

Abb. 2: Der Blinde Höhlensalmter *Astyanax*. Der Augenverlust ist mit einer Vergrößerung der Kiefer gekoppelt. (Staatliches Museum für Naturkunde, Karlsruhe)



zu Artbildung zu führen, zumindest nicht im derzeitigen Augenblick, obwohl man annehmen könnte, daß gerade Änderungen in Reproduktionsorganen recht rasch zu reproduktiver Isolation und zu Artbildung führen sollten. Die Variation, die vorhanden ist, ist demnach nicht voll ausgenutzt. Liegt hier ein bereits existierendes genetisches Potential auf Abruf bereit?

Eine andere Art von Variation fand BAIRD in seiner Studie über die Festlegung des Geschlechts bei Würmern. Er kreuzte zwei Arten – eine hermaphroditische (zwitterige) und eine, die beide Geschlechter ausbildet. Die Nachkommen zeigten unerwartete Eigenschaften, die auf winzige Veränderungen in den beteiligten Genen zurückgehen: Bei Kreuzungen innerhalb der Art schienen diese kleinen Unterschiede keine Rolle zu spielen, bei Hybriden aber störten offenbar leichte Unverträglichkeiten der beiden Genome die normale Festlegung des Geschlechts im Nachwuchs. Das Studium von Hybriden soll nun genutzt werden, um Entwicklungswege aufzuspüren, an die man anders nicht herankäme. BAIRDS Vorstellung ist, daß es ein verborgenes Potential an individuellen Unterschieden gibt, das es den Arten ermöglicht, sich an Umweltveränderungen anzupassen. Solche Vorstellungen kommen der Annahme polyvalenter Grundtypen entgegen.

Augen von Höhlenfischen. Es ist ein seit langem bekanntes Lehrbuchbeispiel für Mikroevolution,

daß manche Höhlenfische reduzierte oder gar keine Augen mehr aufweisen (vgl. z. B. CULVER 1982; JUNKER 2002, Abschnitt 7.2). JEFFREY untersuchte den Fall eines mexikanischen Höhlenfisches (*Astyanax mexicanus*), über den wir bereits berichteten (Stud. Int. J. 8(1), 43 (2001)). Einige Populationen leben unterirdisch und entwickeln keine funktionsfähigen Augen (Abb. 2); andere können normal sehen und leben an der Oberfläche. Der blinde Höhlenfisch hat größere Kiefer und mehr Zähne als der an der Oberfläche lebende. Nun zeigt die Analyse der genetischen und entwicklungsbiologischen Ursachen Erstaunliches: Die Entwicklung dieser beiden Merkmalskomplexe (Augen – Kiefer/Zähne) scheint an dieselben Gene gekoppelt zu sein. Möglicherweise verlor der Höhlenfisch sein Augenlicht, weil größere Zähne und Kiefer in seiner neuen Umgebung vorteilhafter waren. Offenbar sind die genetischen Veränderungen, die es braucht, um die Entwicklung des Phänotyps in die ein oder andere Richtung zu kippen, minimal. Kleine Ursache, große Wirkung!

Diese Beispiele geben einen Eindruck von dem großen, hochinteressanten Arbeitsfeld, das sich vor den Forschern auftut. Offenbar herrscht mittlerweile Einigkeit darüber, daß es wenig Sinn macht, nur das Endprodukt – die physikalische und physiologische Erscheinung eines Organismus – zu untersuchen. Mindestens ebenso wichtig sind die konkreten ontogenetischen Wege, auf denen die Strukturen erzeugt werden. Die Hoffnung der Mehrzahl aller Forscher ist dabei allerdings immer noch, das verbindende Glied zwischen Mikro- und Makroevolution zu finden...

Judith Fehrer

Literatur

- CULVER DC (1982) Cave Life. Cambridge, London.
JUNKER R (2002) Ähnlichkeiten – Rudimente – Atavismen. Studium Integrale. Holzgerlingen.
PENNISI E (2002) Evo-Devon Enthusiasts Get Down to Details. Science 298, 953-933.

Merkmalsmosaik bei Wasservögeln

Morphologische und molekulare Ähnlichkeiten passen nicht immer zusammen

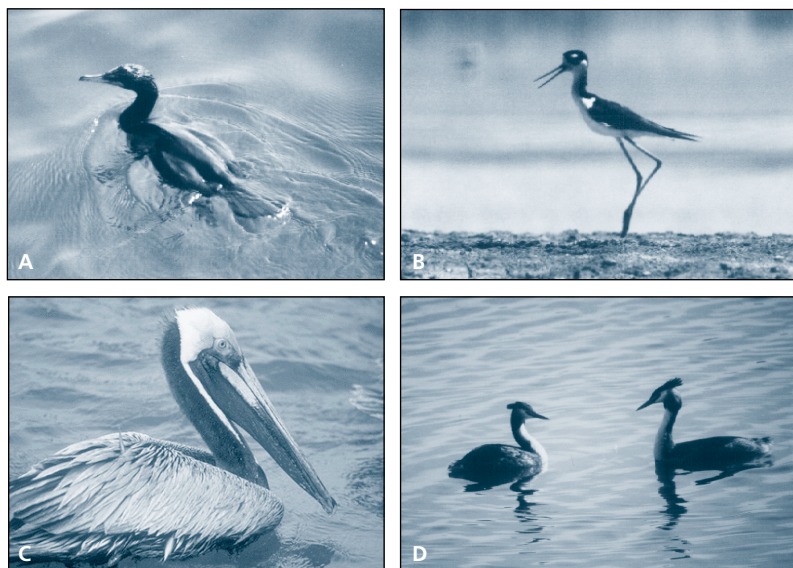
Moderne Hypothesen zur Evolution der Vögel beruhen in erster Linie auf Erkenntnissen über ihre Verbreitung (Biogeographie) und der Variation äußerer Merkmale (Morphologie) bzw. ihre genetischen Merkmale (genotypische Verwandtschaft),

nur selten werden auch Verhaltensmerkmale herangezogen (z.B. Brutbiologie, Gesang). Während biogeographische Aspekte vor allem bei der Verwandtschaftsanalyse von Arten innerhalb von Gattungen (und damit innerhalb von Grundtypen) eine

Rolle spielen, werden auf höherer taxonomischer Ebene (z.B. Vergleich von Gattungen, Familien) heute fast ausschließlich molekularbiologische Methoden angewandt. Hauptsächlich zwei Verfahren kommen zum Einsatz: (1) der Vergleich einzelner Gene bzw. bestimmter Gensequenzen und (2) die Fähigkeit der Erbsubstanz DNA einer Art, sich mit der anderer Arten chemisch zu verbinden (DNA-DNA-Rekombination). Basierend auf der letztgenannten Methode lieferten SIBLEY & AHLQUIST (1990) einen fundamentalen Ansatz zur allgemeinen Klassifikation der Vögel. In diese Analyse bezogen sie auch Wasservögel ein, d.h. Arten, die auf ein Leben am bzw. im Wasser spezialisiert sind. Die Autoren kamen damals zu der Schlußfolgerung, daß sich die meisten wasserbewohnenden Vogelgruppen auf einen gemeinsamen Vorfahren zurückführen lassen (Monophylie). Da jedoch nicht alle Vogelfamilien gleichermaßen in der Studie repräsentiert waren, ließen sich nicht in allen Gruppen, z.B. innerhalb der sog. Pelikanartigen (Ordnung Pelecaniformes), die genetischen Verwandtschaftsverhältnisse hinreichend klären.

Daher wurde kürzlich eine umfassende Studie mit Vertretern aller Familien der Wasservögel von einer amerikanischen Forschergruppe durchgeführt, wobei neben der Rekombinationsrate auch spezifische Abschnitte des Erbgutes (mitochondriale Gensequenzen) miteinander verglichen wurden (VAN TUINEN et al. 2001). Ihre Ergebnisse deuten an, daß sich Übereinstimmungen im Körperbau (Morphologie) nicht immer auch in der Ähnlichkeit der Erbsubstanz widerspiegeln (vgl. CRACRAFT 1981). Ein Beispiel bilden die Lappentaucher (z.B. Haubentaucher) und Seetaucher (z.B. Eistaucher), deren stromlinienförmiger Körper mit den relativ weit hinten ansetzenden, propellerartig funktionierenden Tauchfüßen perfekt an die Unterwasserjagd nach Fischen angepaßt ist. Wie die genetischen Untersuchungen zeigen, sind die Lappentaucher (Familie Podicipedidae) jedoch offenbar am nächsten verwandt mit den Flamingos (Phoenicopteridae), die bisher zu den Schreitvögeln, den sog. Storchenartigen (Ciconiiformes), gerechnet wurden.

Die Gruppe der Pelikanartigen oder Ruderfüßer umfaßte bisher ihrem äußeren Erscheinungsbild nach Vertreter sehr unterschiedlicher Familien wie die Pelikane (Pelecanidae), Kormorane (Phalacrocoracidae), Tölpel (Sulidae) und die neuweltlichen Schlangenhalsvögel (Anhingidae) sowie die tropischen Fregattvögel (Fregatidae) und die Tropikvögel (Phaethontidae), die als gemeinsames Merkmal über Schwimmhäute zwischen den Zehen verfügen (DEL HOYO et al. 1995). Wie die Forschungsergebnisse der Arbeitsgruppe um VAN TUINEN andeuten, sind die Pelikane in ihren genetischen Eigenschaften dem Schuhschnabel (*Balaeniceps rex*) und dem Hammerkopf (*Scopus umbretta*), zwei eigentümlichen Vogelarten der afrikanischen Vogel-



welt, am ähnlichsten. Beide Arten wurden mit den Flamingos bisher zu den Schreitvögeln gestellt, zeichnen sich aber gegenüber diesen und weiteren Familien wie den Störchen (Ciconiidae), Reiher (Ardidae) oder Ibissen (Threskiornithidae) durch eine massige Kopf- und Schnabelform aus. Die Untersuchungen lassen die Wissenschaftler vermuten, daß sich Pelikane und die beiden afrikanischen Vertreter möglicherweise aus einem gemeinsamen Vorfahren entwickelt haben.

In allen gezeigten Fällen werden Ähnlichkeiten im Körperbau bei als genetisch nicht nahe verwandt eingestuften Arten auf mehrfach unabhängig voneinander stattfindende Evolutionsprozesse unter ähnlichen Umwelt- und Selektionsbedingungen zurückgeführt (z.B. Füße mit Schwimmhäuten). Umgekehrt wird angenommen, daß sich genetisch sehr ähnliche Arten aufgrund einer Anpassung an verschiedene Lebensweisen (z.B. Ernährungsstrategien) morphologisch deutlich auseinander entwickelt haben.

Einmal mehr stimmen die Befunde der Morphologie und Molekularbiologie nicht grundsätzlich überein.

Den molekularbiologischen Befunden stehen bisher nur wenige Fossilfunde gegenüber, die nicht immer in Übereinstimmung mit den Erkenntnissen der Molekularbiologen stehen. Hinsichtlich einer genetisch begründbaren Verwandtschaft von Lappentauchern und Flamingos scheint der Typus eines stromlinienförmig gebauten Tauchvogels, wie er von den heutigen Lappen- und Seetauchern repräsentiert wird, eine relativ ursprüngliche Anpassung an das Wasserleben zu sein (CHIAPPE 1995), und Morphologie und Verhalten einiger fossiler Flamingos könnten als taucherähnlich inter-

Abb. 1: Merkmalsmosaiken bei Wasservögeln: Lappentaucher wie der Haubentaucher (Podiceps cristatus, D) ähneln in ihren genetischen Eigenschaften erstaunlicherweise den Flamingos, während Kormorane (Phalacrocorax auritus, A) entgegen bisheriger Annahmen nicht näher mit den Pelikanen (Pelecanus occidentalis, C) verwandt zu sein scheinen. Watvögel, z.B. der amerikanische Schwarzhals-Stelzenläufer (Himantopus mexicanus, B), repräsentieren einen genetisch relativ ursprünglichen Typ der Wasservögel.

pretiert werden (FEDUCCIA 1996). Demgegenüber ähneln die ältesten bekannten Flamingos in ihrem Erscheinungsbild eher den heutigen Vertretern kleinerer küstenbewohnender Watvögel, z.B. den Strandläufern (OLSON & FEDUCCIA 1980), während die ersten Watvögel und Kranichartigen (Gruiformes) ihrerseits Verwandtschaft zu den Rallen zeigen. Auch die hochspezifische Art der Nahrungsaufnahme bei den Flamingos durch einen komplizierten Filtermechanismus im Schnabel (vgl. MASCITTI & KRAVETZ 2002) ist nicht ohne weiteres als abgeleitetes Merkmal erklärbar, wenngleich ZWEERS et al. (1994) darin eine mögliche schrittweise Anpassung an die Aufnahme von Wasser beim Picken nach Nahrung vermuten.

Fazit. Wie die angeführten Ergebnisse belegen, treten bei Wasservögeln z.T. sehr heterogene Merkmalsmosaiken auf, deren Bewertung bei Untersuchungen zu Ähnlichkeiten bzw. Verwandtschaftsbeziehungen eng mit der jeweils angewandten Methodik gekoppelt ist. Wie bei anderen Organismengruppen auch stimmen die Befunde der morphologischen und molekularbiologischen Untersuchungen nicht grundsätzlich überein. Damit sind

Interpretationen im Rahmen unterschiedlicher Deutungsmodelle und Entstehungstheorien möglich.

André Weller

Literatur

- CHIAPPE LM (1995) The first 85 million years of avian evolution. *Nature* 378, 349-355.
- CRACRAFT J (1981) Toward a phylogenetic classification of the recent birds of the world (class Aves). *Auk* 98, 681-714.
- FEDUCCIA A (1996) The origin and evolution of birds. Yale Univ. Press, New Haven, CT.
- DEL HOYO J, ELLIOT A & SARGATAL J (1992) Handbook of the birds of the world. Vol. 1. Ostrich to ducks. Lynx Edicions, Barcelona.
- MASCITTI V & KRAVETZ FO (2002) Bill morphology of South American flamingos. *Condor* 104, 73-83.
- OLSON SL & FEDUCCIA A (1980) Relationships and evolution of flamingos (Aves: Phoenicopteridae). *Smithson. Contr. Zool.* 316, 1-73.
- SIBLEY CG & AHLQUIST JE (1990) Phylogeny and classification of birds: a study in molecular evolution. Yale Univ. Press, New Haven, CT.
- VAN TUINEN M, BUTVILL DB, KIRSCH, JAC & HEDGES SB (2001) Convergence and divergence in the evolution of aquatic birds. *Proc. Roy. Soc. Lond. B* 268, 1345-1350.
- ZWEERS GA, DEJONG F, BERKHOUDT H & VANDENBERGE JC (1994) Filter-feeding in flamingos (*Phoenicopterus ruber*). *Condor* 97, 297-324.

Der Tod des Tyrannen

Herodes der Große war für seine gigantischen Bauten berühmt und für seine Grausamkeit berüchtigt. Sein Neubau des Jerusalemer Tempels war der größte sakrale Komplex des klassischen Altertums und auch seine übrigen Bauwerke – erhalten geblieben ist das Patriarchengrabmal in Hebron – waren gigantisch. Die Griechen und Römer fanden seinen Charme, verbunden mit einer extravaganten Freigebigkeit unwiderstehlich, aber die Juden, zu deren Glauben der Abkömmling einer vornehmen idumäischen Familie konvertiert war, haßten ihn, und er haßte sie. Das Neue Testament erwähnt ihn im Zusammenhang der Ereignisse um die Geburt Jesu, namentlich des von ihm angeordneten Kindermordes von Bethlehem (Matth. 2). Der Evangelist Matthäus berichtet, daß Jesus mit seinen Eltern erst nach dem Tod des Tyrannen aus dem ägyptischen Exil nach Galiläa zurückkehren konnte. Geht man von der Geburt Jesu im Jahre 6 oder 7 v.Chr. und von Herodes' Tod im Jahre 4 n.Chr. aus, so muß der Knabe zu dieser Zeit gerade ins Teenageralter eingetreten sein.

Sehr viel mehr als aus der Bibel erfahren wir über Herodes bei Josephus, der seinerseits weitere zeitgenössische Quellen verarbeitet hat. Im 17. Buch der „Jüdischen Altertümer“ berichtet der römisch-jüdische Historiker ausführlich über die

schwere Krankheit, die Herodes im Alter von etwa 70 Jahren befiel und die schließlich zu seinem Tode führte: „Des Herodes Krankheit nahm übrigens immer mehr zu, und Gott züchtigte ihn offenbar für seine Freveltaten. Denn ein langanhaltendes Feuer verzehrte ihn, das jedoch äußerlich nicht die Glut verriet, mit der es seine Eingeweide durchwühlte. Dazu kam ein heftiges Verlangen, etwas zu nehmen, dem zu widerstehen unmöglich war. Weiterhin gesellten sich zu der Krankheit Geschwüre in den Eingeweiden, und besonders quälten ihn grausame Schmerzen in den Därmen. Die Füße waren ebenso wie der Unterleib von einer wäßrigen durchscheinenden Flüssigkeit aufgetrieben, und an den Geschlechtsteilen entstand ein fauliges Geschwür, welches Würmer erzeugte. Wenn der Kranke sich aufrichtete, litt er an quälender Atemnot, und der Gestank des Atems machte ihm ebenso viele Beschwerden als das angestrengte Atemholen. Endlich wüteten in fast allen Gliedern seines Körpers Krämpfe, die ihm eine unwiderstehliche Kraft gaben.“ (Übersetzung nach H. CLEMENTZ)

Faßt man die an dieser und anderen Stellen geschilderten Symptome in moderner Sprache zusammen, so waren sie überaus vielfältig: Muskelschwäche, leichtes Fieber, unerträglicher Juckreiz am ganzen Körper, starker Schmerz im Dickdarm