https://mail.gen-ethisches-netzwerk.de/node/1492

Gen-ethischer Informationsdienst

Evolution: Mehr als Gene und Zufall

Eva Jablonka und die vier Ebenen der Evolution

AutorIn
Florianne Koechlin

Evolution ist ein höchst komplexes Geschehen. Nicht nur die Gene, sondern auch epigenetische, kulturelle und symbolische Ebenen sind daran beteiligt.

Die Gene, der Zufall und die natürliche Selektion: Das sind die drei Hauptpfeiler heutiger Evolutionstheorien. Gemäß diesen Theorien werden die Gene größtenteils unverändert von einer Generation zur nächsten weitergegeben. Manchmal aber kommt es zu zufälligen Genveränderungen, den so genannten Mutationen. Das führt innerhalb einer Art zu Individuen mit unterschiedlichen Genen. Schließlich führt die natürliche Selektion dazu, dass sich die Individuen mit den besten Genen durchsetzen. So können sich Arten an neue Umweltbedingungen anpassen und manchmal entstehen sogar neue Arten. Evolution findet statt. Diese neodarwinistische Sicht der Evolution prägt das Denken in der Biologie seit 60 Jahren. Doch jetzt zeigen Evolutionsbiologen und -biologinnen, dass diese Sicht zu kurz greift. So warnen beispielsweise die beiden Wissenschaftlerinnen Eva Jablonka und Marion Lamb in ihrem Buch „Evolution in four dimensions“ davor, sich ausschließlich auf die Gene und den Zufall zu fokussieren. Das Evolutionsgeschehen sei viel komplexer. Eva Jablonka, die an der Universität von Tel Aviv Evolutionstheorie und Genetik lehrt, wehrt sich zwar dagegen, alles auf die Ebene von Genen und Zufall zu reduzieren. Eine Verfechterin des Intelligent Design sei sie aber „ganz und gar nicht“, wie sie am Telefon betont. Jablonka: „Wir versuchen in unserem Buch aufzuzeigen, dass die Evolution durch natürliche Selektion zur Konstruktion von Mechanismen geführt hat, die auf ganz verschiedenen Ebenen zu Veränderungen führen können, die weiter vererbt werden.“ Gene seien wichtig, doch Evolution finde auch auf der epigenetischen, der kulturellen und der symbolischen Ebene statt. „Nicht alles ist blinder Zufall.“ Jablonka geht von vier Ebenen der Evolution aus. Diese sind:

1. Ebene: genetische Evolution

Unsere Erbanlagen, also unsere Gene, sind zentraler Bestandteil des Vorgangs der Weitergabe von Informationen von einer Generation zur nächsten. Doch wie geht das vor sich? Gemäß der neodarwinistischen Theorie wird Evolution möglich, wenn eine Genvariante durch eine andere ersetzt und die bessere selektiert wird. Der wohl prominenteste Vertreter dieser Theorie ist Richard Dawkins, der mit seinem Buch „Das egoistische Gen” („The selfish gene”) bekannt wurde. Seine These etwas verkürzt: Man müsse die Perspektive eines Gens einnehmen und nicht diejenige eines Individuums, um die Evolution aller Eigenschaften verstehen zu können. Im ständigen Konkurrenzkampf setzten sich die jeweils besten Gene durch - so werde Evolution möglich. Der Körper sei bloß Träger und Gefäß der Gene. Eva Jablonka hält dem

entgegen, dass gerade nicht die Gene, sondern einzelne, besonders gut angepasste Individuen selektiert werden. Das ist ein großer Unterschied. Die meisten Eigenschaften oder Verhaltensweisen, die einem Individuum eine flexible Anpassung an geänderte Umweltbedingungen ermöglichen, beruhen auf vielen - oft hunderten - verschiedenen Genen, die wiederum in ständigem Austausch mit molekularen Netzwerken in Zellen und Organen sind. Eine dürreresistente Pflanze zum Beispiel, die in trockenen Gebieten besser überlebt, verdankt diese Eigenschaft nicht einem einzigen Gen. So kann sie eine dicke Wachsschicht um den Stängel und die Blätter ausgebildet haben, ein dichteres Wurzelwerk, kleinere Blätter, spezielle Wasserspeichervorrichtungen, kleinere Spaltöffnungen, die sich vor allem nachts öffnen und tagsüber geschlossen bleiben; kurz: Es sind hunderte, ja tausende verschiedene Gene daran beteiligt, dass die Pflanze in diesem trockenen Gebiet überlebt. Selektiert werden also einzelne Pflanzen - das sind ganze Gen-Netzwerke. Dazu kommt: Nicht alle Mutationen sind zufällig. Es gibt auch „halb-gerichtete“ Mutationen. Beispiele dafür sind die hot spots, die im Erbgut vieler Lebewesen vorkommen: In diesen Gen-Regionen finden bei Stress besonders viele Mutationen statt, weit mehr, als das Zufallsprinzip zuließe. Die Chance, dass einige dieser Mutationen dem Lebewesen einen Vorteil bringen könnten, ist groß. Das beweist noch nicht, dass diese Mutationen zielgerichtet sind, aber es zeigt, dass sie sicher nicht „blind“ sind. Sie werden durch ein internes Informationssystem angeregt und durch epigenetische Signale ausgelöst.

2. Ebene: epigenetische Evolution

„Epi“ heisst auf griechisch soviel wie „darüber“, Unter der Epigenetik versteht man ein System, das sich „über den Genen“ befindet. Es handelt sich um ein übergeordnetes Informationssystem, mit dessen Hilfe die Zelle die Aktivität ihrer Gene reguliert und kontrolliert. Epigenetische Signale instruieren die Gene darüber, was sie in welcher Situation machen müssen. Zur Verdeutlichung: Eine Leberzelle und eine Hautzelle sehen verschieden aus, sie verhalten sich anders und funktionieren anders. Und dies, obwohl sie beide die gleichen Gene enthalten. Mit wenigen Ausnahmen sind diese Unterschiede epigenetischen Ursprungs. Und wenn sich eine Leberzelle teilt, entstehen wiederum Leberzellen. Zellen geben also die epigenetische Information an ihre Nachkommen weiter. Neue Forschungen zeigen, dass auch Lebewesen solche Informationen an spätere Generationen weitervererben können - zum Beispiel dann, wenn das Erbgut von Samen- oder Eizellen epigenetisch beeinflusst wurde. Die Basler Molekularbiologin Barbara Hohn konnte zum Beispiel nachweisen, dass mit schädlichem UV-Licht bestrahlte Ackerschmalwandpflanzen in bestimmten Genregionen extrem viele genetische Veränderungen zeigten. Diese Veränderungen waren noch in der fünften Generation vorhanden, obwohl keine der nachfolgenden Generationen mehr mit UV-Licht traktiert wurde. „Es war, als ob sich die Gene der letzten Generation an den durch UV-Bestrahlung verursachten Stress ihrer Ur-ur-ur-Großeltern erinnerten“, sagt Barbara Hohn. Der Umweltstress hat sich direkt auf die Gene ausgewirkt - die epigenetischen Veränderungen wurden weiter vererbt. Sogar in der Humangeschichte gibt es ein Beispiel für epigenetische Vererbung: Ende des zweiten Weltkrieges herrschte in den Niederlanden eine große Hungersnot. Untersuchungen zeigten nachträglich, dass Frauen, die während des „niederländischen Hungerwinters“ schwanger waren, kleine Töchter und Söhne zur Welt brachten. Die Töchter, obwohl sie unter normalen Umstanden aufwuchsen und nie an Hunger litten, gebaren wieder kleine Kinder - als hätten sich die Gene dieser kleinen Kinder an die extreme Hungerszeit ihrer Großmütter erinnert. Der Vorteil einer epigenetischen Vererbung sei wohl, sagt Eva Jablonka, dass sie eine viel schnellere Anpassung an die Umwelt ermöglichen, als dies auf genetischer Ebene möglich wäre. Warum aber werden solche Phänomene der epigenetischen Vererbung aus der Evolutionsdiskussion bisher ausgeblendet? Jablonka vermutet den Grund darin, dass die Forschenden nicht mit Lamarck in Verbindung gebracht werden wollen. Anfang des 19. Jahrhunderts hatte der französische Biologe Jean-Baptiste Lamarck behauptet, erworbene Eigenschaften könnten auf die Nachkommen weitervererbt werden. Das führe immer wieder zu neuen Arten. Sein Paradebeispiel: Ein Säugetier, das sich vorwiegend von Blättern hoher Bäume ernährte, musste seinen Hals immerzu strecken. Daraus entstand mit der Zeit eine Giraffe. Lamarcks Theorie war lange Zeit ein Paradebeispiel einer wissenschaftlichen Irrlehre. Auch heute gilt immer noch: Allein die Gene sind für die Vererbung maßgeblich. Und nur zufällige genetische Mutationen und die nachfolgende natürliche Selektion können zu neuen Arten und zu Evolution führen. Doch wie die vielen Beispiele epigenetischer Vererbung zeigen, können sich Umwelteinflüsse manchmal auch im Erbmaterial der

nachfolgenden Generationen niederschlagen. Lamarcks These scheint sich zumindest teilweise zu bestätigen.

3. Ebene: Kulturelle Evolution

Säuger und Vögel lernen aus persönlichen Erfahrungen, von ihren Eltern und voneinander. Doch wie wichtig ist dies für die Evolution? In ihrem Buch „Evolution in four dimensions" führen die beiden Forscherinnen aus, dass auch Lernen ein Agent von evolutionärer Veränderung sein kann. Als kulturelle Evolution bezeichnen sie Veränderungen von Verhaltensmustern, Vorlieben oder gelernten Fähigkeiten über einen längeren Zeitraum hinweg, ohne dass dazu eine genetische Veränderung nötig ist. Ihr Beispiel: Junge Kaninchen, deren Mütter mit Wacholderbeeren gefüttert werden, „erben" eine Vorliebe für diese Beeren. Sie lernen im Uterus, und später durch die Muttermilch, dass Wacholderbeeren gut für sie sind. Und dies, obwohl sie nur drei Wochen lang und jeweils nur 5 Minuten pro Tag gesäugt werden. Die kurze Zeit reicht, um sie sozusagen auf den Geschmack von Wacholderbeeren zu bringen. Die Forschergruppe, sagt Eva Jablonka, habe nur Wacholderbeeren untersucht, aber es sei anzunehmen, dass die jungen Kaninchen die ganze Palette der mütterlichen Nahrung bereits in Uterus und Muttermilch kennen lernen. Auf sich selber gestellt, seien sie mit diesem Wissen gut ausgerüstet und müssten nicht jede Pflanze neu auf ihre Tauglichkeit hin testen. Auch bei Menschen habe man nachweisen können, dass Kinder, deren Mütter während der Schwangerschaft und Stillzeit viel Karottensaft tranken, ebenfalls eine grosse Vorliebe für Karotten entwickelten. Es liege viel evolutionäre Logik in der Existenz solcher Kanäle, durch welche Informationen zur Nahrungsselektion transferiert werden können, sagt Eva Jablonka. Jablonka kennt weitere Beispiele: In Israel entdeckte ein Forscherteam schwarze Ratten in einem Tannenwald. Nie zuvor lebten dort schwarze Ratten. Die Tiere hatten gelernt, Tannenzapfen effizient zu entkernen und die Kerne zu fressen. Dank diesem neuen und reichlich vorhandenen Nahrungsangebot konnten sie fortan in den Tannen leben. Sie entwickelten sich zu perfekten Baumkletterern, lernten, für ihre Jungen nestartige Gebilde zu bauen und diese in den Bäumen aufzuziehen. Die Ratten entwickelten einen ganz neuen life style, der weit über das Fressen von Tannenkernen hinausging. Die neuen Fähigkeiten wurden von Generation zu Generation weiter vererbt. Diesen Fitnessvorteil erlangten die Ratten aber ohne genetische Veränderungen. Die Veränderungen fanden einzig auf der kulturellen Ebene statt. Bei beiden Beispielen wird deutlich, dass die kulturelle Evolution nicht blind ist. Die Kaninchen erbten Informationen, die ihre Mütter erworben und ausprobiert hatten. Und bei den Ratten hat wohl ein neugieriges Individuum durch Versuch und Irrtum herausgefunden, dass Tannenkerne essbar sind. Es gab diese Information an andere Gruppenmitglieder weiter. Es bildete sich eine Tradition. Was gelernt und was weiter gegeben wird, hängt also von einzelnen Individuen ab und nicht vom Zufall. Ob und wann sich solche veränderten Lebensgewohnheiten auch in den Genen niederschlagen, ist schwer zu eruieren. Doch es gibt zumindest ein berühmtes Beispiel dafür, wie sich eine kulturelle Evolution nachträglich im Erbgut manifestierte: die Laktose-Intoleranz bei Menschen. Der Milchzucker Laktose ist ein Zweifachzucker, der im Darm durch das Enzym Laktase aufgespalten, resorbiert und verdaut wird. Fehlt dieses Enzym, kann der Milchzucker Laktose nicht verdaut werden, was zu Bauchbeschwerden führt. Bei allen Säugern - auch bei den meisten Menschen - nimmt die Produktion des Enzyms nach dem Säugen ab; sie können als Erwachsene Milch nur noch schlecht verdauen. Bei Hirtenvölkern bildete sich nun eine Variante des Laktase-Gens aus, die aktiv bleibt; Menschen mit dieser Variante haben auch im Alter keine Schwierigkeiten mit Milchprodukten. Interessant ist, dass diese Genvariante evolutionsgeschichtlich der Domestizierung von Milchvieh folgte. Man findet sie vor allem in ehemaligen Hirtenvölkern: In Europa, einigen Hirtenvölkern in Afrika, der Mittelmeerregion und dem mittleren Osten können die meisten Menschen ohne Beschwerden Milch trinken. Doch weltweit besitzt die grosse Mehrheit aller Menschen diese Genvariante nicht.

4. Ebene: die symbolische Evolution

Menschen haben ein viertes System, die symbolische Evolution. Die auf Symbolen basierende Vererbung, vor allem unsere Sprache, spielt in unserer Evolution eine gewichtige Rolle. Unsere Fähigkeit, mit Worten und anderen Symbolen zu kommunizieren gibt uns eine große Freiheit, uns von Kontext zu Kontext zu

bewegen. Traditionen, die wir lernen und weitergeben, erwerben wir nicht nur durch die Muttermilch, Nachahmung oder Spiel, sondern auch durch unsere Fähigkeit zur Sprache und Kultur. Diese Kommunikationfähigkeit entwickelt sich im Laufe der Evolution auf der symbolischen Ebene. Symbole sind kontextabhängig und stehen zueinander in Beziehungen. Sie können übersetzt und geändert werden. Eine bestimmte Botschaft kann mit einem Computercode, dem Alphabeth, mit Morse, als Tanz oder Zeichnung vermittelt werden. Ein Beispiel: Zu Zeiten des antiken Roms bedurfte es eines Spezialisten, um die Division MMMDCCXII : CXVI durchzuführen. Heute kann eine Zehnjährige in einigen Minuten - dank arabischer Zahlen und dank der Null - ausrechnen: 3712 : 116 = 32. Wenn wir nichts über die kulturelle Veränderung des Zahlensystems wüssten und nur nach der Fähigkeit des Rechnens urteilten, könnten wir die Schlussfolgerung ziehen, dass sich in unsern Genen in den letzten 2000 Jahren eine grosse Mutation für mathematische Fähigkeiten ereignet hat, die sich dank natürlicher Selektion in der Bevölkerung durchsetzte. Eine solche Veränderung ist natürlich unmöglich.

Radikaler Bruch mit bisherigen Evolutionstheorien

Der Punkt sei, ergänzt Eva Jablonka, dass die Geschwindigkeit, mit der die neuen Verhaltens-Praktiken erworben werden, durch die kulturelle und symbolische Evolution stark beschleunigt werden könne. Wie wir lernen und Dinge tun, wird im Wesentlichen durch diese zwei Ebenen strukturiert. Jablonka weist darauf hin, dass für uns die kulturelle und symbolische Evolution am schwierigsten war, weil sie den Evolutionslehren im klassischen Sinn am wenigsten gleicht. Doch auch diese beiden Vererbungssysteme ermöglichten eine grosse Vielfalt und Variation, auf der die natürliche Selektion agieren könne. Und auch hier gebe es eine Kontinuität, die sich als Baum oder als Netz von Beziehungen denken lasse. „Wie bei der ‚genetischen' Evolution gibt es Prozesse, die das Ganze stabilisieren, und es gibt Prozesse, die selektiv wirken. Doch hier geht es längst nicht immer nur darum, dass der ‚Fitteste' obsiegt. Das Bild ist sehr viel komplexer geworden", sagt Jablonka. Einige Kritiker ihres Buches finden die vier Ebenen zwar schön und recht, weisen aber darauf hin, dass letztlich jede evolutionäre Veränderung auf die genetische Ebene zurückführt. Die anderen Ebenen mögen zwar Anpassungsprozesse beschleunigen, doch am Schluss komme es einzig auf die Gene an. Jablonke erachtet es hingegen als „viel zu simpel", alles auf die Gene einzuengen. Alle vier Ebenen, so Jablonka, hängen auf lange Sicht eng voneinander ab. „Sie interagieren miteinander, bilden ein komplexes Netz. Da gibt es manchmal keinen eindeutigen Anfang." Bei Einzellern, Pflanzen und niederen Tieren basiere die Evolution auf Informationen, die durch genetische und epigenetische Systeme übermittelt worden seien. Bei Tieren komme die Weitergabe durch Verhalten dazu. Ihre Fähigkeit, adaptive Informationen zu generieren und sie an nachfolgende Generationen weiterzugeben, erweitere sich dadurch beträchtlich. Und: Mit der Entstehung der symbolischen Systeme sei der Spielraum nochmals viel größer geworden. Jablonka betont immer wieder die „gerichtete" und „nicht-zufällige" Veränderung in der Evolution, was einem radikalen Bruch mit den bisherigen Evolutionstheorien gleichkommt. Die klassische Theorie geht davon aus, dass Evolution keinen Plan hat, dass sie „blind" ist. Jablonka verweist in diesem Zusammenhang auf den Unterschied zwischen der Entwicklung eines Lebewesens und der Evolution einer ganzen Art über einen großen Zeitraum hinweg. So würden alle akzeptieren, dass bei der Entwicklung von der Eizelle bis zum erwachsenen Individuum der Zufall keine große Rolle spielt. Die meisten Veränderungen sind gerichtet. Sie werden von epigenetischen Signalen gesteuert. Nur manchmal gibt es zufällige Veränderungen, zum Beispiel bei der Entwicklung des Immunsystems. Bei der Evolution hingegen ist es genau umgekehrt: Man ging bisher davon aus, dass die meisten Veränderungen zufällig sind. Jablonka ist aber überzeugt, dass es hier ebenfalls Mechanismen gibt, die „halbgerichtet" und nicht zufällig sind. Jablonka: „Das ist doch eigentlich logisch. Entwicklung und Evolution gehören eng zusammen. Was uns die Entwicklung eines Lebewesens lehrt, ist, wie wir über Netzwerke als Einheit evolutionärer Variation denken sollten. Denn was evoluiert, ist nicht ein einzelnes Gen, sondern ein Entwicklungssystem, das eingebettet ist in ein noch breiteres Netz einer fluktuierenden Umwelt.

Literatur: Eva Jablonka und Marion Lamb: „Evolution in Four Dimensions.Genetic, Epigenetic, Behavioral, and Symbolic Variation in the History of Life", MIT Press, Cambridge 2005.

Informationen zur Veröffentlichung

Erschienen in:
GID Ausgabe 195 vom September 2009
Seite 28 - 31