungtiere eines oder mehrerer Jahrgänge das gleiche Geschlecht haben, kann dies besonders gravierende Folgen haben. Für Süßwasserschildkröten wurden weitere Effekte der Erwärmung, wie erhöhte Wachstumsraten der Jungtiere und frühere Geschlechtsreife, bereits nachgewiesen. GIS gestützte Computersimulationen legen regional verschiedene Umweltveränderungen und damit unterschiedliche Arealreaktionen nahe (z.B. IHLow et al. 2012).

### ... auf Amphibien

Wie sieht es nun bei den Amphibien aus? Sie sind aufgrund ihrer permeablen Haut und ihres biphasischen Lebenszyklus (mit aquatischen Larval- und terrestrischen Erwachsenenstadien) besonders als Indikatororganismen für Ökosystemqualität geeignet und scheinen auf Klimaveränderungen von allen Vertebraten am schnellsten zu reagieren. Sie gelten als die am stärksten bedrohten Wirbeltiere. Nahezu 33% der rund 7.000 Amphibienarten (davon 80% Froschlurche) gelten nach der Roten Liste der World Conservation Union (IUCN) als vom Aussterben bedroht. Schätzungsweise

43% der bekannten Amphibienarten, vor allem Froschlurche, gehen in ihrem Bestand zurück, was vielfach auf Habitatverlust und Übernutzung zurückzuführen ist, aber auch in scheinbar intakten Habitaten zeigen viele Amphibienpopulationen drastische Rückgänge. Es wird vermutet, dass weltweit über 120 Arten seit 1980 ausgestorben sind (STUART et al. 2004).

Das Phänomen des globalen Amphibiensterbens wird als »*global amphibian decline*« bezeichnet, und eine internationale Task Force hat sich gebildet, um das Phänomen zu dokumentieren, näher zu analysieren und womöglich wirksame Gegenmaßnahmen zu ergreifen. Allerdings impliziert der Terminus »*global decline*«, dass es auch eine globale, monokausale Ursache dafür gäbe, was aber offensichtlich nicht der Fall zu sein scheint. Die bei Amphibien natürlicherweise hohen Populationschwankungen lassen wissenschaftlich abgesicherte Aussagen nur nach mehrjährigen Studien zu, und erschweren damit die Identifizierung wichtiger Faktoren. Allerdings wird heute bestimmten Chytridpilzen (*Batrachochytridium dendrobatidis*) die Hauptschuld am Rückgang von Amphibienzönosen in verschiedenen Regionen weltweit, besonders jedoch in den Tropen, gegeben, doch werden auch verstärkte UV-Einstrahlung, Pestizideinsatz, Habitatverlust, sowie Verdrängung durch invasive Arten als mögliche Ursachen genannt. Verschiedene Studien deuten auf eine Verbindung zwischen dem Ausbruch von Krankheiten wie Chytridiomykose und klimatischen Veränderungen hin. Wie komplex die Wechselwirkungen zwischen einzelnen Faktoren sein können, verdeutlicht eine Studie durchgeführt von KIESECKER et al. (2001): Die Autoren konnten zeigen, dass in besonders trockenen Jahren die reduzierte Gewässertiefe zu einer erhöhten UV-B Bestrahlung des Laichs führt. Diese Belastung führt zu einer höheren Empfänglichkeit für Infektionskrankheiten, was zu einer deutlich erhöhten Mortalität führt. Des Weiteren sprechen verschiedene Studien dafür, dass einige Amphibien bedingt durch Klimaveränderungen einen kürzeren Winterschlaf halten und sich früher im Jahr fortpflanzen. In Großbritannien verfrühte sich der Beginn der Laichzeit der Teichfrösche (*Rana kl. esculenta*) und der Kreuzkröten (*Bufo calamita*) über einen Verlauf von 17 Jahren um bis zu 10 Tage. Eine derartige Verschiebung könnte durch Desynchronisation mit anderen biologisch relevanten Zyklen, wie der Phänologie und damit der Verfügbarkeit von Nahrungsorganismen, durchaus Nachteile bringen.

ARAÚJO et al. (2006) haben anhand von computergestützten Verbreitungsmodellen für europäische Amphibien gezeigt, dass eine Temperaturerhöhung auf die europäische Herpetofauna keine so gravierenden Folgen hat wie zunächst angenommen, jedoch die da-

mit einhergehenden verminderten Niederschläge fatal sein könnten, da die Verfügbarkeit von Wasser und von den für die Amphibien besonders wichtigen Laichgewässern abnimmt. Die erhöhte Aridität in Verbindung mit der fortschreitenden Fragmentierung der Habitate verschärft die Situation zusätzlich.

Wie sieht es nun bei tropischen Amphibien aus? Es gibt Hinweise auf einen strukturellen Unterschied zwischen den klimatischen Nischen tropischer und außertropischer Arten. Tropische Froschlurche sind empfindlicher als temperate Arten gegenüber Klimaveränderungen, da sie aufgrund ihrer meist kleineren Areale sowie den fehlenden bzw. nur schwach ausgeprägten jahreszeitlichen Klimaschwankungen in tropischen Regionen engere klimatische Nischen besetzen. Daher überschreiten bereits relativ kleine Temperaturschwankungen die Toleranzgrenze vieler tropischer Arten. So verwundert es nicht, dass die stärksten Populationsrückgänge in den Tropen beobachtet wurden.

POUNDS et al. berichteten bereits 1999 von demographischen Veränderungen in Vogel-, Reptilien- und Amphibienpopulationen an den Hängen des Monteverde in Costa Rica, die zum synchronen Zusammenbrechen vieler Populationen führte. Dabei beobachteten die Autoren das Verschwinden von 20 Amphibientaxa (40%

der lokalen Froschzönose!), worunter sich auch die dort endemische Goldkröte (*Incilius periglenes*, oder *Bufo periglenes*) (Ab. 2.5-1) befand. Sie gilt heute als erste Art, bei der ein Zusammenhang zwischen einem Aussterbeereignis und klimatischen Veränderungen direkt nachgewiesen wurde. Die Untersuchungen zeigten, dass die globale Erwärmung in Verbindung mit El Niño-Effekten die Nebel- und damit die Niederschlagshäufigkeit in dieser Region verändert hat, was die Zusammenbrüche der Populationen bewirkte.

Die Folgen des Klimawandels auf die Herpetozöosen können auch indirekt sein. Auf dem Gelände der biologischen Station in La Selva (Costa Rica) wurde kürzlich ein Zusammenhang zwischen dem Rückgang der lokalen Herpetofauna und einer klimatisch bedingten Reduktion der Laubstreuenschicht, einem wichtigen Mikrohabitat der Tiere, beobachtet. Die Analyse eines 35 Jahre umfassenden Datensatzes ergab, dass die Amphibien- und Reptilienfauna dort um ca. 75% seit 1970 zurückgegangen ist (WHITFIELD et al. 2007). Der Effekt wurde sowohl bei Amphibien als auch bei Reptilien beobachtet. Weitere tropische Beispiele wären das Verschwinden vieler Arten der Gattung *Atelopus* in Lateinamerika und verschiedener bachbewohnender Frösche im Atlantischen Regenwald in Süd-Ost Brasilien.



**Abb. 2.5-1:** Die Goldkröte ist das erste Amphib, das nachweislich aufgrund der Klimaerwärmung ausgestorben ist.

## Schlussbetrachtung

In diesem Beitrag wurde gezeigt, dass die Erderwärmung Auswirkungen auf Amphibien und Reptilien vom Populationsniveau bis zum globalen Maßstab hat. Obwohl es in erdgeschichtlicher Zeit, und insbesondere während des Holozäns, viele klimatische Veränderungen gab, stellt die besonders hohe Veränderungsrate des Klimas heute ein besonderes Problem dar, was durch zunehmende Habitatfragmentierung verschärft wird. Das wird am Beispiel der Amphibien deutlich.

Wenn der Klimawandel bereits heute zu derart drastischen Populationsrückgängen und Aussterbeereignissen führt, wie bei den Amphibien beobachtet wurde, dann erreicht die Rate für einige Taxa dieser Gruppe bereits die Toleranzgrenze. Aussterbeereignisse in anscheinend natürlichen, unveränderten Habitaten in verschiedenen Teilen der Welt lassen die volle Tragweite der Konsequenzen erahnen und weitere Studien über den Einfluss des Klimawandels auf Amphibien- und Reptilienpopulationen als unerlässlich erscheinen.

## Weiterführende Literatur

- ARAÚJO, M. B., W. THULLIER & R. G. PEARSON (2006): Climate warming and the decline of amphibians and reptiles in Europe. *J. Biogeogr.* 33, 1712-1728.
- BÖHME, W. (1978): Das Kühnelt'sche Prinzip der regionalen Stenözie und seine Bedeutung für das Subspezies-Problem: ein theoretischer Ansatz. *Z. f. zool. Systematik und Evolutionsforschung*. 16, 256-266.
- BRERETON, R., S. BENNETT & I. MANSERGH (1995): Enhanced greenhouse climate change and its potential effect on selected fauna of southeast Australia: a trend analysis. *Biol. Cons.* 72, 339-354.
- GIBBONS, J. W., D. E. SCOTT, T. J. RYAN, K. A. BUHLMANN, T. D. TUBERVILLE, B. S. METTS, J. L. GREENE, T. MILLS, Y. LEIDEN, S. POPPY & C. T. WINNE (2000): The global decline of reptiles, déjà vu amphibians. *BioScience*. 50, 653-666.
- GREENE, H. W., & J. A. CAMPBELL (1993): The future of pitvipers. In: CAMPBELL J. A., & E. D. BRODIE, Jr. (eds.). *Biology of the Pitvipers*. Lanesboro (MN): Serpent's Tale Natural History Book Distributors, 421-427.
- IHLW, F., J. DAMBACH, J. O. ENGLER, M. FLECK, T. HARTMANN, S. NEKUM, H. RAJAEI & D. RÖDDER (2012): On the brink of extinction? How climate change may affect global Chelonian species richness. *Global Change Biology* 18: 1520-1530.
- IPCC (2007): Summary for Policymakers. In: SOLOMON, S., D. QIN, M. MANNING, Z. CHEN, M. MARQUIS,

- K. B. AVERYT, M. TIGNOR & H. L. MILLER (eds.). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1-18.
- KIESECKER, J. M., A. R. BLAUSTEIN & L. K. BELDEN (2001): Complex causes of amphibian population declines. *Nature*. 410, 681-684.
- PARMESAN, C., & G. YOHE (2003): A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*. 421, 37-42.
- POUNDS, J. A., M. P. L. FOGDEN & J. H. CAMPBELL (1999): Biological response to climate change on a tropical mountain. *Nature*. 398, 611-615.
- POUNDS, J. A., M. R. BUSTAMANTE, L. A. COLOMA, J. A. CONSUEGRA, M. P. L. FOGDEN, P. N. FOSTER, E. LA MARCA, K. L. MASTERS, A. MERINO-VITERI, R. PUSCHENDORF, S. R. RON, G. A. SÁNCHEZ-AZOFEIFA, C. J. STILL & B. E. YOUNG (2006): Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming. *Nature*. 439, 161-167.
- RULL, V., & T. VEGAS-VILARRÚBIA (2006): Unexpected biodiversity loss under global warming in the neotropical Guayana Highlands: a preliminary appraisal. *Global Change Biology*. 12, 1-9.
- STUART, S., J. S. CHANSON, N. A. COX, B. E. YOUNG, A. S. L. RODRIGUES, D. L. FISCHMAN & R. W. WALLER (2004): Status and trends of amphibian declines and extinctions worldwide. *Science*. 306, 1783-1786.
- TRAUTMANN, S., S. LÖTTTERS, J. OTT, J. BUSE, K. FILZ, D. RÖDDER, N. WAGNER, A. JAESCHKE, U. SCHULTE, M. VEITH, E.-M. GRIEBELER & K. BÖHNING-GAESE (2012): Chapter 10: Auswirkungen auf geschützte und schutzwürdige Arten. In: MOSBRÜGGER, V., G. BRASSEUR, M. SCHALLER & B. STRIBRNY: *Klimawandel und Biodiversität - Folgen für Deutschland*. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt. 432 S.
- WHITFIELD, S. M., K. E. BELL, T. PHILIPPI, M. SASA, F. BOLAÑOS, G. CHAVES, J. M. SAVAGE & M. A. DONNELLY (2007): Amphibian and reptile declines over 35 years at La Selva, Costa Rica. *PNAS*. 104, 8352-8356.

### Kontakt:

Prof. Dr. Wolfgang Böhme  
 Dr. Dennis Rödder  
 Zoologisches Forschungsmuseum Alexander Koenig  
 (ZFMK), Bonn  
 W.Boehme@zfmk.de