

# Unverkäufliche Leseprobe

Alle Rechte vorbehalten. Die Verwendung von Text und Bildern, auch auszugsweise, ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlags urheberrechtswidrig und strafbar. Dies gilt insbesondere für die Vervielfältigung, Übersetzung oder die Verwendung in elektronischen Systemen.





ANDREAS WAGNER

# ARRIVAL OF THE FITTEST

Wie das Neue  
in die Welt kommt

Über das größte  
Rätsel der Evolution

Aus dem Englischen von  
Sebastian Vogel

S. FISCHER



Erschienen bei S. FISCHER

Die Originalausgabe erschien unter dem Titel »Arrival of the Fittest. Solving Evolution's Greatest Puzzle« im Verlag Current, a Member of Penguin Group, New York  
© 2014 by Andreas Wagner

This edition published by arrangement with Portfolio, a member of Penguin Group (USA) LLC, A Penguin Random House Company.

Für die deutschsprachige Ausgabe:  
© S. Fischer Verlag GmbH, Frankfurt am Main 2015

Satz: Pinkuin Satz und Datentechnik, Berlin  
Druck und Bindung: CPI books GmbH, Leck  
Printed in Germany  
ISBN 978-3-10-002427-5

# INHALT

Prolog	
Genug Welt, genug Zeit .....	7
 Kapitel 1	
Was Darwin noch nicht wusste .....	15
 Kapitel 2	
Der Ursprung der Neuerungen .....	57
 Kapitel 3	
Die universelle Bibliothek .....	102
 Kapitel 4	
Wohlgeformte Schönheiten .....	159
 Kapitel 5	
Befehl und Steuerung .....	200
 Kapitel 6	
Die verborgene Architektur .....	248

Kapitel 7	
Von der Natur zur Technik . . . . .	285
Epilog	
Platons Höhle . . . . .	315
Danksagung . . . . .	321
Anmerkungen . . . . .	323
Literatur . . . . .	374
Register . . . . .	400

## PROLOG

### Genug Welt, genug Zeit

Im Frühjahr 1904 hielt Ernest Rutherford einen Vortrag vor der ältesten wissenschaftlichen Gesellschaft der Welt: der Royal Society of London for Improving Natural Knowledge. Der zweiunddreißigjährige, in Neuseeland geborene Physiker, der damals an der McGill University in Kanada arbeitete, sprach über Radioaktivität und das Alter der Erde.

Zu jener Zeit hatten die Wissenschaftler sich längst von den biblischen Berichten abgewandt, in denen behauptet wurde, die Erde sei nur 6000 Jahre alt. Das weithin anerkannte Datum hatte ein anderer Physiker berechnet: William Thomson, besser bekannt als Lord Kelvin. Er hatte die Gleichungen der Thermodynamik und die Erkenntnisse über die Leitfähigkeit der Erde zugrunde gelegt und abgeschätzt, dass unser Planet ungefähr 20 Millionen Jahre alt ist.

In der Geologie ist das keine besonders lange Zeit, und aus seiner Schätzung ergaben sich weitreichende Folgerungen. Die geologischen Merkmale der Erde konnten in einem solchen Zeitraum nicht entstanden sein, wenn Prozesse wie Vulkanismus und Erosion immer mit der gleichen Geschwindigkeit abgelaufen waren wie heute.<sup>1</sup> Das wahre Opfer von Kelvins Schätzung jedoch war Charles Darwins Theorie der Evolution durch natürliche Selektion. Darwin selbst hatte ge-



schrieben, er sei »stark beunruhigt über die kurze Dauer der Welt nach Sir W. Thomson«. <sup>2</sup> Er wusste, dass die Lebewesen sich seit den letzten Eiszeiten kaum verändert hatten, und aus diesen geringfügigen Veränderungen hatte er den Schluss gezogen, dass ein wahrhaft gewaltiger Zeitraum verstrichen sein musste, damit alle Organismen, die heute leben oder als Fossilien erhalten geblieben sind, entstehen konnten. <sup>3</sup>

Rutherford jedoch hatte erst wenige Jahre zuvor das Phänomen der radioaktiven Halbwertszeit entdeckt und wusste, dass Kelvin um mindestens einige Zehnerpotenzen danebenlag. Später erinnerte er sich:

Ich kam in den halb dunklen Saal und machte sofort Lord Kelvin im Publikum aus. Da wurde mir klar, dass ich im letzten Teil meines Vortrages Schwierigkeiten bekommen würde, denn dort behandelte ich das Alter der Erde, und meine Ansichten standen im Widerspruch zu seinen ... Die Entdeckung der radioaktiven Elemente, die bei ihrem Zerfall ungeheure Energiemengen freisetzen, verschiebt die mögliche Grenze für die Dauer des Lebens auf unserem Planeten und *stellt die Zeit zur Verfügung, die von Geologen und Biologen für den Prozess der Evolution gefordert wird.* <sup>4</sup> (Hervorhebung hinzugefügt).

Das war es dann aber auch. Kelvin starb 1907. Rutherford erhielt 1908 den Nobelpreis, und schon in den 1930er Jahren hatte man mit seinen radiometrischen Methoden gezeigt, dass die Erde rund 4,5 Milliarden Jahre alt ist. Darwins Theorie war gerettet: Zufällige Mutationen und Selektion hatten jetzt die notwendige Zeit, um die ungeheure Komplexität und Vielfalt des Lebens zu schaffen.

Oder nicht?

Betrachten wir einmal den Wanderfalken *Falco peregrinus*, eines der großartigen Raubtiere in der Natur und ein Lebewesen von atemberaubender Vollkommenheit. Seine kraftvolle Muskulatur macht ihn in Verbindung mit einem äußerst leichten Skelett zum schnellsten Tier der Welt: Bei seinem charakteristischen Sturzflug kann er Geschwindigkeiten von über 300 Stundenkilometern erreichen. Und wenn der Falke seine Beute im Flug mit seinen rasiermesserscharfen Krallen ergreift, setzt er die gesamte Geschwindigkeit in eine ungeheure kinetische Energie um. Wenn der Stoß allein noch nicht tödlich wirkt, kann der Raubvogel die Wirbelsäule seiner Beute bequem mit seinem hakenförmigen Schnabel durchtrennen.<sup>5</sup>

Bevor *F. peregrinus* sich auf seinen tödlichen Sturzflug begibt, muss er seine Beute ausfindig machen. Sein Zielmechanismus besteht aus einem Augenpaar, das zu räumlichem Farbsehen in der Lage ist und ein fünfmal größeres Auflösungsvermögen besitzt als die Augen der Menschen; deshalb kann der Falke eine Taube noch aus einer Entfernung von mehr als eineinhalb Kilometern erkennen.<sup>6</sup> Wie viele andere Raubvögel hat der Falke in seinen Augen eine Nickhaut, ein drittes Augenlid, das ein wenig wie ein Scheibenwischer wirkt: Es entfernt bei der Hochgeschwindigkeitsjagd den Schmutz und hält das Auge gleichzeitig feucht. Außerdem enthalten die Augen eines Falken mehr Lichtrezeptoren – die Stäbchenzellen, die Bilder bei sehr schwachem Licht einfangen, und die Zapfen, die das Farbsehen ermöglichen.<sup>7</sup> Seine Lichtrezeptoren machen sogar langwelliges Ultraviolettlicht sichtbar.

Ein Wunder, allerdings. Noch staunenswerter ist aber

etwas anderes: Wir wissen, dass jede dieser hervorragenden Anpassungen die Summe unzähliger winziger Schritte ist, die durch die natürliche Selektion erhalten geblieben sind und jeweils eine Veränderung in einem einzigen Molekül widerspiegeln. Der tödliche Schnabel und die Krallen von *F. peregrinus* bestehen aus dem gleichen Baumaterial wie seine Federn, Proteinmolekülen namens Keratin, die in ihrer menschlichen Version auch unsere Haare und Fingernägel bilden.<sup>8</sup> Für das Farbsehen sind die außergewöhnlichen Augen auf Opsine angewiesen, Proteinmoleküle in den Stäbchen und Zapfen. Für ihre ungeheure Sehschärfe sind die Augenlinsen verantwortlich, und die bestehen aus durchsichtigen Proteinen, die man Crystalline nennt.<sup>9</sup>

In den Augenlinsen von Wirbeltieren tauchten Crystalline erstmals vor mehr als 500 Millionen Jahren auf, und die Opsine, die dem Falken eine so gute Sehfähigkeit verschaffen, sind etwa 700 Millionen Jahre alt.<sup>10</sup> Sie entstanden also rund dreieinhalb Milliarden Jahre, nachdem das Leben erstmals auf der Bildfläche erschien. Das hört sich nach einer wahrhaft ausreichend langen Zeit an, um solche molekularen Neuerungen zu erfinden. Aber jedes Molekül eines Opsin- oder Crystallinproteins ist eine Kette aus mehreren hundert Aminosäuren, eine ganz spezifische Folge von Molekülbausteinen, geschrieben im Alphabet aus 20 Aminosäure-Buchstaben. Angenommen, nur eine einzige solche Sequenz kann Licht wahrnehmen oder zur Ausbildung einer durchsichtigen, kameraähnlichen Linse beitragen: Wie viele verschiedene Proteinketten aus jeweils 100 Aminosäuren mussten durchsucht werden, bis sie gefunden war? Der erste Baustein in einer solchen Kette konnte jede der 20 Aminosäuren sein, und das Gleiche gilt für den zweiten. Da  $20 \times 20 = 400$  ist, sind 400 Verbindungen von

zwei Aminosäuren möglich. Nehmen wir die dritte Aminosäure hinzu, so gelangen wir zu  $20 \times 20 \times 20$  oder 8000 Möglichkeiten. Bei vier Aminosäuren sind es schon 160 000. Für ein Protein mit 100 Aminosäuren (Crystalline und Opsine sind noch viel länger) multiplizieren sich die Zahlen zu einer Eins mit mehr als 130 Nullen, das heißt, es gibt mehr als  $10^{130}$  Aminosäureketten. Um sich einen Eindruck von der Größenordnung dieser Zahl zu verschaffen, kann man daran denken, dass es sich bei den meisten Atomen im Universum um Wasserstoff handelt, und die Zahl der Wasserstoffatome haben Physiker auf  $10^{90}$  oder 1 000 geschätzt. Das ist »nur« eine 1 mit 90 Nullen. Die Zahl der möglichen Proteine ist also nicht nur astronomisch, sondern hyperastronomisch, nämlich viel größer als die Zahl der Wasserstoffatome im Universum.<sup>11</sup> Eine einzelne solche Sequenz zu finden ist nicht nur weniger wahrscheinlich als ein Sechser im Lotto, sondern es ist auch weniger wahrscheinlich, als in jedem Jahr seit dem Urknall einen Sechser zu haben.<sup>12</sup> Es ist sogar zahllose Milliarden Mal weniger wahrscheinlich. Wenn seit Anbeginn des Lebens in jeder Sekunde eine Billion Lebewesen eine Aminosäurekette ausprobiert hätten, wären sie heute erst bei einem winzigen Bruchteil der  $10^{130}$  Möglichkeiten angelangt. Die eine Opsinkette hätten sie nicht gefunden. Man kann Moleküle auf ungeheuer viele Arten anordnen. Und es stand nicht annähernd genug Zeit zur Verfügung.

Im 17. Jahrhundert klagte der Lyriker Andrew Marvell: »Hätten wir doch Welt genug, und Zeit«, um die »großen Wüsten der weiten Ewigkeit« zu vermeiden, die vor ihm lagen. Damit wollte er aber keinen Zugang zu den Geheimnissen der

Natur, sondern nur zum Schlafzimmer seiner Geliebten erlangen. Dennoch war er auf der richtigen Spur. Die allgemein verbreitete Weisheit besagt, dass die natürliche Selektion in Verbindung mit dem Zauberstab des zufälligen Wandels zu gegebener Zeit das Auge des Falken hervorbringt. Das ist die etablierte Sichtweise für die darwinistische Evolution: Ein winziger Bruchteil der kleinen, zufälligen erblichen Veränderungen verschafft den Lebewesen, die in der genetischen Lotterie gewonnen haben, einen Fortpflanzungsvorteil, und wenn solche Veränderungen sich im Laufe der Zeit summieren, bieten sie eine Erklärung für das Auge des Falken – und auch für alles andere, vom ganzen Falken bis zur gesamten Vielfalt des Lebendigen.

Die Kraft der natürlichen Selektion steht außer Zweifel, aber diese Kraft hat ihre Grenzen. Natürliche Selektion kann Neuerungen *bewahren*, aber nicht *erschaffen*. Und wenn wir uns auf den Wandel berufen, der Neuerungen nach dem Zufallsprinzip erzeugt, räumen wir damit eigentlich nur ein, dass wir nichts darüber wissen. Die vielen Innovationen der Natur – von denen manche geradezu gespenstisch vollkommen sind – schreien nach natürlichen Gesetzmäßigkeiten, die die Fähigkeit des Lebens, Neuerungen hervorzubringen – seine *Innovationsfähigkeit* –, verstärken.

Während der letzten 15 Jahre hatte ich das Glück, dass ich an der Aufklärung dieser Prinzipien mitwirken konnte – zuerst in den Vereinigten Staaten und später zusammen mit einer Gruppe höchst begabter Wissenschaftler in meinem Institut an der Universität Zürich. Mit experimentellen Methoden und einer Computertechnik, die Darwin oder Rutherford sich nie hätten träumen lassen, wollen wir nicht einzelne Neuerungen aufspüren, sondern den Ursprung *sämtlicher*

biologischer Innovationen finden. Aus unseren bisherigen Befunden können wir ablesen, dass hinter der Evolution viel mehr steckt, als es auf den ersten Blick den Anschein hat. Sie sagen uns, dass die Gesetzmäßigkeiten der Innovationsfähigkeit sogar noch jenseits des molekularen Aufbaus der DNA in einer geheimen Architektur des Lebendigen verborgen sind, die eine überirdische Schönheit hat.

Von diesen Gesetzmäßigkeiten handelt das vorliegende Buch.

## KAPITEL 1

### Was Darwin noch nicht wusste

Der erste Filmstar der Welt hieß Sallie Gardner. Ihr anmutiges Debüt im Jahr 1878 war auch der Beginn des Kinos, sie war damals allerdings erst sechs Jahre alt. Sallie war nämlich zufällig das Rassepferd, das der in England geborene Fotograf Eadweard Muybridge in vollem Galopp mit seinem Zoopraxioskop aufnahm, einer Reihe von 24 Kameras, die entlang ihres Laufweges aufgestellt waren. Damit wollte er eine drängende Frage beantworten, die zweifellos noch heute vielen Menschen schlaflose Nächte bereitet: Hebt ein galoppierendes Pferd irgendwann einmal alle vier Beine vom Boden? (Die Antwort lautet ja.) Sein grobkörniger, wackliger Stummfilm ist insgesamt ungefähr eine Sekunde lang und um Welten von der High-Definition-Digital-Surround-Filmkunst entfernt, die wir zu Beginn des 21. Jahrhunderts für eine Selbstverständlichkeit halten. Und doch trennt nur etwas mehr als ein Jahrhundert Muybridges fotografische Studie von modernen Spielfilmen, ein Zeitraum, nicht viel länger als der, seit Darwin seine *Entstehung der Arten* veröffentlichte –, das Werk erschien nur 19 Jahre vor Sallie Gardners Starauftritt.

In der gleichen Zeit wandelte sich die Biologie durch eine Revolution, die noch größer war als die des Kinos.<sup>1</sup> Diese Revolution hat uns eine Welt gezeigt, die für Darwin ebenso un-

zugänglich war wie der Weltraum für Höhlenmenschen. Und sie hat dazu beigetragen, die wichtigste Frage im Zusammenhang mit der Evolution zu beantworten, eine Frage, an die Darwin und die Wissenschaftlergenerationen nach ihm nicht rührten und nicht rühren konnten: Wie bringt die Natur das Neue, das Bessere, das Überlegene hervor? Wie wird das Leben zum Schöpfer?

Manch einer ist jetzt vielleicht verblüfft. Bestand Darwins große Leistung nicht gerade in der Erkenntnis, dass das Lebendige eine Evolution durchmacht, und konnte er nicht auch erklären, wie das geschieht? Ist das nicht sein Vermächtnis? Ja und nein. Darwins Theorie ist sicher die wichtigste intellektuelle Leistung seiner Zeit und vielleicht aller Zeiten. Aber das größte Rätsel der Evolution wurde auch durch sie nicht fassbar. Er konnte nicht einmal in die Nähe einer Lösung gelangen. Um zu erkennen, warum das so ist, müssen wir uns zunächst ansehen, was Darwin wusste und was er nicht wusste, was neu war an seiner Theorie und was nicht, und warum wir erst jetzt, mehr als ein Jahrhundert später, allmählich begreifen, wie die Welt des Lebendigen zum Schöpfer wird.

Erste gedankliche Ansätze, die von einer Evolution der Natur ausgingen, gab es schon lange vor Darwin. Vor nicht weniger als 25 Jahrhunderten glaubte der griechische Philosoph Anaximander – der vor allem als Urgroßvater des heliozentrischen Weltbildes bekannt ist –, dass Menschen sich aus Fischen entwickelt haben. Im 14. Jahrhundert war der islamische Historiker Ibn Khaldun überzeugt, dass das Leben allmählich von den Mineralien über die Pflanzen zu den Tieren voranschreitet. Viel später, im 19. Jahrhundert, leitete der französische Anatom Etienne Geoffroy Saint-Hilaire aus den Fossilien von Reptilien die Erkenntnis ab, dass diese Tiere sich



im Laufe der Zeit verändert hatten.<sup>2</sup> Im Jahr 1850, nur wenige Jahre, bevor 1859 Darwins *Entstehung der Arten* erschien, vertrat der Wiener Botaniker Franz Unger die Ansicht, dass alle Pflanzen von Algen abstammen.<sup>3</sup> Und der französische Zoologe Jean-Baptiste Lamarck postulierte, dass Evolution aus dem Gebrauch und Nichtgebrauch von Organen erwächst. Es scheint, als hätten einige der ältesten Denker sogar die Evolutionstheorie vorweggenommen, aber wenn man ein wenig tiefer gräbt, stößt man auf einige bizarre Fundstücke wie die Vorstellung von Anaximander, dass die ersten Menschen bis zur Pubertät *innerhalb* von Fischen lebten und dass ihre Wirtstiere danach platzten und sie freiließen. Ansichten, die der heutigen Naturwissenschaft völlig fremd erscheinen, blieben noch bis weit in Darwins Zeit hinein erhalten, darunter eine, die viele Wissenschaftler von den alten Griechen bis zu Lamarck teilten: Danach werden einfache Lebewesen spontan aus feuchtem Schlamm und anderer unbelebter Materie erschaffen.<sup>4</sup>

Auch die Evolutionstheorie hatte nicht nur ihre Befürworter, sondern bis in Darwins Zeit hinein ebenso lautstarke Gegner. Und nein, damit meine ich nicht Leute wie die heutigen Junge-Erde-Kreationisten mit ihrer Halbbildung und ihrem völligen Unwissen, die glauben, dass die Erde an einem Samstagabend im Oktober 4004 v. Chr. erschaffen wurde (und dass die Arche Noah mehr als eine Million Arten retten konnte, wobei Noah aber aus irgendeinem Grund die riesigen Dinosaurier vergaß, was man ihm vielleicht angesichts der Tatsache, dass er schon 600 Jahre alt war, nachsehen kann). Ich meine vielmehr die führenden wissenschaftlichen Köpfe jener Zeit. Einer von ihnen war der französische Geologe Georges Cuvier, der Begründer der Paläontologie – was wörtlich »Wis-

senschaft der uralten Lebewesen« bedeutet (man denke nur an die Dinosaurier).<sup>5</sup> Er entdeckte, dass Fossilien, die in älterem Gestein eingebettet sind, ganz anders aussehen als solche aus jüngeren Schichten, die eher den heutigen Lebensformen ähneln. Dennoch glaubte er, jede Spezies habe ihre eigenen, unveränderlichen Eigenschaften, und Schwankungen gebe es nur in oberflächlichen Merkmalen. Ein anderes Beispiel ist Carl von Linné, der nur ein Jahrhundert vor Darwin lebte. Er ist der Vater des Systems, mit dem wir noch heute die Vielfalt des Lebendigen einteilen, aber er glaubte bis ins hohe Alter nicht an die große Evolutionskette der Lebewesen.<sup>6</sup>

Der bekannteste Grund für solche Widerstände ist der christliche Glaube. Für Cuvier war die biologische Vielfalt kein Beleg für die Evolution, sondern ein Beweis für die große Begabung des Schöpfers. Tiefere Wurzeln hat jedoch ein anderer Grund. Er geht zurück bis auf den griechischen Philosophen Platon, der auf die abendländische Philosophie einen so großen Einfluss hatte, dass der Philosoph Alfred North Whitehead noch im 20. Jahrhundert die gesamte europäische Philosophie auf den Status »einer Reihe von Fußnoten zu Platon« degradierte.<sup>7</sup> Platons Philosophie stand zutiefst unter dem Einfluss der idealen, abstrakten Welt von Mathematik und Geometrie. Sie behauptet, die sichtbare, materielle Welt sei nur ein schwacher, flüchtiger Schatten einer höheren Realität, die aus abstrakten geometrischen Formen wie Dreiecken und Kreisen besteht. Für einen Platoniker haben Basketballbälle, Tennisbälle und Tischtennisbälle eine gemeinsame Essenz oder *Wesensform*, nämlich ihre Ballform. Real ist demnach diese – vollkommene, geometrische, abstrakte – *Wesensform*, nicht aber die greifbaren Bälle, die so flüchtig und austauschbar sind wie Schatten.