Wie perfekt sind Anpassungen wirklich?

Ein Plädoyer gegen den Mythos der optimal adaptierten Lebewesen

Tiere und Pflanzen sind keineswegs so optimal an ihre Umwelt angepasst, wie uns Tierfilme und populärwissenschaftliche Texte oft weismachen wollen – dieser Mythos wurde bereits vor 25 Jahren entlarvt. Für Axel Meyer, den Autor dieses Artikels, ist es deshalb höchste Zeit, dass auch ein breiteres Publikum den Paradigmenwechsel wahrnimmt. Meyer ist Professor für Zoologie und Evolutionsbiologie an der Universität Konstanz.

Wie gut verstehen wir die Anpassungen von Tieren an ihre Umwelt? Die Hummel etwa dürfte laut den Berechnungen von Ingenieuren gar nicht fliegen können. (Bild Picturepress)

Für Dr. Pangloss, den Philosophen und ewigen Optimisten in Voltaires «Candide», könnten die Dinge nicht anders sein, als sie sind. Alles, so glaubt er, sei zum besten Zweck. «Unsere Nasen sind gemacht, um Brillen zu tragen, deshalb haben wir Brillen. Beine wurden sicherlich gemacht, um Prothesen zu halten, und so haben wir sie.» Diese Sichtweise, dass nichts in der Natur ohne Zweck entstanden sein kann und deshalb alles eine perfekte Anpassung an die jeweiligen Lebensumstände darstellt, ist auch heute noch weit verbreitet. In vielen Tierfilmen und auch populärwissenschaftlichen Texten ist die Rede von optimal adaptierten Tieren, also Tieren, die angeblich perfekt an ihre Umwelt angepasst sind – wie dem Gepard, dem perfekten Läufer, oder der Schwalbe, der optimalen Fliegerin.

Keine fürsorgliche «Mutter Natur»

Diese Weltsicht von einem harmonischen Miteinander in der Natur geht zurück auf eine veraltete naturphilosophische und sogar unwissenschaftliche Weltanschauung des 19. Jahrhunderts. Doch die Evolution funktioniert nicht so. Es gibt keine «Mutter Natur», die harmonische Lebensgemeinschaften von glücklich miteinander lebenden Arten schaffen möchte und es dabei jedem Individuum recht machen kann. Wenn dem so wäre, würden Arten, ausser durch Katastrophen, wohl nie aussterben. Aber wenn eines im Leben sicher ist, dann ist das der Tod, sowohl von Individuen als auch von Arten.

Jedes noch so perfekte oder im landläufigen Sinne fitte Individuum, das sich nicht fortpflanzt und damit nichts für seine evolutionäre Fitness tut, ist eine evolutionäre Sackgasse. Denn in der Evolution zählt allein der Fortpflanzungserfolg. Die natürliche Auslese ist der Prozess, bei dem, je nach Glück oder eben besseren Anpassungen (Adaptionen), Individuen einer Art länger überleben und mehr Nachkommen hinterlassen als die weniger Glücklichen oder Angepassten. Auch ein Krüppel ist evolutionär gesehen der Fitteste, sofern er die meisten Nachkommen in einer Generation hat – ohne deshalb auch der schnellste Läufer sein zu müssen.

Tiere sind immer Sammlungen von Merkmalen, die als eine Art Bündel sorgsam erwogener Kompromisse gemeinsam in einem Organismus funktionieren. Und diese Kompromisse enden immer in einem insgesamt suboptimalen Tier; die eierlegende Wollmilchsau gibt es deshalb nicht. Zudem variieren das Klima, die Beute und die Fressfeinde, die Parasiten und Krankheiten, also alle Parameter, die für das Überleben eines Individuums massgebend sind, ständig und wirken sich damit zu verschiedenen Zeiten der individuellen und stammesgeschichtlichen Entwicklung an jedem Merkmal einmal förderlich, einmal negativ aus. Was in einer Generation von Vorteil ist, kann schon in der nächsten nachteilig sein. Dies trifft auf jeden biologischen Aspekt eines Tieres zu, auf alle morphologischen, verhaltensbiologischen, physiologischen und biochemischen Eigenschaften.

Traktat gegen den «Pan-Adaptionismus»

Vor 25 Jahren veröffentlichten der 2002 im Alter von 60 Jahren viel zu früh verstorbene «Evolutionspapst» der USA, Stephen Jay Gould, und sein Kollege an der Harvard University Richard Lewontin ein einflussreiches Traktat, in dem sie sich über den Mythos vom perfekt angepassten Lebewesen – den sogenannten Pan-Adaptionismus – lustig machten. Ihre Hauptthese war, dass viel zu häufig über vermeintliche Anpassungen spekuliert werde, die zwar plausibel, ja vielleicht sogar richtig seien, aber nicht wissenschaftlich exakt geprüft würden. Anhand einiger Parabeln wie der absurden Denkweise von Dr. Pangloss, einiger «Lehnstuhltheorien», aber auch empirischer Beispiele wollten Gould und Lewontin zeigen, dass die Welt um uns herum nicht perfekt ist und dass die damals (und auch heute noch) allzu weit verbreitete Sicht «optimaler» Adaptionen nicht stimmt, ja gar nicht stimmen kann.

Sie forderten, dass Anpassungen in jedem Einzelfall als solche bewiesen werden müssten und nicht jedes Merkmal und jede Eigenschaft eines Tieres a priori als Adaption angesehen werden dürfe. Die Nullhypothese solle dementsprechend nicht Adaption, sondern Nichtadaption sein, und diese Nullhypothese gelte es nach dem Popperschen wissenschaftlichen Prinzip durch Daten zu widerlegen, forderten Gould und Lewontin. Ihre mit einer erheblichen Prise Polemik vorgetragene Gegenthese zum «Pan-Adaptionismus» wirkte in den akademischen Hallen, zumindest auf der westlichen Seite des Grossen Teiches, wie ein Paukenschlag.

Die Rolle der natürlichen Selektion

Aber was ist nun Anpassung? In der strikten Definition von Stephen Jay Gould und der Paläontologin Elisabeth Vrba aus dem Jahr 1982 sind Adaptionen nur solche Merkmale eines Organismus, die sich im Prozess der natürlichen Selektion wegen ihrer jetzigen Funktion durchgesetzt haben. Davon zu unterscheiden sind sowohl Merkmale, bei deren Überleben die natürliche Selektion überhaupt keine Rolle gespielt hat, als auch Eigenschaften, die durch die natürliche Selektion zunächst wegen einer anderen Funktion bevorzugt wurden und erst in einem zweiten Schritt ihre jetzige Aufgabe übernahmen. Letztere sollten nicht Adaptionen, sondern Exaptationen genannt werden, um die unterschiedliche Rolle der natürlichen Selektion während ihrer Entstehung zu betonen, meinten Gould und Vrba.

Ein Beispiel einer solchen Exaptation sind die Vogelfedern. Vögel sind stark abgewandelte überlebende Dinosaurier und werden in der Systematik den Reptilien zugeordnet – Krokodile sind nämlich näher mit Vögeln verwandt als mit Eidechsen. Die Federn der Vögel sind aus den Schuppen ihrer Reptilien-Vorfahren entstanden, hatten anfangs aber wahrscheinlich die Funktion, den Verlust von Körperwärme zu vermindern. Wegen dieser Funktion wurden sie wohl auch von der natürlichen Auslese bevorzugt – im Gegensatz zu Reptilien, deren oft schwankende Körpertemperatur durch die Umwelt beeinflusst ist, produzieren Vögel nämlich eine konstante, hohe Körpertemperatur. Vermutlich belohnte die natürliche Selektion deshalb zunächst jene Individuen, die die besseren Federn zur Isolation hatten und so den Energieverlust minimieren konnten, mit einem höheren Reproduktionserfolg. Erst in einem zweiten Schritt, so glaubt man heute, wurden die Federn dann auch zur Fortbewegung genutzt. Federn zum Fliegen sind also Exaptationen und keine Adaptionen.

Die Kenntnis von evolutionsgeschichtlichen Ereignissen, zum Beispiel durch Fossilfunde, und von daraus resultierenden möglichen Bedingungen der natürlichen Selektion, die zum Erfolg eines Merkmals geführt haben könnten, erlaubt es also, eine Adaption als eine solche zu erkennen. Ähnliches trifft auch für die Konvergenz zu. So haben Delphine, Ichthyosaurier, Thunfische und Haie sehr ähnliche Körperformen, die durch sogenannte konvergente Evolution – ähnliche Anpassungen an ähnliche Umweltbedingungen in evolutionär nur entfernt verwandten Arten – entstanden sind. Eine solche Konvergenz legt den Schluss nahe, dass das entsprechende Merkmal einen Selektionsvorteil mit sich bringt und deshalb als durch natürliche Selektion entstandene Adaption zu gelten hat. Und schliesslich lassen sich natürliche oder durch den Biologen künstlich erzeugte Unterschiede zwischen Merkmalen von Individuen einer Art – zum Beispiel Verlängerungen oder Kürzungen von Vogelfedern oder Insektenflügeln – auch experimentell auf ihre Effizienz und damit letztlich auf ihre potenziell unterschiedlichen Fitnesseffekte hin untersuchen.

Ingenieure und Biomechaniker versuchen zu quantifizieren, wie gut natürliche Anpassungen an ein von der Umwelt gestelltes Problem im Vergleich zu anderen möglichen Lösungswegen sind. Durch die auf ingenieurwissenschaftlichen Prinzipien basierende Analyse tierischer Strukturen kann der Grad der Perfektion einer Adaption zumindest erahnt werden. Gleichzeitig kann der Mensch so von der Evolution lernen.

Seit einigen Jahren tragen deshalb Hochleistungsschwimmer Anzüge, die die biomechanischen Hauteigenschaften von Haien imitieren und die es ihnen ermöglichen, sich mit weniger Widerstand durch das Wasser zu bewegen. Ebenso wurden die Tragflächen grosser Verkehrsflugzeuge zunehmend an den Enden mit kleinen Seitenflügeln nachgerüstet. Diese Flügelchen erlauben stabileres und effizienteres Fliegen, genau wie die Enden der Schwingen von grossen Greifvögeln. Auf der anderen Seite haben aber auch die Biomechaniker vieles noch nicht verstanden. So sollten Hummeln mit ihren vergleichsweise kleinen Flügeln und ihrem relativ grossen Gewicht eigentlich gar nicht fliegen können – zumindest laut den Berechnungen der Ingenieure.

Design-Einschränkungen

Aber nicht alles, was ingenieurtechnisch denkbar oder machbar ist, wurde auch von der Natur realisiert. Das Rad beispielsweise ist ein sehr effizientes Fortbewegungsmittel; trotzdem kommt es in der Natur nicht vor. Auch ist auffällig, dass Vierbeiner höchstens fünf Finger an ihren Extremitäten tragen (Pentadaktylie). Wohl gibt es den sekundären evolutionären Verlust von Fingern wie bei Pferden, Antilopen und anderen Huftieren und auch eine geringere Anzahl von «Fingern», die die Flügel von Vögeln oder Fledermäusen bilden. Aber kein Tier – mit ganz wenigen polydaktylen Ausnahmen, wie einigen der grösseren Hunderassen, zum Beispiel Bernhardinern – hat mehr als fünf Finger pro Gliedmasse. Dabei könnte man sich sicher Situationen vorstellen bei denen mehr Finger von Vorteil wären. Warum also sollte deren Zahl auf höchstens fünf limitiert sein? Das liegt daran, dass das allen heute noch lebenden Landwirbeltieren gemeinsame entwicklungsbiologische Programm so angelegt ist, dass sich maximal fünf Finger pro Hand entwickeln können.

Noch bis vor etwa 400 Millionen Jahren hat aber tatsächlich einmal die entwicklungsbiologische Freiheit bestanden, mehr als fünf Finger zu haben. Dies belegen fossile Funde von verschiedenen Gruppen ausgestorbener Linien von potenziellen Fischvorfahren des Menschen, etwa dem *Acanthostega*, der acht Finger pro Hand hatte. Die Beschränkung auf maximal fünf Finger ist aber wahrscheinlich nicht auf einen Selektionsvorteil, sondern wohl eher auf einen Zufall zurückzuführen: Die Amphibien-Fisch-Linie, die im Devon das Land besiedelte und von der auch wir abstammen, hatte eben nur fünf Finger. Dieser Zufall limitierte den späteren evolutionären Gestaltungsspielraum und damit auch alle funktionellen Anpassungen der Extremitäten. Auch wenn dies vielleicht die Leistung steigern würde, werden olympische Schwimmer und Konzertpianisten deshalb nie mehr als fünf Finger haben.

Evolution und historisches Gepäck

Evolution, ja die gesamte Biologie, ist vornehmlich ein historischer Prozess, denn aus dem Genom jedes Lebewesens und den daraus resultierenden entwicklungsbiologischen Vorgängen, die sich während der individuellen Entwicklung abspielen, ist die gesamte Evolution dieses Organismus ablesbar. Es ist kein Zufall, dass das menschliche Genom zu fast 99 Prozent dem des Schimpansen gleicht, schliesslich gehen wir erst seit etwa 6 Millionen Jahren getrennte Wege. Mehr als ein Drittel unserer Gene sind sogar in Pflanzen zu finden. Der sich entwickelnde Embryo muss zwar nicht alle Stufen der Evolution nachleben, aber er hat Tausende von Genen und deren Interaktionen, die ihn fesseln und seine Entwicklung in vorgefestigte Bahnen lenken. Aus diesem historischen Gepäck ergeben sich Limitationen, die manches Denkbare unmöglich machen: Der Evolution sind Grenzen gesetzt.

Ein Vierteljahrhundert nach Goulds und Lewontins Plädoyer gegen die naturphilosophisch verblendete oder zumindest meist ungeprüfte «panglossische» Akzeptanz einer perfekten Welt hat sich der Staub gelegt. Mittlerweile sind sich die Evolutionsbiologen einig, dass nicht jedes Merkmal eines Organismus eine durch natürliche Selektion entstandene Anpassung ist und dass schon gar nicht der Organismus als Ganzes perfekt ist. Doch diese Botschaft scheint noch nicht zu allen Biologen aus anderen Fachgebieten und erst recht nicht zu einem breiteren Publikum durchgedrungen zu sein – die Welt ist längst nicht frei von adaptionistischem Geschichtenerzählen.