

Evolution im Zeitraffer

Bei manchen Buntbarschen entstehen in Rekordgeschwindigkeit neue Arten. Forscher untersuchen die Bedingungen dafür – und die beteiligten genetischen Mechanismen.

Von Roland Knauer

Die beiden Zitronenbuntbarsche finden offensichtlich Gefallen aneinander. Nichts Ungewöhnliches, sollte man meinen, dass sich ein Männchen und ein Weibchen derselben Art füreinander interessieren. Außerdem sind die in Mittelamerika verbreiteten und bei Aquarianern beliebten Zitronenbuntbarsche für ihren Hang zum Familienleben bekannt: Bei ihnen kümmert sich ein Paar gemeinsam um seine Brut. Auch diese beiden im Xiloá-Kratersee Nicaraguas, Vertreter der Art *Amphilophus xiloensis*, haben schon Nachwuchs, den sie nun sorgsam hüten (siehe Bild rechts).

Doch eigentlich geben sich Zitronenbuntbarsche bei der Wahl eines Partners heikel – und zwar was dessen Färbung betrifft. Ihre verschiedenen Spezies werden heute in den so genannten *Amphilophus-citrinellus*-Artenkomplex gestellt. Bei vielen davon tragen die meisten der Artgenossen dunkle Streifen und Flecken auf einem helleren Grund: Sie wirken eher unscheinbar grau-schwarz. Bei einer Reihe dieser Arten verliert allerdings etwa jedes 20. Tier in später Jugend seine schwarzen Pigmente und bekommt dann ein gelbliches bis rötlich goldenes Kleid. Und gemäß dem Motto »Gleich und

Gleich gesellt sich gern« gründen dann fast nur Fische von ähnlichem Äußeren eine Familie. Die beiden Buntbarsche im Xiloá-Kratersee bilden da eine Ausnahme.

Der Evolutionsbiologe Axel Meyer von der Universität Konstanz beobachtete diese Vorliebe schon als Doktorand an der University of California in Berkeley bei den Fischen in ihrer Heimat. Seitdem lässt ihn der Gedanke nicht mehr los, dass hier vielleicht gerade eine neue Spezies entsteht, bei der alle Erwachsenen goldgelb aussehen werden. Wenn diese These zutrifft – wovon Meyer überzeugt ist –, würden die Forscher hier sozusagen der Evolution direkt, »live«, bei der Artbildung zusehen. Es ist offensichtlich, dass bei diesem Artenkomplex zwei Kräfte eine Rolle spielen: die »natürliche« und die »sexuelle« Selektion. Bei einigen der Arten unterscheiden sich die Fische nicht in der Färbung – alle Tiere bleiben gestreift –, jedoch in den Körperproportionen und Zähnen. An solchen Unterschieden kann die natürliche Auslese angreifen. Treten jedoch zwei Farbmorphen auf, zusammen mit selektiver Partnerwahl, wirkt sexuelle Auslese.

Die Idee, dass in den Kraterseen Nicaraguas gerade neue Arten entstehen, ist nicht völlig überraschend. Schließlich haben die Buntbarsche – Cichliden – in lateinamerikanischen und afrikanischen Seen in den letzten Jahrtausenden und sogar Jahrhunderten häufig neue Lebensräume erobert und dabei eine große Anzahl neuer Spezies hervorgebracht. Diese Fische können sich in Körperbau und Verhalten sehr schnell an neue Umweltbedingungen anpassen. So zeigte Meyers Team, dass in Nicaragua zumindest in zwei kleinen, 2000 Jahre alten Kraterseen Arten leben, die nur jeweils in einem See vorkommen. Auch von Afrika ist bekannt, ebenfalls von Studien aus Meyers Labor, dass Buntbarsche extrem schnell neue Arten bilden können – wobei sich die Evolution in den verschiedenen Seen Ostafrikas in auffälliger Weise wiederholt (siehe dazu auch SdW 6/1999, S. 36).

Buntbarsche sind ein evolutionäres Erfolgsmodell. Unter allen Wirbeltieren stellen sie mit rund 3000 Spezies die vielleicht größte zoologische Familie dar. Gut die Hälfte der

AUF EINEN BLICK

DER ARTBILDUNG ZUSEHEN

- 1 Neue **Evolutionslinien** und **Arten** entstehen auf verschiedene Weise: oft nach **geografischer Trennung von Populationen**, aber auch davon unabhängig durch neue **Anpassungen**.
- 2 Bei vielen **Buntbarschen** – Cichliden – erfolgt die Evolution neuer Arten in rasantem Tempo. Auch heutzutage scheint ihre Artenzahl beständig zu wachsen.
- 3 Diese Buntbarsche benötigen für den Artenzuwachs mitunter nicht einmal geografische Barrieren. Vielmehr reagieren sie teils stark und sehr flexibel auf **Umweltgegebenheiten**. Oder es entwickeln sich am selben Ort **Verhaltensunterschiede** zwischen einzelnen Gruppen, die dann Veränderungen im Körperbau nach sich ziehen.

Wirbeltierarten sind Fische, und von denen gehören allein etwa acht Prozent zu den Cichliden. Alle Säugetiere zusammen bringen es dagegen auf nicht einmal 6000 Spezies. Als deren artenreichste Familie gelten mit rund 750 Arten die Muriden, die »Langschwanzmäuse« der Alten Welt, zu denen etwa Hausmaus oder Wanderratte zählen.

Für Evolutionsstudien sind Buntbarsche auch wegen ihrer schnellen Generationenfolge recht gut geeignet. Viele von ihnen können sich schon im Alter von wenigen Monaten fortpflanzen. Zitronenbuntbarsche etwa bringen mindestens jedes Jahr eine neue Generation hervor. Deshalb lieferte das Vierteljahrhundert Buntbarschforschung, auf das Meyer zurückblicken kann, ihm tiefe Einblicke in aktuelle Evolutionsprozesse.

Zu den spannendsten – und lange strittigen – Fragen rund um die Entstehung von Arten gehört das alte Rätsel, unter

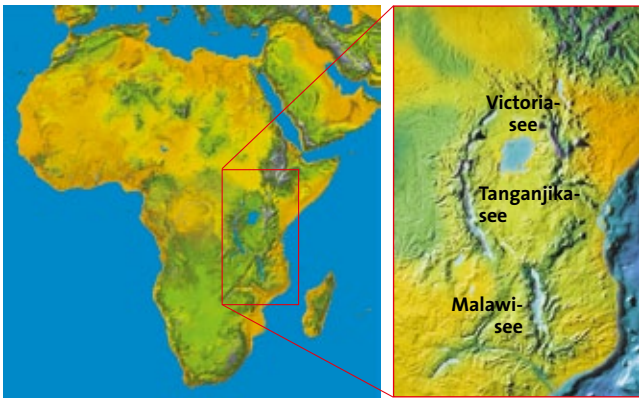
welchen geografischen Bedingungen sich neue Spezies überhaupt bilden. In vielen Fällen geschah das offensichtlich dann, wenn Populationen räumlich voneinander isoliert wurden und so keine Gene mehr ausgetauscht werden konnten. Nach neueren Erkenntnissen, gerade auch von den Buntbarschen der Kraterseen Nicaraguas, ist eine geografische Trennung dafür aber keineswegs immer notwendig.

Seit einigen Jahrzehnten betrachten Biologen den Victoriasee in Ostafrika als einen besonders aufschlussreichen Ort, um Gesetzmäßigkeiten bei der Auffächerung und Neubildung von Arten zu untersuchen (siehe Karte S. 26). Mit 68800 Quadratkilometern – etwa die Fläche Bayerns – ist dies der zweitgrößte Süßwassersee der Erde (nach dem Oberen See in Nordamerika). Allerdings ist der Victoriasee nicht sehr tief. Im Durchschnitt beträgt die Wassertiefe heute etwa 40, maximal gerade einmal 84 Meter.

MIT FRDL. GEN. VON AD KONINGS, WWW.CICHLIDPRESS.COM

Dieses Foto zeigt ein Paar von Zitronenbuntbarschen der Art *Amphilophus xiloensis* im Xiloá-Kratersee in Nicaragua. Normalerweise verpaaren sich diese Fische nur mit gleich gefärbten Artgenossen. Doch hier haben ein dunkel gestreiftes Männchen und ein goldfarbenes Weibchen zusammengefunden und hüten ihre Brut nun gemeinsam.





KARTEN: NASA, IRI; ANIMAS: BEARBEITUNG: SPECTRUM DER WISSENSCHAFT; MCHG; AXEL MEYER; RECHTS: MIT FREIEM GEHT VON AD KONINGS, WWW.CICHLIDPRESS.COM

In den großen Seen Ostafrikas leben viele hundert Buntbarscharten. Die meisten sind Maulbrüter, und die Weibchen übernehmen die Brutpflege: rechts ein Weibchen der Art *Nimbochromis livingstonii* im Malawisee.

Klimaänderungen in früheren Zeiten hatten deswegen für seine Bewohner manchmal dramatische Folgen. Kaltzeiten auf der Erde bedeuten weniger Feuchtigkeit in der Luft und dadurch weniger Niederschlag. Diese Phasen bekam auch der Victoriasee zu spüren. Insgesamt dreimal scheint er in geologisch jüngerer Vergangenheit praktisch trockengefallen zu sein, und zurück blieben wohl nur Schlammflächen und höchstens ein paar wesentlich kleinere Seen, deren hohen Salzgehalt Süßwasserfische nicht aushielten. Das letzte Mal dürfte sich solch eine Katastrophe vor rund 17300 Jahren ereignet haben.

Geschwindigkeitsrekorde

Erst vor 14700 Jahren füllte sich der Victoriasee langsam wieder. Die Vorfahren seiner heute rund 500 Buntbarscharten dürften sich demnach frühestens damals dort neu angesiedelt haben. Anscheinend schafften das überhaupt nur ein oder zwei Arten. Denn wie Meyer und seine Kollegen schon in den 1990er Jahren mit Erbgutanalysen nachwiesen, stammen alle heutigen Cichliden des Sees offenbar von derselben Linie aus jener Zeit ab. Grob gerechnet wäre seitdem durchschnittlich etwa alle 30 Jahre eine neue Art hinzugekommen. »Das ist Evolution im Zeitraffer«, kommentiert Axel Meyer.

Eine so rasante Artentstehung scheint allerdings selbst bei Cichliden etwas Besonderes darzustellen, denn generell gilt sie für die Buntbarsche der großen ostafrikanischen Seen nicht. Beispielsweise scheinen sich die Fische im Tanganjikasee deutlich mehr Zeit zu nehmen. Dieser bis zu 1470 Meter tiefe See ist bereits zehn Millionen Jahre alt und wohl kaum jemals trockengefallen. Trotz seines hohen Alters leben in ihm »nur« 250 Cichlidenarten, halb so viele wie im sehr viel jüngeren Victoriasee. Man sollte meinen, dass ein 673 Kilometer langes und bis zu 72 Kilometer breites Gewässer reichlich Platz und diverse Habitate für verschiedenste Arten bereithalten würde.

Wieder anders, ebenfalls verblüffend, stellt sich der Malawisee dar. Mit rund 570 Kilometer Länge, 75 Kilometer Breite und bis zu 706 Meter Tiefe steht er zwischen dem Vik-

toria- und dem Tanganjikasee, ebenso mit seinem Alter von unter vier Millionen Jahren. Dabei beherbergt er deutlich mehr Cichlidenpezies als der Victoriasee – nach derzeitigen Schätzungen zwischen 800 und 1000.

Die Geschichte der Besiedlung dieser drei riesigen Seen durch Buntbarsche konnten Meyer und seine Mitarbeiter molekulargenetisch zurückverfolgen. Denn das Alter einer Linie spiegelt sich darin, wie viele Mutationen sich im Erbgut angehäuft haben. Tatsächlich findet sich für den Tanganjikasee, passend zu seinem Alter, unter seinen Buntbarscharten die größte genetische Variation und für den Victoriasee die deutlich geringste. Entsprechend weit liegt die Besiedlung des Tanganjikasees nachweislich zurück. Die Erbgutvergleiche lassen zudem erkennen, dass seine Cichliden von Flussbuntbarschen aus dem Kongobecken in Westafrika abstammen, wo die ältesten Buntbarsche des afrikanischen Kontinents leben. Vom Tanganjikasee aus gelangten Buntbarsche über temporäre Flussverbindungen in den Malawisee, später erreichten sie auf ähnliche Weise auch den Victoriasee.

Wie sich die unterschiedlichen Artenzahlen in diesen Seen erklären, weiß man noch nicht. Eine Idee ist, dass die Anzahl der Spezies nach einer expansiven Phase nachträglich wieder zurückgeht, etwa auf Grund von ökologischer Konkurrenz, während nun die morphologischen Unterschiede größer werden. Die Cichliden des Tanganjikasees lassen sich wesentlich leichter voneinander unterscheiden als die Arten im Victoria- oder die im Malawisee.

Die zahlreichen Cichlidenarten in den afrikanischen Seen erklären Biologen unter anderem damit, dass diese Fische besondere anatomische Voraussetzungen etwa für die Kieferbildung und Bezahnung mitbrachten. Damit konnten sie sich leichter auf neue, spezialisierte Lebensweisen umstellen als Angehörige anderer Fischfamilien. Es ist auffällig, dass nur die Buntbarsche dermaßen viele Arten hervorgebracht haben, obwohl in diesen Seen auch andere Fische leben. Zugleich bietet die dortige Vielfalt an Lebensräumen ihnen offenbar gute Voraussetzungen für ein Aufspalten in neue Arten. In den Seen gibt es wesentlich mehr Cichlidenpezies

als in den Flüssen. Felsige und sandige Bereiche, steile und ebene Abschnitte, tiefe und flache Zonen, Felsküsten und Ufer mit Stränden wechseln einander vielfältig ab. Oft wirkt der eigene Lebensraum für die Bewohner wie eine Insel, die sie nicht verlassen. Ein völlig anders gestaltetes angrenzendes Habitat kann dann eine Verbreitungsbarriere darstellen. Dadurch entstanden lokal immer wieder neue und andere Arten mit speziellen Lebensgewohnheiten. Außerdem aber bildeten sich in einander ähnlichen, jedoch räumlich getrennten Habitaten erstaunlich oft Fische mit gleichen Anpassungen heraus – auch das für die Forscher ein aufschlussreiches Phänomen.

Die erste Buntbarschart, die im Victoriasee nach dem letzten Austrocknen auftauchte, gehörte zu den Haplochrominen, einer besonders erfolgreichen Linie von Cichliden, zu der auch fast alle Arten des Malawisees zählen. Allein von ihnen gibt es über 1800 Arten. Sie alle sind »Maulbrüter«. Und zwar hüten bei ihnen die Mütter die Brut. Ein Weibchen legt seine noch unbefruchteten Eier im Territorium eines balzenden Männchens – nur um sie gleich darauf ins Maul zu nehmen, somit in sichere Obhut. Der Revierinhaber aber präsentiert jetzt unverzüglich seine verlockende Afterflosse, auf der kleine, runde, schwarz umrandete orange Flecken prangen. Diese leuchtenden »Eiflecken« entstehen testosterongesteuert durch Ausschalten bestimmter Pigmentgene, wie Meyer und sein früherer Mitarbeiter Walter Salzburger, der heute an der Universität Basel forscht, herausfanden. Optisch ähneln sie verblüffend den wirklichen Eiern, und das Weibchen scheint sie tatsächlich dafür zu halten, denn es schnappt danach, als wollte es schnell die »vergessenen« Eier aufsaugen, und stößt dabei gegen die Eiattrappen. In diesem Moment gibt das Männchen Samen ab, den das Weibchen aufsaugt. So

werden die Eier im Maul der Mutter befruchtet und können sich dort relativ geschützt entwickeln, denn unter den Buntbarschen gibt es auch spezielle Eierdiebe.

Die Mundhöhle der Mutter ist noch für die Jungfische in einem Gewässer voller Fressfeinde ein ziemlich sicherer Ort. Nach dem Schlüpfen dürfen sie zwar schon bald ins Wasser hinaus – aber immer, wenn die Mutter eine Gefahr spürt, beordert sie ihren Nachwuchs mit einer bestimmten Körperbewegung wieder ins Maul zurück. Es gibt allerdings auch Kinderfresserbuntbarsche, so genannte pädophage Arten, die es auf diesen nahrhaften Mundinhalt abgesehen haben. Manche saugen am Maul des Mutterfisches und versuchen so, Eier oder Jungfische herauszuholen. Andere rammen den Kopf der Mutter von unten, quasi um sie zu zwingen, ihre Brut auszuspuken.

Vorteile eine schiefen Mauls

In den afrikanischen Seen gibt es noch weitere verblüffende Ernährungsweisen. Manche Buntbarsche »grasen« zum Beispiel Schuppen ab: Sie nähern sich dem Opfer möglichst unbemerkt von hinten an, um dann von dessen Flanke rasch einige Schuppen abzuraspeln. In allen drei genannten Seen gibt es hierauf spezialisierte Arten – allein im Tanganjikasee sechs. Der Clou dabei: Einige dieser Fische haben einen leicht schiefen Kopf, denn mit einem etwas seitlich stehenden Maul lassen sich Schuppen leichter und rascher klauen. Bei etwa der Hälfte der Artgenossen ist der Mund etwas nach rechts verschoben, bei der anderen Hälfte nach links. Die gleiche Verteilung könnte eine Anpassung sein, die verhindert, dass angegriffene Fische auf eine Seite besonders Acht geben. Da die Schuppenfresserarten der verschiedenen Seen nicht auseinander hervorgegangen sein können, muss diese spezialisierte Lebensweise mehrmals unabhängig entstanden sein. Solche Schuppddiebe wirken jedoch im Vergleich zu einem Cichliden des Malawisees noch recht harmlos: Er lebt unter anderem davon, anderen Fischen die Augen auszupicken.

In den ostafrikanischen Seen untersuchen Biologen, wie sich die Buntbarsche das große Angebot an Lebensräumen durch vielfältige Anpassungen zu Nutze gemacht haben und sich an vielen Stellen sogar das gleiche Habitat ökologisch mit mehreren Spezies teilen. Da gibt es etwa Spezialisten für Sand- und andere für Felsküsten. Manche Arten bevorzugen tiefe Zonen, andere flaches Wasser. In den felsigen Bereichen weiden bestimmte Buntbarsche Algen ab, andere klaben mit langen Zähnen Insektenlarven aus Spalten. Ein Felsenriff kommt für seine Bewohner oft einer Insel gleich, weil eine breite Sandfläche es vom nächsten Riff trennt. Beim Versuch, diese Strecke zu überqueren, würden ans Leben im Riff angepasste Buntbarsche leicht Opfer von Raubfischen. Daher verlassen solche Spezialisten ihr Gebiet normalerweise nicht. Weil somit jede »Insel« ihre eigene – lokale – Evolution erlaubt, konnten in diesen Seen die riesigen Artenzahlen aufkommen. Im Vergleich hiermit bringen es die Fische der Süßgewässer und Meere Europas nur auf insgesamt etwas über 200 Spezies.



MIT FROL GEN VON HENRIK KUSCHE

Der Evolutionsforscher Axel Meyer inspiziert Buntbarsche, die er gerade im Tanganjikasee gefangen hat.



In Nicaragua haben sich in einer Reihe von Vulkankratern Seen gebildet; nur einige sind in der Karte aufgeführt. Darin entwickelten sich isolierte Fischpopulationen. Besonders die Buntbarsche – die erst durch Wirbelstürme dorthin gelangten – bieten Evolutionsforschern Einblicke in Prozesse der Artbildung.

Biologen bezeichnen es als »allopatrische Artbildung«, wenn sich Populationen derselben Spezies in voneinander getrennten Gebieten eigenständig weiterentwickeln und schließlich genetisch nicht mehr zusammenpassen. In Ostafrika betrifft dies nicht nur ähnliche Lebensräume im selben See, sondern natürlich genauso die verschiedenen Seen. Zwischen ihnen liegen weite Distanzen, und es dürfte höchst selten vorkommen, dass Fische von einem in einen anderen gelangen. So entstanden im Malawi- und im Victoriasee jeweils eigene Kinderfresser oder Schuppendiebe. Aber auch für die Kraterseen Nicaraguas, also auf einer viel kleineren geografischen Dimension, zeigte Meyer, dass in den einzelnen Seen ähnliche Arten unabhängig voneinander entstanden. Sein Team sucht nun nach der genetischen Basis solcher »parallelen« Evolution. Es möchte herausfinden, ob ähnliche Anpassungen auf den gleichen Mutationen beruhen oder auf verschiedenen genetischen Mechanismen.

Schwerer als eine allopatrische Artbildung lässt sich erklären, weshalb zum Beispiel im selben Felsenriff, also ohne eine räumliche Trennung, unterschiedlich spezialisierte Arten nebeneinander entstehen konnten, die sehr nah miteinander verwandt sind. Wieso und auf welche Weise entwickeln sich neue Linien ohne äußeren Zwang? Diesen Vorgang bezeichnen die Forscher als »sympatrische Artbildung«. Studien dazu sind in den riesigen afrikanischen Seen sehr aufwändig, und die Ergebnisse werden bei dort rund 1800 Buntbarscharten bald unübersichtlich. Ohnehin bevorzugen Naturwissenschaftler leichter überschaubare Systeme, um grundlegende Mechanismen und Einflussfaktoren aufzudecken.

Hier kommen die Kraterseen in Mittelamerika den Wünschen der Evolutionsforscher entgegen. Sie stellen sozusagen ein natürliches Experiment dar: Von einer Ausgangspopulation wurden sie mehrfach und unabhängig besiedelt, aber mit ähnlichen evolutionären Ergebnissen. Meyer selbst hat dort schon seit Mitte der 1980er Jahre Studien durchgeführt. Die Kraterseen Nicaraguas liegen in einer Reihe erlo-

schener oder ruhender Vulkane (siehe Karte oben). Weil sie nicht durch Wasserwege verbunden sind, konnten Fische sie nicht von allein erreichen. Dennoch leben darin Cichliden. Wie gelangten sie dorthin? Und wann?

Eine der seltenen Gelegenheiten für solch eine Besiedlung bieten gewaltige tropische Wirbelstürme, die mit großen Wassermengen manchmal Fische mit in die Luft reißen. Im indischen Bundesstaat Kerala etwa fielen 2006 bei so einem Wetterereignis tatsächlich Fische vom Himmel. Nicaragua wird häufig von schweren Hurrikanen heimgesucht, und es kommt vor, dass ein Wirbelsturm aus dem Managua- oder dem Nicaraguasee Fische in die Luft saugt. Auch in diesen beiden 1000 und über 8000 Quadratkilometer großen Seen leben Buntbarsche. Im Lauf der Jahrtausende scheinen Wirbelstürme tatsächlich hin und wieder Cichliden und andere Fische in die nahe gelegenen Kraterseen verfrachtet zu haben. Genetische Untersuchungen der Konstanzer Forscher lassen vermuten, dass alle Fische eines Kratersees jeweils etwa zur selben Zeit dorthin gelangten.

Als weitere Transporteure von Buntbarschen kommen große Fische fressende Vögel wie Pelikane, Reiher oder Seeadler in Betracht. Denn mitunter lassen diese ihr Opfer wieder fallen oder spucken es fast unversehrt wieder aus. Für eine bleibende Besiedlung müsste der Zufall allerdings

MEHR WISSEN BEI Spektrum.de



Unser Online-Dossier zum Thema »Evolution« finden Sie unter



www.spektrum.de/thema/evolution/903365

Männchen und Weibchen derselben Buntbarschart in denselben Kratersee befördert haben. Weil die verschiedenen Gelegenheiten sicherlich sehr selten eintraten, wundert es nicht, dass die nah verwandten Buntbarsche eines Kratersees praktisch immer von einer einzigen Ursprungsart aus einem der beiden großen Seen abstammen, wie Meyer und seine Mitarbeiter genetisch nachwiesen.

Neue Chancen in vulkanischen Seen

Früher hielten Biologen und Aquarianer manche Cichliden in den Seen Nicaraguas für eine einzige Art – die durch eine Vielzahl von Erscheinungsformen auffiel. Die einzelnen Formen sahen sie als Varianten des Zitronenbuntbarsches an. Inzwischen stellte sich aber heraus, dass es sich genau genommen um eine so genannte adaptive Radiation nah miteinander verwandter Arten von Zitronenbuntbarschen handelt. In der englischen Fachliteratur heißen diese Fische Midas-Cichliden – nach dem sagenhaften phrygischen König, der alles, was er berührte, in Gold verwandelte.

Die Neuankömmlinge in einem Vulkansee suchten ihre Nahrung vermutlich noch zwischen den Steinen und dem Geröll am Grund. Denn so machen es die Buntbarsche in den großen und alten Ursprungsseen, dem Nicaragua- und dem Managuasee. Diese sind einige hunderttausend Jahre alt, ihr Wasser ist trüb, und die dortigen Cichliden besitzen eine an diesen Lebensraum angepasste eher kompakte Körperform mit hohem Rücken, was in der stark strukturierten Umwelt wendigeres Schwimmen erlaubt. Anders als in diesen großen Seen ist das Wasser in den viel jüngeren Kraterseen normalerweise glasklar.

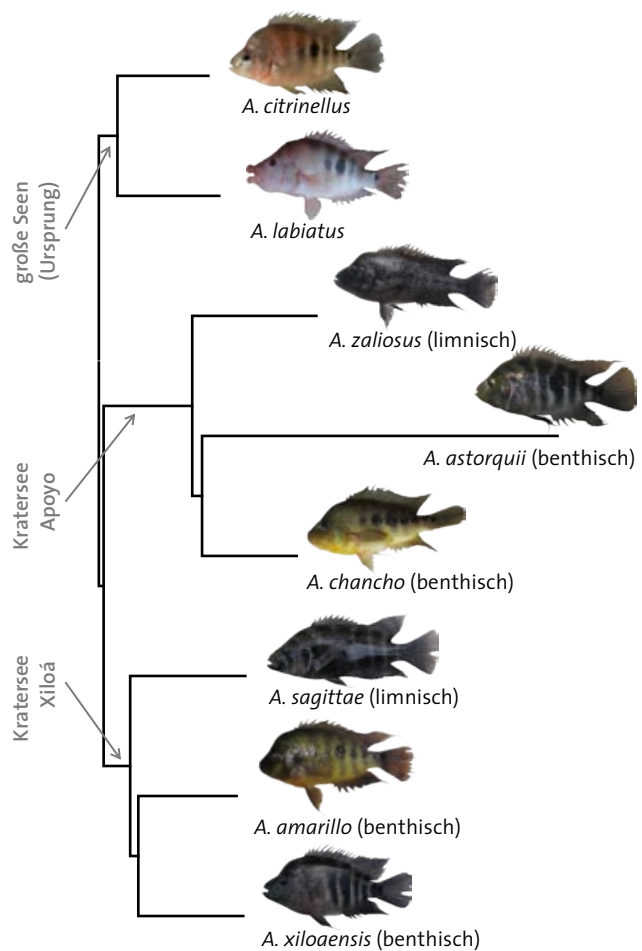
Man kann sich für die Seen in Vulkanen nun folgende Szenerie vorstellen: Wahrscheinlich wagten sich bald einige der neu angekommenen, noch leicht gedrunghenen Buntbarsche ins freie Wasser hinaus und begannen da zu jagen. Für pfeilschnelles Schwimmen ist allerdings ein schlanker Körper günstiger. Dort behaupteten sich also solche Fische besser, die etwas stromlinienförmiger gebaut waren. Die »Freischwimmer« begegneten ihren Paarungspartnern wohl eher im offenen Wasser, und wahrscheinlich waren beide bereits etwas schlanker gebaut als Artgenossen, die lieber zwischen den Steinen blieben und ihrerseits gedrungene Partner schätzten. Die Nachkommen der schlankeren Fische erbten die elegantere Körperform, und über Generationen entstand neben der alten Spezies am Seerand eine neue Buntbarschart schneller Jäger im offenen Wasser.

In diesem Beispiel sorgte also nicht eine unüberwindliche physische Grenze für die getrennte Entwicklung. Vielmehr lösten offensichtlich eine im Ursprungssee nicht vorhandene, unbesetzte ökologische Nische das veränderte Verhalten der Fische und die körperlichen Anpassungen das Entstehen einer neuen Art aus: Beide Gruppen kamen nach einiger Zeit einfach nicht mehr miteinander in Berührung, und ihr Erbgut entwickelte sich auseinander.

Axel Meyer und seine Kollegen wiesen eine solche sympatrische Artbildung bei mehreren Buntbarscharten der Kra-

terseen molekularbiologisch nach: Dort bestehen tatsächlich die unsichtbaren Grenzen, an denen sich das Erbgut verschiedener Gruppen auseinanderentwickelt. Solche Barrieren beruhen somit auf dem Verhalten und den Lebensweisen der jeweiligen Gruppen, die sich schließlich zu getrennten Arten entwickeln.

Unter anderem ermittelten die Forscher für Cichliden aus dem Nicaragua- und dem Managuasee sowie aus den beiden Kraterseen Apoyo und Xiloá jeweils die »genetischen Fingerabdrücke«. Darin sehen sie dann zwischen den einzelnen Populationen und Fischformen winzige Abweichungen im Erbmaterial. Die ermittelten Veränderungen zeichnen die Geschichte der Buntbarsche beider Kraterseen nach: Die heute dort schwimmenden *Amphilophus*-Arten stammen jeweils von Grundfischen aus einem der großen Seen ab, gelangten aber unabhängig voneinander und zu verschiedenen Zeiten in den neuen Lebensraum. Die anschließende Evolution verlief nach diesen Analysen in beiden Kraterseen



In Seen Nicaraguas entstanden aus gedrunghenen Grundfischen (benthisch) mehrmals ähnliche Buntbarscharten: schlanke Fische des freien Wassers (limnisch) sowie Arten mit vorgestülpten dicken Lippen. Die Darstellung zeigt einen von den Konstanzer Forschern ermittelten genetischen Stammbaum zu mehreren *Amphilophus*-Arten aus zwei Kraterseen und den großen, alten Seen ihrer ursprünglichen Herkunft.

MIT FREILEGEN VON ANDREAS KAUFF UND AXEL MEYER

verblüffend ähnlich, obwohl zwischen ihnen kein genetischer Austausch stattfand. Zuerst entstanden neben der ursprünglichen, am Grund lebenden, kompakten Art jeweils die schlanken Jäger des offenen Wassers. Später spalteten sich in beiden Seen auch die Grundfische selbst nochmals in zwei unterschiedliche Spezies, die zwischen den Steinen andere ökologische Nischen nutzen. Sie knacken Schneckengehäuse mit verschieden stabilen Zähnen.

Das Erbgut der *Amphilophus*-Arten im Xiloásee ist deutlich weniger differenziert als im Apoyosee. Der Befund passt zum Alter der beiden Kraterseen. Während der Xiloásee vor höchstens 6100 Jahren entstand, könnte der Apoyosee an die 22000 Jahre alt sein, wie Steffen Kutterolf vom Geomar Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung in Kiel und seine Kollegen ermittelten. Entsprechend länger konnten sich dort in den einzelnen Fischlinien Mutationen anhäufen. Im Apoyosee entstanden denn auch mittlerweile sechs Buntbarscharten der Gattung *Amphilophus*, im Xiloásee dagegen in der kürzeren Zeit immerhin vier.

Neue Arten bilden sich bei diesen Cichliden mitunter sogar noch wesentlich schneller. Auch im Apoyequekrater entstand ein See – der nach geologischen Analysen allenfalls seit 2000 Jahren existiert. Dieser Vulkan war aber vor etwa 120 bis 180 Jahren erneut aktiv. »Damals muss alles eventuell vorhandene Leben im See gekocht haben«, deutet Meyer die Befunde seiner Kollegen von der Geologie.

Zusammen mit anderen Forschern hat er deswegen auch diesen See aufgesucht, der nur nach einem langen, anstrengenden Abstieg erreichbar ist. Sie wollten wissen, ob heute überhaupt wieder Fische darin leben. Und tatsächlich fanden sie Buntbarsche, und zwar wieder eine Art aus der Verwandtschaft der Zitronenbuntbarsche. Vor allem aber treten sie in zwei verschiedenen Formen auf. Einige haben dicke, wulstige Lippen, während andere eher schmallippig sind. Der Hintergrund: In den Felsspalten der steilen Kraterseewände verstecken sich gern Krabben. Dort kommen die normalen, schmallippigen Buntbarsche mit ihren eher breiten Köpfen kaum hinein. In höchstens 100 Generationen muss sich in diesem Kratersee also eine Form mit dicken Lippen und lang ge-

strecktem Kopf entwickelt haben, die sich von dem Getier in den engen Spalten ernähren kann.

Auch in anderen Kraterseen Nicaraguas haben sich Cichliden aus dem Verwandtschaftskreis der Zitronenbuntbarsche an diese Weise des Fressens angepasst – und offenbar entwickelten sie ihre dicken Lippen jeweils unabhängig voneinander. Selbst im Nicaragua- und im Managuasee lebt eine dicklippige Art. Da diese Evolution im Apoyequesee unglaublich schnell verlaufen sein muss, suchten die Forscher nach den Genen, welche die Veränderung der Lippen steuern.

Sie holten dazu dick- und schmallippige Fische aus den beiden alten, großen Seen, aus dem sehr jungen Apoyequesee und aus einem weiteren Kratersee namens Masaya, dessen Alter Steffen Kutterolf auf unter 6000 Jahre bestimmte. Tereza Manousaki, Doktorandin an der Universität Konstanz, und ihre Kollegen maßen bei den Tieren unter anderem die Rückenhöhe, den Ansatz der Schwanzflosse und die Form der Kiefer. Aus den Lippenzellen isolierten sie dann die so genannten mRNAs der dort aktiven Proteine – also die Genabschriften, die als Vorlage für Proteine dienen. Ein Vergleich der RNA-Sequenzen zeigte: Bei den dicklippigen Fischen aller vier Seen waren stets die gleichen sechs Gene weniger aktiv als bei ihren schmallippigen Verwandten.

Ein »Angelina-Jolie-Projekt«

Die Funktionen von fünf jener Gene sind bereits von anderen Wirbeltieren bekannt. Zwei von ihnen sind für Wachstum und Regeneration von Nervenzellen wichtig. Diese Gene könnten das Wachsen der Nerven für Geschmacksknospen hemmen, mit denen die Fische ihre Beute aufspüren. Sind die Gene weniger aktiv, dürften diese Nervenzellen also besser wachsen. Zwei der anderen Gene sind beteiligt, wenn Muskeln und Knorpel entstehen. Das fünfte Gen spielt für die Immunabwehr von Erregern eine Rolle. Ob die sechs Gene wirklich an der Evolution dicker Lippen beteiligt sind, könnten Eingriffe ins Genom erweisen. Man müsste diese Erbanlagen beispielsweise in Eiern von Fischen mit schmalen Lippen ausschalten oder ihre Aktivität bremsen. Würden dann anstatt schmallippiger Buntbarsche dicklippige schlüpfen, wäre ein Zusammenhang erwiesen. Transgene Midas-Buntbarsche zu erzeugen, gelang gerade dem Konstanzer Mitarbeiter Claudius Kratochwil. Zudem vergleichen Gonzalo Machado-Schiaffino und Lukas Baumgarten von Meyers Arbeitsgruppe die Genome von dick- und dünnlippigen Buntbarschen aus Nicaragua und Afrika, um zu sehen, ob für die unterschiedliche Lippenbildung die gleichen Gene verantwortlich sind. Sie nennen es das »Angelina-Jolie-Projekt«.

Beobachten die Forscher Paarungen der in Nicaragua untersuchten Zitronenbuntbarsche, sehen sie fast nie »Mischehen« zwischen verschieden gefärbten Artgenossen. Sowohl in den Kraterseen wie auch in Aquarien paaren sich normalerweise schwarz-weiße nur mit ebenso gemusterten dunklen Fischen, während goldgelbe Buntbarsche ähnlich wie sie selbst gefärbte helle Partner bevorzugen. Entstehen hier aus einer gerade zwei neue Arten? Frederico Henning von Mey-





MIT FELDGEN VON AXEL MEYER

Zu Nicaraguas eindrucksvollen Kraterseen zählt auch der See Asososca León.

ers Gruppe glaubt einen Genabschnitt gefunden zu haben, der sowohl für die Farbunterschiede als auch für die Paarungsentscheidung verantwortlich ist.

Diesmal stießen die Forscher gleich auf 46 Gene, die bei den goldfarbenen Exemplaren anders aktiv sind als bei den dunkel gestreiften. Wie man es erwarten konnte, spielen einige dieser Erbinformationen eine Rolle in den Pigmentzellen der Haut. Sie sind bei den hellen Fischen viel weniger aktiv. Andere Gene sind Forschern bereits im Zusammenhang mit Hautkrankheiten bei Menschen aufgefallen. Sie sind für Entzündungsprozesse wichtig. Eine von den abweichenden Erbeigenschaften sticht aber bei den gelben Fischen besonders heraus: Dieses Gen ist sowohl mit ihrer Farbe als auch mit ihrem Sexualverhalten verknüpft.

Wie groß die Chancen sind, dass bald eine eigene goldfarbige Art entsteht – oder sogar mehrere –, lässt sich schwer abschätzen. Die hell leuchtenden Fische können sich vor Fressfeinden nicht so gut verbergen und werden deswegen leicht Opfer von Vögeln und größeren Raubfischen, jedenfalls solange sie jung sind – so dachten die Forscher zumindest. Experimente mit verschiedenen gefärbten Wachsmodellen in den Kraterseen ergaben allerdings, dass Vögel die dunklen Attrappen häufiger fingen. Hingegen attackierten Fische fressende Fische, auch Cichliden, die gelben Modelle umso öfter, je trüber das Wasser war. Trotzdem überleben in den verschiedenen Seen Nicaraguas stets genügend von den hellen Buntbarschen und pflanzen sich fort. Es besteht also Hoffnung auf eine goldene Zukunft. ☞

DER AUTOR



Roland Knauer ist freier Wissenschaftsautor und Fotograf. Er hat Chemie studiert und in Molekularbiologie promoviert.

QUELLEN

- Henning, F. et al.:** Transcriptomics of Morphological Color Change in Polychromatic Midas Cichlids. In: *BMC Genomics* 14, S. 171–183, 2013
- Kautt, A. F. et al.:** Genomic Signatures of Divergent Selection and Speciation Patterns in a »Natural Experiment«, the Young Parallel Radiations of Nicaraguan Crater Lake Cichlid Fishes. In: *Molecular Ecology* 21, S. 4770–4786, 2012
- Manousaki, T. et al.:** Parsing Parallel Evolution: Ecological Divergence and Differential Gene Expression in the Adaptive Radiations of Thick-Lipped Midas Cichlid Fishes from Nicaragua. In: *Molecular Ecology* 22, S. 650–669, 2013

LITERATURTIPP

Evolution. Wie sie die Geschichte des Lebens geformt hat. Spektrum der Wissenschaft Spezial 1/2014. Darin insbesondere: Marty, C.: Missverständnisse à la Darwin, S. 6–13
Beiträge über neue Evolutionsstudien und aktuelle theoretische Ansätze

Dieser Artikel im Internet: www.spektrum.de/artikel/1224867