

Reaktion auf Umweltstress gewesen sein oder in Verbindung mit der Fortpflanzung gestanden haben, zum Beispiel ein Abwandern geschlechtsreifer Artgenossen zu Laichplätzen. Kollektives Verhalten trete auch bei [heutigen] marinen Krebstieren wie Langusten (*Palinurus*) auf, die in Kolonnen Massenmigrationen vollziehen, entweder als mögliche Reaktion auf sturmbedingte Umweltstörungen oder um Laichgründe zu erreichen.

Interessant ist die Grundaussage der Autoren zur „Entstehung“ bzw. „Entwicklung“ solch eines Verhaltens: „Obwohl sich kollektives und soziales Verhalten durch natürliche Selektion über Millionen von Jahren entwickelt hat, ist seine Herkunft und seine Anfangsgeschichte weitgehend unbekannt geblieben.“ Woher aber wissen die Autoren, dass sich „kollektives und soziales Verhalten durch natürliche Selektion über Millionen von Jahren entwickelt hat“? Dies wird nicht beantwortet, sondern nur einfach in den Raum gestellt. Evolutionstheoretisch wird schließlich angenommen – da solch ein Verhalten für unterordovizische Trilobiten und sogar für unterkambrische garnelenartige, zweischalige Gliederfüßer überliefert ist (Chengjiang-Lagerstätte, China; Hou et al. 2008) –, dass es sich „möglicherweise durch natürliche Selektion während der kambrischen Radiation entwickelte“ und „umfassender während des Großen Ordovizischen Biodiversifikationsereignisses entfaltete.“ Das aber sind alles Spekulationen, die auf einer Sichtweise einer Theorie der biologischen Evolution gründen. Die fossile Überlieferung erzählt diese Geschichte nicht.

Des Weiteren ist die Erhaltung der Trilobiten-Reihen bemerkenswert. Sowohl das Substrat (die untere Schicht) als auch die überdeckende (obere) Schicht sind Ereignislagen. VANNIER et al. (2019) interpretieren diese wenige Zentimeter mächtigen Siltstein-Lagen als „distale Tempestite“, also als küstenfernere Sturmablagerungen. Ob einzelne Stürme die Ablagerungen verursacht haben, ist nicht bekannt. Jedenfalls handelt es sich um rasch entstandene Ablagerungen, um

Schüttungsereignisse, möglicherweise im Sekunden- oder Minutenbereich, in einem sich absenkenden Sedimentationsraum. Die Sedimentationsunterbrechung mag nur relativ kurz gewesen sein, denn das Substrat, über das sich die Trilobiten hinweg bewegten, ist nur oberflächlich und nicht tiefgreifend verwühlt. Die Trilobiten sind plötzlich an Ort und Stelle eingebettet worden. Sie hatten keine Chance zu entkommen; sie hatten nicht einmal die Zeit, sich einzurollen. VANNIER et al. (2019) ziehen auch in Erwägung, dass die Trilobiten vor Verschüttung vergiftet worden sein könnten (Waserschernismus).

[HOU X-G, SIVETER DJ, ALDRIDGE RJ & SIVETER DJ (2008) Collective behavior in an Early Cambrian arthropod. *Science* 322, 224. • VANNIER J, VIDAL M et al. (2019) Collective behaviour in 480-million-year-old trilobite arthropods from Morocco. *Scientific Reports* 9:1494; <https://doi.org/10.1038/s41598-019-51012-3>] M. Kotulla

■ Schnelle Anpassung von Darwinfinken

Der Galápagos-Archipel ist eine kleine Gruppe von Vulkaninseln etwa 1000 Kilometer westlich der südamerikanischen Küste. Auf den verschiedenen Inseln gibt es mehrere finkenähnliche Vogelarten, die bei näherer Betrachtung alle zur glei-

chen Gattungsgruppe gehören, den Geospizini. Diese auch als Darwinfinken bekannte Gruppe ist vielleicht das bekannteste Beispiel für die dort anzutreffende Vielfalt. DARWIN war zwar der erste, der diese Vögel entdeckte, als er die Inseln 1835 besuchte, hat ihnen aber keine besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Bis heute sind 18 Arten beschrieben worden, sodass fast jede Insel ihre eigene Art hat. Man nimmt an, dass ihr Vorfahr der blauschwarze Grasfink (*Volatinia jacarina*) ist (Abb. 1), der an der Pazifikküste Südamerikas verbreitet ist, oder dass ihr Vorfahr wenigstens mit ihm verwandt ist. Wegen der Aufspaltung in die heutigen Darwinfinken ist der Name des Galápagos-Archipels gleichsam zum Synonym für Evolution geworden.

Da die meisten Inseln des Archipels sich vor weniger als 2 Millionen radiometrischen Jahren gebildet haben, verlief die Evolution der Finken auch unter evolutionären Annahmen sehr rasch. Die Finken des Galápagos-Archipels sind wahrscheinlich auch das bekannteste Beispiel für „Evolution in Aktion“, denn auch heute noch unterliegen Finkenpopulationen saisonalen oder jährlichen Veränderungen der Schnabelgröße und -form. Nach einer Dürre auf einer kleinen Insel des Archipels schrumpfte die durchschnittliche Schnabelgröße einer



Abb. 1 Ein Weibchen des Grasfinken *Volatinia jacarina*. (Dario Sanches, CC BY-SA 2.0)

Art in nur einer Generation. Der Grund für diese Veränderung war, dass Finken mit kräftigeren, kürzeren Schnäbeln, die besser Samen knacken können, häufiger überlebten als Finken mit dünneren, spitzeren Schnäbeln. Im Jahr 2016 fand ein Forscherteam der schwedischen Universität Uppsala heraus, dass die schnellen adaptiven Veränderungen der Schnabelgröße mit dem *MGA2*-Gen zusammenhängen (LAMICHHANEY et al. 2016). Zuvor hatten sie bereits das *Alx1*-Gen untersucht, ein Entwicklungsgen (Homeobox-Gen), das in zwei Varianten (Allelen) vorliegt. Die eine ist mit spitzen Schnäbeln verbunden – das ist die Stammform. Die andere Variante ist mit stumpfen Schnäbeln assoziiert (LAMICHHANEY et al. 2015).

Die letztgenannte Studie zeigte auch, dass sich die Darwinfinken ausgiebig untereinander kreuzen (LAMICHHANEY et al. 2015), was zeigt, dass wir es mit einem einzigen Grundtypen zu tun haben. Es handelt sich um Arten und Gattungen innerhalb eines Grundtyps. Die beobachteten raschen Anpassungen zusammen mit der vorhandenen Fähigkeit zur Kreuzung untereinander deuten auf bereits vorhandene genetische Mechanismen als Ursache für dieses Lehrbuchbeispiel der Evolution hin.

In einer aktuellen Studie untersuchte dieselbe schwedische Forschungsgruppe nun die relative Bedeutung von neuen Mutationen, bereits vorhandenen Varianten und Introgression bei diesen Anpassungsprozessen (RUBIN et al. 2022). Introgression ist die Übertragung von Genen einer Art in den Genpool einer anderen Art. Mithilfe moderner DNA-Sequenzierungstechnologie untersuchten sie die genomische Architektur, die der phänotypischen Vielfalt (Vielfalt im Erscheinungsbild) der Finken zugrunde liegt. Sie fanden heraus, dass neue Mutationen keine wichtige Rolle spielten. Vielmehr identi-

fizierten sie 28 genetische Loci (Genorte), die bei den kleinen, mittleren und großen Grundfinken (*Geospiza*) einen engen Zusammenhang mit der Schnabel- und Körpergröße aufweisen. Interessanterweise repräsentieren diese Loci – wie die Autoren es nennen – „ursprüngliche Haplotyp-Blöcke, deren Ursprung vor den Artbildungsprozessen während der Darwinfinken-Radiation [Artauffächerung] liegt“.

Diese Blöcke, die als komplette Einheiten vererbt werden, enthalten die Gene, die das Wachstum und die Entwicklung der Schnäbel regulieren und kontrollieren. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass diese „ursprünglichen Haplotypen genetische Module für die Selektion darstellen und als Schlüsselfaktoren für die ungewöhnliche phänotypische Vielfalt der Darwinfinken fungieren. Solche ursprünglichen Haplotyp-Blöcke können entscheidend dafür sein, wie sich Arten an die Variabilität und den Wandel der Umwelt anpassen.“ Sie schreiben weiter, dass „diese genetischen Module in den letzten Millionen Jahren wiederverwendet wurden, durch Genfluss ausgetauscht wurden und zur raschen phänotypischen Entwicklung und Artbildung bei Darwinfinken beigetragen haben“. Offensichtlich ist die beobachtete Evolution der Darwinfinken kein Zufallsprozess, sondern wird durch spezifische genetische Programme moduliert.

Da diese genetischen Module als einzelne Einheiten, die für die Gene der Schnabelentwicklung codieren, vererbt werden, ähneln sie sehr stark Supergenen. Da die Genorte eines Supergens auf den Chromosomen sehr nahe beieinander liegen, werden sie auch bei der sexuellen Neukombination in der Regel gemeinsam vererbt. Sie stellen eine gemeinsame genetische Architektur für komplexe Merkmale dar und sind häufig an Entwicklungsvorgängen

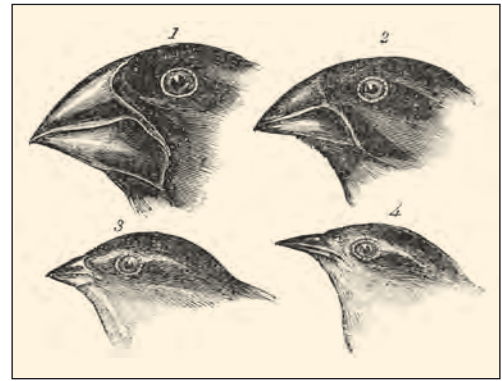


Abb. 2 Darwinfinken mit unterschiedlich kräftigen Schnäbeln: 1 *Geospiza magnirostris*, 2 *Geospiza fortis*, 3 *Geospiza parvula*, 4 *Certhidea olivacea*. (Aus: Darwin's finches or Galapagos finches. Darwin, 1845, gemeinfrei)

beteiligt (JAY et al. 2018). Genau das beobachten wir bei den Darwinfinken: Form und Größe der Schnäbel ändern sich fast saisonal. Die Genome der Finken sind darauf vorbereitet, sich sofort an nasse und trockene Perioden anzupassen.

Eine genauere Prüfung der genetischen Grundlage bestimmter komplexer Merkmale zeigt, dass häufig Supergene zugrunde liegen. In den Genomen von Honigbienen, Singvögeln und Zebrafischen finden wir Supergene, die für schnelle Variation verantwortlich sind (PENNISI 2017). Offensichtlich sind Supergene ein allgemeines genetisches Prinzip, das die rasche Entstehung von Varianten und Arten ermöglicht, ohne dass neue genetische Information benötigt wird. Für eine solcherart modulierte Evolution sind nicht Millionen von Jahren erforderlich. Bei den Finken reicht eine einzige Generation aus.

[JAY P, WHIBLEY A, FRÉZAL L et al. (2018) Supergene Evolution Triggered by the Introgression of a Chromosomal Inversion. *Curr. Biol.* 28, 1839–1845.e3 • LAMICHHANEY S, HAN F et al. (2016) A beak size locus in Darwin's finches facilitated character displacement during a drought. *Science* 352, 470–474 • LAMICHHANEY S, BERGLUND J et al. (2015) Evolution of Darwin's finches and their beaks revealed by genome sequencing. *Nature* 518, 371–375 • PENNISI E (2017) 'Supergenes' drive evolution. *Science* 357, 1083 • RUBIN C-J, ENBODY ED et al. (2022) Rapid adaptive radiation of Darwin's finches depends on ancestral genetic modules. *Sci. Adv.*, <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.abm5982>] *P. Borger*