

3.7 Amphibien und Reptilien im Klimawandel: eine differenzierte Sicht der Gefahren und Anpassungen

MARK-OLIVER RÖDEL, CAROLIN DITTRICH,
SEBASTIAN KIRCHHOF & JOHANNES PENNER

Amphibien und Reptilien im Klimawandel: eine differenzierte Sicht der Gefahren und Anpassungen: Amphibien und Reptilien sind von den Auswirkungen des Klimawandels bedroht. Besonders Arten mit kleinen Arealen und/oder montaner Verbreitung werden unter den Veränderungen leiden. Viele Arten können die Auswirkungen des Klimawandels allerdings zumindest teilweise durch Verhaltensänderungen kompensieren, wobei die Plastizität der Reaktionsnormen sogar innerhalb einer Art variieren kann. Die plastischen Möglichkeiten der meisten Arten sind bislang unbekannt. Zum langfristigen Erhalt der Amphibien- und Reptiliendiversität sind insbesondere vernetzte Lebensräume mit einer hohen Vielfalt von unterschiedlichen Mikrohabitaten wichtig.

Amphibians, reptiles and climate change: a differentiated view of threats and adaptations: Amphibians and reptiles are sensitive to climate change. Specifically range restricted and/or montane species are likely to suffer from changing conditions. Many species can at least partly compensate for these changes by plastic behavior. However, the range of reaction norms may even vary within a species; the respective species-specific potentials are usually unknown. In particular well-connected habitats with a large variety of different microhabitats are important for the long-term maintenance of amphibian and reptile diversity.

Lurche, Kriechtiere und Klimawandel

Das Vorkommen und Überleben einer Art wird durch eine Reihe biotischer (Nahrung, Konkurrenz, Koexistenz, Räuber-Beute-Beziehungen, Symbiosen, etc.) und abiotischer (Klima, physikalisch/chemische Eigenschaften des Bodens, Feuchtigkeit, Licht, etc.) Faktoren bestimmt, die zusammengefasst die Nische einer Art beschreiben. Der aktuell beobachtete und prognostizierte Klimawandel hat daher direkten Einfluss auf diese Nische. Global betrachtet wird Klimawandel mit einem Anstieg der Durchschnittstemperatur (sowie der Verdunstungsraten) und Veränderungen in den Niederschlagsmengen und -mustern verbunden sein. Alle Organismen benötigen bestimmte Temperaturen für den optimalen Ablauf ihrer physiologischen Prozesse. Diese Bedürfnisse sind artspezifisch sehr unterschiedlich, verlaufen aber normalerweise innerhalb enger Grenzen. Endotherme Tiere (Säugetiere und Vögel) regulieren ihre Körpertemperatur und damit ihre physiologischen Prozesse über ihren Stoffwechsel. Ektotherme Tiergruppen, wie Amphibien und Reptilien, können dies aber nur bedingt, und ihre Körpertemperatur hängt zumeist stark von der Umgebungstemperatur ab. Daher wird oft davon ausgegangen, dass der Klimawandel für sie besonders kritisch ist. Grundsätzlich gelten Amphibien und Reptilien mit ihren meist relativ kleinen Verbreitungsgebieten und engen ökologischen Nischen als Tiergruppen, die von anthropogenen Veränderungen wie dem Klimawandel besonders negativ betroffen sein werden.

Man sollte sich jedoch vergegenwärtigen, dass, obwohl Amphibien und Reptilien stammesgeschichtlich älter sind als z.B. Säugetiere, Ektothermie nicht unbedingt »primitiv« ist. Unter vielen Bedingungen ist diese

Physiologie sogar von großem Vorteil: der wesentlich niedrigere Stoffwechsel ist mit einem deutlich geringeren Nahrungsbedarf verbunden und bietet damit unter Umständen bessere Möglichkeiten, kritische Zeiten zu überstehen. Es gibt beispielsweise gute Hinweise darauf, dass die Vorfahren der Krokodile endotherm waren, also die Abschaffung von Endothermie für sie offensichtlich ein evolutiver Vorteil war.

Neben Temperaturveränderungen stellen Veränderungen der Niederschlagsmenge und -verteilung für viele Reptilien, insbesondere aber für Amphibien ein potenzielles Problem dar. Für letztere ist eine artspezifische, meist hohe, Grundfeuchtigkeit und eine ausreichende Wasserverfügbarkeit essentiell. Amphibien benötigen hohe Feuchtigkeit in der Regel schon dafür, dass ihre halbdurchlässige Haut nicht austrocknet. Dabei verlieren schwerere und größere Amphibien weniger Wasser als kleinere, leichtere Arten, letztere sind damit von veränderten Niederschlagsverhältnissen potenziell stärker betroffen. Bei vielen Amphibien – auch solchen, die keine Gewässer zur Fortpflanzung benötigen – bestimmen Regenfälle den Zeitpunkt der Fortpflanzung. Bei Arten mit aquatischen Larven entscheidet die Dauerhaftigkeit der Gewässer über das Überleben der Larven. Veränderungen der Niederschlagsmuster und der Verdunstungsraten können sich daher vor allem auf Arten auswirken, welche ihre Eier in temporäre Gewässer ablegen. Das Hauptrisiko ist hierbei das Austrocknen, bevor die Larven die Metamorphose beendet haben.

Im Wasser lebende Amphibienlarven weisen je nach Art nur eine geringe Temperaturtoleranz auf, weswegen eine zunehmende Erwärmung der Larvengewässer auch dazu führen kann, dass bei vielen Arten

die thermische Obergrenze schnell erreicht wird (DUARTE et al. 2012). Die Larven vieler Populationen unserer heimischen Gelbbauchunke (*Bombina variegata*) und Kreuzkröte (*Epidalea calamita*) leben schon heute nahe an ihrem physiologisch ertragbaren Temperaturmaximum. Aber auch die meist an Land lebenden adulten Tiere könnten durch steigende Temperaturen an ihre thermische Grenze gelangen. Dies gilt insbesondere für eher kalt angepasste Arten höherer Breiten und monotoner Lebensräume.

Gefahren des Klimawandels

Die Bedrohungen durch den Klimawandel für Amphibien und Reptilien sind also vielfältig. Wenn die artspezifischen optimalen Körpertemperaturen nicht erreicht bzw. überschritten werden, können Stoffwechselprozesse nicht mehr bestmöglich ablaufen. Durch höhere Temperaturen kommt es potenziell auch zu hohen Energieverlusten in Zeiten niedriger Aktivität, z.B. während der Winter- oder Trockenruhe. Gespeicherte Energiereserven reichen dann nicht mehr zum Überleben aus. Zu hohe Temperaturen können in bereits warmen Gebieten auch die nötigen Aktivitätsphasen zur Nahrungsaufnahme derart drastisch verringern, dass es zum Zusammenbruch einer Population führen kann. Da die Reifung der Geschlechtszellen und der Fortpflanzungsbeginn häufig durch Winter oder Regenzeiten ausgelöst werden, können sich Verlängerungen (im Falle der Trockenruhe) oder Verkürzungen (bei der Winterstarre) der Inaktivitätsphasen auch negativ auf die Koordinierung des Reifeprozesses zwischen den Geschlechtern auswirken. Des Weiteren sind die Ruf- und Fortpflanzungsaktivitäten vieler Frösche und Kröten stark mit Temperatur und Niederschlag korreliert, so dass Veränderungen hierbei ein weiteres Problem darstellen können. Tatsächlich sind Verschiebungen von Aktivitätsperioden bereits jetzt zu beobachten. Eine Analyse bereits veröffentlichter Daten zeigte, dass Amphibien der nördlichen Hemisphäre eine signifikant stärkere Verschiebung zu einem früheren Fortpflanzungsbeginn hatten als alle anderen untersuchten Tiergruppen (PARMESAN 2007). LI et al. (2013) konnten sogar zeigen, dass sich fast zwei Drittel der Populationen von 31 untersuchten Amphibienarten um bis zu 60 Tage früher fortpflanzten als noch vor 10-140 Jahren.

Veränderte Temperatur- und Niederschlagsbedingungen können auch dazu führen, dass Ressourcen nicht zur benötigten Zeit verfügbar sind. Dies betrifft beispielsweise Fortpflanzungsgewässer bei Amphibien, die zur falschen Zeit oder nicht ausreichend lange gefüllt sind. Es kann aber auch andere Ressourcen wie zum Beispiel Nahrung betreffen, wenn deren Verfügbarkeit aufgrund veränderter Schlupfzeiten oder

veränderter/ verkürzter/ asynchroner Aktivitätszeiten nicht gegeben ist. Im Falle der Reptilien kommt weiterhin dazu, dass die Geschlechtsdeterminierung des Nachwuchses in vielen Gruppen von der Inkubationstemperatur während der Embryonalphase abhängig ist. Temperaturverschiebungen können so zu einem veränderten und potenziell ungünstigen Geschlechterverhältnis und einer Dynamik führen, die eine Population letztlich erlöschen lässt. Zuletzt können veränderte Klimabedingungen Stress auslösen, welcher das Immunsystem eines Individuums negativ beeinflussen und Krankheiten begünstigen kann. Bei Froschlurchen führten extreme Temperaturen und größeres Austrocknungsrisiko zu erhöhtem Stresslevel, wodurch weniger schützende Hautpeptide produziert wurden, was zu einem Anstieg des Risikos von Pilz- und bakteriellen Infektionen führt (ROLLINS-SMITH 2016). Die vielfältigen direkten und indirekten Effekte von Klimawandel sowie deren potenziell komplexe Interaktionen sind für Amphibien von BLAUSTEIN et al. (2010) übersichtlich zusammengefasst.

Mögliche Überlebensoptionen

Generell gibt es für Organismen drei Optionen, auf Klimaveränderungen zu reagieren: 1. plastische (phänotypische) Reaktionen und Anpassungen (z.B. Verhalten und Physiologie); 2. genetische Anpassung (Evolution) und 3. die Migration in geeignetere Lebensräume.

Die Migration bzw. das Abwandern in geeignete Lebensräume wurde und wird immer wieder beobachtet und belegt. Während der Eiszeiten in Europa wanderten viele hier vorkommende Arten in südliche Refugialgebiete; die Rückwanderung aus diesen erfolgte dann über verschiedene Routen, was sich in der heutigen unterschiedlichen Verbreitung verwandter Arten oder genetischer Linien nördlich der Alpen zeigt. Obwohl einige



Abb. 3.7-1: Die Agakröte, *Rhinella marina*, gehört zu den Amphibienarten die sich schnell an neue Bedingungen anpassen können, wie ihre Ausbreitung in Australien eindrucksvoll belegt (Foto: Mark-Oliver Rödel).

Arten wie die Agakröte, *Rhinella marina* (Abb. 3.7-1), in Australien (HUDSON et al. 2016) oder nordamerikanische Ochsenfrösche, *Lithobates catesbeianus*, in Europa (FICETOLA et al. 2007), sehr schnell neue Lebensräume erschließen können, zeigen andere Arbeiten, dass viele Amphibien- und Reptilienarten sehr »konservativ« sind und auch in lange bestehende, nach unserer Sichtweise gut geeignete Gebiete nicht einwandern (z.B. KIESLING et al. 2016). In vielen Fällen wird heutzutage die Option Migration für Amphibien und Reptilien zudem durch die Fragmentierung von Lebensräumen schwer möglich sein. So ist ein dichtes Straßennetz und eine intensive Landbewirtschaftung eine ebenso effektive Verbreitungsbarriere für nichtfliegende Arten wie offene Flächen zwischen Regenwaldresten für kleine Waldfrösche in den Tropen. Schwer einen neuen Lebensraum zu finden, werden es auch Arten haben, die bereits auf oder nahe von Berggipfeln leben. Diese meist kalt- und/ oder feucht-angepassten Arten der Höhenlagen müssten bei weiterer Erwärmung/ Austrocknung weiter nach oben wandern, um wieder geeignete Temperaturbedingungen vorzufinden (oder durch ein Tal mit für sie ungeeignetem Lebensraum zum nächsthöheren Berg wandern). Selbst für sub-montane Arten kann eine Aufwärtswanderung noch weitere Probleme mit sich bringen, da zum Gipfel hin die besiedelbare Fläche geringer und damit die möglichen Populationsgrößen auch kleiner werden (siehe nächste Option).

Die genetische Anpassung (Evolution) erfordert einen variablen und großen Genpool, sprich große Populationen mit genügend Nachkommen, und je nach Art sehr lange Zeiträume oder sehr kurze Generationszeiten. Der derzeitige Klimawandel vollzieht sich dagegen vergleichsweise schnell. Zudem sind viele Populationen klein und/ oder genetisch isoliert. Letzteres trifft insbesondere auf Europa zu, gilt aber auch für viele tropische Amphibien- und Reptilienarten z.B. in Regenwaldfragmenten und auf Bergen. Letztlich kann die Rate möglicher (ja zufälliger) evolutiver Anpassungen mit der derzeitigen Geschwindigkeit der Klimaänderungen nicht mithalten (QUINTERO & WIENS 2013), selbst wenn man berücksichtigt, dass die Mutations- und Diversifizierungsraten in tropischen Gegenden höher sind. Innerhalb einer Art können verschiedene Populationen in ihrer Anpassungsfähigkeit unterschiedlich betroffen sein. An Kleinen Wasserfröschen (*Pelophylax lessonae*) konnte gezeigt werden, dass isolierte Populationen am Rande des Verbreitungsgebiets lokal angepasst sind, eine reduzierte genetische Diversität aufweisen und sich damit nicht so gut anpassen können wie Populationen aus dem Kern des Verbreitungsgebietes (ORIZAOLA et al. 2010). Auf der anderen Seite können benachbarte, aber in unterschiedlichen



Abb. 3.7-2: Die verschiedenen Farbmorphen des nordamerikanischen Rotrückensalamanders (*Plethodon cinereus*), hier ein gestreiftes und ein einfarbig dunkelgraues Tier, gehen bei unterschiedlichen Temperaturen auf Nahrungssuche (Foto: Hendrik Müller).

Lebensräumen lebende Gelbbauchunken innerhalb vermutlich kurzer Zeit lebensraumspezifische Anpassungen zeigen, so dass zumindest einige Populationen eine gewisse »Vor Anpassung« an den Klimawandel mitbringen (DITTRICH et al. 2016). Ähnliches gilt auch für manche Salamander. Einzelne Arten, wie der nordamerikanische Rotrückensalamander (*Plethodon cinereus*; Abb. 3.7-2), kommen in unterschiedlichen Farbmorphen vor, die bei unterschiedlichen Temperaturen auf Nahrungssuche gehen (MORENO 1989). So könnten zumindest die am besten angepassten Morphen das Aussterben der jeweiligen Populationen und Arten verhindern (bei gleichzeitiger Verarmung des Genpools).

Die plastische oder phänotypische Anpassung umfasst die Bandbreite, die eine Art bereits jetzt hat, um auf unterschiedliche Bedingungen zu reagieren. Dies betrifft z.B. die Fähigkeit einiger Kaulquappen, bei steigenden Wassertemperaturen und fallenden Wasserständen ihre Entwicklungsgeschwindigkeiten zu erhöhen. Oft sind solche plastischen Reaktionen aber mit Kosten verbunden. So erreichen die Kaulquappen vielleicht die Metamorphose bevor der Tümpel austrocknet, sie sind dann aber kleiner und/ oder leichter, können weniger weit springen und damit schlechter einem Feind entkommen oder selbst Beute machen. Solche Nachteile können in der weiteren Entwicklung gelegentlich kompensiert werden, manchmal wird das Handicap aber bis zur Geschlechtsreife »mitgeschleppt«. Die kleinen Frösche haben dann einen geringeren Fortpflanzungserfolg. Solche Effekte können sich über längere Zeiträume akkumulieren, so dass lokale Populationen aussterben können.

Die Zukunft für Amphibien und Reptilien ist schwarz?

Von 1500 bis 1980 wurde weltweit das Aussterben von 34 Amphibienarten dokumentiert. Man schätzt, dass

sich dieser Prozess enorm beschleunigt hat und seit 1980 bereits mehr als 100 Amphibienarten verschwunden sind (CEBALLOS et al. 2015). Derzeit gilt mehr als ein Drittel aller Amphibienarten als vom Aussterben bedroht. Dies liegt zuallererst an dem Verlust, der Degradierung und der Fragmentierung von Lebensräumen, aber auch an Umweltverschmutzung, Krankheiten und klimatischen Veränderungen. Großflächiger Klimawandel wird sich sicher weiter negativ auswirken. Ähnlich schlecht geht es vermutlich auch vielen Reptilien, hier gibt es nur sehr viel weniger verlässliche Daten. Ist die Zukunft von Lurchen und Kriechtieren hunderte von Millionen Jahre nach ihrem ersten Auftreten auf der Erde also schwarz?

In einem sehr aufwändigen Experiment mit der Waldeidechse (*Zootoca vivipara*) konnte unter Freilandbedingungen nachgewiesen werden, dass wärmeres Klima einen früheren Beginn der Fortpflanzungsperiode, verringerte Überlebensraten und insgesamt ein sehr langsames Populationswachstum zur Folge hatte. Die Autoren sagen voraus, dass Populationen dieser Art in derzeit bereits warmen Lebensräumen innerhalb der nächsten 20 Jahre aussterben werden (konkret: bei einem Temperaturanstieg von 2° C würden 14% aller europäischer Populationen, überwiegend am südlichen Arealrand, gefährdet sein; BESTION et al. 2015). Allerdings können Effekte des Klimawandels sehr komplex sein. Eine andere Studie an derselben Art konnte zeigen, dass sich Populationen in ihren biologischen Eigenschaften durchaus verändern können (LEPETZ et al. 2009). Tatsächlich schreiben CAREY et al. (2003), dass bislang keine direkte Verbindung zwischen Klimawandel und dem Rückgang von Arten bewiesen werden konnte und entsprechende Aussagen oft auf »Anekdoten beruhen«. So wird allgemein davon ausgegangen, dass montane Amphibien in unterschiedlichen Regionen der Erde wärmeres Klima mit einer Verschiebung ihres Vorkommens in höhere Lagen kompensieren. Aus Ecuador berichten BUSTAMANTE et al. (2005) von sechs Amphibienarten, die zwischen 1967 und 2003 bergaufwärts gewandert sind. Eine Arbeit aus Madagaskar konnte allerdings zeigen, dass ähnliche Berichte von Arten dieser Insel wohl nicht zutreffend sind, die Arten nicht höher wanderten, sondern lediglich generell über einen viel größeren Höhengradienten anzutreffen waren (BROWN et al. 2016).

Einige Amphibien- und Reptilienarten scheinen in der Lage zu sein, plastisch auf unterschiedliche Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse zu reagieren. Änderungen in der tageszeitlichen oder saisonalen Aktivitätsphase wurden bereits genannt. Dies kann aber Klimaveränderungen nicht immer ausgleichen. So konnten selbst vivipare Skinke aus Neuseeland,

bei häufiger hohem Wolkenanteil, ihr Sonnenverhalten nicht anpassen, so dass weniger Junge geboren wurden (HARE & CREE 2010). Verschiedene Arten scheinen allerdings, je nach Umweltbedingungen, sogar gänzlich unterschiedliche Lebenslaufstrategien verfolgen zu können. Unsere heimischen Erdkröten (*Bufo bufo*) vermehren sich beispielsweise im Regelfall in Massensammlungen im zeitigen Frühjahr, während weniger Tage, in meist großen und permanenten Gewässern. Selten findet man aber auch einzelne Paare, die sich zu anderen Zeiten in kleinen temporären Gewässern fortpflanzen. Der westafrikanische Rote Wendehalsfrosch (*Phrynomantis microps*; siehe Buchtitelbild) vermehrt sich in temporären Gewässern der Savanne Westafrikas. Bei ausbleibendem Regen sind seine Kaulquappen, sie brauchen bis zur Metamorphose ca. 1,5 Monate, stark von Austrocknung bedroht. Wendehalsfrösche sind jedoch in der Lage, das Risiko für ihren Nachwuchs sehr gut abzuschätzen. Je nach Regenmenge, Jahreszeit, Region und Gewässertyp, passen sie ihr Ablaiverhalten und die Laichmenge optimal an (HIRSCHFELD et al. 2011).



Abb. 3.7-3: Eine endemische Echse der Namib-Wüste, *Meroles cuneirostris*, zeigt wie wichtig Mikrohabitate für das Überleben sein können. Sie nutzt die einzige Schattenquelle unter einem toten Baumstumpf, um den tödlich heißen Mittagstemperaturen zu entfliehen (Foto: Sebastian Kirchhof).

Auch durch das Aufsuchen geeigneter Mikrohabitate kann der Effekt des Klimawandels abgepuffert werden (Abb. 3.7-3). Eine Arbeit an philippinischen Regenwaldamphibien und –reptilien zeigte, dass die dort ansässigen Artengemeinschaften ihr Gefährdungspotential durch das Aufsuchen bestimmter Mikrohabitate um das 32- bis 108-fache gegenüber dem Fehlen dieser Mikrohabitate reduzieren können (SCHEFFERS et al. 2014). Reptilien passen ihre Aktivitätszeiten und ihr Thermoregulationsverhalten oftmals unterschiedlichen Bedingungen an. Im Gegensatz zu den mobilen Erwachsenen können Eier jedoch ihren Aufenthaltsort nicht verlassen. Es ist weitgehend unklar wie Reptilien, deren Geschlecht von der Bruttemperatur abhängt, auf Klimaveränderungen reagieren. Für die neuseeländischen Brückenechsen (*Sphenodon*) könnte Klimaerwärmung dazu führen, dass nur noch Männchen schlüpfen (MITCHELL et al. 2008). Im Gegensatz dazu würden bei Meeresschildkröten wie der Lederschildkröte (*Dermodochelys coriacea*) eventuell mehr Weibchen geboren. Dem könnten die Arten entkommen, wenn sie später im Jahr brüteten oder die Gelege beschattet werden (PATINO-MARTINEZ et al. 2012). Tatsächlich wurde bereits beobachtet, dass verschiedene Reptilienarten ihre Eier bei höheren Temperaturen tiefer vergraben. Die nordamerikanische Zierschildkröte (*Chrysemys picta*) kann sogar durch die Auswahl von unterschiedlich beschatteten Nistplätzen Klimaveränderungen und dadurch veränderte Geschlechterverhältnisse kompensieren (REFSNIDER & JANZEN 2012).

Zusammenfassung, Vorhersagen und Handlungsmöglichkeiten

Wie dargestellt sind viele Amphibien und Reptilien vom Klimawandel bedroht. Viele Arten haben aber auch spezifische Antworten parat, die ihnen das Überleben sichern helfen werden. Vorhersagen, wie sich der Klimawandel für bestimmte Arten auswirken wird, sind schwierig. Die derzeit üblichen, klassischen Umweltmodellierungen zeigen, dass sich Amphibien und Reptilien in Europa nach Norden ausbreiten sollten, immer unter der Annahme, dass sie sich ungehindert in der gleichen Geschwindigkeit wie der Klimawandel ausbreiten könnten, was aber in fragmentierten und intensiv genutzten Landschaften nicht möglich ist. Zu berücksichtigen ist ferner, dass sich Klimawandel nicht uniform auswirken wird, sondern lokal sehr unterschiedlich ausfallen kann, z.B. werden Gebirge vermutlich stärker betroffen sein als tiefere Lagen. Die Identifikation solcher »Hochrisikogebiete« erlaubt es, Gebiete und Arten mit hoher Priorität für Schutzmaßnahmen zu identifizieren. So geht man beispielsweise davon aus, dass insbesondere Amphibien und Reptilien

aus dem Südwesten Europas Probleme mit dem Klimawandel haben könnten (ARAUJO et al. 2006). Schutzgebiete können allerdings nur dann eine Lösung sein, wenn die durch den Klimawandel wahrscheinlichen Umweltveränderungen bereits bei den Planungen berücksichtigt werden. Großes Augenmerk sollte zukünftig auch auf die Aufrechterhaltung und/ oder Schaffung von Migrationskorridoren gelegt werden, um gefährdeten Arten ein Ausweichen auf geeignete Lebensräume zu ermöglichen.

Viele der oft verwendeten Prognoseverfahren (Modellierungen) haben noch große Unsicherheiten. Erstens berücksichtigen sie meist zur Vorhersage geeigneter Lebensräume Habitat- und Klimadaten mit einer verhältnismäßig groben räumlichen Auflösung. Mikrohabitate werden darin nicht berücksichtigt. Zweitens können die uns oftmals unbekanntem art- bzw. populationspezifischen Anpassungspotentiale nicht eingebaut werden. Einige der obigen Beispiele zeigen, dass Arten unterschiedlich »gut« mit dem Klimawandel zurechtkommen. Drittens sind biotische Interaktionen für das langfristige Überleben unter veränderten Bedingungen oftmals wichtiger als abiotische (Klimaveränderungen), d.h. wenn Arten wegfallen oder hinzukommen, treten oft stärkere und komplexere Effekte auf, als man bisher vorhersagen kann. Leider gibt es für Amphibien und Reptilien hierzu fast keine experimentellen Studien.

Grundsätzlich ist zu erwarten, dass Amphibien und Reptilien deutlich flexibler auf die zu erwartenden Klimaveränderungen reagieren können als bisher gedacht – im positiven und negativen Sinne. In geringem Umfang kann der Einfluss von Klimawandel auf Amphibien und Reptilien, in spezifischen Fällen, mit Hilfe technischer Methoden gemildert bzw. beeinflusst werden. Beispielsweise kann Arten durch Verbesserungen und Restorationen von Lebensräumen geholfen werden, wie etwa über die artspezifische Manipulation der Hydroperiode für Amphibien (wann und wie lange Gewässer gefüllt sind; SHOO et al. 2001). Allerdings sind alle solche Aktivitäten mit einem enorm hohen Aufwand auf letztlich sehr kleiner räumlicher Skala verbunden und könnten nur Teilpopulationen helfen. Außerdem müssten, neben dem Einfluss auf die Amphibien und Reptilien, selbstverständlich auch die Auswirkungen auf andere Tier- und Pflanzenarten abgeschätzt werden. Um dies seriös zu tun, ist ein erheblich größerer Forschungsaufwand als bisher von Nöten.

Je weniger dramatisch der tatsächliche Klimawandel ausfällt, umso besser wird dies für das Überleben von möglichst vielen Amphibien- und Reptilienarten sein.

Literatur

- ARAÚJO, M. B., W. THULLER & R. G. PEARSON (2006): Climate warming and the decline of amphibians and reptiles in Europe. *J. Biogeogr.*, 33, 1712-1728.
- BESTION, E., A. TEYSSIER, M. RICHARD, J. CLOBERT et al. (2015): Live fast, die young: experimental evidence of population extinction risk due to Climate Change. *PLoS Biol*, 13(10), e1002281.
- BLAUSTEIN, A. R., S. C. WALLS, B. A. BANCROFT, J. J. LAWLER et al. (2010): Direct and indirect effects of Climate Change on amphibian populations. *Diversity*, 2, 281-313.
- BROWN, J. L., N. SILLERO, F. GLAW, P. BORA et al. (2016): Spatial biodiversity patterns of Madagascar's amphibians and reptiles. *PLoS ONE*, 11(1), e0144076.
- BUSTAMANTE, M. R., S. R. RON & L. A. COLOMA (2005): Cambios en la diversidad en siete comunidades de anuros en los Andes de Ecuador. *Biotropica*, 37, 180-189.
- CAREY, C. & M. A. ALEXANDER (2003): Climate change and amphibian declines: is there a link? *Divers. Distribut.*, 9, 111-121.
- CEBALLOS, G., P. R. EHRlich, A. D. BARNOSKY, A. GARCÍA et al. (2015): Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction. *Sci. Adv.*, 1(5), e1400253.
- DITTRICH, C., S. DRAKULIĆ, M. SCHELLENBERG, J. THEIN et al. (2016): Some like it hot? Developmental differences in Yellow-bellied Toad (*Bombina variegata*) tadpoles from geographically close but different habitats. *Can. J. Zool.*, 94, 69-77.
- DUARTE, H., M. TEJEDO, M. KATZENBERGER, F. MARANGONI et al. (2012): Can amphibians take the heat? Vulnerability to climate warming in subtropical and temperate larval amphibian communities. *Glob. Change Biol.*, 18, 412-421.
- FICETOLA, G. F., C. COIĆ, M. DETAINT, M. BERRONEAU et al. (2007): Pattern of distribution of the American bullfrog *Rana catesbeiana* in Europe. *Biol. Invas.*, 9, 767-772.
- HARE, K. M. & A. CREE (2010): Exploring the consequences of climate-induced changes in cloud cover on offspring of a cool-temperate viviparous lizard. *Biol J Linnean Soc*, 101, 844-851.
- HIRSCHFELD, M. & M.-O. RÖDEL (2011): Variable reproductive strategies of an African savanna frog, *Phrynomantis microps* (Amphibia, Anura, Microhylidae). *J. Trop. Ecol.*, 27, 601-609.
- HUDSON, C. M., M. R. MCCURRY, P. LUNDGREN, C. R. MCHENRY et al. (2016): Constructing an invasion machine: The rapid evolution of a dispersal-enhancing phenotype during the Cane Toad invasion of Australia. *PLoS ONE*, 11(9), e0156950.
- KISSLING, W. D., A. BLACH-OVERGAARD, R. E. ZWAAN & P. WAGNER (2016): Historical colonization and dispersal limitation supplement climate and topography in shaping species richness of African lizards (Reptilia: Agamidae). *Sci. Rep.*, 6, 34014.
- PATINO-MARTINEZ, J., A. MARCO, L. QUINONES & L. HAWKES (2012): A potential tool to mitigate the impacts of climate change to the Caribbean leatherback sea turtle. *Glob. Change Biol.*, 18, 401-411.
- PARMESAN, C. (2007): Influences of species, latitudes and methodologies on estimates of phenological response to global warming. *Glob. Change Biol.*, 13, 1860-1872.
- LEPETZ, V., M. MASSOT, A. S. CHAINE & J. CLOBERT (2009): Climate warming and the evolution of morphotypes in a reptile. *Glob. Change Biol.*, 15, 454-466.
- LI, Y., J. M. COHEN & J. R. ROHR (2013): Review and synthesis of the effects of climate change in amphibians. *Integr. Zool.*, 8, 145-161.
- MITCHELL, N. J., M. R. KEARNEY, N. J. NELSON & W. P. PORTER (2008): Predicting the fate of a living fossil: how will global warming affect sex determination and hatching phenology in tuatara? *Proc. R. Soc. B.*, 275, 2185-2193.
- MORENO, G. (1989): Behavioral and physiological differentiation between the color morphs of the salamander, *Plethodon cinereus*. *J. Herpetol.*, 23, 335-341.
- ORIZAOLA, G., M. QUINTELA & A. LAURILA (2010): Climatic adaptation in an isolated and genetically impoverished amphibian population. *Ecography*, 33, 730-737.
- QUINTERO, I. & J. J. WIENS (2013): Rates of projected climate change dramatically exceed past rates of climatic niche evolution among vertebrate species. *Ecol. Lett.*, 16, 1095-1103.
- REFSNIDER, J. M. & F. J. JANZEN (2012): Behavioural plasticity may compensate for climate change in a long-lived reptile with temperature-dependent sex determination. *Biol. Conserv.*, 152, 90-95.
- ROLLINS-SMITH, L. A. (2016): Amphibian immunity-stress, disease, and climate change. *Dev. Comp. Immunol.*, doi: 10.1016/j.dci.2016.07.002.
- SCHEFFERS, B. R., D. P. EDWARDS, A. DIESMOS, S. E. WILLIAMS et al. (2014): Microhabitats reduce animal's exposure to climate extremes. *Glob. Change Biol.*, 20, 495-503.
- SHOO, L. P., D. H. OLSON, S. K. MCMENAMIN, K. A. MURRAY et al. (2001): Engineering a future for amphibians under climate change. *J. Appl. Ecol.*, 48, 487-492.

Kontakt:

PD Dr. Mark-Oliver Rödel
 mo.roedel@mfn-berlin.de
 Dipl.-Biol. Carolin Dittrich
 Dipl.-Ing. Sebastian Kirchhof
 Museum für Naturkunde, Berlin,
 Leibniz-Institut für Evolutions- und Biodiversitätsforschung
 Dr. Johannes Penner
 Wildlife Ecology and Management
 Albert-Ludwig-Universität Freiburg

Rödel, M.-O., C. Dittrich, S. Kirchhof & J. Penner (2016): Amphibien und Reptilien im Klimawandel: eine differenzierte Sicht der Gefahren und Anpassungen. In: Lozán, J. L., S.-W. Breckle, R. Müller & E. Rachor (Hrsg.). *Warnsignal Klima: Die Biodiversität*. pp. 139-144. Online: www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de. doi:10.2312/warnsignal.klima.die-biodiversität.23.