

einen bloßen auslösenden Reiz verfügbar gemacht werden. In den ersten Kapiteln der Bibel wird angedeutet, dass die Schöpfung durch die Sünde der ersten Menschen teilweise umgewandelt wurde, sodass es unter anderem zur fleischfressenden Lebensweise kam. Wie kann man sich eine solche Umwandlung vorstellen? Man wird hier zwar nur spekulieren können, aber die fakultative Karnivorie bei *Triphyophyllum* könnte immerhin als Modell dafür betrachtet werden, dass ein solcher Übergang grundsätzlich relativ einfach möglich ist. Dies ist der Fall, wenn entsprechend vorgeplant wurde und Bauplanmodule für die fleischfressende Lebensweise bereits von Anfang an im Erbgut angelegt waren.

[VON MÜNCHHAUSEN MF (2023) Mangel weckt den Appetit auf Fleisch. Informationsdienst Wissenschaft vom 16.05.2023, <https://idw-online.de/de/news814428> • WINKELMANN T, BRINGMANN G, HERWIG A & HEDRICH R (2023) Carnivory on demand: phosphorus deficiency induces glandular leaves in the African liana *Triphyophyllum peltatum*. New Phytologist, doi:10.1111/nph.18960] R. Junker

■ Flügelmuster bei Schmetterlingen: sehr „alte“ genetische Module

Schmetterlinge gehören sicherlich zu den bemerkenswertesten Insektenarten. Nicht nur ihre Metamorphose, sondern auch die vielen faszinierend schönen Flügelmuster veranlassen jeden Beobachter zum Staunen und Nachsinnen. Einigen Schmetterlingen dienen die Flügelmuster zur Abschreckung von Fressfeinden. Kürzlich haben Forschungsarbeiten an fünf verschiedenen Arten von Schmetterlingen aus der Familie der Edelfalter (*Nymphalidae*) ergeben, dass die Variationen ihrer Flügelmuster, die zwischen verschiedenen Arten stark übereinstimmen, auf nichtcodierenden genetischen Elementen beruhen (MAZO-VARGAS et al. 2022); diese waren früher fälschlicherweise oft als genetischer „Schrott“ bezeichnet worden. Die Autoren beschreiben die Fragestellung ihrer Arbeit wie folgt: „Es ist bisher kaum verstanden, wie

regulatorische genetische Architekturen zugleich tiefe Homologien [abstammungsbedingte Ähnlichkeiten] und der Anpassung dienende Veränderungen beinhalten können“ (Ergänzung B. S.). Es ging ihnen also darum zu verstehen, weshalb eine überraschend vielfältige äußerliche Variation ermöglicht wird, obwohl die zugrundeliegenden genetischen Strukturen sich kaum ändern. Welche Ursachen der Veränderung der Flügelmuster haben die Wissenschaftler herausgefunden?

Neben vergleichenden Analysen des Erbguts der fünf Falterarten wurden von MAZO-VARGAS et al. systematische *Knockout*-Experimente an sogenannten *cis*-regulatorischen Bereichen des Gens *WntA* durchgeführt, d. h. es wurde nicht das Protein-codierende Gen an sich ausgeschaltet, sondern Bereiche, die die Aktivität des besagten Gens regulieren. *WntA* codiert für die Synthese eines Signalproteins, das die Ausbildung der Flügelmuster der Falter steuert. Ein Ausschalten des Gens führt dementsprechend dazu, dass die Flügelmuster nicht ausgebildet werden. Veränderungen der regulatorischen Bereiche des Gens wurden durch Entfernen von Teilen des genetischen Materials (Deletionen) mittels des Gentechnikwerkzeugs „CRISPR-Cas9 shotgun deletion“ erreicht. Das ist vergleichbar mit Schüssen aus einem Schrotgewehr auf ein Bild: Bei jedem Schuss entsteht ein anderes Muster an Löchern.

Je nachdem, welches Mutationsmuster entstand, resultierte daraus entweder der stellenweise Verlust an schwarzem Pigment oder eine Zunahme. Das führte zu einer Veränderung des Pigmentmusters auf den Flügeln im Sinne eines stellenweisen Erbleichens oder einer Ausweitung der farbigen Bereiche. Dabei hatten Mutationen Auswirkungen am ganzen Körper, sowohl in den vorderen als auch in den hinteren Flügeln. Zudem zeigten sich bei allen Arten ähnliche Auswirkungen der Mutationen auf die Flügelmuster. Unter den fünf gewählten Arten waren zwei, die sich von den anderen hinsichtlich bestimmter Eigenschaften stärker unterschieden: *Heliconius himer*a (Abb. 1, links) und der Mon-



archfalter (Abb. 1, rechts). *Heliconius himera* hebt sich von den anderen durch sein dunkles Erscheinungsbild ab, während der Monarchfalter sich auf genetischer Ebene stärker von allen anderen unterscheidet. Die Flügelmuster von *Heliconius himera* weisen einen deutlich höheren Anteil an schwarzem Pigment auf als diejenigen der anderen vier Arten, obwohl es auf genetischer Ebene nur geringe Unterschiede zu drei von fünf Arten gibt. Der Monarchfalter dagegen gehört zwar zu den vier äußerlich einigermaßen ähnlich aussehenden Arten, unterscheidet sich jedoch auf der genetischen Ebene hinsichtlich der Sequenz der regulatorischen Bereiche des *WntA*-Gens von den anderen vier Arten.

Die Autoren der Arbeit schlussfolgern ausgehend von der Evolutionslehre, dass „viele tief konservierte regulatorische Elemente“ bei allen betrachteten Edelfaltern vorhanden sind. Mit „tief konserviert“ ist hier gemeint, dass es diese Elemente bereits in einem ursprünglich vorhandenen Grundbauplan der Schmetterlinge vor ungefähr hundert Millionen Jahren gegeben haben soll. Seither sollen sie sich nicht mehr nennenswert verändert haben. Die Autoren fügen hinzu, dass die Evolution nicht so sehr durch Verlust oder Gewinn genetischer Elemente zustande kommen soll, sondern vielmehr durch „nuancierte Veränderung dieser alten multifunktionalen Grundbaupläne“ (Hervorhebung B. S.).

Es kann also festgehalten werden, dass die Variation der Flügelmuster der Edelfalter durch Mutationen in den regulatorischen Bereichen

des Gens *WntA* verursacht werden kann. Die Autoren bezeichnen diese genetischen Elemente *zugleich* als sehr alt und multifunktional. Aus den Ausführungen geht jedoch nirgends hervor, wie diese genetischen Elemente entstanden sein sollen. Zudem weisen die genetischen Elemente ein hohes Maß an Funktionsdichte auf (Multifunktionalität). Gemäß der Evolutionslehre sollten komplexe biologische Strukturen jedoch eine eher späte Erscheinung sein – das Resultat eines langen Entwicklungsvorgangs. Darüber hinaus können „kleine nuancierte Veränderungen“ genetischer Elemente zwar variierende Muster erklären, nicht jedoch die Entstehung eines hochkomplexen und multifunktionalen genetischen Elements.

Langzeitlich konservierte, *multifunktionale* genetische Grundbaupläne sind aus Sicht der Evolutionslehre erstaunlich und unerwartet – nicht jedoch aus Sicht der Schöpfungslehre. Aus letzterer Perspektive ist es naheliegend zu erwarten, dass die Variation der Flügelmuster im Sinne eines Ausschöpfens von intelligent angelegten genetischen Programmen resultiert. Vor diesem Hintergrund ist es auch schlüssig, dass solche genetischen Module aufgrund ihrer Perfektion keiner ausgeprägten Veränderung bedürfen. Da vergleichbare Entdeckungen auch aus anderen Bereichen der Biologie bekannt sind, handelt es sich offenbar um ein regelhaftes Phänomen der Biologie.

[MAZO-VARGAS A et al. (2022) Deep cis-regulatory homology of the butterfly wing pattern ground plan. *Science* 378, 304–308] B. Schmidtgall

Abb. 1 Links: *Heliconius himera*; rechts Monarchfalter (*Danaus plexippus*). (Links: Adobe-Stock; rechts: Wikimedia, gemeinfrei)

■ Kapitalistische Kapuzineraffen?

Eine spannende wirtschaftswissenschaftliche Studie von CHEN et al. (2006) zeigt: Gehaubte Kapuzineraffen (*Cebus apella*) verstehen prinzipiell, wie Geld funktioniert. Sechs in Gefangenschaft lebende Kapuzineraffen bekamen Aluminiummünzen ausgeteilt und lernten über einen längeren Zeitraum, dass sie in zwei ans Gehege angeschlossenen Boxen Münzen gegen leckere Nahrungsmittel tauschen konnten.

In **Experiment I** bekam jeder Kapuzineraffe 12 Münzen, die er bei *Händler 1* gegen ein Stück Apfel oder bei *Händler 2* gegen süße Nahrungsmittel (Traube/Fruchtgummi) eintauschen konnte. Im Laufe einer Woche hatte sich für jeden Kapuzineraffen ein bestimmtes durchschnittliches Mischungsverhältnis eingestellt.

Anschließend halbierte *Händler 1* den Apfelpreis: 1 Münze war nun 2 Apfelstücke wert (s. Abb. 1). Da die Affen nun mit 12 Münzen doppelt so viele Apfelstücke wie vorher kaufen könnten, wurden ihnen jeweils so viele Münzen abgezogen, dass sie trotz des neuen Preises noch dasselbe Mischungsverhältnis wie vorher konsumieren konnten (die „Vermögenssituation“ bleibt also gleich). Kaufte beispielsweise ein Affe vorher 6 Süßigkeiten und 6 Apfelstücke mit 12 Münzen, wurden ihm nur noch 9 Münzen gegeben, die nun wieder