



Phantastische Vielfalt, die hier auf einer alten Farblithographie nach A. Reichert demonstriert wird. Und doch ist die Natur mit ihren evolutionären Kräften offenbar weit davon entfernt, alle denkbaren Formen und Farben auch wirklich hervorzubringen. Foto: akf

Die gestutzten Flügel der Evolution

Kreativität mit Grenzen: Wenn die Konstruktionen der Natur alles andere als optimal sind

Die Flügel von Schmetterlingen mit ihrer atemberaubenden Diversität von Formen, Farben und Mustern scheinen eine besonders schöne Spielweise der anscheinend unbegrenzten Kreativität der Evolution zu sein. Der natürlichen Auslese, der Schöpferin dieser Vielfalt, scheinen hier keine Grenzen gesetzt zu sein. Alle Kombinationen von Form, Muster und Farben erscheinen in jeder Schmetterlingsart auf Tarnung, Warnung oder die

durch entwicklungsbiologische Prozesse geliefert wird. Das bedeutet, nur was entwicklungsbiologisch in Embryonen „hergestellt“ wird, wird auch erst von der Evolution berücksichtigt und auf ihre Fitneßqualitäten hin getestet.

Diese Beziehung zwischen Entwicklungs- und Evolutionsbiologie ist nicht neu. Schon Ernst Haeckel, einer der frühesten und überzeugtesten Verfechter und Verbreiter der Ideen von Charles

der panadaptionistischen Interpretation, indem sie klarmachten, daß nicht der Wunsch der Künstler nach verzierten Bögen, sondern die kalte Logik der Statik das Vorhandensein von Bögen in Kirchen notwendig macht. Es gibt eine Reihe von entwicklungsbiologischen, historischen, architektonischen und genetischen Begrenzungen, die den kreativen Spielraum der Evolution einschränken und kanalisieren. Die alles andere als per-

Vorlieben der Paarungspartner optimal angepaßt zu sein. Aber vielleicht sind der Phantasie der natürlichen Auslese doch Grenzen gesetzt? Neuere Daten aus Züchtungsexperimenten von Schmetterlingen zumindest zeigen, daß nicht alles Denkbare wirklich von der Evolution erschaffen werden kann und daß durchaus nicht alle Strukturen von Organismen optimal sind.

Es gibt gerade hierzulande oft das seit langem überholte, wahrscheinlich von der romantischen Sehnsucht nach Harmonie begründete und mit naturphilosophischen Ideen behaftete Vorurteil des Pandaptionismus. Damit ist gemeint, daß alles in der Natur optimal angepaßt, also adaptiert, sei. Die „Natur“ (wer oder was dies auch sein soll) Sorge für optimal konstruierte Organismen, Strukturen und Verhaltensweisen. Schon allein aus theoretischen Gründen ist dies eine wenig plausible Erwartung. In der Evolution gibt es keine Planung, kein Ziel, sondern nur die durch natürliche Selektion der Individuen von Populationen vorhandenen genetischen Variationen des „survival of the fittest“ im Sinne von Charles Darwin. Noch korrekter wäre der Prozeß im Sinne Ernst Mayrs beschrieben, der vom Aussterben der weniger „fitten Individuen“ durch Ausleseprozesse spricht. Besonders fit in diesem Sinne sind Individuen, die mehr Nachkommen und damit mehr Kopien ihrer Gene in höherer Proportion in dem Genpool der nächsten Generation hinterlassen als reproduktiv weniger erfolgreiche. Fitneß ist damit ein relativer Begriff, der von Generation zu Generation neu gemessen werden muß. Aber die Richtung und Kraft der Selektionsdrücke wie klimatische Veränderungen, Freßfeinde, Parasiten, Krankheiten, aber auch Zufälligkeiten, die gerade in kleinen Populationen keine kleine Rolle spielen, ändern sich von Generation zu Generation.

Der Embryo steht am Anfang

Damit kann keine bestimmte Kombination von Genvarianten in den verschiedenen Individuen, die eine Population und eine Art ausmachen, je optimal sein. Sie kann nur die fitteste einer bestimmten Population in einer Generation sein, aber dies ist per definitionem ein Begriff, der nur relativ und nicht objektiv quantifizierbar ist. Vielleicht wird damit auch klar, daß die Evolution die Individuen und nicht die Arten selektiert. Die Evolution agiert nie so stark, schnell und direkt an der Art wie an Individuen. Es passiert daher auch nichts zum Guten der Art – ein weiteres, leider ebenso weit verbreitetes falsches Diktum. Andere Individuen einer Art sind ja die stärksten Konkurrenten um begrenzte Ressourcen wie Futter, Nistplätze oder auch Fortpflanzungspartner. Deshalb ist auch der Konkurrenzkampf zwischen den Individuen einer Art besonders groß und machmal sogar tödlich.

Es gibt jedoch noch eine weitere Klasse von Faktoren neben den sich ständig veränderten Selektionsdrücken, die die Evolution in ihrer Kreativität begrenzen und davon abhalten, „optimale“ Ergebnisse zu liefern. Die Evolution kann nur mit dem Material arbeiten, welches ihr

Darwin in Deutschland, hatte in den letzten Jahrzehnten des neunzehnten Jahrhunderts durch vergleichende embryonale Studien gezeigt, daß, grob gesprochen, die evolutionäre Geschichte von Organismen sich in deren Embryonalentwicklung wiederholt. Nebenbei bemerkt wurde auch der Begriff Evolution anfänglich als Synonym von Entwicklung behandelt. So vollzieht sich auch im menschlichen Embryo ein Kiemenspaltenstadium während der Entwicklung des Organismus, und es wiederholen sich damit historische Schritte, die charakteristisch sind für unsere Fischvorfahren. Man könnte sich auch direktere Prozesse der Embryonalentwicklung vorstellen, die vielleicht kein Kiemenspaltenstadium beinhalten, aber dieses „historische Gepäck“ wird seit mehr als 400 Millionen Jahren erfolgreich in der Entwicklung nicht nur der Fische, sondern aller anderer Gruppen der Wirbeltiere, aller Amphibien, Reptilien, Vögel und Säugetiere mitgeschleppt. Wir haben es hier also mit historischen Faktoren zu tun, die die Gestaltungskraft der Evolution begrenzen.

Ein Beispiel der historischen Limitierung ist die sogenannte Pentadaktylie, also das Vorhandensein von fünf-fingrigen Gliedmaßen. Es gibt keinen schlagenden mechanischen Grund, warum alle Landwirbeltiere ausgerechnet fünf Finger haben sollten. Es gibt zwar viele Tiergruppen, die im Laufe der Entwicklung Fingerglieder zurückbilden, beispielsweise Pferde, oder die Gliedmaßen wieder ganz verlieren wie Schlangen und Wale, aber kein Tier verfügt regulär zu irgendeinem Zeitpunkt der Entwicklung über mehr als fünf Finger. Ausnahmen sind etwa die durch Inzucht genetisch geschädigten Menschen. Nun kann man sich vorstellen, daß es unter Umständen von Vorteil sein könnte, mehr als fünf Finger oder Zehen zu haben, vielleicht zum Fliegen, aber dies scheint heute entwicklungsbiologisch nicht mehr machbar zu sein. Es gab mehrere evolutionäre Gruppen von Fisch-Amphibien, die vor etwa 400 Millionen Jahren durchaus mehr als fünf Finger hatten. Doch nicht von denen stammen wir ab, sondern von deren fünf-fingrigen Vorfahren, die aber freilich nicht besser adaptiert gewesen sein müssen als ihre vierzehnfingrigen Cousins. Das genetische und entwicklungsbiologische Erbe aus dem Devon tragen wir sozusagen alle in uns.

Der älteste verstorbene Evolutionsbiologe Stephen Jay Gould und der Populationsgenetiker Richard Lewontin, beide Professoren an der Harvard-Universität, machten sich schon 1979 in einem Klassiker der evolutionsbiologischen Literatur über diese Art und Weise, die Natur als optimal und perfekt adaptiert zu interpretieren, auf ihre typische gelehrte und unterhaltsame Art lustig. In den „Proceedings of the Royal Society“ führten sie in einem Artikel panadaptionistisches Denken ad absurdum.

Die Markuskirche Venedigs wird, wie alle anderen Kirchen, durch Reihen von Säulen erbaut. Die Säulen sind wiederum durch Bögen verbunden. Diese, allein aus architektonischen und statischen Gründen notwendige Bauweise erlaubte die Verzierung dieser Bögen. Gould und Lewontin verdeutlichten die Absurdität

der Optimalität vieler Strukturen ergibt sich auch daraus, daß Kompromisse im Design von ganzen Organismen gemacht werden müssen, weil die einzelnen Komponenten im Bauplan eines Tieres noch miteinander funktionieren müssen. Aber auch die Erkenntnis, daß Gene oft mehr als ein Merkmal beeinflussen, läßt vermuten, daß die genetische Korrelation auch unwillkürlich eine andere Struktur mitverändert. Andere Charakteristiken bilden sich nicht heraus, weil keine genetische Variation für dieses Merkmal in natürlichen Populationen vorhanden ist.

Mißlungene Selektion im Labor

Die begrenzte Kraft der Evolution wird an vielen neueren Studien deutlich, zuletzt besonders gut bei den Arbeiten aus dem Labor von Paul Brakefield von der Universität Leiden in den Niederlanden. Die Wissenschaftler haben durch Studien an der Schmetterlingsart *Bicyclus anyana* aus Afrika gezeigt, wie durch solche Limitierungen die Reaktionsfreiheit der natürlichen Selektion eingeschränkt wird. In mehreren Selektionsexperimenten wurde deutlich, daß viele, aber nicht alle Charakteristiken der Flügelmusterungen fast beliebig und voneinander unabhängig verändert werden können. Einige Merkmale der Schmetterlinge jedoch schienen nur bedingt selektierbar. So wurde versucht, die Entwicklungszeit zwischen Eiablage und dem Schlüpfen eines Schmetterlings von weiblichen, aber nicht von männlichen Schmetterlingen zu verkürzen. Normalerweise schlüpfen Männchen früher als Weibchen, möglicherweise, weil die frühen Männchen einen Selektionsvorteil gegenüber sich langsamer entwickelnden Männchen haben, da sie mehr Gelegenheiten zur Fortpflanzung haben. Dies wird Protandrie genannt.

Die schnelle Entwicklung von Männchen war schon von Darwin beschrieben worden. Außer dieser üblichen adaptiven Erklärung ist es auch denkbar, daß nicht die Männchen für eine schnellere Entwicklung selektiert wurden, sondern Weibchen für eine längere. Größere Weibchen werden auch mehr Eier produzieren können als kleinere. In den Leidenen Selektionsexperimenten gelang es nicht, den Unterschied in der Entwicklungszeit zwischen Männchen und Weibchen zu verändern. Zuchtlinien von sich schneller entwickelnden Weibchen hatten auch immer noch schnellere Brüder. Das Verhältnis der Entwicklungszeit von Männchen und Weibchen scheint fixiert zu sein und nicht durch Selektion veränderbar. Ähnlich verhält es sich beim männlichen *Homo sapiens* mit den Brustwarzen: Sie sind Rudimente, die keine Funktion erfüllen. Sie sind wie eine Art genetisches Korrelat in männlichen Mitgliedern unserer Art vorhanden, aber möglicherweise nur, weil sie den weiblichen einen Selektionsvorteil bringen. Auch hier haben wir es mit einem Merkmal zu tun, das offensichtlich von der natürlichen Auslese nicht zu ändern ist. Die „Natur“ ist eben manchmal doch auf einem Auge blind. AXEL MEYER

Der Autor ist Schüler des großen Evolutionsbiologen Ernst Mayr. Er lehrt Zoologie und Evolutionsbiologie an der Universität Konstanz.