

Was Evolution ist und wozu Sie das wissen sollten



In diesem Kapitel

- ▶ Was Evolution bedeutet
- ▶ Evolutionsbiologie als wissenschaftliche Disziplin
- ▶ Warum Evolution wichtig ist

Evolution – diesen Begriff haben Sie zweifellos schon häufig gehört, aber was sich genau hinter diesem Thema verbirgt, wissen Sie vermutlich nicht. Wenn eine Handvoll Wissenschaftler mit kleinen Zahnbürsten im Dreck gräbt und angesichts eines Zahnes oder eines kleinen Knochens in Jubel ausbrechen, wundern Sie sich bestimmt »Hm, ja, das sieht schon nach einem Zahn aus, zweifellos ist der auch ziemlich alt, aber ...«. Ein Zahn, mögen Sie denken, kann doch unmöglich Anlass für große Begeisterung sein – die Evolution ist schon etwas sehr Merkwürdiges. Hinter diesem Begriff muss wohl mehr stecken als ein paar versteinerte Zähne oder ein Stückchen Knochen.

So ist es auch. Die Evolution erklärt, wie wir (und damit sind alle Lebewesen gemeint, Sie, ich und alle anderen Tiere, Moose, Bäume, die Rosen in Ihrem Garten, Amöben, Bakterien und zahllose weitere Organismen) mit unserer ganzen Komplexität und Vielfalt entstanden sind. Diese Begeisterung der Wissenschaftler über versteinerte Zähne hat damit zu tun, dass derartige Funde Belege für das sind, was Forscher heute über die Evolution des Lebens auf der Erde wissen. Dieser eine Zahn ist nur ein Teil des evolutionären Puzzles, einer unter Tausenden. All diese Einzelteile zusammen ergeben ein Bild unserer genetischen Vergangenheit, quasi eine Art Fahrplan, der uns von einem gemeinsamen Vorfahren zu dem führt, wer, was oder wie wir heute sind. Es ist eine Reise über Milliarden von Jahren.

Dieses Kapitel gibt Ihnen einen Überblick über die Vielfalt der Evolution und erklärt, was Evolution bedeutet und wie sie wirkt. Am Ende werden Sie verstehen, was der große Evolutionsbiologe Theodosius Dobzhansky meinte, als er schrieb, »Nichts in der Biologie macht Sinn, außer im Licht der Evolution.«

Die biologische Evolution auf einen Blick

Evolution kann einfach als eine *Veränderung im Laufe der Zeit* definiert werden und sich auf alles beziehen, was sich verändert. Sprachen evolvieren, Kulturen, Kunstformen, sogar Verteidigungsstrategien im Fußball entwickeln sich im Laufe der Zeit fort. In diesem Buch geht es nicht um die Evolution im Allgemeinen, sondern um die biologische Evolution: die Veränderungen der Organismen im Laufe der Zeit.



Die biologische Evolution befasst sich mit einer ganz besonderen Art von Veränderungen im Laufe der Zeit – Veränderungen in der Frequenz (Häufigkeit) verschiedener Gene von Generation zu Generation innerhalb einer gesamten Art (Spezies) oder einer einzelnen Population dieser Art. *Evolutionsbiologen* – also die Wissenschaftler, die die Evolution untersuchen – sind natürlich von ihrem Lieblingsthema total begeistert und wollen natürlich nichts lieber als diese Begeisterung mit andern Wissenschaftlern oder dem interessierten Laien teilen – wie Evolution abläuft, welche Gründe diese Veränderung von Genfrequenzen hat und was evolutionsbiologisch passiert, wenn sich eine Genfrequenz ändert.

Die folgenden Abschnitte geben eine Übersicht, wie Evolution funktioniert und was sie macht. Teil II und III vertiefen dieses Thema im Detail.

Die Definition eines Gens

Zu Charles Darwins Zeiten war ein Gen nichts weiter als eine (sehr abstrakte) Funktionseinheit der Vererbung. Die Menschen sahen, dass bestimmte Merkmale wie blaue Augen oder rotes Haar von den Eltern an die Kinder weitergegeben wurden, wussten aber weder, was ein Gen ist, noch wie der Prozess der Vererbung abläuft. Heute ist das anders:

- ✓ Wir kennen die DNA (Desoxyribonukleinsäure, *engl.* deoxyribonucleic acid) als den Stoff, der von den Eltern an die Nachkommen weitergegeben wird.
- ✓ Wir wissen, dass die DNA ein langes fadenförmiges Molekül ist, das aus einer Aneinanderreihung von vier Bausteinen (vier Buchstaben) besteht. In der speziellen Abfolge dieser Buchstaben, die als DNA-Sequenz bezeichnet wird, ist die genetische Information gespeichert. Ein Gen entspricht der Sequenz eines bestimmten DNA-Abschnitts eines Lebewesens.
- ✓ Wir haben biochemische Methoden entwickelt, mit denen Wissenschaftler die exakte Sequenz der DNA eines Lebewesens bestimmen können. Seit der Entwicklung der DNA-Techniken kann der evolutionäre Prozess sehr viel besser im Detail verfolgt und analysiert werden.

Der Knackpunkt (und damit der Grund, warum diese Methode hier unbedingt erwähnt werden sollte) ist, dass Wissenschaftler durch die Analyse der DNA-Sequenz eines bestimmten Gens über Generationen hinweg jede genetische Veränderungen genau messen können. Evolutionsbiologen auf der ganzen Welt begeistert kaum etwas so sehr wie die Aussicht, einen evolutionären Sachverhalt – speziell die Veränderung von DNA-Sequenzen – wirklich messen zu können. (Weitere Informationen zu Genen und DNA finden Sie in Kapitel 3).

Was ist eine (Gen-)Frequenz?

Die *Frequenz* eines bestimmten Gens bedeutet nichts anderes als die *Häufigkeit*, mit der dieses Gen in einer Population auftritt. Wenn Wissenschaftler die DNA-Sequenz an einer bestimmten Position der DNA einer Spezies analysieren, stellt sich oft heraus, dass alle Individuen die gleiche Sequenz an dieser Stelle haben. Da es nur ein Gen (oder nur eine Art von DNA-Sequenz) an dieser Stelle gibt, ist die Frequenz in diesem Fall gleich 100 Prozent. In an-

deren Fällen besitzen Individuen verschiedene Sequenzen an dieser Position. Wenn es mehr als ein Gen an dieser Stelle gibt, reden Wissenschaftler von der Frequenz verschiedener Gene.

Stellen Sie sich vor, Sie haben drei verschiedene DNA-Sequenzen entdeckt, nennen wir sie Gen A, B und C. Wenn die Hälfte der untersuchten Individuen Gen A haben, ein Viertel Gen B und der Rest Gen C, beträgt die Frequenz von A 50 Prozent und die von B und C jeweils 25 Prozent.

Veränderungen in der Frequenz bestimmter Gene im Laufe der Zeit beziehungsweise der Generationen lassen sich messen und erlauben dann eine Aussage, ob sich ein Organismus weiterentwickelt hat. Wenn sich nach vielen Generationen die Frequenz von A, B oder C aus dem Beispiel von oben geändert hat, hat hier Evolution stattgefunden.

Ein Beispiel: Nehmen wir an, Sie haben eine Handvoll Bakterien und bestimmen die Frequenz des Gens, das eine Resistenz gegen ein neu hinzugefügtes Antibiotikum verleiht. Bei der ersten Zählung werden Sie vermutlich feststellen, dass die Frequenz extrem gering ist – weniger als ein Prozent der Bakterien wird das Gen für die Resistenz besitzen. Ein paar Wochen später kommen Sie wieder, mittlerweile sind unzählige Bakteriengenerationen vergangen. Sie bestimmen erneut die Frequenz für diese Antibiotika-Resistenz in den Bakterien, und nun liegt sie bei 30 Prozent. Obwohl Sie die Evolution nicht direkt verfolgt haben, sehen Sie doch das Ergebnis: die Veränderung der Frequenz eines bestimmten Gens im Laufe der Zeit. Aus einer Frequenz von einem Prozent bei den Ausgangsbakterien ist eine Frequenz von 30 Prozent bei den Nachkommen geworden. (In Kapitel 17 wird die Evolution der Antibiotika-Resistenz in Bakterien im Detail diskutiert.)



Auf den Punkt gebracht ist Evolution also nichts anderes als eine Veränderung der Frequenz eines Gens oder mehrerer Gene in einer Population im Laufe der Zeit. Evolutionsbiologen sammeln permanent derartige Daten über evolutionäre Vorgänge – nicht nur bei Bakterien, sondern für alle Arten von Organismen, egal wie einfach oder komplex diese aufgebaut sind.

Die Zeitskala der Evolution

Die Veränderungen der Frequenz von Genen erfolgen stufenweise über sehr lange Zeiträume, denn die Evolutionsrate ist nicht konstant. Manchmal bleiben Genfrequenzen lange konstant, dann verändern sie sich relativ schnell als Anpassung an eine veränderte Umwelt. Die Rate dieser Veränderungen kann zu- oder abnehmen, wobei der Prozess – Genfrequenzen ändern sich im Laufe der Zeit – grundsätzlich immer abläuft. Um die Zeiträume evolutiver Prozesse besser voneinander abgrenzen zu können, verwenden Wissenschaftler die Begriffe *Mikroevolution* und *Makroevolution*:

- ✓ **Mikroevolution** bezeichnet kleine Veränderungen in relativ kurzer Zeit, zum Beispiel wenn ein Bakterium im Anzuchtgefäß mutiert und daraus ein Gen für schnelleres Wachstum oder eine größere Teilungsrates als bei anderen Bakterien im Gefäß resultiert. Mikroevolution läuft in einem Zeitrahmen ab, den wir noch gut beobachten können und ist daher für uns leichter zu erfassen als die Makroevolution.

- ✓ **Makroevolution** ist in der Regel das Resultat eines Evolutionsprozesses von Arten (oder auch artübergreifend, siehe Kapitel 11) über sehr lange Zeiträume. Der Prozess ist prinzipiell der gleiche, aber hier geht es meistens um größere Veränderungen, die Wissenschaftler erst beobachten können, wenn sich die Evolution über eine lange Zeit erstreckt hat. Die Makroevolution umfasst Prozesse (die in der Mikroevolution eher nicht beobachtbar sind) wie das Aussterben von Arten oder die Bildung neuer Arten – wenn eine Art sich in zwei neue aufspaltet. (Artbildung ist übrigens gar nicht so kompliziert, wie Sie in Kapitel 8 erfahren können.)



Bis auf die Zeiträume, in denen diese Prozesse ablaufen, unterscheiden sich Mikro- und Makroevolution nicht voneinander. Was als Mikroevolution im Reagenzglas abläuft, heißt Makroevolution, wenn es nur lange genug dauert.

Genetische Extreme: Mutation und Extinktion

Im Extremfall können Gene aus einer Population verschwinden. Stellen Sie sich vor, Sie messen die Frequenz von drei Genen einer Spezies an einer bestimmten Stelle der DNA. Jahre später messen Sie erneut und stellen fest, dass eines der Gene verschwunden ist – die Frequenz dieses Gens ist gleich Null. Damit ist dieses Gen ausgestorben. Die Art, in der dieses Gen einmal vorgekommen ist, existiert zwar noch immer, ist aber nun in Bezug auf diesen bestimmten Bereich der DNA weniger vielfältig als zuvor.

Das andere Extrem sind neu entstandene Gene. Der Prozess, bei dem die Sequenz der Eltern-DNA kopiert und an den Nachwuchs weitergegeben wird, ist bemerkenswert präzise. Wäre das nicht so, würde es uns nicht geben. Aber kein Vorgang ist perfekt, und auch hier können Fehler passieren. Diese Fehler werden *Mutationen* genannt und führen dazu, dass sich die neue DNA ein kleines bisschen vom Original unterscheidet – mit anderen Worten: es ist ein neues, verändertes Gen. Dieses neue Gen kann die Funktionsfähigkeit eines Organismus auf verschiedene Weise beeinflussen:

- ✓ **Die Mutation kann überhaupt keinen Effekt verursachen.** In der DNA gibt es eine gewisse Form der Redundanz des DNA-Codes (mehr dazu finden Sie in Kapitel 3). Daher kann der Austausch eines Buchstabens an manchen Stellen ohne Auswirkungen bleiben. Selbst wenn eine Mutation einen Austausch verursacht, hat dieser unter Umständen keine Auswirkung auf die Funktion dieses Genprodukts. Das neue Gen wirkt sich demnach weder positiv noch negativ auf das Überleben eines Organismus aus.
- ✓ **Die Mutation kann zu einer Veränderung führen, die dem Organismus schadet.** Die meisten Mutationen, die zu einer Änderung des Genprodukts führen, fallen in diese Kategorie, denn selbst der einfachste Organismus ist ein sehr kompliziertes Gebilde. Wird irgendwo eine zufällige Veränderung verursacht, wirkt sich diese in den meisten Fällen nachteilig aus. Gene, die sich negativ auswirken, verschwinden aus einer Population aber oft ebenso schnell, wie sie aufgetreten sind.



Mitunter aber kann eine Mutation mit negativen Auswirkungen – die üblicherweise sehr schnell wieder aus der Population verschwinden sollte – sogar in der Frequenz *zunehmen*. Der Grund ist folgender: wenn ein Gen mit negativer Wirkung auf der DNA in der Nähe eines Gens mit positiver Wirkung liegt, kann sich die Frequenz des negativen Gens erhöhen, weil es quasi »Huckepack« mit dem vorteilhaften Gen an die nächste Generation weitergegeben wird. Dazu ein Beispiel: In einem Organismus treten zeitgleich zwei Mutationen an benachbarten Stellen der DNA auf, die eine hat einen kleinen Nachteil für diesen Organismus, die andere betrifft ein Gen, das von Vorteil ist. Dann werden beide Gene vererbt, weil sie gemeinsam vorkommen, und damit steigt auch die Frequenz des eigentlich nachteiligen Gens.

✓ **Die Mutation kann zu einer Veränderung führen, die für den Organismus vorteilhaft ist.**

Diese Art von Mutation ist selten, kommt aber durchaus vor. Solche Mutationen werden in der Frequenz zunehmen und sind im Grunde genommen die Quelle der Variationen, auf die evolutiv über die natürliche Selektion Einfluss genommen werden kann. (Im Kapitel 4 ist die Rolle der Variation in der Evolution genauer erklärt.)



Alle Gene in allen Lebewesen auf der Erde haben einmal als Mutation angefangen, die, so selten sie auch in einer Population waren, letztendlich in ihrer Frequenz zunahm. Mutationen als Quelle neuer Gene sind ein zentraler Teil der Evolution. Ein neues Gen kann erst dann in der Frequenz zu- oder abnehmen, sobald es einmal in einer Population aufgetaucht ist. Und dazu sind Mutationen notwendig.

Darwins geniale Ideen und Konzepte

Wer über Evolution redet, kommt an Charles Darwin (1809–1882), einem angehenden Arzt und Theologen, nicht vorbei. Seine große Begeisterung für Naturkunde und Geographie veranlasste Darwin, einen Posten als Begleiter des Kapitäns auf der *HMS Beagle* anzunehmen. Dieses Schiff mit Reiseziel Südamerika sollte kartographische Messungen durchführen und Pflanzen, Tiere und Fossilien zurück nach England senden. Die Reise dauerte fünf Jahre, von 1831 bis 1836.

Verschiedene Beobachtungen regten Darwin zu Spekulationen über die Veränderungen an, die einer Art über die Zeit widerfahren: die Diversität der Lebensformen, die er auf seiner Reise sah, die geographischen Muster, wenn verschiedene, aber offensichtlich verwandte Arten in unmittelbarer Nachbarschaft lebten, sowie die Fossilien, die er sammelte und die klar zeigten, dass sich derzeitige Arten von den Arten in der Vergangenheit unterschieden.

Darwin – der wahre Schöpfer der Evolutionstheorie oder etwa ein Betrüger?

Schon seit Jahren wird unter Naturwissenschaftlern diskutiert, ob Charles Darwin den Ruhm als Begründer der Evolutionstheorie verdient oder nicht. Grund dafür ist ein einfacher Brief. Darwin war nicht der einzige, der in diesem Bereich forschte. Auch Alfred Russel Wallace (1823–1913) war der Evolution hart auf den Fersen. Es war nicht so, dass die beiden nichts von sich wussten. Im Gegenteil, sie tauschten über Briefverkehr ihre neuesten Erkenntnisse aus. So kam es, dass Wallace nicht lange vor der Veröffentlichung Darwins einen neuen Brief losschickte, in dem er seine Evolutionstheorie beschrieb.

Für Darwins Gegner lag nun nahe, dass Darwin aus diesem Brief Teile der Theorie Wallace entnahm, sie in seine eigene Theorie einbaute und den alleinigen Ruhm abkassierte. Damit wäre er ein Betrüger!

Doch heute, über 150 Jahre später, ist das Geheimnis endlich gelüftet. Der Wissenschaftler Dr. John van Wyhe fand heraus, dass der Brief nicht wie angenommen im März von Wallace abgeschickt wurde, sondern erst im April. Damit kam der Brief erst nach Darwins Veröffentlichung an. Ein Plagiat ist somit ausgeschlossen. Doch auch wenn Darwin kein Betrüger war, sollte Darwin nicht der alleinige Ruhm gelten, denn Wallace entwickelte unabhängig von Darwin die gleiche Evolutionstheorie. Er war leider nur einen Brief zu spät.

Im Jahr 1836 kehrte Darwin nach England zurück, schon damals bekannt in wissenschaftlichen Kreisen aufgrund der zahlreichen Proben und präzisen Beschreibungen, die er nach England zurückgeschickt hatte. Bis 1838 formulierte Darwin eine detaillierte Theorie, wie schrittweise Anpassungen durch natürliche Selektion sowohl zu Veränderungen der bestehenden als auch zur Entstehung neuer Arten führen können. In den folgenden etwa 20 Jahren entwickelte und verfeinerte er seine Ideen immer weiter. Im Jahr 1859 publizierte er seine bahnbrechende Arbeit »Über die Entstehung der Arten«, die den Grundstein für seine Evolutionstheorie legte. Die nächsten Abschnitte handeln von den Glanzlichtern von Darwins Ideen. Zu seinen anderen Arbeiten zählen unter anderem »Die Abstammung des Menschen und die geschlechtliche Zuchtwahl« (1871) und »Der Ausdruck der Gemüthsbewegungen bei dem Menschen und den Thieren« (1872).



Der vollständige Titel seines Werks »Über die Entstehung der Arten« lautet übrigens »Über die Entstehung der Arten durch natürliche Zuchtwahl oder die Erhaltung der begünstigten Rassen im Kampfe um's Dasein«. Diese und andere Schriften Darwins können Sie in deutscher Übersetzung unter <http://darwin-online.org/uk/translations.html> nachlesen.



Darwin benutzte damals an keiner Stelle das Wort »Gen«, in seinen Büchern ist stattdessen von »Charactern« die Rede. Aber da seine Ideen auf »vererbbaaren Charactern« beruhen (das heißt solchen, die von den Eltern auf die Nachkommen übertragen werden), beschreibt dieser Begriff nichts anderes als Gene.

Natürliche Selektion

Eine der wichtigsten Ideen Darwins war die *natürliche Selektion*, ein Mechanismus, den er zur Erklärung der, wie er es bezeichnete, »Abstammung mit Modifikationen« vorschlug – Veränderungen in einem Organismus über die Folgegenerationen hinweg. (Heute würden wir es so ausdrücken, dass die natürliche Selektion erklärt, wie sich Genfrequenzen über Generationen ändern können.) Diese großartige Idee, die im Detail in Kapitel 5 erläutert wird, ist ebenso bemerkenswert simpel wie aufschlussreich – was auch erklärt, warum Darwins Theorie über die Zeit hinweg Bestand hatte.

Im Grunde erkannte Darwin, dass einige Merkmale von einer Generation zur nächsten weitergegeben werden, andere aber nicht. Er wollte verstehen, *wie* diese Abstammung mit Modifikationen funktioniert. Was war die treibende Kraft für diesen Vorgang? Er schlussfolgerte, dass der Prozess der natürlichen Selektion die treibende Kraft ist: nicht alle Individuen in einer Generation haben die gleiche Chance, zur nächsten Generation beizutragen, denn einige sind von der Selektion bevorzugt, während andere selektiv benachteiligt sind.

Darwin mutmaßte, dass die natürliche Selektion dem Prozess der künstlichen Selektion in der Tierzucht und der Landwirtschaft ähnelt:

- ✓ **Künstliche Selektion:** Bereits vor Darwins Zeiten kreuzten die Menschen selektiv Tiere und Pflanzen, zum Beispiel um Hühner zu züchten, die mehr Eier legten, Kühe, die mehr Milch gaben, Rosen, die intensiver dufteten und nicht so schnell welkten ... die Liste der Beispiele ist lang. Schon damals wussten Menschen intuitiv, wie sich der Evolution bei landwirtschaftlich bedeutsamen Pflanzen und Tieren ein wenig auf die Sprünge helfen lässt. Dabei entscheiden *wir Menschen*, welche Gene in der nächsten Generation möglichst wieder vorhanden sein sollen und züchten immer wieder nur mit den Kühen, die besonders viel Milch geben – alle anderen werden gegrillt. Als Resultat der Auswahl, die wir gezielt treffen, können wir innerhalb sehr kurzer Zeit die Eigenschaften der Tiere dramatisch verändern, mit denen wir Züchtung betreiben.
- ✓ **Natürliche Selektion:** Darwin erkannte, dass der Mensch durch künstliche Selektion in extrem kurzer Zeit enorme Veränderungen erzielen kann. Die natürliche Umwelt, die ja über eine sehr viel längere Zeitspanne wirkt, müsste folglich erheblich größere Unterschiede bewirken können. Darwin nannte diesen Prozess »natürliche Selektion«, da hier die natürliche Umwelt und nicht der Mensch die Zuchtauswahl vornimmt.



Bei der künstlichen Selektion bestimmen Landwirte und Züchter, welche Eigenschaften sie wünschen und in ihren landwirtschaftlichen Erzeugnissen und Nutztieren vermehren möchten. Bei der natürlichen Selektion ist das Prinzip der Selektion ähnlich, nur dass hier nicht der Mensch die Zuchtauswahl trifft, sondern die Natur oder die Umgebung, in der sich das Lebewesen befindet. Am Beispiel der Kuh lässt sich der Unterschied zwischen künstlicher und natürlicher Selektion gut erklären. Auf dem Bauernhof suchen sich die Bauern gezielt die Kuh aus, die die meiste Milch gibt; in der Natur wird die Kuh bevorzugt, die genug Milch produziert, um ihren Nachwuchs gut zu füttern und trotzdem noch alles andere tun kann, was eine Kuh für ihr eigenes Überleben nun einmal tun muss.

Ob ein bestimmtes Individuum von der natürlichen Selektion bevorzugt wird, hängt von den einzelnen vererbbaaren Merkmalen dieses Individuums ab. Einige vererbbaare Eigenschaften erhöhen die Wahrscheinlichkeit, dass ein Individuum mit diesen Eigenschaften zur nächsten Generation beitragen wird, andere reduzieren eher die Wahrscheinlichkeit. Das heißt, die Individuen der ersten Kategorie pflanzen sich häufiger fort als die der zweiten. Das ist es, was dazu führt, dass sich die eine Generation von der Folgegeneration unterscheidet, und die Folgegeneration wiederum von der nächsten, und so weiter und so fort.

Ein Beispiel: Stellen Sie sich eine Population von Löwen vor. Die Hälfte davon trägt das »Gazellen-fang«-Gen. Die andere Hälfte hat das »Ruh-dich-aus«-Gen. Aber die Serengeti ist kein Wellness-Park, und nur die Löwen mit dem »Gazellen-fang«-Gen werden genug Energie zu sich nehmen können, um Nachwuchs produzieren und erfolgreich aufziehen zu können. Wenn Sie nun nach ein paar Generationen wiederkommen und die Population analysieren, werden Sie feststellen, dass es kaum noch »Ruh-dich-aus«-Löwen gibt – das ist Evolution durch natürliche Selektion!

Survival of the fittest: Der Fitteste überlebt?

Darwin hat zwar das bekannte Schlagwort vom »Überleben des Fittesten« (beziehungsweise vom »Überleben des Stärksten«) nicht selbst geprägt, trotzdem wird der Spruch unweigerlich mit ihm in Verbindung gebracht. Die meisten Menschen nehmen irrtümlich an, hier sei gemeint, dass in der Natur immer nur der Starke überlebt und der Schwache stirbt. Aber für Darwin und andere Evolutionsbiologen ist das nur ein synonyme Ausdruck für *natürliche Selektion*. Anders ausgedrückt, die Organismen, die für das Überleben bevorzugte vererbbaare Eigenschaften haben, werden diese Gene mit größerem Erfolg in die Zukunft tragen.

Sie werden diese Redewendung nur an dieser einen Stelle im Buch finden, danach nie wieder. Warum?

- ✓ **Die Redewendung ist problematisch.** Sie erklärt nicht den Sachverhalt, den Darwin meinte und zu erklären versuchte (obwohl er das zweifellos glaubte, sonst hätte er diesen Ausdruck nicht verwendet). Er hätte stattdessen besser den Begriff »Überleben und unterschiedliche Reproduktion« benutzen sollen, das klingt aber nicht halb so griffig.
- ✓ **Sie ist sprachlich redundant.** Studenten am Anfang eines Studiums der Evolutionsbiologie monieren oft, »wenn Evolution schon das Überleben des Fittesten bedeutet, und nur der Fitteste überlebt, dann reitet hier doch ein weißer Schimmel?« – ja, damit mögen sie wohl recht haben.
- ✓ **Selbst Evolutionsbiologen vermeiden diese Redewendung.** Sie bevorzugen stattdessen den Begriff »natürliche Selektion«.

Die Bildung einer neuen Art

Darwin erkannte, dass sich Individuen in Bezug auf ihre Eigenschaften unterscheiden. Weil diese Unterschiede auch die Überlebens- und Reproduktionschancen beeinflussen, werden einige Merkmale mit größerer Wahrscheinlichkeit als andere in die nächste Generation weitergetragen. Er erkannte auch, dass sich die Frequenz von Merkmalen durch diesen Prozess über Generationen verändert. Nach vielen Generationen kann die Summe all dieser kleinen Veränderungen so groß sein, dass sich ein Organismus zu einer völlig neuen Art entwickelt hat.

Ein Beispiel: Stellen Sie sich vor, Sie haben zwei Populationen einer Tierart. Jede Population lebt in einem anderen Gebiet, sodass sich die beiden Populationen nur selten miteinander kreuzen können. Der *Selektionsdruck* – also die Kombination von Umweltfaktoren, die einen Einfluss auf das Überleben (beziehungsweise die Reproduktion) haben können – unterscheidet sich an diesen beiden Orten. In der einen Umgebung ist zum Beispiel ein langer Schnabel von Vorteil, in der anderen Umgebung ein kurzer Schnabel. Dazu kommen noch weitere umweltbedingte Unterschiede, zum Beispiel herrscht auf der einen Seite des Berges ein feuchtkaltes Klima, auf der anderen Seite ist es sehr trocken. In zwei so gegensätzlichen Lebensräumen gehen die Genfrequenzen der beiden Population in unterschiedliche Richtungen. Über einen langen Zeitraum hinweg können sich die Tiere dann nicht mehr miteinander kreuzen – sie haben sich zu zwei verschiedenen Arten entwickelt.

Heute können Wissenschaftler alle Stadien der Artbildung in der Natur beobachten. Sie finden zwei Arten, die sich erst kurze Zeit zuvor aus einer Art entwickelt haben, sie finden aber auch Populationen, die gerade dabei sind, sich in unterschiedliche Arten aufzuspalten. In einigen Fällen scheint es, als ob zwei Populationen kurz davor stehen verschiedene Arten zu bilden, sodass als letzter Schritt nur noch eine minimale Veränderung der Umweltbedingungen ausreicht, bevor die beiden sich in zwei Arten aufspalten werden. Weitere Informationen zur Artbildung finden Sie in Kapitel 8.



Sein Konzept der Artbildung sollte Darwin noch viel Ärger bereiten. Nach wie vor gilt diese Theorie als äußerst heißes Eisen, weil es heutige Lebewesen mit früheren Formen verknüpft. Das wird gut und gerne für Fische, Fichten und Nicht-Wirbeltiere akzeptiert, aber sobald der Mensch mit ins Spiel kommt – tja, großes Theater. Wenn Sie mehr erfahren wollen über den Konflikt zwischen der Evolutionsbiologie und den Gegnern dieser Wissenschaft, lesen Sie bitte Kapitel 22.

Wie natürliche Selektion und Fitness zusammenpassen

Der Prozess der Evolution durch natürliche Selektion wird durch Unterschiede in der *Fitness* vorangetrieben, also dem Erfolg, mit dem ein Organismus seine Gene (oder Merkmale) in die nächste Generation trägt. Kurz gesagt bedeutet Fitness, wie erfolgreich sich ein Lebewesen vermehrt. Fitnesssteigernde Gene eines Individuums werden mit größerer Wahrscheinlichkeit in die nächste Generation gebracht als Gene, die die Fitness verringern. Durch diesen Prozess können sich Genfrequenzen mit der Zeit ändern.



Im Kontext der Evolutionsbiologie hat *Fitness* nichts damit zu tun, wie viele Klimmzüge oder Liegestütze Sie im Fitnessstudio schaffen. Hier geht es um Fitness als Maß für den Reproduktionserfolg des Einzelnen – was nichts anderes bedeutet als die Anzahl an Kindern, die man bekommt. Wenn ein Individuum doppelt so viel Nachwuchs wie ein anderes Individuum produziert, ist es eben – sofern alle anderen Parameter gleich bleiben – doppelt so fit.

Adaptive Eigenschaften

Einige evolutionsbiologische Veränderungen sind *adaptiv*, was nichts anderes bedeutet als dass sich eine Eigenschaft durch die natürliche Selektion so verändert hat, dass sie für ihre Aufgabe besser geeignet ist. Ein Beispiel, um das Prinzip der *Adaptation* oder Anpassung besser verständlich zu machen: Gazellen werden von Geparden gejagt. Langsame Gazellen werden eher gefressen, schnelle Gazellen haben somit mit größerer Wahrscheinlichkeit Nachwuchs. In der nächsten Generation werden die Gazellen unter dem Strich schneller sein als in der Generation zuvor, einfach weil die Eigenschaft »schnell rennen« evolutionsbiologisch bevorzugt wurde. Schnell rennen zu können ist also eine adaptive Eigenschaft.



Mitunter ist es nicht einfach zu erkennen, ob ein bestimmtes Merkmal eine Adaptation darstellt oder nicht. Oft sehen Eigenschaften adaptiv aus, sind es aber nicht. Stellen Sie sich vor, sie haben eine Katze und beschließen, diese von nun an immer draußen zu füttern. Kurze Zeit später stellen Sie fest, dass die Vögel im Garten das ganze Katzenfutter vertilgen. Super, denken Sie vielleicht mit etwas Ahnung von Evolutionsbiologie, die Vögel haben jetzt mehr Energie zum Singen, für den Nestbau und für den Nachwuchs – das ist adaptives Verhalten. Eine Nahrungssuche im Futternapf der Katze *könnte* das Ergebnis natürlicher Selektion bei Vögeln sein, aber nur, wenn Sie dieses Verhalten auch in einer anderen Umgebung beobachten würden. Diese Vögel haben sich jedoch nicht evolutiv verändert, um Katzenfutter zu fressen – was Sie hier beobachten, ist ein rein opportunistisches Verhalten. Das Futter ist eben da, und die Katze ... naja, die haben Sie vermutlich gerade im Haus eingesperrt. Mehr zu adaptiven Eigenschaften finden Sie in Kapitel 5.

Die Evolutionsbiologie in post-darwinistischer Zeit

Darwin hatte nur eine vage Vorstellung von dem, was ein Gen ausmacht, und erst recht keine Ahnung von DNA. Trotzdem begriff er das Konzept der Evolution durch und durch. Heute wissen Evolutionsbiologen, dass der Prozess der natürlichen Selektion ziemlich genau so abläuft, wie Darwin es formulierte: Natürliche Selektion bedeutet Veränderungen in einer beliebigen Population im Laufe der Zeit, und »gute« Gene (also diejenigen, die einen Organismus fitter machen, das heißt diesen länger überleben lassen, sodass er mehr Nachwuchs produzieren kann) steigen in ihrer Frequenz über die Zeit an.

Mehr und mehr verstehen Wissenschaftler heute auch Aspekte der Evolutionstheorie, von denen Darwin damals noch keine Vorstellung haben konnte:

- ✓ **Viele DNA-Mutationen sind selektiv neutral.** Der DNA-Code enthält ein gewisses Maß an Redundanz, das heißt viele Veränderungen in der DNA führen weder zu mehr noch zu weniger Fitness. In diesem Fall ist die Zu- oder Abnahme der entsprechenden Gene in einer Population allein vom Zufall abhängig.
- ✓ **Der Zufall kann ein wichtiger Faktor sein, der zur Veränderung der Genfrequenz über die Zeit beiträgt.** Stellen Sie sich vor, in einem Wald besitzt die Hälfte der Rehe blaue Augen und die andere Hälfte hat braune (okay, es gibt keine blauäugigen Rehe, aber es ist ja auch nur ein Beispiel). Zufällig kippt eine Gruppe von Bäumen um und erschlägt einige der blauäugigen Tiere. Wenn sich sonst nichts verändert, wird es in der nächsten Generation einen größeren Anteil an braunäugigen Rehen geben als in der Generation zuvor. Hier war die Evolution am Werk, aber nicht durch natürliche Selektion. Mehr über die Rolle des Zufalls bei evolutionären Prozessen erfahren Sie in Kapitel 6.

Sie denken nun bestimmt, dass zwei oder drei Tiere weniger doch keinen großen Unterschied machen. In Fall einer großen Population hätten Sie mit Ihrem Einwand recht, aber in einer kleinen Population kann bereits ein einziges Tier die Genfrequenz in der Folgegeneration beeinflussen. In großen Populationen spielen zufällige Ereignisse oft keine große Rolle, während diese in kleinen Populationen große Auswirkungen haben können.

- ✓ **Nicht alle Eigenschaften eines Lebewesens sind mit höherer Fitness korreliert.** Evolutionsbiologen wissen heute, dass nicht immer evolutionäre Veränderungen das Resultat einer natürlichen Selektion sind. Mitunter spielt der Zufall eine Rolle, manchmal ist es aber auch nur so, dass »schlechte« Gene im Gefolge der »guten« Gene, die eine höhere Fitness bedeuten, bei der Vererbung mehr oder weniger zwangsläufig »mitreisen«.
- ✓ **Die Umwelt beeinflusst die Fitness.** Populationen sind an unterschiedlichen Standorten auch unterschiedlichen Selektionskräften ausgesetzt. Ein Gen für langes Überleben bei extremer Trockenheit kann sich zum Beispiel im Regenwald als unvorteilhaft erweisen. Die Interaktion von Genen und ihrer Umgebung bestimmt entscheidend mit, ob ein bestimmtes Gen die Fitness erhöht oder nicht.

Die *Sichelzellenanämie* ist ein klassisches Beispiel dafür, wie die Umwelt beeinflussen kann, ob ein bestimmtes Gen die Fitness erhöht oder erniedrigt. Das Gen für Sichelzellenanämie führt zur Bildung eines leicht veränderten Hämoglobins mit reduzierter Sauerstoffbindung. Diese Mutation hat extreme gesundheitliche Auswirkungen, wenn ein Mensch zwei Kopien des Sichelzellen-Gens trägt, also eine vom Vater und eine von der Mutter. Selbst eine einzige Kopie des Sichelzellen-Gens resultiert bereits in einer erheblichen Gesundheitsbeeinträchtigung. Auf den ersten Blick scheint klar, dass dieses Gen die Fitness keinesfalls steigern kann. Trotzdem gibt es in einigen Gegenden Afrikas eine hohe Frequenz des Sichelzellen-Gens in der Bevölkerung – warum nur? Als Wissenschaftler die Sichelzellenanämie von der evolutionsbiologischen Seite her analysierten, bekamen sie eine interessante Antwort: Mit nur einer Kopie dieses Gens sind die betreffenden Menschen vor Malaria geschützt. Und Malaria kommt genau in den Gegenden Afrikas vor, in denen das Sichelzellenanämie-Gen mit hoher Frequenz auftritt. Diese Mutation ist also schlecht, wenn man sich in Europa aufhält, aber bevor es Anti-Malariamittel gab, war es ein in bestimmten Gegenden Afrikas durchaus vorteilhaftes Gen.

Evolutionenbiologie und ihre Anwendung heute

Evolution ist an sich schon ein interessantes Thema, jedenfalls für mich – sonst hätte ich wohl kaum viele Jahre lang diese Fach studiert, gelehrt und Bücher über Evolution geschrieben. Aber Evolution ist noch aus einem anderen Grund wichtig, der über Seminare an der Uni oder akademische Vorträge weit hinaus geht. Wenn wir die Evolution verstehen, sehen wir auch viele andere Dinge in der Natur mit ganz anderen Augen. Der nächste Abschnitt gibt einen kleinen Einblick, wie Wissenschaftler bestimmte Aspekte der Evolutionenbiologie in der Praxis anwenden. Und überall in diesem Buch werden Sie weitere Beispiele finden, warum die Evolution so wichtig ist.

Evolution und Naturschutz

Eine fundierte Kenntnis der Evolution unterstützt Naturschützer in ihren Bemühungen, gefährdete Arten zu bewahren. Wenn Ressourcen – wie leider so oft – limitiert sind, müssen Wissenschaftler entscheiden, welche Gebiete und welche Populationen von Arten als *besonders schützenswert* einzuordnen sind. Mit Blick auf evolutionenbiologische Vorgänge fällt die Entscheidung oft leichter, wie sich die begrenzten Ressourcen besonders effektiv einsetzen lassen.

Viele Menschen scheinen beispielsweise zu glauben, dass der Schlüssel zu einem erfolgreichen Schutz bedrohter Arten in der Rettung einer besonders großen Anzahl an Individuen liegt. Vor dem Hintergrund der Evolutionenbiologie und dem Variationsmuster in natürlichen Populationen wird schnell deutlich, dass ungeachtet der Anzahl an Individuen allein die Konservierung der *genetischen Vielfalt* zum Erfolg führen kann. Wenn zwei Populationen genetische Unterschiede aufweisen, macht nur ein Artenschutz-Management Sinn, das diese Diversität erhält, und zwar aus zwei Gründen:

- ✓ Die Diversität selbst ist eine der charakteristischen Eigenschaften der zu schützenden Art.
- ✓ Nur die natürlicherweise existierende Variation ermöglicht langfristig das Überleben einer Art, wenn sich die Umwelt in der Zukunft ändern sollte.

Die Evolution – speziell die Evolution durch zufällige Ereignisse – lehrt uns außerdem, dass wir eingreifen müssen, bevor eine gefährdete Population eine kritische Größe unterschreitet. Wenn Wissenschaftler die Vielfalt sehr kleiner Populationen schützen wollen (der klassische Fall einer vom Aussterben bedrohten Art), besteht immer die Gefahr, dass zufällige Ereignisse genau diese Vielfalt gefährden. In größeren Populationen sind solche Ereignisse unproblematisch, aber in kleinen können sie enorme Auswirkungen haben (mehr dazu in Kapitel 6).

Evolution und Landwirtschaft

Menschen züchten bereits seit Tausenden von Jahren Pflanzen und Haustiere, doch erst mit dem Verständnis für evolutionenbiologische Prozesse lässt sich die Züchtung mit wissenschaftlichen Mitteln angehen. Einige der größten Erfolge landwirtschaftlicher Züchtung dank unseres neuen Wissens über Evolution sind:

- ✓ **Fortschritte in der Züchtung:** Mit der Kenntnis evolutionenbiologischer Vorgänge eröffneten sich völlig neuartige Züchtungsstrategien. In Kapitel 11 ist eine Züchtungsstrategie erklärt, die erfolgreich zu Hühnern führte, die mehr Eier legen. Diese Tiere kommen ge-

netisch bedingt besser als ihre Artgenossen im Hühnerstall zurecht – einer alles andere als natürlichen Umgebung. Gerade dieser Punkt war in der Vergangenheit ein ernsthaftes Problem bei der Züchtung von Hochleistungshühnern.

- ✓ **Kulturpflanzen und Varianten:** Nur durch die genetische Vielfalt ist eine Population in der Lage, auf Veränderungen der Umwelt entsprechend zu reagieren. Ohne diese Variationen genügt ein kleiner Wechsel der Umweltbedingungen, und die Population stirbt aus. Wenn Sie auf einer riesigen Fläche genetisch ähnliche Pflanzen ausbringen, kann der gesamte Anbau auf einen Schlag ruiniert werden. Dazu ein Stichwort – die irische Hungerkatastrophe. Ganz Irland kultivierte Mitte des 19. Jahrhunderts nur eine Sorte genetisch identischer Kartoffeln, die durch einen einzigen Erreger mehr oder weniger vollständig vernichtet wurden – mit verheerenden Folgen für die hungernde Bevölkerung.
- ✓ **Geschichte der Kulturpflanzen:** Die Evolutionsbiologie ermöglicht Wissenschaftlern interessante Einblicke in die Geschichte der Getreidepflanzen. Mais wurde beispielsweise bereits von den amerikanischen Ureinwohnern domestiziert, doch Wissenschaftler hatten lange Zeit keine Vorstellung von der Urform dieser Kulturpflanze. Detaillierte Analysen der evolutionsbiologischen Verwandtschaftsverhältnisse der Pflanzen zeigten später, aus welcher Wildform der heutige Mais gezüchtet wurde. Mit der Kenntnis der Ausgangspflanze waren Wissenschaftler nun in der Lage, die unterschiedlichen genetischen Anpassungen an Insekten und mikrobielle Krankheitserreger nachzuweisen, was uns heute bei der Entwicklung neuer, noch ertragreicherer Kulturpflanzen hilft.

Evolution und Medizin

Die Evolutionsbiologie beeinflusst die Medizin auf dreierlei Art und Weise:

- ✓ um herauszufinden, was früher passiert ist,
- ✓ um zu verstehen, welche Prozesse heute ablaufen und
- ✓ um vorherzusagen, was die Zukunft bringen wird.

Nur mit Blick auf alle drei Aspekte lassen sich Strategien zur Prävention und Behandlung von Krankheiten und großen wie kleinen Gesundheitsproblemen wissenschaftlich untermauern.

Ein Gebiet mit besonderer medizinischer Bedeutung betrifft die Evolution von Mikroorganismen – Viren, Bakterien und andere kleine Infektionserreger, die in zunehmendem Maße Resistenzen gegen Medikamente entwickeln. Je besser Wissenschaftler verstehen, wie und warum Mikroorganismen evolvieren, desto eher können sie Gegenmaßnahmen ergreifen. Denken Sie nur einmal an das Virus, das AIDS hervorruft. Die globale Verbreitung des humanen Immundefizienzvirus (HIV) konnten Wissenschaftler erst durch eine Rekonstruktion der Evolutionsgeschichte zurückzuverfolgen, und so ließ sich auch die Verwandtschaft des menschlichen Virus mit Immundefizienzviren anderer Tiere nachweisen. Durch diese Untersuchungen wurde auch klar, dass sich HIV erst durch den Übergang vom Tier zum Menschen zu einer für den Menschen so bedrohlichen Erkrankung entwickelte.

Das Wissen um die evolutionsbiologischen Hintergründe unterstützt auch die Behandlung einer Erkrankung. Die bei HIV-positiven Patienten äußerst erfolgreiche Kombinationstherapie mit drei Medikamentenarten ist das direkte Resultat der Erfahrungen, die Wissenschaftler

mit Antibiotika in Bakterien gewinnen konnten: Obwohl Mutationen im HI-Virus Resistenzen gegen bestimmte Medikamente erzeugen, kann ein Virus selten Resistenzen gegen alle drei Medikamente gleichzeitig entwickeln. Durch eine Analyse der Art und Weise, wie im HIV überhaupt Resistenzen entstehen, erhoffen sich die Wissenschaftler nicht nur verbesserte Medikamente, sondern auch Aufschluss darüber, wie ein Impfstoff gegen HIV beschaffen sein müsste.

Kapitel 17, 18 und 19 informieren Sie im Detail über die Rolle der Evolutionsbiologie im Kampf gegen Krankheiten.

Eine letzte Frage – wie steht es mit Ihrer eigenen Evolution?

Die Evolution ist kein Wettrennen mit irgendeiner ultimativen Ziellinie, die es zu erreichen gilt. Keine Art ist besser evolviert als eine andere Art, denn alle sind Abkömmlinge eines gemeinsamen Vorfahren. Jede der verschiedenen Entwicklungslinien hatte genau die gleiche Zeit, sich aus diesem Vorfahren in *das* zu entwickeln, was heute auf der Erde existiert. Menschen sind vermutlich »besser« als eine Fichte im Hinblick auf das, was ein Mensch können sollte, aber dafür leisten wir vieles nicht, was eine Fichte kann – zum Beispiel aus Sonne, Luft und Wasser Zucker herzustellen. Das Leben ist ebenso vielfältig wie es unterschiedliche Umwelten gibt, die bestimmte Eigenschaften selektiv bevorzugen.

Das Leben ist auch keine Strickleiter, die es hochzuklettern gilt. Wir Menschen sind nicht »die ganz weit oben«, während sich die anderen kleinen Viecher noch mit der ersten Stufe abmühen müssen. Nicht immer bedeutet Evolution eine Entwicklung in eine möglichst *komplexe* Lebensform. Der Punkt klingt vielleicht unbedeutend, ist er aber nicht und geht leicht verloren, wenn Menschen Evolution als etwas ansehen, das wie im Cartoon »Vom Affen zum Menschen« (den kennen Sie vielleicht) direkt vom Affen über den Höhlenmenschen beim Investment-Banker endet. Zwar ist klar, dass sich der Höhlenmensch irgendwann (unter anderem) zum Investment-Banker fortentwickelt hat, aber Affen gibt es nach wie vor – und die sind nicht weniger evolviert als der Mensch.



Evolution *kann* zu mehr Komplexität führen, muss es aber nicht zwangsläufig. Seit der Entstehung der Erde und den ersten einzelligen Lebensformen schien es immer bergauf zu gehen, immer weiter in Richtung mehr Größe und mehr Komplexität. Doch die Evolution hat gleichzeitig auch kleinere, einfachere Lebensformen bevorzugt – das übersehen wir leicht. Parasiten haben zum Beispiel viele der ursprünglichen Eigenschaften verloren, weil sie für diese Zwecke sehr effektiv ihre Wirte ausnutzen. Die Augen der höhlenbewohnenden Lebewesen sind ein anderes Beispiel. Wenn kein komplexes Auge gebraucht wird, können sich langfristig Mutationen anhäufen, die zu einer Rückentwicklung führen.

P.S.: Das bleibt jetzt unter uns... Manchmal denke ich schon im Stillen, ich bin höher entwickelt als ein Bakterium. Aber dann... dann fällt mir diese unglaubliche Diversität biochemischer Reaktionen ein, die ein ganz normales Bakterium in meinem Darm Tag für Tag mit links erledigt – und weiß, dass ich mit meiner stillen Ansicht kaum falscher liegen könnte.