

DER HERR DER FISCHE

Axel Meyer erforscht eine der ältesten Fragen der Biologie: Wie entwickelte sich die Vielfalt des Lebens? Buntbarsche verhelfen dem Evolutionsbiologen zu Einsichten darüber, wie es der Natur gelingt, immer wieder Neues entstehen zu lassen.



Von Claudia Eberhard-Metzger

Warum ich Evolutionsbiologe geworden bin? Axel Meyer geht zur Bücherwand, zieht ein Buch heraus und legt es auf den Schreibtisch: »Vielleicht deshalb!«, ruft der 49-jährige Professor der Universität Konstanz und lächelt. Auf dem zerfledderten Schutzumschlag steht »Die Vergangenheit steigt aus dem Meer«. Das sei das absolute Lieblingsbuch seiner Jugendtage, gesteht der Biologe und beginnt sogleich begeistert zu erzählen: von dem Wesen, das am 23. Dezember 1938 in das Fangnetz südafrikanischer Fischer geriet – ein stahlblauer, über ein Meter langer und mehr als 50 Kilogramm schwerer Fisch mit auffallend großen Schuppen und fleischigen Flossen. Das war der legendäre Quastenflosser, wie sich herausstellte, ein Meeresbewohner, von dem die Wissenschaftler angenommen hatten, dass er das große Massensterben am Ende der Kreidezeit vor 65 Millionen Jahren nicht überstanden habe und der ihnen bis dahin nur als Fossil bekannt war. »Dieses Buch und die unglaubliche Geschichte, von der es berichtet, haben mich nachhaltig fasziniert.«

Meyers Naturerkundungen begannen in seiner norddeutschen Heimat, als er Käfer und Vogelgewölle sammelte. Der Junge hielt sich eine zahme Elster als nur eines von vielen Haustieren. Mit zehn Jahren bekam Meyer sein erstes Aquarium, bald standen die Wände seines Zimmers vom Boden bis zur Decke voller Fischbecken. Sein Vater, ein Ingenieur, habe eines Tages einen Stromzähler vor seinem Zimmer installiert. »Damit ich sehe, wie viel Strom ich so verbrauche.«

Auch während des Biologiestudiums in Marburg hielt Axel Meyers Liebe zu den Fischen an. Selbst dann noch, als seine Vermieterin drohte, ihn aus dem Haus zu werfen, nachdem sie entdeckt hatte, dass ihr Student in seiner Bude nicht allein, sondern mit 80 selbst gebauten Glaskästen voller Fische lebte.

Ohne seine Lieblinge geht es bei dem Evolutionsforscher bis heute nicht: Kleine Buntbarsche aus dem Victoriasee schwimmen putzmunter in einem Aquarium, das seinem Schreibtisch direkt gegenüber steht. »Das Erbgut der Buntbarsche wird gerade am Broad Institute des MIT entschlüsselt. Daran ist auch meine Arbeitsgruppe hier in Konstanz beteiligt.«

Nicht eine Hand voll, sondern Tausende von Buntbarschen schwimmen in den Rolls-Royce-Aquarien, wie Axel Meyer die Edelfischbecken in der Tierforschungsanlage der Universität nennt. Der Professor klopft leise an die Beckenwand. Ein Männchen mit imponierendem Stirnbuckel schwimmt heran und blickt uns mit großen Augen an. »Amphilophus ist sehr selbstbewusst und durchsetzungsfähig. Wenn ich jetzt meinen Finger ins Wasser steckte, würde er kräftig zubeißen.«



ALLE FOTOS DES ARTIKELS: SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT / PETER SCHMIDT

ZUR PERSON

Axel Meyer zählt zu den international bedeutendsten Evolutionsbiologen. Er wurde 1960 in Mölln in Schleswig-Holstein geboren, besuchte in Lübeck die Schule und studierte Biologie in Marburg und Kiel. Nach dem Vordiplom ging er im Jahr 1982 in die Vereinigten Staaten, zunächst an die University of Miami, Florida, dann nach Berkeley und Harvard. Als Postdoc arbeitete er an der University of California in Berkeley im Fachbereich für Biochemie bei Allan Wilson.

Ab 1990 war Axel Meyer Assistant Professor der State University in New York. Im Jahr 1997 kehrte er nach Deutschland zurück und übernahm als Nachfolger von Hubert Markl den Lehrstuhl für Zoologie und Evolutionsbiologie der Universität in Konstanz. Sein derzeitiges Forschungsinteresse gilt insbesondere der evolutionären Entwicklungsbiologie.

Spektrum der Wissenschaft: Herr Professor Meyer, was würden Sie tun, wenn es keine Buntbarsche gäbe?

Axel Meyer: Wir würden dann eben mit anderen Tieren forschen. Das haben wir auch schon getan, beispielsweise mit Vögeln, Walen oder Insekten. Buntbarsche sind nicht das einzige System, das mich interessiert. Aber ich gebe gerne zu, dass ich sie liebe. Es sind sehr intelligente Tiere, die Männchen verteidigen ihre Territorien, etablieren oft eine Rangordnung und zeigen ein komplexes Sozialverhalten. Das zeigt mir jeder Blick in das Aquarium hier vor meinem Schreibtisch. Hinzu kommt, dass Buntbarsche neben Darwin-Finken, Anolis-Eidechsen oder Fruchtfliegen längst zu den klassischen Modellsystemen der Evolutionsforschung zählen und heute in den meisten Lehrbüchern vertreten sind.

Spektrum: Was macht die Buntbarsche so interessant für Evolutionsforscher?

Meyer: Dass es so viele von ihnen gibt. Die Familie der Buntbarsche umfasst rund 2700 Arten. Sie zählen damit zu den artenreichsten Wirbeltierfamilien und haben sich in der Evolution sehr erfolgreich durchgesetzt – sofern man evolutionären Erfolg an der Artenzahl

messen kann, was durchaus noch debattiert wird. Jedenfalls kann man an Buntbarschen sehr gut die zentrale Frage der Evolutionsforschung stellen.

Spektrum: Und die wäre?

Meyer: Wie entstehen neue Arten?

Spektrum: Wann haben Sie beschlossen, Ihr Forscherleben dieser Frage zu widmen?

Meyer: Dass ich Biologe werden wollte, wusste ich schon mit zehn Jahren. Wirklich. Es gab nichts, was mich mehr interessierte als die Natur und die fantastische Variation von Lebewesen um uns herum. Ich habe Käfer gesammelt, pulte die kleinen Mäuseschädel aus Gewöllen von Greifvögeln und steckte sie in Streichholzschachteln. In Lübeck kannte ich jede Vitrine im Naturkundemuseum auswendig. Der Amtstierarzt war mein bester Freund, und am liebsten sah ich im Fernsehen Grzimek und Cousteau. Das war prägend. Ich habe dann in Kiel und Marburg Biologie studiert und wollte zunächst Meeresbiologe werden. Zur eigentlichen Evolutionsforschung kam ich später, während meiner Zeit in den USA.

Spektrum: Sie waren recht lange dort.

Meyer: Ein Fulbright-Stipendium gab mir

»Als Kind besaß ich eine zahme Elster – ein innigeres Verhältnis hatte ich aber stets zu meinen Fischen«

BUNTBARSCH

Buntbarsche (Cichliden) sind wichtige Modellorganismen zur Erforschung der Evolutionsmechanismen. Mit rund 2700 Arten zählen sie zu den artenreichsten Familien bei den Wirbeltieren. Ihr natürliches Verbreitungsgebiet erstreckt sich über Afrika, Mittel- und Südamerika sowie Madagaskar. Zwei Arten leben auf der Spitze des indischen Subkontinents und auf Sri Lanka. Rund 500 Buntbarsch-Arten leben ausschließlich im ostafrikanischen Victoriasee. Evolutionsbiologen haben dort gleichsam eine Bühne der Evolution vor sich und können die Prozesse und Geschwindigkeit der Artenbildung untersuchen.

»Die Evolution ist ein Thema – wo jeder glaubt, etwas davon zu verstehen«

Anfang der 1980er Jahre nach dem Vordiplom in Marburg die Gelegenheit, in die USA zu gehen. Ich war zunächst für ein Semester in Miami und habe mich dann entschlossen, nach Berkeley an die University of California zu wechseln. Vorgesehen war ein Aufenthalt von insgesamt einem Jahr. Dann sind es fast 16 Jahre geworden.

Spektrum: Was hat Ihnen so gut gefallen?

Meyer: Ich war zur richtigen Zeit am richtigen Ort – es war intellektuell unglaublich stimulierend.

Spektrum: Wie das?

Meyer: Ich hatte George Barlow, einem bedeutenden amerikanischen Fischforscher und Schüler von Konrad Lorenz, einen Brief nach Berkeley geschrieben und gefragt, ob ich bei ihm arbeiten könne. Er hatte nichts dagegen, zumal ich ihn nichts kostete, weil ich ein Stipendium mitbrachte. Ich kannte ihn bereits aus der Literatur als Buntbarsch-Spezialisten. Er forschte seinerzeit an Midas-Buntbarschen, die immer noch zu unseren Modellorganismen zählen. Barlow hatte, als ich zu ihm kam, bereits rund zwei Dutzend Doktoranden, die an verschiedenen Aspekten forschten. Beispielsweise, ob es für die männlichen Fische besser ist, schwarz oder golden zu sein, wenn sie die Gunst eines Weibchens gewinnen wollen. Damals habe ich mir nicht vorstellen können, dass man noch lange an diesen Buntbarschen forschen würde. Denn was sollte es nach 20 Doktoranden noch Neues zu entdecken geben? Prägend waren in diesen ersten Jahren meiner Doktorarbeit auch meine Doktormutter Marvalee Wake und der berühmte Evolutionsbiologe David Wake aus Berkeley. Diese beiden Forscher sind für mich menschlich und wissenschaftlich immer noch große Vorbilder.

Spektrum: Was war Ihr erstes größeres Forschungsthema?

Meyer: Im Labor von George Barlow beschäftigte ich mich mit einer Raubfischart und verarbeitete den Jungfischen verschiedene Futtersorten. Daraufhin stellte sich heraus, dass die Fische ihre Zahn- und Kieferform abhängig von der jeweiligen Futtersorte veränderten. In weiteren Versuchen habe ich dann geprüft, ob die beobachtbaren morphologischen Veränderungen wieder rückgängig gemacht werden können und wenn ja, zu welchem Zeitpunkt. Das war Teil meiner Doktorarbeit.

Spektrum: Ehrlich gesagt, ob ich einen Fisch jetzt so oder so füttere, ist sicherlich ganz interessant. Aber nach einer großen Frage der Biologie klingt das nicht gerade.

Meyer: Das mag auf den ersten Blick so aussehen, diese Kapitel meiner Doktorarbeit wurden jedoch hunderte Male zitiert.

Spektrum: Und warum?

Meyer: Es ging um das Verhältnis von Ontogenese und Evolution. Ontogenese meint die genetisch vorbestimmte individuelle Entwicklung eines Lebewesens, und meine Fragen lauteten: Was ist auf Grund der Genetik entwicklungsbiologisch vorgegeben? Was ist durch äußere Einflüsse veränderbar? Welche Rolle spielt dieses Zusammenwirken makroevolutionär für die Evolution eines Lebewesens? Das Konzept der so genannten phänotypischen Plastizität war damals ein wichtiges Thema – und ist es bis jetzt geblieben (siehe Kasten S. 42).

Spektrum: Was bedeutet für Sie Evolution?

Meyer: Nehmen wir einmal an, bei einem Lebewesen besteht eine große phänotypische Plastizität; also beeinflussen äußere Faktoren, etwa Ernährung, seine individuelle Entwicklung stark. Interessant ist nun, ob die Lebewesen dadurch einen Überlebensvorteil haben: Überstehen sie längere Zeiträume, weil es ihnen wegen ihrer größeren Plastizität besser gelingt, sich rasch wechselnden Umweltbedingungen anzupassen? Verringert die größere Plastizität ihr Risiko auszusterben? Bleibt eine Art deshalb länger erhalten, und wird es dadurch wahrscheinlicher, dass neue Arten aus ihr hervorgehen? Diese Fragen begleiten mich und die Evolutionsforschung bis heute.

Spektrum: Haben Sie ein Beispiel für eine aktuelle Arbeit?

Meyer: Einige unserer Midas-Buntbarsche können mit ihren Kiefern Schneckengehäuse knacken, die sehr hart sind. Es kommt zu einem evolutionären Wettrennen zwischen den immer härter werdenden Schneckengehäusen und den immer stärkeren Schneckenknackern. Die Buntbarsche knacken die Schneckengehäuse mit einem eigens dafür umgebil-



deten Kiemelement, einem zweiten funktionellen Kiefer.

Wir haben hier in Konstanz ein Experiment gemacht, das ich in kleinerem Rahmen schon in Berkeley während meiner Doktorarbeit unternommen habe: Wir teilen die Bruten der Schnecken knackenden Fische und ziehen sie getrennt voneinander auf. Die eine Fischbaby-Gruppe muss selbstständig Schnecken knacken; die zweite Gruppe füttern wir mit Schnecken, die wir für sie geknackt haben – wir nehmen ihnen also gleichsam die Arbeit des Schneckenknackens ab.

In beiden Fällen erhalten die Fische die gleiche Menge an Kalzium, das in den Schneckengehäusen steckt, und die gleiche Menge an Schneckenfleisch. Wenn man sich die unter diesen Bedingungen herangezüchteten Jungfische als erwachsene Fische anguckt, erkennt man, dass sie unterschiedliche Zahnformen entwickelt haben: Bei den Schnecken knackenden Fischen sind die Zähne breit und kräftig. Bei den Fischen aber, die die Schnecken schon geknackt serviert bekommen haben, sind die Zähne jetzt schmäler und spitzer. Man kann also den Phänotyp der Fische – in diesem Fall die Zahnform – durch äußere Einflüsse in relativ kurzer Zeit verändern.

Spektrum: Warum ist das so wichtig?

Meyer: Es hat eben außerordentlich viele Implikationen, weil es von der Form der Zähne abhängt, was die Fische fressen oder welche Nische sie besetzen. Letztlich wollen wir verstehen, was für die phänotypische Plastizität verantwortlich ist. Also: Welche Gene werden angeschaltet, während der »Evolutions«-Schneckendruck herrscht? Welche Proteine werden daraufhin gebildet und auf welche inneren und äußeren molekularen Signale reagiert eine zahnbildende Zelle? Schließlich muss sich die Zelle ja irgendwann entscheiden – für die Konstruktion eines flachen oder eines spitzen Zahns.

Das sind fundamentale Fragen der modernen Evolutionsbiologie – es gilt zu verstehen, welche Genetik hinter den Adaptationen und damit auch hinter den Unterschieden zwischen Arten steckt. Welche Gene und welche Mutationen bringen neue Arten hervor? Um diese Fragen zu beantworten, nutzen wir Methoden der Molekularbiologie, der Genomik und Transkriptomik sowie neue Verfahren zur DNA-Sequenzierung.

Spektrum: Sie haben auch bei dem berühmten deutschstämmigen Evolutionsbiologen Ernst Mayr gearbeitet. Wie kam es dazu?

Meyer: Nachdem sich mit Hilfe unterschiedlicher Fütterungsweisen die verschiedenen Fischkieferformen entwickelt hatten, wollte ich wissen, was das für deren Funktion bedeutet.



Dazu arbeitete ich für ein Jahr während meiner Doktorarbeit in dem Labor des Fischforschers Karel Liem an der Harvard University. Dort traf ich Ernst Mayr wieder, den ich schon ein Jahr zuvor in Berkeley kennen gelernt hatte. Er hielt wöchentlich so eine Art privates Seminar ab, wo er zwölf handverlesene Studenten und Postdocs einlud, um mit ihnen evolutionsbiologische Fragen zu diskutieren.

Man saß an einem großen Holztisch, an der Stirnseite thronte Ernst Mayr. Wir waren umgeben von Vitrinen mit Fossilien, die der berühmte amerikanische Paläontologe Alfred Romer gesammelt hatte. Es war eine große Ehre, einer der zwölf »Jünger« zu sein, die Mayr als würdig und interessant genug ausgewählt hatte, um mit ihm zu diskutieren. Aber es war auch eine Art Mutprobe – Mayr war nicht gerade zurückhaltend mit seinen Urteilen und Meinungen. Man musste sich gut überlegen, was man sagte, sensible Charaktere waren an seinem Tisch falsch platziert. Mayr war, als ich ihm begegnete, schon Anfang 80, aber er kletterte noch immer auf Bäume, um Vogelnester auszunehmen.

Er war in vielerlei Hinsicht ein phänomenaler Mensch und Wissenschaftler. Ich lernte ihn später noch besser kennen, als ich einen Sommer lang in seinem Haus in Cambridge wohnte. Er blieb mir in den letzten 20 Jahren

»Evolutionsbiologe bin ich quasi aus dem Bauch heraus geworden. Ich versuche lediglich, die Welt ein bisschen besser zu verstehen«



VORBILDER

ALLAN WILSON (1934 – 1991) nutzte als einer der ersten Wissenschaftler die modernen Methoden der Molekularbiologie, um Evolutionsprozesse zu verstehen. Er forschte an der University of California in Berkeley. Seine Gruppe gehörte auch zu den ersten, die vorgeschichtliche DNA analysierten, beispielsweise Nukleotidsequenzen aus dem Trockenpräparat eines Quagga, einer Ende des vorletzten Jahrhunderts ausgestorbenen Zebra-Art.

ERNST MAYR (1904 – 2005) war Professor an der Harvard University. Er zählt zu den bedeutendsten Biologen der Welt und hat in die Evolutionsbiologie zahlreiche neue Ideen eingebracht. Er entwickelte das Konzept der biologischen Art als Fortpflanzungsgemeinschaft. Nach seiner »allopatrischen Artbildung« sind geografische Separationen die Voraussetzung für das Aufspalten einer Art in zwei Tochterarten.

seines sehr langen Lebens stets als Mentor und Freund verbunden. Er war auch derjenige, der mich drängte, nach Deutschland zurückzukehren. Ich verdanke ihm sehr viel. Aber wir waren nicht immer einer wissenschaftlichen Meinung – trotz meiner großen Bewunderung für seine Leistungen.

Spektrum: Und wie haben Sie sich mit ihm auseinandergesetzt?

Meyer: Ich war ja jemand, der am Beispiel der Kratersee-Buntbarsche in Nicaragua gezeigt hatte, dass Arten manchmal auch ohne geografische Barrieren – also durch so genannte sympatrische Artbildung – entstehen können.

Spektrum: Und das passte nicht in Mayrs Konzept?

Meyer: Nach Mayr entstehen die allermeisten Arten durch allopatrische Artbildung, also sozusagen passiv durch geografische Barrieren, die den Genfluss, der durch Fortpflanzung zwischen Populationen entsteht, verhindern. Mayr sagt: Eine Art besteht aus Individuen, die sich erfolgreich miteinander fortpflanzen können. Das nannte er das biologische Artkonzept – es ist das Artenkonzept, wie man es in Schule und Universität lernt. Man kann Arten aber auch ganz anders definieren. Und Mayr wusste sehr wohl, dass sein biologisches Artkonzept theoretische wie operative Probleme hatte.

Spektrum: Welche?

Meyer: 10 bis 15 Prozent aller Vogelarten hybridisieren, pflanzen sich also über die Artgrenzen hinweg fort. Heißt das, dass es damit 10 bis 15 Prozent weniger Vogelarten gibt? Und was ist mit Lebewesen, die sich nicht oder nur gelegentlich sexuell fortpflanzen? Sind das etwa keine Arten? Mayr hat ein wenig versucht, solche Beobachtungen unter den Teppich zu kehren, und gemeint, dass es

sich um eine Art Grundrauschen des Systems handle.

Spektrum: Wie lässt sich denn nun eine Art moderner definieren?

Meyer: Mayr hatte mit seiner Definition der Art sicherlich nicht Unrecht. Aber man muss eben auch wissen, dass nicht alles erklärt wird. In der Praxis wird das biologische Artkonzept weit weniger benutzt, als man glauben mag. Es geht ja fast kein Forscher durch den tropischen Regenwald und schaut, wer sich mit wem fortpflanzt, um eine Art zu definieren.

Stattdessen sammelt er beispielsweise alle Käfer ein, die auf einem Baum leben, und sortiert sie, zumindest anfänglich, nach morphologischen Merkmalen, genau so, wie es schon Carl von Linné gemacht hat. Heute erfolgt dieses Sortieren mehr und mehr zusätzlich mit Hilfe der DNA, so dass Arten heute auf Grund ihrer genetischen Gemeinsamkeiten und Unterschiede definiert werden. Das könnte man – je nachdem, wie genau methodisch vorgegangen wird – ein phylogenetisches oder evolutionäres Artkonzept nennen.

Spektrum: Der Artbegriff ist also immer noch recht unklar?

Meyer: Ja, genau. Jeder ernsthafte Doktorand der Evolutionsbiologie beißt sich am Artbegriff erneut fest – und meist die Zähne aus. Wir verfügen inzwischen aber über Methoden, mit denen wir im Unterschied zu früher bis hin zur molekularen Ebene im Prinzip abgrenzen können, was eine Art ist und was nicht. Und aus diesen Datensätzen können wir auch besser ableiten, wie neue Arten entstehen.

Spektrum: Und was sagen die molekularen Daten über das Entstehen der Artenvielfalt?

Meyer: Ernst Mayr hat behauptet, dass die allopatrische Artenbildung der Hauptmechanismus sei. Er hat sein Leben lang gegen die Idee gekämpft, dass Arten auch sympatrisch, ohne geografische Barrieren, entstehen können. Die Buntbarsche in den Kraterseen Nicaraguas und vielleicht auch im Victoriasee in Afrika zeigen uns indes, dass neue Arten sehr wohl auch dann entstehen können, wenn sie in einem gemeinsamen Lebensraum ohne offensichtliche Barrieren existieren. Was wir mit unseren modernen Methoden feststellen, ist in gewisser Weise kontra Mayr.

Spektrum: Klingt ziemlich unwahrscheinlich! Wie sollen denn neue Arten ohne geografische Isolierung entstehen können?

Meyer: Das lässt sich mit genetischen Unterschieden erklären. Wenn bei einem Fisch, sagen wir in einem Kratersee, ein Gen mutiert, das eine morphologische Veränderung bedingt, die es ihm erlaubt, besser zwischen den Steinen in Ufernähe zu manövrieren, kann das ein Selektionsvorteil für ihn sein. Der

Fisch findet zwischen den Steinen vielleicht mehr zu fressen und wird sich künftig eher in dieser ökologischen Nische aufhalten.

Wenn dann auch noch die Partnerwahl mit der ökologischen Spezialisierung einhergeht in dem Sinn, dass Partner dort gesucht werden, wo auch gefressen wird, können neue Arten ohne geografische Barrieren entstehen. Vorausgesetzt, die Genetik stimmt, wenn also die beiden genetischen Loci für ökologische Spezialisierung und Partnerwahl nahe beieinander auf demselben Chromosom liegen.

Im Victoriasee beispielsweise, dem größten tropischen See der Welt, leben etwa 500 Buntbarsch-Arten. Interessanterweise wohnt keine dieser 500 im ganzen See. Sie sind fast immer nur in meist relativ kleinen Teilen des Sees zu finden. Das weist schon darauf hin, dass die Artbildung lokal stattfindet, also zum Beispiel in einem kleinen Seeabschnitt in Uganda, Kenia oder Tansania.

Spektrum: Zurück zu Ihren Vorbildern: Sie haben auch bei Allan Wilson gearbeitet, einem weiteren legendären Evolutionsbiologen.

Meyer: In gewisser Weise hat mich Allan Wilson in Berkeley noch mehr beeinflusst als Ernst Mayr. Wilson war ein fantastischer Forscher mit brillanten Ideen. Und er scheute sich nicht, auch einmal falschzuliegen. Ich glaube, genau das hat diesen Wissenschaftler besonders ausgezeichnet. Außerordentlich war auch sein Gespür für Menschen und sein Geschick, die unterschiedlichsten Talente zueinanderzubringen.

In seinem Labor in Berkeley arbeiteten damals Leute, die sich für nichts anderes als Gene interessierten, aber keine Kröte von einem Fisch unterscheiden konnten. Daneben gab es dann noch Leute wie mich – Spezialisten für Fische, Vögel oder ausgestorbene Lebewesen. Das ergab eine einzigartige Mischung von hoch motivierten und ambitionierten jungen Forschern. Hinzu kam eine technische Revolution, die PCR (siehe Kasten rechts). Im Labor von Allan Wilson ist 1987 eines der ersten Geräte für die Polymerase-Kettenreaktion selbst gebaut worden. Und wir waren die Ersten, die die PCR auf evolutionäre Fragen angewandt haben.

Spektrum: Wie darf man sich das vorstellen?

Meyer: Das kam zu Stande, weil einige der Doktoranden aus dem Wilson-Labor bei der ehemaligen Biotechfirma Cetus in der Nähe in Emeryville forschten, also bei dem Unternehmen, wo Kary Mullis arbeitete, der Erfinder der PCR. Das erste, noch selbst gebastelte PCR-Gerät bestand aus einem alten Wasserbad und Teilen einer Waschmaschine, die von einem Apple-IIe-Computer gesteuert wurden. Als neue Methode brachte die PCR dem

Wilson-Labor einen enormen Forschungsvorsprung. Es gab Zeiten, wo aus dem Labor alle zwei Monate eine Publikation in »Nature« erschien, von Jungstars wie Russ Higuchi, Svante Pääbo, Mark Stoneking oder Linda Vigilant. Jedem war klar, dass wir alle gerade Wissenschaftsgeschichte schrieben.

Spektrum: Wie hat die PCR die Biologie verändert?

Meyer: Allan Wilson hat die PCR einmal die »Demokratisierung des genetischen Kodes« genannt. Denn damit konnte man DNA schneller und billiger sequenzieren. Das ist wesentlich, um das Erbgut verschiedener Lebewesen vergleichen zu können und auf genetischer Ebene Einblick in das Entstehen der Artenvielfalt zu erhalten. Eine unserer Publikationen aus dem Jahr 1989 wurde über 2500-mal zitiert, weil wir auch so genannte PCR-Primer-Sequenzen entwickelt hatten, die in sehr vielen Tierarten funktionieren.

Spektrum: Und was beschäftigt Sie heute?

Meyer: Das sind die molekularbiologischen Fragen. Was ist die genetische Basis von Anpassungen? Welche genetischen Veränderungen bewirken evolutionäre Innovationen? Gibt es bestimmte Mutationen, die häufiger als andere Mechanismen für die Artbildung verantwortlich sind? Kurzum: Wir wollen heute auf genetischer und genomischer Ebene verstehen, welche Faktoren für das Entstehen von evolutionären Innovationen und neuen Arten verantwortlich sind.

Spektrum: Welche genetischen Einflüsse stehen als Motor der Evolution besonders in Verdacht?

Meyer: Generell werden heute Duplikationen oder Vervielfältigungen von einzelnen Genen,

EVO-DEVO

Die »Evolutionary Developmental Biology« (evolutionäre Entwicklungsbiologie), kurz Evo-Devo, ist eine neue Disziplin, welche die Ansätze der Evolutions- und die der Entwicklungsbiologie kombiniert. Die Evo-Devo-Forschung versucht zu verstehen, wie morphologisch unterschiedliche, aber sonst übereinstimmende Strukturen – wie etwa die Flügel bei Vögel und Fledermäusen – entwicklungsbiologisch und molekular-genetisch entstehen.

PCR

Die Polymerase-Kettenreaktion (PCR) ist eine Methode, um die Erbsubstanz DNA in vitro zu vervielfältigen.

Gruppenbild mit Elch: Axel Meyer (Mitte) im Gespräch mit Claudia Eberhard-Metzger und Chefredakteur Reinhard Breuer



PHÄNOTYPISCHE PLASTIZITÄT

Das Konzept beschreibt, in welchem Maß das äußere Erscheinungsbild (der Phänotyp) eines Lebewesens von seinen Genen (dem Genotyp) vorherbestimmt wird. Eine hohe Plastizität bedeutet, dass äußere Einflüsse die individuelle Entwicklung eines Lebewesens stark beeinflussen.



Claudia Eberhard-Metzger ist Biologin und Germanistin und freie Medizinjournalistin. Die Fragen stellten sie und Chefredakteur Reinhard Breuer.

Meyer, A.: Evolution ist überall. Gesammelte Kolumnen »Quantensprung« des »Handelsblatt«. Böhlau, Wien, Köln, Weimar 2008.

Meyer, A.: Algenraspler, Schneckenknacker, Schuppenfresser: Axel Meyer über den evolutionären Erfolg der Buntbarsche. Audio-CD, Supposé-Verlag, Berlin 2008.

Meyer, A., Van de Peer, Y. (Hg.): Genome Evolution: Gene and Genome Duplications and the Origin of Novel Gene Functions. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 2003.

www.evolutionbiologie.uni-konstanz.de

Weitere Weblinks zu diesem Thema finden Sie unter www.spektrum.de/1026688.

von Genfamilien oder gar von kompletten Genomen als wichtiger evolutionärer Mechanismus angesehen. Aber auch die regulatorische Evolution, transposable Elemente und andere molekulare Mechanismen sind sicher wichtig.

Spektrum: Wie lassen solche genetischen Veränderungen neue Arten entstehen?

Meyer: Sie helfen zunächst einmal grundsätzlich zu verstehen, wie sich aus einfachen komplexe Formen entwickeln. Wichtig waren Gen- und Genomduplikationen wahrscheinlich vor allem für die großen Schritte in der Evolution. Das betrifft den Schritt vom Einzeller zum Vielzeller, aber auch die Entstehung der Wirbeltiere, etwa für den Übergang des Lebens vom Wasser auf das Land.

Der erste Wissenschaftler, der das Konzept der Genduplikation als Motor der Evolution explizit vorschlug, war übrigens Susumu Ohno, ein in den USA lebender japanischer Biologe. Er veröffentlichte 1970 ein Buch (»Evolution by Gene Duplication«), worin er sagt: »*Duplication created, while natural selection merely modified.*«

Ohnos Ideen wären fast in Vergessenheit geraten, weil es zunächst nicht möglich war, seine Hypothese zu testen. Ende der 1990er Jahre erlebte sein Gedankengut eine Renaissance. Doch noch immer wurde darüber gestritten, ob genetische Duplikationen tatsächlich als evolutionäres Prinzip bedeutend sind und wie häufig sie sich während der Evolution ereignet haben. Im letzten Jahrzehnt hat es sich jedoch immer deutlicher gezeigt, dass Ohnos Ideen richtig und extrem wichtig sind. Diese Erkenntnis verdanken wir den neuen genomischen Methoden, die es erlauben, nicht nur einzelne Gene, sondern auch vollständige Genome zu entziffern und miteinander zu vergleichen.

Spektrum: Aber welchen Vorteil könnte ein mehrfacher Satz an Genen bieten?

Meyer: Mit den zusätzlichen Genen ergeben sich neue Gestaltungsmöglichkeiten. Duplizierte Gene oder Genome erlauben es, Mutationen in der zweiten Kopie anzusammeln. Der zweite Erbgutsatz bietet gleichsam Gelegenheit für Experimente.

Da lassen sich neue Eigenschaften ausprobieren; sie können beibehalten, sofern sie sich bewähren, oder wieder verworfen werden. Die Experimente mit dem zweiten Gensatz können also zu neuen Genfunktionen führen, während die Sicherheitskopie weiterhin die ursprüngliche Aufgabe erfüllt und die Lebensfunktionen aufrechterhält. Aus den neuen Genen können komplexere morphologische Strukturen und schließlich neue Arten hervorgehen.

Spektrum: Welche Arten sind das?

Meyer: Ohno postulierte bereits in den 1970er Jahren, dass zwei große Verdopplungsrunden, die sich im Abstand von vielen Millionen Jahre ereigneten, zur Entwicklung der Wirbeltiere geführt haben. Wir konnten vor etwa zehn Jahren zeigen, dass sich alle modernen Fische auf einen Vorfahren zurückführen lassen, der sogar eine dritte Genomduplikation durchgemacht hat. Darüber hinaus haben wir vorgeschlagen: Duplikationen, welche sich in ökologischen Umbruchzeiten ereignen, beschleunigen die Artbildung enorm.

Das ist das Ergebnis von Arbeiten, die wir zusammen mit meinem ehemaligen Mitarbeiter Yves Van de Peer durchführten, der jetzt Professor im belgischen Gent ist. In direkter Konkurrenz mit bisher gut angepassten Arten könnten Organismen mit duplizierten Genomen in Krisenzeiten eine Nische erobern, weil sie aus ihrem vergrößerten Genreservoir schöpfen, daraus nützliche Gene gewinnen und sich schneller an die veränderten Bedingungen anpassen können.

Spektrum: Und wie schnell ist die Evolution?

Meyer: Wir müssen uns davon verabschieden, dass Evolution etwas ist, was sehr langsam und nur in Jahrmillionen voranschreitet. Veränderungen können sehr rasch eintreten, oft geradezu im Zeitraster. Das zeigt uns ja beispielsweise die Artenvielfalt der Buntbarsche im Victoriasee; die hat sich in kaum mehr als 100 000 Jahren herausgebildet. Aktuell zeigt sich die Evolutionsgeschwindigkeit auch am Beispiel des Vogelzugs; der verändert sich gerade infolge des Klimawandels.

Ein anderes Beispiel für die enorme Geschwindigkeit, in der sich Organismen verändern können, sind Fische, die in einem kleinen Kratersee in Nicaragua leben. Es gibt sie einmal mit und einmal ohne Lippen. Mit populationsgenetischen Modellen konnten wir zurückrechnen, dass der See vor gerade einmal 100 Jahren besiedelt wurde. Innerhalb dieser kurzen Zeitspanne haben sich also die unterschiedlichen Lippenformen und vielleicht sogar neue Arten entwickelt.

Spektrum: Zuletzt die Zukunftsfrage – was dürfen wir auf Ihrem Gebiet noch erwarten?

Meyer: Ich weiß nur, was man nicht erwarten darf – man sollte keine Naturgesetze erwarten, wie sie vor allem die Physik liefert. Wenn wir viel Glück haben, werden wir vielleicht so etwas wie Regeln entdecken. Biologische Systeme sind eben komplexer als physikalische.

Biology is messy! Ebenso komplex sind daher die Forschungsfragen, die man stellen muss. Und auf komplexe Fragen darf man bekanntlich nicht immer einfache Antworten erwarten. <