

dieser Studie die doppelte Anzahl von Parasitenpuppen, wenn diese durch infizierte Raupen bewacht und verteidigt wurden.

Wodurch wird die Verhaltensänderung bei der parasitierten Raupe verursacht? GROSMAN et al. (2008) halten aufgrund der langen Zeit (ca. 2 Wochen) zwischen Eiablage und Auftreten der Verteidigungsaktivitäten das erwachsene, Eier ablegende Brackwespenweibchen als Auslöser für unwahrscheinlich. Auch eine Stimulierung durch die Puppen schließen die Autoren aus, da auch infizierte Raupen, die von den verpuppten Parasiten getrennt worden waren, das Verteidigungsverhalten zeigten. Die durch das Ausbohren der Parasiten verursachte Verletzung der Raupen kann nach bisherigen Beobachtungen als Anlass für das veränderte Verhalten ebenfalls ausgeschlossen werden: künstlich beigebrachte Verletzungen lösen kein vergleichbares Verhalten aus. Es ist bekannt und bereits mehrfach beschrieben, dass Parasiten in den Hormonhaushalt ihrer Wirte eingreifen (z.B. BINDER 2008). GROSMAN und seine Mitarbeiter seziierten einige der Raupen, nachdem sie drei bis vier Tage zuvor von den Parasitenlarven verlassen worden waren, und fanden ein oder zwei Larven, die im Wirt verblieben und lebendig waren. Die Autoren vermuten, dass diese im Wirt vorgefundenen Parasitenlarven die Änderung im Verhalten der Raupe auslösen, wie dies von anderen Parasiten-Wirt-Systemen beschrieben ist. So wandern bei Larven von Saugwürmern (Trematoda), die Ameisen als Wirte nutzen, beim Verlassen des Wirts ein oder zwei Exemplare ins Gehirnareal der Ameise. Dort kapseln sie sich ein, durchlaufen aber keine weiteren Entwicklungsstadien, die für ihre Art typisch wären. Derzeit geht man davon aus, dass diese Individuen die Manipulation des Wirts überneh-

men und sich so für die anderen Parasiten opfern („sacrifice“).

Mit diesem verblüffenden Beispiel liegt ein weiterer Beleg für bisher noch unüberschaubar komplexe Vorgänge in vergleichsweise wenig komplexen Organismen vor. Es macht aber auch nachdenklich, wie Parasiten in so komplexe Systeme eingreifen, die Steuerung von Organismen übernehmen und sie so versklaven können. Im hier beschriebenen Fall der Brackwespe *Glyptapanteles* und der Schmetterlingsraupe von *T. leucocerae* wird die Raupe nicht nur als Wirt genutzt, sondern darüber hinaus wird die verletzte Raupe wenige Tage vor ihrem Tod noch zur Verteidigungsmaschine umprogrammiert und versklavt.

Harald Binder

Anmerkung

- ¹ Als weitere Informationen bieten die Autoren dieses frei im Internet zugänglichen Artikels zwei Videosequenzen an, die das Verhalten von parasitierten und nichtparasitierten Raupen bei Störung durch Fressfeinde (Baumwanzen) eindrucksvoll dokumentieren.

Literatur

- BINDER H (2000) Schlupfwespenlarve steuert Spinne. Stud. Int. J. 7, 90.
 BINDER H (2008) Parasitoide Schlupfwespen und ihre Wirte – eine komplexe Manipulation. Stud. Int. J. 15, 39-41.
 EBERHARD WG (2000) Spidermanipulation by a wasp larva. Nature 406, 255-256.
 GROSMAN AH, JANSSEN A, DE BRITO EF, CORDEIRO EG, COLARES F, FONSECA JO, LIMA ER, PALLINI A & SABELIS MW (2008) Parasitoid Increases Survival of Its Pupae by Inducing Hosts to Fight Predators. PLoS ONE 3(6): e2276. doi:10.1371/journal.pone.0002276.

Den Vögeln schöne Augen gemacht?

Die Schönheit der Schmetterlinge. JUNKER & SCHERER (2006, 317) führen die farbenprächtigen „Schönheit“ vieler Schmetterlinge im Sinn eines möglichen „Design-Signals“ an, das „unter der Voraussetzung von Schöpfung“ (so die Überschrift des Kapitels), als Ergebnis eines kreativen Aktes verstanden werden kann, der über den Gesichtspunkt bloßer Zweckmäßigkeit hinausgeht. Im Rahmen der Evolutionslehre, in welcher diese Schönheit das Produkt ungerichteter Evolutionsmechanismen sein soll, wurde postuliert, dass die vielen Farben und Formen abschreckend auf etwaige Jäger wirkten, sodass Individuen einer Population mit diesen farbenprächtigen Merkmalen einen Selektionsvorteil gegenüber anderen Individuen gehabt und sich mit der Zeit

durchgesetzt hätten. Von besonderem Interesse für diesen Forschungsansatz sind besonders große und deutliche Musterungen auf den Flügeln der Schmetterlinge, die als „Augenflecken“ bezeichnet werden (Abb. 1). Sie erinnern an Augen und man nahm bisher an, dass ihre Funktion darin besteht, etwaige Räuber zu verschrecken, da diese in ihrer eigentlichen Beute aufgrund der besonderen Zeichnung einen ihnen überlegenen Feind sehen.

Augenflecken oder Flügelflecken? Eine Studie von STEVENS et al. (2008) rüttelt nun an dieser, seit dem 19. Jahrhundert vertretenen, aber meist unkritisch übernommenen und bis vor kurzem ungetesteten Anschauung. STEVENS und Mitarbeiter fertigten

dazu Beute-Imitationen an, die sie mit verschiedenen Musterungen versehen und – mit je einem Mehlwurm als essbarer Komponente bestückt – auf mehreren Bäumen platzierten. Es zeigte sich, dass Attrappen mit augenähnlicher Musterung ebenso oft attackiert wurden wie solche, deren Verzierung nicht an Augen erinnerten. Vielmehr war es die Auffälligkeit der jeweiligen Zeichnung (unabhängig vom Grad an Augenähnlichkeit), welche die Räuber zu veranlassen schien, die „Beute“ in Ruhe zu lassen. Den Rückgriff auf eine Interpretation der Flügelzeichnungen bei Schmetterlingen als imitierte Augen lehnen die Autoren daher ab und schlagen den neutralen Begriff der „Flügelflecken“ vor.

Evolution unspezifischer Details. Interessant sind die Ergebnisse von STEVENS et al. (2008) in Bezug auf die Evolutionsbiologie in zweierlei Hinsicht: Erstens werfen sie die Frage auf, weshalb die natürliche Selektion Individuen mit augenähnlichen Flecken bevorzugt haben sollte, wenn doch der für diesen Fall bisher postulierte Motor – Schutz vor Räubern – keinen Unterschied zwischen Flecken mit und ohne Augenähnlichkeit macht. Dieses Problem ist jedoch ein vergleichsweise geringes, da die „Augen“fleck tatsächlich nur entfernt an Augen erinnern und diese Vorlage nicht sehr spezifiziert und detailgetreu wiedergeben. Dass solche Strukturen durch bloße Variation bereits bestehender Muster erreicht werden können, scheint im Bereich des Möglichen zu liegen. Dafür im Einzelnen „Intelligentes Design“ zu postulieren könnte sich leicht als ebenso unnötig erweisen, wie für die zahlreichen – mehr oder weniger exakt getroffenen – Buchstaben unseres Alphabets, die SANDVED (1999) auf den Flügeln zahlreicher Schmetterlinge und Motten ausmachen konnte (vgl. Abb. 2). Bei solchen relativ unspezifischen Merkmalen können die Variationsmechanismen durchaus einmal einen „Zufallstreffer“ landen – auch wenn durch die (eben nicht sehr) spezifische Gestalt Räuber nicht stärker abgeschreckt werden als durch andere, bedeutungslose Formen. Daher ist es in solchen Fällen auch nicht nötig, einen intelligenten Designer zu postulieren, der das Motiv des Auges bzw. unser Alphabet kennt und gezielt auf diese Strukturen hin selektieren kann.¹

Detaillierte Komplexität. Es gibt jedoch auch Fälle von Tarnung im Tierreich, in denen spezielle Strukturen ganz spezifisch und detailgetreu imitiert werden. In diesen Fällen ist die Vorlage des Merkmals nicht vage, sondern ganz klar zu erkennen. Es wäre beispielsweise interessant, den in der hier besprochenen Forschungsarbeit vorgestellten Ansatz einmal auf die Wandelnden Blätter (Phylliinae) (Abb. 3) anzuwenden: Würden die Attacks der Räuber zunehmen, wenn von diesen Tieren die imitierte Struktur weniger detailliert ausgebildet würde? Würde sich durch die Reduktion der



Genauigkeit der spezifischen Wiedergabe der Tarnungs-Vorlagen kein Fitnessnachteil ergeben, wäre damit ein schwerwiegender Kritikpunkt an der Synthetischen Evolutionstheorie bestätigt. Denn dann könnte man im Umkehrschluss fragen, weshalb eine für die Vergangenheit postulierte „Verbesserung“ der Tarnung durch Mutation (noch detailgetreuere Übereinstimmung mit dem imitierten Objekt) sich durchsetzen konnte, obwohl dadurch wohl kein weiterer Selektionsvorteil entstand. Man sieht: Die heutige Evolutionstheorie hat nicht nur Probleme mit der Erklärung von großer Komplexität aufgrund der Grenzen der Triebfeder „Mutation“ (vgl. BEHE 2007), sondern auch mit Eigenschaften, die für die andere Hauptkomponente „natürliche Selektion“, mit ihrer *einzigsten* Bewertungsgröße „Fortpflanzungserfolg“ sozusagen „unsichtbare Details“ sind. Ein evolutionäres Problem stellen diese jedoch nur dann dar, wenn diese „Details“ hochspezifiziert sind – anders als im Fall der „Augen“fleck und Buchstaben. Diese Merkmale fallen durch die Maschen des Netzes der natürlichen Selektion und sind zugleich zu komplex um – ohne Selektion – als pure Zufallstreffer durch Gendrift zu entstehen. Wenn Detailliertheit (Problem für die Selektion) und Komplexität (Problem für die Mutationen) zusammenkommen, wird hier der Begriff der „Detaillierten Komplexität“ vorgeschlagen. Die Komplexität wird größer, wenn für ein neues Merkmal viele unabhängige Mutationen nötig sind und auf der anderen Seite nur wenige

Abb. 1: Graubin-diger Mohrenfalter (*Erebia aethiops*) mit relativ unspezifischen Augen-flecken.

Foto: R. JUNKER



Abb. 2: Die Unterseite des C-Falters (*Polyommatus c-album*) mit einem weißen „C“.

Foto: R. JUNKER

Abb. 2: Das Wandelnde Blatt. (Westfälisches Museum für Naturkunde)



Mutations-Kombinationen das gewünschte Ereignis liefern. Die Menge passender Mutations-Kombinationen wird mit zunehmender spezifischer und

„Darwinian Storytelling“ mag
überzeugend wirken, ist wissenschaftlich
gesehen jedoch ohne Aussagekraft

detailgetreuer Wiedergabe der Zielstruktur immer kleiner (eine grobe Blattform eines Insekts auf mutativem Wege zu erreichen ist einfacher, als wenn es sich um ein ganz spezifisches Blatt einer bestimmten Art handeln soll). Wenn *auf der einen Seite* die Entstehung einer Struktur eine unwahrscheinliche Serie von Mutationsereignissen erfordert und *auf der anderen Seite* diese „Verbesserung“ durch die natürliche Selektion nicht bewertet werden kann, da sie sich nicht in einer Fitnesssteigerung niederschlägt, liegt „detaillierte Komplexität“ vor. Diese kann durchaus als Indiz dafür gewertet werden, dass der biologischen Realität ein Plan zu Grunde

liegt, der nicht allein auf Zweckmäßigkeit und Überlebensvorteil reduziert werden kann, sondern auch andere – möglicherweise naturwissenschaftlich nicht fassbare – Elemente (z.B. Ästhetik) enthält.

Zweitens lässt sich eine allgemeinere Schlussfolgerung aus den Ergebnissen von STEVENS et al. (2008) ableiten: Einmal mehr hat sich gezeigt, wie einfach es ist, sich „Geschichten“ über etwaige Selektionsvorteile bestimmter Merkmale auszudenken. Diese werden nicht selten unkritisch – beispielsweise in Lehrbüchern – wiedergegeben, ohne dass für die rein spekulativen Thesen jemals experimentelle Befunde vorgelegt würden. Anders als in diesem Fall ist dies oft auch gar nicht möglich, wenn es sich nämlich um schlecht testbare, historische und damit nicht-reproduzierbare Vorgänge handelt. Solches „Darwinian Storytelling“ mag überzeugend wirken, ist wissenschaftlich gesehen jedoch ohne Aussagekraft.

Christoph Heilig

Anmerkung

- ¹ Das soll nicht heißen, dass hier davon ausgegangen wird, dass die Entstehung des auf vielerlei Weise variierten Programms zur Flügelverzierung ein Fall von Mikroevolution wäre. Zur Variation der Flügelflecken siehe FEHRER (2003).

Literatur

- BEHE MJ (2007) The Edge of Evolution. The Search for the Limits of Darwinism. New York.
FEHRER J (2003) „Evo-Devo“: Bisher keine Lösung für Makroevolution. Neuer Trend in Richtung mikroevolutionäre Forschung. Stud. Int. J. 10, 34-36.
JUNKER R & SCHERER S (2006) Evolution. Ein kritisches Lehrbuch. Gießen, 6. Auflage.
SANVED KB (1999) The Butterfly Alphabet. Scholastic inc.
STEVENS M, HARDMAN CJ & STUBBINS CL (2008) Conspicuousness, not eye mimicry, makes „eyespot“ effective antipredator signals. Behav. Ecol. 19, 525-531.

Wie durchlässig könnten die ersten Zellen gewesen sein?

Zusammenfassung: Alle lebenden Zellen sind gegen die Umgebung abgegrenzt und müssen gleichzeitig in einem mehrzelligen Lebewesen mit den Nachbarzellen kommunizieren. Auch einzellige Mikroorganismen müssen mit der Umwelt Signale und Stoffe austauschen. Um leben zu können, muss also sowohl Abgrenzung gegen die Umgebung als auch Wechselwirkung und Austausch mit der Umgebung gegeben sein. Diese Notwendigkeiten stellen hohe Anforderungen an die Zellmembranen als Grenzschicht zwischen Organismus und Umwelt.

Die Zellmembranen auf der Basis von Phospholipiden stellen für Zellen eine erstaunlich flexible und stabile Abgrenzung zur Umgebung dar. Um den Austausch von Stoffen und Signalen zwischen den Zellen und ihrer Umgebung zu gewährleisten, sind in die Lipiddoppelschichten Proteine und Proteinaggregate integriert, die als Kanäle oder Pumpen den Transport durch die Membran sicherstellen (Abb. 1).

In allen Modellen zur Lebensentstehung sind