EVOLUTION IM ZEITRAFFER

Darwins Regelwerk wird in den Grundfesten erschüttert – von Arten, die sich im Eiltempo anpassen und aufspalten

TEXT: ANKE SPARMANN

FOTOS: NAME NACHNAME, NAME NACHNAME

SO VIELE FISCHE!
Im afrikanischen Victoriasee haben sich innerhalb von gerade einmal 14 000 Jahren rund 500 Arten von Buntbarschen entwickelt. Biologen erforschen die Ursprünge dieser unglaublichen Vielfalt.

LIPPENBEKENNTNIS
Die Maulform der Buntbarsche ist auf ihre Ernährungsweise zugeschnitten. Der Zitronenbuntbarsch (oben) aus Mittelamerika pickt gerne Weichtiere vom Gewässergrund. Haplochromis chilotes aus dem Victoriasee schnappt mit wulstigen Lippen nach Insektenlarven.

»Das erste Paradigma, das wir verwerfen mussten, war, dass Arten sich nur in Isolation entwickeln.«

Axel Meyer, Evolutionsbiologie

Cichliden sind die erfolgreichste Familie der Welt. Fast jeder kennt eines ihrer Mitglieder. Der Diskusfisch beispielsweise gehört dazu, wegen seiner schillernden Farben unter Aquaristen beliebt. Oder Tilapia, ein Speisefisch. Insgesamt zählen über 3000 Arten zur Familie der Cichliden, der Buntbarsche. Um diese Zahl würdigen zu können, muss man sich eine zweite vergegenwärtigen: In ganz Europa gibt es nur etwa 550 Spezies von Süßwasserfischen.

Doch die Buntbarschfamilie hat sich nicht nur außerordentlich breit aufgestellt, sie wuchs auch in hohem Tempo.

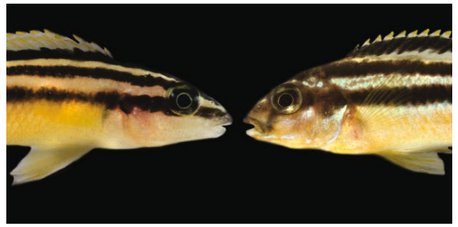
Die Fische leben in tropischen Gewässern. Schätzungsweise 500 Buntbarscharten schwimmen allein im Victoriasee. Afrikas größter See ist sehr jung. Geologen schätzen sein Alter in der jetzigen Form auf rund 14 000 Jahre. In diesem Zeitraum müssen sich also auch die vielen Buntbarschspezies entwickelt haben. Nach Maßstäben der Evolution: über die Dauer eines Wimpernschlags.

Alle reden vom rapiden Artensterben. Gleichzeitig beschäftigt mehr und mehr Wissenschaftler die Frage: Wie schnell entsteht biologische Vielfalt? Seit einigen Jahren sammeln sie Belege dafür, dass evolutionäre Prozesse sich weitaus rasanter ereignen können als traditionell angenommen. Statt über Jahrmillionen entwickeln sich Arten manchmal sogar im Laufe weniger Generationen.

»Rapid Evolution« heißt die Abkürzung des Entwicklungspfades im Englischen, zu Deutsch: »rasche Evolution«. Welche molekularen Mechanismen ermöglichen den schnellen Wandel? Welche ökologischen Bedingungen treiben ihn an? Und: Müssen wir unsere Denkweise über das Wirken von Evolution grundsätzlich überprüfen?

FOTOS: NAME NACHNAME, NAME NACHNAME

HOTSPOT
Die größte Vielfalt an Buntbarschen tummelt sich in den Afrikanischen Großen Seen. Allein im Victoriasee und im Malawisee leben jeweils rund 500 Arten, die sich auf unterschiedliche ökologische Nischen spezialisiert haben.



TRÜGERISCHE ÄHNLICHKEIT
Diese Arten aus verschiedenen Seen sind nur entfernt verwandt, doch haben ein nahezu identisches Äußeres.

Fast alle bekannten Evolutionsgeschichten sind Rekonstruktionen lang zurückliegender Ereignisketten. Wie der Mensch dazu kam, aufrecht zu gehen. Warum sich in Neuseeland – vor Ankunft des Menschen frei von Schlangen und räuberischen Säugern – so viele Laufvögel entwickelt haben. Die berühmteste aller Geschichten jedoch erzählte Charles Darwin. Sie spielt auf Galapagos, einem Inselreich 1000 Kilometer westlich der Küste Ecuadors.

Darwin beobachtete während einer Forschungsreise, dass sich dort heimische Finken in der Form ihrer Schnäbel unterschieden. Die Form war abhängig vom Nahrungsangebot. Auf insektenreichen Inseln hatten die Vögel beispielsweise einen spitzen Schnabel; dort, wo es vorwiegend harte Samenkörner zu knacken gab, besaßen sie einen klobigen Schnabel. Darwin schloss daraus, dass sich die Vögel als Abkömmlinge ein und derselben Art peu à peu ihrer Umwelt angepasst hatten. »Ich habe dieses Prinzip, bei dem jede kleinste Variation, sofern sie sich nützlich erweist, erhalten bleibt, natürliche Auslese genannt«, schrieb er 1859 in seinem Hauptwerk »Über die Entstehung der Arten«. Und: Der Prozess der Anpassung ereigne sich derart langsam, dass wir ihn nicht direkt, sondern erst nach Ablauf von »Ewigkeiten« wahrnehmen könnten.

1,5
Millionen Jahre
dauerte es nach heutigem Stand der Forschung, bis sich die Darwinfinken auf den Galapagos-Inseln in insgesamt 17 verschiedene Arten aufgespalten hatten.

FISCHE STATT FINKEN
Axel Meyer ist Professor für Evolutionsbiologie an der Universität Konstanz. Er erforscht, wie die Buntbarsche in so kurzer Zeit so eine beeindruckende Artenvielfalt entwickeln konnten.

Noch zu Darwins Lebzeiten zeichnete sich ab: Evolution kann sich auch schneller ereignen. Biologen beobachteten damals die Farbveränderung eines Falters. Der Birkenspanner, gewöhnlich weiß mit dunklen Sprenkeln, tauchte plötzlich mit schwarzen Flügeln auf. Die ersten Exemplare wurden in Manchester gesichtet, wo zu jener Zeit die Textilindustrie blühte. Die Vermutung lag nahe, der Ruß kohlebetriebener Maschinen hätte den Birkenspanner geschwärzt.

Dabei hatte der Ruß nicht den Birkenspanner geschwärzt, sondern die Birkenstämme, auf denen sich die Raupen der Art entwickeln. In der Folge wurden frisch entpuppte Falter durch ihre Tarnfärbung ebenso wenig geschützt wie ältere Exemplare, die tagsüber auf den Stämmen rasteten. Im Gegenteil, die bleiche Imago sprang Fressfeinden ins Auge. Nur jene seltenen Exemplare, denen die Genlotterie dunkle Flügel zugelost hatte, verschmolzen mit dem Hintergrund. Sie wurden seltener gefressen und konnten sich häufiger fortpflanzen. Der Wandel des Birkenspanners von hell zu dunkel (und mit Rückgang der Luftverschmutzung wieder zurück) gilt als Paradebeispiel für Rapid Evolution. Allerdings handelte es sich bei den dunklen Individuen lediglich um Farbvarianten, nicht um eine neue Spezies.

Während der Birkenspanner also am Dogma ewig langer Evolutionsprozesse nur kratzt, reißen ▸

MENSCHENGEMACHT
1 Normalerweise sind helle Birkenspanner auf der Baumrinde bestens getarnt. Nur auf rußgeschwärzten Stämmen sind dunkle Tiere im Vorteil.
2 Viele Wildtiere erobern die Stadt als Lebensraum – und sind dabei gezwungen, neue Verhaltensweisen zu entwickeln.

Buntbarsche es vollends ein. Axel Meyer, Professor an der Universität Konstanz und einer der anerkanntesten Evolutionsbiologen weltweit, beschäftigt sich seit über 30 Jahren mit der artenreichen Familie der Buntbarsche. »Das erste Paradigma, das wir verwerfen mussten, war, dass Arten sich nur in Isolation entwickeln«, sagt Meyer.

In einem See gibt es schließlich keine Barrieren. Deshalb hat Meyer zunächst untersucht, wie sich Buntbarsche »ökologisch aus dem Weg gehen«. Denn wenn alle Spezies in einem Gewässer sehr ähnliche Merkmale und Eigenschaften mitbringen würden, sagt er, stünden sie im direkten Wettbewerb zueinander. Die Konkurrenz würde die weniger gut angepassten Arten aus dem Feld schlagen.

Auffälligste Unterscheidungsmerkmale der Buntbarsche sind Färbung und Zeichnung. Viele Arten weisen Längsstreifen auf, fast alle schimmern in lebhaften Farben. Diese Merkmale, hat Axel Meyer herausgefunden, »spielen zwar eine Rolle bei der Partnerwahl, jedoch nicht bei der Artbildung«.

Eine Schlüsselfunktion bei der Aufspaltung in unterschiedliche Spezies besitzen dagegen die Nahrungsgewohnheiten. Einige Buntbarsche raspeln Algen. Andere fressen Schuppen. Wieder andere ernähren sich vom Nachwuchs in der Familie. Es gibt sogar Arten, die sich – einmalig im Reich der Fische – aufs Muschelknacken spezialisiert haben. Gemäß ihrer Ernährungsweise haben die Fische unterschiedliche Mäuler ausgebildet. Es gibt Buntbarsche mit Lippen, die wie aufgespritzt wirken; die Fische stülpen sie in Felsspalten, um kleine Organismen aufzusaugen. Bei den Muschelknackern hat sich aus einem Kiemenbogen ein starker zweiter Kiefer mit »Backenzähnen« gebildet.

Bemerkenswerterweise spiegelt sich die enorme Varianz in Erscheinungsbildern und Verhalten der Fische nicht in ihrem Erbgut wider. Meyers genetische Vergleichsstudien förderten nur extrem geringe Unterschiede zutage.

Mutationen – spontane Veränderungen im Erbgut – sind ein gängiger Weg der Evolution. Individuen einer Art zeigen ein neues Merkmal, an dem die natürliche Auslese ansetzen kann. Weil nützliche Mutationen jedoch selten auftreten, spielen sie bei der raschen Evolution nur eine geringe Rolle. Die Ausnahme bilden große Populationen, die sich in kurzen Zyklen vermehren. Bakterien beispielsweise können auf diese Weise innerhalb weniger Generationen Resistenzen gegen Antibiotika entwickeln.

Wenn also Mutationen weitgehend auszuschließen sind – welcher Mechanismus liegt dann der schnellen Artbildung bei Buntbarschen zugrunde?

Axel Meyer und sein Team forschen auch im zentralamerikanischen Nicaragua, wo die Fische unter anderem in jungen Kraterseen siedeln. Einige dieser Gewässer entstanden vor gerade mal 2000 Jahren – und beheimaten dennoch bereits unterschiedliche Buntbarschspezies. 13 dieser jungen Arten hat Axel Meyer unlängst genetisch analysiert. In den Zellen frisch geschlüpfter Buntbarsche fand er hochaktive MicroRNA: kleine Moleküle, die sich an das Erbgut der Fische heften können. In einer Phase, in der sich der Fischkörper bildet, unterdrücken sie auf diese Weise die Aktivität bestimmter Gene. »Ein An-/Aus-Schalter«, sagt Axel Meyer: möglicherweise einer der molekularen Mechanismen, die dazu beitragen, dass sich neue Buntbarscharten im Rekordtempo entwickeln.

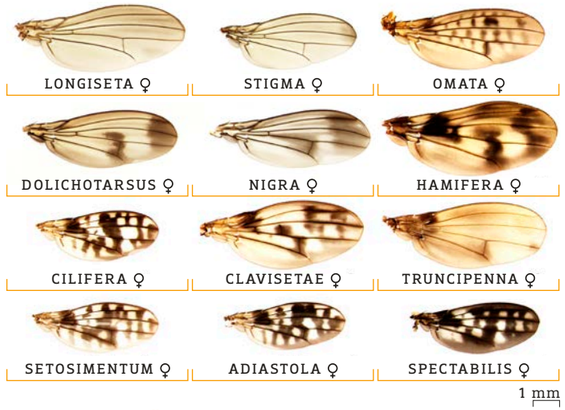
Betrachtet man Buntbarsche als Modellsystem für schnelle Evolution, so zeigen sie: Das Erbgut eines Lebewesens funktioniert ähnlich wie eine Klaviatur. Je nachdem, welche Tasten in welcher Folge und Kombination gespielt werden, können ganz unterschiedliche Ergebnisse entstehen.

Die Suche nach den Mechanismen rascher Evolution richtet sich nicht nur nach innen, auf die kleinsten Bausteine des Lebens. Wissenschaftler versuchen auch zu ergründen, welche äußeren Bedingungen Artbildung auslösen. Ein bereits seit Jahrzehnten diskutiertes Konzept firmiert unter dem Fachbegriff »Ecological Opportunity«.

Das junge Inselreich Hawaii ist das Bilderbuchbeispiel für solch einen Ort »ökologischer Gelegenheit«. Mit Entstehen der ersten Inseln vor rund fünf Millionen Jahren wurden neue Nischen verfügbar, ja ein Mosaik verschiedener Lebensräume. Eine Art der Fliegengattung Drosophila siedelte sich früh an. Sie begann, mehr und mehr Habitate zu erobern und sich dabei in immer weitere Arten aufzuspalten. Heute existieren über 800 Drosophila-Spezies, verteilt über den Archipel.

Voraussetzung für das Entstehen der Vielfalt: Die Ansprüche einer Art und die Lebensbedingungen in der neuen Nische decken sich nicht passgenau. Aus den Unstimmigkeiten erwächst Druck, sich schnell anzupassen. Das Konzept der ökologischen Gelegenheit lässt sich nicht nur räumlich, sondern auch zeitlich denken. Nicht das Nebeneinander unterschiedlicher Nischen, sondern ihr schneller Wandel wäre dann Treiber der Evolution.

HIREC steht für »Human-Induced Rapid Environmental Change« – also durch Menschen ▸



ZEIG MIR DEINE FLÜGEL
Hawaiis Drosophila-Spezies unterscheiden sich in Form, Aufbau und Zeichnung der Flügel. Es gibt allein 111 Arten mit gemusterten Flügeln, den »Picture Wings«. Sie stammen von einem einzigen Weibchen ab, das vor rund fünf Millionen Jahren vom Festland her einwanderte.

RAUM FÜR NEUE ARTEN
Über fünf Millionen Jahre hinweg hoben sich die Inseln Hawaiis aus dem Meer. Die Hauptinsel ist wohl weniger als 500 000 Jahre alt; dank zweier aktiver Vulkane wächst sie beständig. Mit dem neuen Land entstanden neue ökologische Nischen – und neue Arten, die sich einfügten.

DNA auf dem Sprung

GENETIK 1948 entdeckte die US-Biologin Barbara McClintock im Erbgut von Maispflanzen Abschnitte, die sich selbstständig kopieren oder herausschneiden und an anderer Stelle neu einbauen können. Solche **Transposons** machen beim Mais 85 Prozent, bei uns bis zu 50 Prozent des Genoms aus. Nur wenige sind aktiv, viele defekt oder fragmentiert. Transposons sind DNA-Parasiten, die sich auf Kosten ihres Wirts vermehren. Weil sie dessen Erbgut dabei kräftig durchmischen und die Aktivität seiner Gene verändern können, sind sie wichtige **Treiber der Evolution**. Sie können sogar auf andere Arten überspringen: Frösche und Fledermäuse etwa tauschten im Laufe der Evolution mindestens zweimal ein Transposon namens BovB aus.

FOTOS: NAME NACHNAME, NAME NACHNAME

Revolution in der Stadt

ÖKOLOGIE Marina Alberti von der University of Washington hat sich angeschaut, wo auf der Welt Arten sich schnell verändern, und den zahlreichen Beispielen aus urbanen Regionen eine treibende Kraft zugeordnet. Denn nicht nur die Umwandlung von Land in Stadt zwingt Lebewesen, sich anzupassen. Die Stadt selbst bietet beste Voraussetzungen für schnelle Evolution. Auf engstem Raum ballen sich **verschiedenartige Lebensräume**: Parks und Wohngebiete, Hinterhöfe und Ladenzeilen, Müllhalden und Industriegebiete. Zusätzlich sind diese Lebensräume stark fragmentiert. Hochhäuser oder mehrspurige Straßen sind für manche Arten unüberwindbare Hindernisse. Sie stellen – wie Schadstoffe oder Verkehrslärm – **Störfaktoren** dar, die in der freien Natur nicht existieren. Zusätzlich kommen die Lebewesen in der Stadt mit Menschen, aber auch mit neuen Nahrungsquellen, Fressfeinden, Konkurrenten in Kontakt.

verursachte Veränderungen der Umwelt. Der Klimawandel zählt dazu, invasive Arten, Landnutzungsänderungen. Besonders massiv greift das Wachstum von Städten in die Natur ein. Allein zwischen den Jahren 2000 und 2030, haben Forscher ausgerechnet, werden sich rund um den Globus wahrscheinlich 1,2 Millionen Quadratkilometer Land in Stadtgebiete verwandeln. Das entspricht etwa der doppelten Fläche Frankreichs.

Zahlreiche wilde Arten werden ihren Lebensraum einbüßen, womöglich ihre Existenz. Städte vernichten Leben. Treiben sie gleichzeitig dessen Evolution?

Ein junges, rasant wachsendes Forschungsfeld befasst sich mit dieser Frage. Sein Name: »Urban Evolution« (P.M. 03/2018). Zu seinen Vertreterinnen gehört Marina Alberti von der University of Washington in Seattle, USA. Für eine ihrer Studien hat Alberti die jüngere wissenschaftliche Literatur nach Studien durchforstet, deren Autoren beschreiben, dass sich Merkmale wilder Organismen – Tiere, Pflanzen, Pilze – verändert haben. Nicht im Laufe von Ewigkeiten, sondern innerhalb der letzten beiden Jahrzehnte. Alberti sammelte mehr als 1600 gut dokumentierte Beispiele. Bei einigen Arten hatten Forscher ein neues Verhalten beobachtet, bei anderen genetische Veränderungen gefunden.

Marina Alberti interessierte sich nicht nur für die Veränderungen als solche, sondern besonders für die Räume, in denen sie beobachtet wurden. Sie trug diese Orte als Punkte auf einer Weltkarte ein. Dann unterlegte die Wissenschaftlerin die Karte mit einem Satellitenbild der Nasa: der Erde bei Nacht. Wo immer Städte die Dunkelheit erleuchteten, ballten sich auch ihre Punkte.

Offensichtlich verstärken Ballungsräume also das Tempo, in dem ökologische Prozesse ablaufen. Einige Beispiele für verändertes Wildtierverhalten kennen viele aus eigener Erfahrung: Vögel singen lauter, Füchse verlieren ihre Scheu, Waschbären plündern Mülleimer.

Erleben wir vor unserer Haustür gerade den Beginn beschleunigter Evolution? Melanie Dammhahn, Tierökologin an der Universität Potsdam, erkundet das Leben wilder Kleinsäuger in Berlin. Ihr Forschungsgelände liegt im Zentrum der Hauptstadt: eine Brache von der Größe eine Tennisfelds, eingequetscht zwischen Bahngleisen und der A100, Berlins Stadtautobahn.

Auf dem Gelände siedeln Mäuse und Wühlmäuse, Arten, die natürlicherweise in Wald und Wiesen beheimatet sind. Dammhahn und ihr Team hatten Hunderte der Tiere einem Open-Field-Test unterzogen. Diese Versuche sind in der Verhaltensbiologie eine gängige Methode, um die Risikobereitschaft eines Tieres zu messen, seine Erkundungsfreude.

Melanie Dammhahn setzte Maus um Maus in ein Rohr, das in ein offenes, rundes Becken führte. Sie stoppte jeweils die Zeit, die ein Individuum brauchte, um sich in die kleine Arena zu trauen, und notierte dann, wie es sich dort bewegte.

Das Experiment auf der Brache in Berlin-Mitte hätte wenig Aussagekraft, verfügte Dammhahn nicht über eine Kontrollgruppe: Landmäuse aus einem geschützten Wald- und Wiesengebiet in der Uckermark. Bei ihrem Experiment beobachtete Dammhahn Mäuse, die wie Pfeile aus dem Rohr schossen. »Andere wagten sich nach zehn Minuten nicht unter freien Himmel.« Das Abschneiden, sagt Dammhahn, sei eine Frage der Persönlichkeit. Aber, wie sich zeigen soll: nicht nur.

Lebende Fossilien
Tiere wie der Quastenflosser oder der Pfeilschwanzkrebs erscheinen seit Jahrmillionen unverändert. Doch auch ihr Erbgut ist ständigem Wandel unterworfen. Die Unterschiede zu ihren versteinerten Ahnen sind nur äußerlich gering.

LEICHTE BEUTE
Neuseelands Kiwi war perfekt an ein Leben am Boden angepasst – bis neue Fressfeinde in seine ökologische Nische eindrangen.

Anke Sparmann
freute sich während einer Recherchepause in Berlin über eine bildhübsche Brandmaus, die forsch das Straßencafé durchstreifte.

MUTIG ODER ZAGHAFT?
Verhaltensbiologin Melanie Dammhahn testete, wie schnell sich Stadt- und Landmäuse aus einem sicheren Versteck, einem Rohr, auf die freie Fläche davor trauten.

Als Dammhahn die Daten auswertete, bot sich ihr ein deutliches Bild. Sie hatte insgesamt 305 Individuen getestet. Die Stadtmäuse zeigen sich im Schnitt signifikant risikofreudiger als die Artgenossen aus der Uckermark. »Das Leben in Berlin«, folgert Dammhahn, »hat die Mäuse mutig gemacht.«

Doch welcher Mechanismus steckt hinter dieser Veränderung? Das kühne Verhalten könnte schlicht das Ergebnis eines individuellen Lernprozesses sein. Oder aber der Mut ist eine neue Eigenschaft, die bereits erblich verankert ist. Um eine Antwort zu finden, hält Melanie Dammhahn heute einen Teil der Stadt- und Landmäuse im Labor. Tests ihrer Folgegenerationen sollen zeigen, ob die Berliner Mäuse bereits mutig zur Welt kommen. Der erste Schritt der raschen Evolution zur urbanen Art, er wäre damit getan. ■

Video: Entwickelt sich der Mensch noch weiter?
www.pm-wissen.com/evolution

P.M. KOMPAKT

- Lange glaubten Evolutionsbiologen, dass Arten sich **extrem langsam** verändern oder neu bilden.
- Familien wie die Buntbarsche, die sich wie im Zeitraffer entwickeln, sprengen dieses Paradigma. Mit ihrer Hilfe entdecken Forscher **neue Mechanismen** der Evolution.
- Auch manche **Lebensräume**, allen voran Städte, begünstigen die schnelle Entwicklung von Arten.

FOTOS: NAME NACHNAME, NAME NACHNAME