



Die perfekte Welle

Konvergente Evolution, also der unabhängige Erwerb ähnlicher Merkmale bei unterschiedlichen Lebewesen, die nicht auf gemeinsame Abstammung zurückgeführt werden (wie das bekannte Beispiel der Ultraschallortung bei Fledermäusen und Delphinen) ist ein sehr häufiger Befund. Es ist bisher unverstanden wie Merkmale, deren einmalige Entstehung schon kaum durch ungesteuerte Zufallsmechanismen erklärt werden kann, sich sogar mehrfach unabhängig mit ähnlichem Resultat entwickelt haben sollen. So wenden sich manche Evolutionsbiologen inzwischen davon ab, Evolution als rein vom Zufall getrieben zu betrachten und nehmen stattdessen Zielgerichtetheit in Evolutionsprozessen an. Anhand eines weiteren Beispiels konvergenter Evolution glauben einige Wissenschaftler neue Einblicke in die Mechanismen ihrer Entstehung gewonnen zu haben.

Hans-Bertram Braun

Abb. 1 Gewöhnlicher Tintenfisch (*Sepia officinalis*), Beispiel eines eleganten Flossensaumschwimmers unter den Wirbellosen, der sich im Notfall aber auch raketenartig durch Rückstoß bewegen kann. (© Amada 44, CC BY-SA 3.0)

Es gibt solche und solche Fische. Die meisten bewegen sich flink, hauptsächlich mithilfe ihrer Schwanzflosse fort, es gibt aber auch gemächlichere Schwimmer, die sich elegant durch wellenförmige Bewegungen eines durchgehenden Flossensaumes, sei es auf dem Rücken, am Bauch oder beidseitig am Körper, antreiben. Diese Art der Fortbewegung findet sich bei manchen Knorpelfischen wie Stachelrochen, bei verschiedenen Knochenfischen, etwa Kahlhechten und „elektrischen“ Messerfischen, aber auch bei evolutionär noch weniger verwandten Gruppen wie Sepia-Tintenfischen oder einigen wasserlebenden Flachwürmern. Nach gegenwärtigem Kenntnisstand muss diese Art der Fortbewegung durch Ondulierung deshalb mindestens achtmal

in drei unterschiedlichen Tierstämmen unabhängig entstanden sein.

Eine Gruppe von Wissenschaftlern der Northwestern University in Illinois, USA, vor allem aus den Abteilungen Mechanical und Biomechanical Engineering hat die Fortbewegung durch ondulierende Flossensäume mithilfe eines künstlichen Roboter-Messerfisches (Flossensaum am Bauch) analysiert und mit den Befunden an 22 Flossensaum-Schwimmern aus verschiedenen Tierstämmen verglichen (BALE et al. 2015). Sie kamen zum Ergebnis, dass in allen untersuchten Tiergruppen, ob näher verwandt oder nicht, die Technik des Schwimmens sehr ähnlich ist. Es findet sich nämlich ein nahezu konstantes Verhältnis von Wellenlänge der Flossensaum-

Welle zu ihrer mittleren Amplitude, also ihrem Ausschlag, das circa 20 beträgt. Evolutionär betrachtet muss sich deshalb nicht nur der Flossensaum als anatomische Struktur selbst mehrfach entwickelt haben, sondern auch die sehr spezielle Art seiner (optimalen) Verwendung, weshalb die untersuchenden Wissenschaftler von einem der ersten Beispiele für konvergente Evolution eines Bewegungsmusters sprechen. Mit Versuchen an ihrem Roboterfisch konnten sie zeigen, dass das o. g. Verhältnis von circa 20 das Optimum (optimale spezifische Wellenlänge, OSW) in Bezug auf den Vortrieb bei eingesetzter Energie darstellt. Wie die OSW im Einzelnen verwirklicht wird, wurde nicht untersucht, die Autoren vermuten entweder neuronale Steuerung oder materialimmanente Faktoren der Flossensäume, wobei sie auf das phylogenetisch alte Protein Kollagen als Hauptstrukturprotein der Flossen verweisen. Sie stellen die Hypothese auf, dass die genetische Steuerung der OSW in den verschiedenen Tierstämmen ähnlich sein wird, ausgehend von ähnlichen Befunden bei ebenso konvergent auftretenden elektrischen Organen.¹

Das Besondere an der Publikation von BALE et al. (2015) ist, dass die Autoren den eigentlich unerwarteten Befund konvergenter Evolution im Gegensatz zu vielen Evolutionsbiologen nicht einfach unkommentiert stehen lassen, sondern sich Gedanken machen, welche Ursachen diesen Konvergenzen zugrunde liegen.

Die Autoren lassen den unerwarteten Befund konvergenter Evolution im Gegensatz zu vielen Evolutionsbiologen nicht einfach unkommentiert stehen.

Klassisch und schulbuchgemäß wird Evolution dahingehend verstanden, dass, würde die Entwicklung der Lebewesen noch einmal von vorn beginnen, sie durch die Zufälligkeit des Spiels von Mutation und Selektion sicherlich zu anderen Lebensformen führen würde, als wir sie heute kennen (GOULD 1989). Im Gegensatz dazu nehmen Autoren wie CONWAY MORRIS an, dass z.B. physikalische Gesetze die Auswahl aller theoretisch denkbaren Lösungen für ein biologisches Merkmal so limitieren, dass bestimmte Merkmale derart favorisiert sind, dass sie mehr oder weniger zwangsläufig entstehen müssten, einfach weil sie solch einen Vorteil darstellten. In diesem Sinne sei Evolution vorhersagbar, zielgerichtet auf bestimmte Lösungen, und würde immer wieder zu sehr ähnlichen Ergebnissen führen (CONWAY MORRIS 2003; 2009; BRAUN 2012). Für die meisten Evolutionsbiologen stellt diese Vorstellung allerdings geradezu eine Häresie dar, geboren offensichtlich aus der Not,

irgendeinen Erklärungsansatz für die vielfachen Konvergenzen in der postulierten Entwicklung der Lebewesen zu finden.²

Die Wissenschaftler der Northwestern University sehen ihre Ergebnisse als Befund an, der die Ansicht von CONWAY MORRIS stützt, dass also physikalische Gegebenheiten Lebewesen auf den gleichen „Fitness-Gipfel“ treiben. In dem von ihnen untersuchten speziellen Fall von Konvergenz liegt es nahe, das physikalische Optimum, das die OSW für ondulierendes Schwimmen im Wasser darzustellen scheint, als Grund für die mehrfache Entwicklung anzunehmen. Jede andere Kombination von Wellenlänge und Amplitude stelle Energieverschwendung dar, also *müssten* Organismen sich einfach in Richtung auf das Optimum entwickeln. Die Autoren machen quantitative Aussagen, sie spekulieren, dass eine Abweichung vom optimalen Vortrieb von maximal 7,5%, wie sie gemäß ihrer Roboterfisch-Untersuchungen in der natürlich beobachteten Spanne der OSW von 15-25 auftritt, noch keinen kritischen Nachteil darstelle, während außerhalb dieser Spanne der Energieverlust im Rahmen der angenommenen effektiven Selektion auf das Optimum zu deutlichen Nachteilen führe. Ausgehend von ihrer Stichprobe von 22 unter etwa 1000 Arten sagen sie voraus, dass auch in den weiteren Arten die OSW verwirklicht sein wird, bleiben allerdings den wenigstens teilweisen Nachweis schuldig; die Autoren haben keine eigenen Feldversuche zur Bestimmung der OSW durchgeführt.

Ehrlicherweise müssen die Autoren aber zugeben, dass die OSW höchstens eine optimale Lösung für eine suboptimale Form des Schwimmens darstellt. Unter etwa 33000 Fischarten repräsentieren die 1000 Arten Flossensaumschwimmer nur eine Minderheit. Und wenn es hart auf hart kommt, also schnelle Flucht angesagt ist, steigen viele Flossensaumschwimmer kurzzeitig dann doch auf weniger elegante und wenig energiesparende, dafür aber schnellere Arten des Schwimmens um, um sich der drohenden natürlichen Selektion zu entziehen. So müssen die Autoren Hilfhypothesen vorschlagen, warum Flossensaumschwimmen einen Vorteil darstellen könnte, der sich trotz flinkerer Kollegen entwickeln und behaupten konnte. Sie spekulieren, dass etwa in ökologischen Nischen wie sauerstoffarmen Gewässern für Fische, die nachtaktiv sind und sich durch elektrische Felder orientieren, langsames, präzises und bewegungsarmes Schwimmen vorteilhaft sei. Solche Bedingungen treffen für manche Arten von Messerfischen tatsächlich zu, für andere OSW-Schwimmer aber definitiv nicht. So müssen die Autoren ihre Schlussfolgerungen dann doch darauf reduzieren, dass sie nicht zwingend erklären könnten, warum und wie sich

Abb. 2 Der Blaupunktrochen (*Taeniura lymma*). Er teilt seine spezielle Art des Schwimmens mit mindestens acht verschiedenen Tiergruppen aus drei unterschiedlichen Stämmen.
(Foto: joakant – pixabay)



Flossensaum-Schwimmen mindestens acht Mal konvergent entwickeln konnte, sie postulieren nur noch, dass *wenn* diese Fortbewegungsart erst einmal entstanden sei, sie mit hoher Wahrscheinlichkeit immer unter der Regie der optimalen Zielgröße für den OSW auftreten werde. An dieser Stelle muss deutlich gesagt werden, dass ein optimierter Größenwert selbst keine Erklärung liefern kann für die Entstehung des ihn hervorbringenden Flossensaum-Systems.

Diese sehr abgeschwächte Hypothese stellt somit sicher keinen Durchbruch dar im Verständnis konvergenter Evolution. Es ist einsichtig und messbar, dass die OSW von etwa 20 ein

So fehlt weiterhin eine überzeugende Erklärung angesichts der nicht ganz logischen evolutionären Lehrbuchweisheit: Ähnlichkeiten bei Lebewesen resultieren aus Verwandtschaft, außer die ähnlichen Arten können nicht verwandt sein – dann sind Ähnlichkeiten eben Konvergenzen ... Der Mechanismus der Entstehung dieser häufig sehr komplex gestalteten konvergenten Merkmale bleibt weiter rätselhaft, zumindest wenn man nur im Rahmen des Evolutionsmodells nach Erklärungen sucht.

Anmerkungen

- ¹ Bei der Orientierung mit Ultraschall und anderen konvergenten Entwicklungen gibt es ähnliche Befunde zur genetischen Steuerung.
- ² Auf der Internetseite <http://www.mapoflife.org/index/> der Universität Cambridge wird eine Vielzahl von Beispielen konvergenter Evolution präsentiert.

Die physikalischen Gesetzmäßigkeiten bilden Randbedingungen, nicht die Ursachen für optimale technische Lösungen.

Optimum darstellt, ähnlich einsichtig wie, dass schnelle Schwimmer wie Thunfische, Pinguine, Delphine und Haie stromlinienförmige Körper haben müssen. Die Tatsache, dass torpedoschnelle Schwimmer neben gemächlichen Flossensaum-Schwimmern existieren, macht es jedoch unwahrscheinlich, dass es die physikalischen Gesetzmäßigkeiten sind, die eine zwingende und deshalb vorhersagbare Entwicklung hin zur einen oder zur gegenteiligen Konvergenz erklären könnten. Die physikalischen Gesetzmäßigkeiten und die aus ihnen ableitbaren optimierten Größen bilden Randbedingungen, nicht jedoch Ursachen für optimale technische Lösungen.

Literatur

- BALE R, NEVELN ID, BHALLA APS, MACIVER MA & PATANKAR NA (2015) Convergent evolution of mechanically optimal locomotion in aquatic invertebrates and vertebrates. *PLoS Biol* 13(4): e1002123. doi:10.1371/journal.pbio.1002123
- BRAUN H-B (2012) Warten auf einen neuen Einstein. *Stud. Integr. J.* 19, 12–19.
- GOULD SJ (1989) *Wonderful life: the Burgess Shale and the nature of history*. New York.
- CONWAY MORRIS S (2003) *Life's Solution: Inevitable Humans in a Lonely Universe*. Cambridge.
- CONWAY MORRIS S (2009) The predictability of evolution: glimpses into a post-Darwinian world. *Naturwissenschaften* 96, 1313–1337.