



Abb. 1 Killifisch *Fundulus heteroclitus* (<http://www2.dnr.cornell.edu/cek7/nyfish/Cyprinodontidae/mummichog.html>)

gemeint, die Lebewesen als Antwort auf besondere Umweltreize abrufen können, ohne dass das Erbgut dabei verändert wird (Beispiel: verdickte Hornhaut bei mechanischer Beanspruchung). Diese Änderungen werden typischerweise nicht an die Nachkommen weitergegeben (außer bei epigenetischer Vererbung, die einige Generationen lang möglich ist; vererbt wird allerdings das Potenzial zur individuellen Anpassung).

Lebewesen können aber auch im Laufe einiger Generationen neue Fähigkeiten durch vererbte genetische Veränderungen (Mutationen) entwickeln. Bekannte Beispiele sind Antibiotikaresistenzen. Die neuen Fähigkeiten erfordern dabei keine grundlegenden Innovationen, sondern beruhen auf der Komplexität (inklusive Redundanz) vorhandener Stoffwechselwege. Sie sind oft innerhalb weniger Generationen verfügbar, was darauf hindeutet, dass ein gewisses Potenzial an Mutationen ausgelöst werden kann, das sich bei starken Umweltveränderungen günstig auswirken kann. Diese Änderungen könnten in einem weiten Sinne als Vorprogrammierung verstanden und interpretiert werden.

Ein Beispiel dieser Art untersuchten REID und Mitarbeiter (2016) beim Killifisch (*Fundulus heteroclitus*). Diese Fischart lebt an der Atlantikküste Nordamerikas in einem an vielen Stellen durch Dioxine, Schwermetalle und andere (giftige) Chemikalien stark kontaminierten und somit verschmutzten Lebensraum. Die vorherrschenden Konzentrationen sind für viele Wasserorganismen tödlich, aber einige Killifisch-Populationen haben sie überlebt, sie vertragen eine bis zu ca. 8000-fache Konzentration von

schädlichen Stoffen im Vergleich zu ihren Artgenossen, die den Giftstoffen nicht ausgesetzt sind.

Genetische Untersuchungen an 384 Exemplaren aus sauberen und verschmutzten Gewässern offenbarten eine interessante Kombination von Befunden und Veränderungen:

1. Die Fische in nicht verseuchten Gewässern haben große Populationen und große genetische Vielfalt.
2. Die in verseuchten Gewässern lebenden Fische besitzen eine geringere genetische Vielfalt. Das ist nicht überraschend und lässt sich dadurch erklären, dass ihre Population zwischenzeitlich stark dezimiert wurde und dadurch nur ein Teil der früheren Vielfalt erhalten blieb.
3. Bei den betreffenden Tieren treten Verlustmutationen von Komponenten des Signalwegs des AHR-Rezeptors (aryl hydrocarbon receptor) auf. Diese Verluste sind insofern vorteilhaft, als an diese Rezeptoren unter anderem Dioxine und Phenylverbindungen andocken. Damit wird gewissermaßen eine Einbruchsstelle für tödliche Veränderungen eliminiert.
4. Allerdings wird der AHR-Rezeptor auch für Signalwege benötigt, die den Hormon- und Sauerstoffhaushalt, den Zellzyklus und das Immunsystem regulieren. Doch einige Mutationen ermöglichen die Kompensation für das Fehlen der stillgelegten Gene durch andere Stoffwechselwege – eine Art „Umgehungsstraße“. Ein Backup ist somit durch wenige Veränderungen möglich.

Es zeigt sich also, dass eine Kombination aus anfänglicher großer genetischer Vielfalt, Verlust und Kompensation das Überleben ermöglichen. TOBLER & CULUMBER (2016) kommentieren (in Übersetzung):

„Bereits bestehende genetische Variation erleichterte eine schnelle Anpassung an giftbelastete Umgebungen dadurch, dass vorhandene vorteilhafte genetische Varianten rekrutiert wurden, sodass eventuelle Zeitverzögerungen vermieden werden können, die auftreten könnten, wenn evolutive Antworten von neu auftretenden günstigen Mutationen abhängig wären.“

Ein weiterer Befund scheint darauf hinzudeuten, dass die Änderungen in gewisser Weise vorprogrammiert sind: Die Killifische mussten sich zwar in unterschiedlichen Regionen völlig unabhängig voneinander an die Verschmutzungen anpassen, aber dennoch sind die einzelnen Populationen auf genetischer Ebene erstaunlich ähnlich. Bei ganz zufälligen Änderungen ist das nicht zu erwarten. Eine Programmierung kann zwar naturwissenschaftlich nicht bewiesen werden, aber die Befunde sind damit besser verträglich als mit einem reinen Zufallsszenario. Die Schnelligkeit der Veränderungen führen die Wissenschaftler darauf zurück, dass der variable Anteil in den Fischgenomen besonders hoch ist; ein Umstand, der auch bei pestizidresistenten Insekten bekannt ist (ALBAT 2016). Das Beispiel zeigt, dass Resistenzen keine neuen Proteine oder Stoffwechselwege benötigen, sondern dass sogar Verluste zum Überleben beitragen können.

[ALBAT D (2016) Fischige Anpassungskünstler. http://www.wissenschaft.de/leben-umwelt/biologie/-/journal_content/56/12054/14988471/Fischige-Anpassungsk%C3%BCnstler • REID NM, PROESTOU DA, et al. (2016) The genomic landscape of rapid repeated evolutionary adaptation to toxic pollution in wild fish. *Science* 354, 1305-1308; doi: 10.1126/science.aah4993 • TOBLER M & CULUMBER ZW (2016) Swimming in polluted waters. *Science* 354, 1232-1233, doi: 10.1126/science.aal3211] R. Junker

■ Von Fischen zu Vierbeinern? Neues von *Acanthostega*

Der sogenannte „Spitzpanzer“ – *Acanthostega* (Abb. 1) – aus dem Oberdevon spielt eine prominente Rolle in evolutionären Hypothesen zur Entstehung der Tetrapoden (Vierbeiner) ausgehend von Fischen.

Denn er lebte zwar wie Fische ausschließlich im Wasser, besaß aber Finger und damit ein typisches Vierbeiner-Merkmal.

Eine detaillierte Neu-Untersuchung von 200 fossilen *Acanthostega*-Knochen und 14 Schädel-Fossilien dieser Gattung zeigte nun, dass es sich dabei fast ausnahmslos um Jungtiere handelt (SANCHEZ et al. 2016; vgl. FRÖBISCH 2016). Das macht die Beurteilung der Lebensweise der ausgewachsenen Formen schwieriger, als sie ohnehin schon war. Die neuen Befunde sprechen dafür, dass die Tiere im Jugendstadium nicht in der Lage waren, an Land zu kriechen. Die Funde stammen von mindestens 20 Individuen und befinden sich alle in einem kleinen Areal der Britta-Dal-Formation des Oberdevons Ostgrönlands; SANCHEZ et al. (2016) vermuten, dass sie gemeinsam bei einer Dürre nach einer Schichtflut verendet sind.

Anders als in populärwissenschaftlichen Darstellungen behauptet, ist das aber keine neue Erkenntnis. Denn schon bisher deuteten viele anatomische Merkmale darauf hin, dass *Acanthostega* ausschließlich wasserlebend war – trotz des Besitzes von acht Fingern, eine ungewöhnliche Merkmalskombination (vgl. zusammenfassende Darstellung bei JUNKER 2004). Gründe dafür waren u.a.: Die Bezahlung gleicht insgesamt zeitgenössischen Fleischflosser-Fischen und keinem Tetrapoden, der Schädel ist mit dem Schultergürtel relativ fest verbunden, *Acanthostega* ähnelt im Kiemenskelett kiemenatmenden Lungenfischen, die Wirbelsäule ist von vorne bis hinten auffallend gleichförmig, ähnlich wie bei Fischen wie dem Quastenflosser *Eusthenopteron*, eine Verbindung Becken-Wirbelsäule bestand vermutlich nur durch Bänder; die Hüfte konnte dadurch kaum das Körpergewicht tragen; insgesamt wirken die Extremitäten eher als Paddel denn als Füße (CLACK 2002, 122-127; vgl. Zusammenfassung bei JUNKER 2004). CLACK (2002, 124) stellt als Gesamteindruck fest: Fast alle Merkmale von *Acanthostega* legen ein ausschließliches Wasserleben nahe. Die relativ starren Extremitäten waren vermutlich gut geeignet, um

mit kräftigen Paddelstößen plötzlich aus der Ufervegetation Beute zu erhaschen. Vermutlich lebte *Acanthostega* in vegetationsreichen Uferzonen, in denen eine tetrapodenartige Extremität passend war. Wie alle anderen oberdevonischen Tetrapoden ist auch *Acanthostega* ausschließlich zusammen mit Fischen fossil überliefert (CLACK 2002, 110).

Dass es sich um Jungtiere handelt, schließen die Forscher daraus, dass das Oberarmskelett der Tiere noch nicht verknöchert war. Außerdem zeigte eine Untersuchung der inneren Feinstruktur der Knochen mit einem Röntgensynchrotron, dass die Tiere zwar schon sechs Jahre alt und älter waren, ihre Beinknochen aber noch keine Anzeichen für eine Verlangsamung des Wachstums zeigten – ebenfalls ein Hinweis darauf, dass die Tiere noch nicht ausgewachsen waren. Ein knorpeliger Oberarmknochen wäre für die Bewegung an Land ungeeignet gewesen. SANCHEZ et al. (2016) stellten weiter fest, dass es zwei Größenklassen gab, möglicherweise bedingt durch Entwicklungsplastizität (d.h. unterschiedliche Ausprägungen werden durch verschiedene Umweltreize ausgelöst).

Dass *Acanthostega* wasserlebend war, ist also nicht das Überraschende, wohl aber, dass es sich bei den (nur) in Grönland gefundenen Fossilien um Jungtiere handelt. Damit ist unklar, wie die erwachsenen Tiere

ausgesehen haben, welche Rolle sie bei der Entstehung der Vierbeiner gespielt haben könnten und ob sie vielleicht doch auch an Land leben konnten. Die neuen Befunde stellen bisherige Hypothesen in Frage, wonach vermutet worden war, dass die Larven der ersten Tetrapoden die ersten Landgänger waren. Dazu waren die *Acanthostega*-Jungtiere jedenfalls kaum in der Lage.

Zur Frage nach der Evolution der Vierbeiner steuern die neuen Befunde nichts Wesentliches bei, das nicht schon bekannt war. Es bleibt dabei, dass einzelne Merkmale markant verändert im Vergleich zu potentiellen Vorläufern auftauchen (z.B. im Bereich des Hirnschädels oder der Besitz von Fingern). Das Handgelenk von *Acanthostega* war späteren Tetrapoden sehr unähnlich (CLACK 2002, 137). Neben Merkmalen, in denen *Acanthostega* abgeleitet ist als das berühmte *Ichthyostega* (CARROLL 1992, 60), gibt es auch Eigenschaften, bei denen das Umgekehrte zutrifft. Die Wangen und das Schädeldach sind bei *Acanthostega* und *Ichthyostega* fest verbunden, im Gegensatz sowohl zu den möglichen Fisch-Vorfahren als auch zu anderen frühen Tetrapoden (CARROLL 1992, 60). Das heißt, evolutionär gesehen wäre hier ein Zickzackkurs gefahren worden. CARROLL (1992, 60) bemerkt: Verschiedene Spezialisierungen schließen die Möglichkeit einer direkten Vorfah-

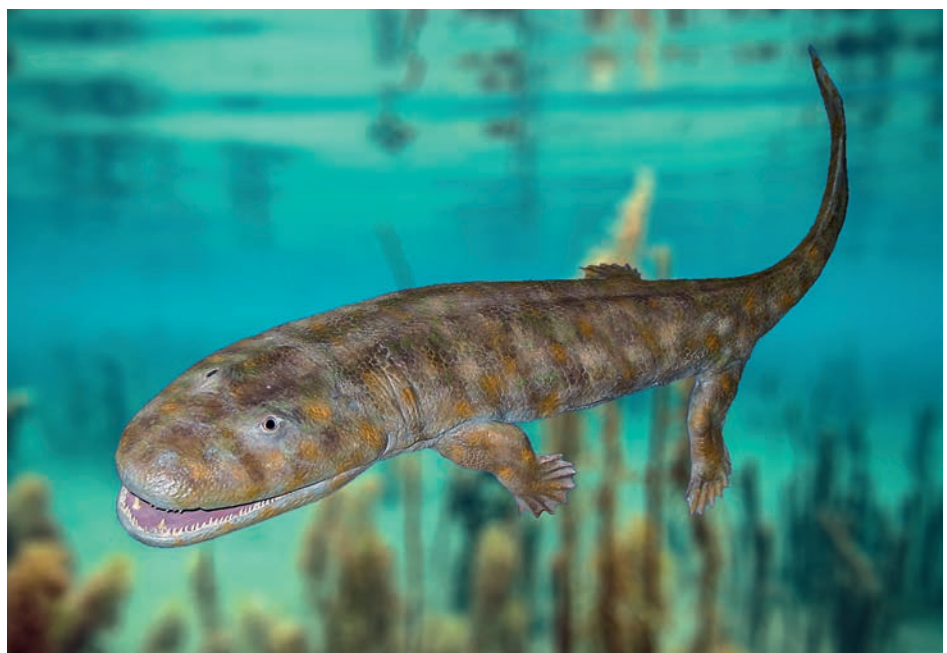


Abb. 1 Modell von *Acanthostega* (Staatliches Museum für Naturkunde in Stuttgart, CC BY-SA 3.0)



Abb. 1 Kot einer kleinen Antilope (links) und Same von *Ceratocaryum argenteum* sowie der Dungkäfer *Epirinus flagellatus*. (Aus MIDGLEY et al. 2015, mit freundlicher Genehmigung)

renschafft für spätere Tetrapoden aus. Interessant ist auch die Einschätzung von SANCHEZ zur Bedeutung der neuen Erkenntnisse: „Unsere Studie gibt uns nur einen allerersten Einblick in die Lebensweise eines frühen Tetrapoden. ... Wir wollen nun auch die Lebensgeschichte anderer früher Vierbeiner untersuchen. Möglicherweise stoßen wir dabei auf Erkenntnisse, die unser Lehrbuchwissen völlig verändern“ (<http://www.scinexx.de/wissen-aktuell-20592-2016-09-08.html>). [CARROLL RL (1992) The primary radiation of terrestrial vertebrates. Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 20, 45-84 • CLACK JA (2002) Gaining ground. The origin and evolution of Tetrapods. Bloomington and Indianapolis: Indiana University Press • FRÖBISCH NB (2016) Evolution: Teenage tetrapods. Nature 537, 311-312 • JUNKER R (2004) Vom Fisch zum Vierbeiner – eine neue Sicht zu einem berühmten Übergang. Teil 2: *Ichthyostega*, *Acanthostega* und andere Tetrapoden des höheren Oberdevons. Stud. Integr. J. 11, 59-66 • SANCHEZ S, TAFFOREAU P, CLACK JA & AHLBERG PE (2016) Life history of the stem tetrapod *Acanthostega* revealed by synchrotron microtomography. Nature 537, 408-411] R. Junker

■ Pflanze betrügt Mistkäfer

Dass in der Natur getrickst und getäuscht wird, ist nichts Neues. Das Aussehen vieler Tiere ist darauf ausgelegt, ihre Umgebung möglichst gut nachzuahmen, um darin zu „verschwinden“. Diese als Mimese bezeichnete Strategie findet man sowohl bei Räubern als auch bei Beutetieren – etwa bei der laubähnlich gemusterten Gabunvipere oder bei Stabheuschrecken. Von Mimikry spricht man hingegen, wenn eine Spezies einer zweiten sehr ähnlich sieht, um andere Tiere zu täuschen. Ein Paradebeispiel hierfür ist die ungiftige Dreiecksnatter, deren far-

benfrohes Muster der gefährlichen Korallenschlange zum Verwechseln ähnlich sieht.

Mimikry findet sich jedoch nicht nur bei Tieren, sondern auch bei manchen Pflanzen. Die Blüte der Hummelragwurz sieht ihrem namensgebenden Insekt so ähnlich, dass männliche Hummeln versuchen, sie zu begatten. Dabei nehmen sie Pollen auf und ersparen der Pflanze somit die kostspielige Nektarproduktion.

Südafrikanische Forscher entdeckten kürzlich ein neues Beispiel für pflanzliche Mimikry (MIDGLEY et al. 2015). Ihnen fielen die eigentümlichen Nüsse auf, die ein einheimischer Strauch (*Ceratocaryum argenteum*) bildet. Verwandte Sträucher verbreiten ihre Nüsse mithilfe kleiner Nagetiere, die diese sammeln und vergraben. Die Nüsse von *C. argenteum* sind jedoch deutlich größer als die seiner Verwandten und haben außerdem einen penetranten Geruch. Diese Beobachtung brachte die Forscher auf die Idee, dass die Verbreitung in diesem Fall durch Mistkäfer geschehen könnte.

Und tatsächlich: Beobachtungen zeigten, dass die dort heimischen Nager die harten Samen verschmähen. Der Mistkäfer *Epirinus flagellatus* schien die Nüsse aber mit dem Kot einer kleinen Antilope zu verwechseln (vgl. Abb. 1) und rollte sie weg, um sie unterirdisch zu lagern. Das ist nicht verwunderlich, da die kugelförmigen, braunen *C. argenteum*-Nüsse den Ausscheidungen der Bontebok-Antilope recht ähnlich sehen. Eine chemische Analyse der von den Nüssen abgegebenen Duftstoffe offenbarte überdies deutliche Überlappungen mit denen der Fäkalien.

Damit wäre dies das bislang eindeutigste Beispiel für pflanzliche

Mimikry bei der Samenverbreitung. Interessant ist, dass der Käfer sowohl visuell als auch olfaktorisch (durch Geruch) getäuscht wird. Den Betrug merkt er wahrscheinlich erst, wenn er versucht, seine Eier in die vermeintliche Kotkugel abzulegen – diese ist dafür viel zu hart. Der Pflanze gelingt es so, ihre Samen zu verbreiten, ohne sie dem Risiko des Gefressenwerdens auszusetzen. Sehr wichtig ist für sie auch, dass der Mistkäfer die Nüsse im Sand vergräbt. In einer Gegend, die häufig von Feuer heimgesucht wird, sind die Samen im Erdreich sicher und können überleben, auch wenn die Mutterpflanze verbrennt.

Die Pflanze schlägt also zwei Fliegen mit einer Klappe. Und zeigt einmal mehr, was für ausgeklügelte Fälschungen es in der Natur gibt.

[REECE JB et al. (2016) Campbell Biologie, 10. Auflage. Pearson Deutschland GmbH, Hallbergmoos • MIDGLEY JJ, WHITE JDM, JOHNSON SD & BRONNER GN (2015) Faecal mimicry by seeds ensures dispersal by dung beetles. Nature Plants 1(10):15141. doi:10.1038/nplants.2015.141] D. Vedder

■ Kletternde Leuchtblume: Seltsamer Geruch führt zur Bestäubung

Leuchterblumen (Ceropegieae) verdanken ihren deutschen Namen ihrer besonderen Blütenform. Die Kelchblätter sind an der Basis verwachsen, die fünf Kronblätter sind typischerweise an ihrer Spitze ebenfalls verwachsen, wodurch manche Blüten Laternen ähnlich sehen (Abb. 1). Zumindest die Blüten einiger *Ceropegia*-Arten fungieren blütenökologisch als Fallen, d.h. Insekten werden angelockt und zumindest zeitweise festgehalten (s. auch KUTZELNIGG 2011). Natürlicherweise sind die Leuchterblumen auf den Kanarischen Inseln, in Afrika, auf Madagaskar, auf der Arabischen Halbinsel, in Indien, China und bis zu den Philippinen, Neuguinea und Australien verbreitet, in Europa können einige gezüchtete Arten erworben werden.

HEIDUK et al. (2016) haben Einzelheiten des Täuschungsmanövers bei der in Südafrika heimischen kletternden Leuchterpflanze (*Ceropegia sandersonii*, Abb. 1) untersucht. Nach