

Replikation	113
Dogma der Molekularbiologie	114
Interdisziplinarität	115
Irrtümer	116

ANHANG

Glossar	119
Personenregister	125
Literaturhinweise	126

GRUNDRISS

EIN HÜBSCHES WORT

Wer die Geschichte des Gens schreiben will, sollte gleich zu Beginn genau angeben, welche Geschichte er damit meint. Das Gen in den Zellen trägt die Geschichte mit sich herum, die wir als Evolution kennen und die zuletzt auch uns hervorgebracht hat. Das Gen als Konzept der Wissenschaften unterliegt der Geschichte, in deren Verlauf die moderne und sich vornehmlich molekular orientierende Wissenschaft vom Leben entstanden ist. Der mit ihrer Hilfe gelingende Blick auf die Gene hat noch nicht die Grenze seiner Auflösung erreicht und entdeckt immer neue Möglichkeiten des Einteilens und Eingreifens.

Thema dieses Buches sind vor allem die historisch sich wandelnden Einsichten in die Faktoren der Vererbung und die dabei zustande kommenden Ansichten über die Erbelemente. Sie sind zwar zum ersten Mal im 19. Jahrhundert in den Blick der Naturwissenschaft gekommen – in dem berühmten Kloostergarten in Brünn, in dem **Gregor Mendel** (1822–1884) Erbsen gekreuzt und ihre sichtbaren Eigenschaften statistisch ausgewertet hat –, den heute so populären Namen »Gene« haben sie aber erst zu Beginn des 20. Jahrhunderts bekommen.

Das ebenso beliebte wie hübsche kleine Wort geht auf den dänischen Botaniker Wilhelm Johannsen (1857–1927) zurück. Er orientierte sich am griechischen Begriff *genos* für Geschlecht und wollte mit seinem »Gen« die Objekte charakterisieren, mit denen sich die Wissenschaft von der Vererbung beschäftigen sollte, die bereits drei Jahre zuvor – nämlich 1906 – ihren bis heute verwendeten Namen »Genetik« bekommen hatte. Dieser Ausdruck war von dem Briten William Bateson (1861–1926) nach dem griechischen Vorbild *genetikos* – das Hervorgebrachte – gebildet worden, was an dieser Stelle

einen ersten Hinweis darauf erlaubt, wie wenig gradlinig es in der Wissenschaftsgeschichte oft zugeht. Es ist nämlich nicht so, dass Wissenschaftler erst Gene entdecken, dann eine dazugehörige Disziplin namens Genetik etablieren und anschließend nach Eigenschaften suchen, denen man das Attribut »genetisch« beimessen kann. Tatsächlich ist die Entwicklung genau umgekehrt verlaufen. Ohne an Gene zu denken, haben Menschen genetische Erscheinungen bemerkt und erkundet – etwa die Gestaltbildungen der Lebensformen, die das Auge erkennen kann und die sich unter der Bezeichnung Morphogenese erforschen lassen. Und schon am Ende des 18. Jahrhunderts ist »die Notwendigkeit der genetischen Methode für alle Naturwissenschaft« gefordert worden, nämlich von Johann Wolfgang von Goethe (1749–1832), der sich im Anschluss an seine Italienische Reise – ab 1795 – für die Metamorphose der Pflanzen interessierte und dabei Fragen nach einem universalen Bauplan formulierte, wie sie die moderne Vererbungs-forschung seit einigen Jahren wieder intensiv beschäftigt und wie am Ende des Grundrisses zur Sprache kommen wird.

»Genetisch« meint insofern mehr als »von Genen bedingt« zu sein, und das Attribut hat folglich eine andere Geschichte als das Substantiv »Gen«. Dabei ist nicht auszuschließen, dass beide Entwicklungslinien wieder aufeinander zulaufen, wenn wir ihnen von den genannten Anfängen bis zur Gegenwart folgen, in der eine moderne Molekulargenetik bekanntlich mit Hilfe der Gentechnik Erb-moleküle erst aus Gewebe herausfischen, dann im Reagenzglas zerlegen, anschließend neu zusammensetzen (**Rekombination**) und sie zuletzt erneut in Zellen einfügen kann, wo sie offenbar wieder ihre Funktion erfüllen. Diese Technologie, mit der seit einigen Jahrzehnten die politische Öffentlichkeit aus ihrem wissenschaftlichen Dornröschenschlaf geweckt wurde, sei bereits hier genannt, weil es mit ihrer Hilfe möglich wird, neben den beiden bereits erwähnten Geschichten des Gens noch eine dritte zu erzählen, die davon berichten

S. 108

könnte, wie ein Gen in einen Organismus und seine Zellen gekommen ist. Bislang sind Gene auf natürlichem Wege durch Vermehrungen und Zellteilungen an den Ort gelangt, an dem sie die moderne Forschung heute findet. In Zukunft werden sich mit technischer Hilfe neue Möglichkeiten öffnen, Gene zu platzieren. Längst finden sich Gene aus menschlichen Bauchspeicheldrüsenzellen in Bakterien und Gene aus Mäusen in Fliegen, um nur einige Beispiele zu nennen. Aus ihnen kann man vor allem lernen, dass es tatsächlich Sinn macht, von Genen allgemein zu sprechen, und es nicht immer nötig ist, den Organismus zu nennen, aus dessen Zellen sie stammen.

Erste exakte Erblchkeitslehren

Als Wilhelm Johannsen 1909 seine »Elemente der exakten Erblchkeitslehre« veröffentlichte, waren ihm die nach Gregor Mendel benannten Regeln der Vererbung (**Erbgesetze**) bestens vertraut. Sie lassen sich am leichtesten verstehen, wenn man sich vorstellt, dass es in den Zellen partikuläre Elemente – oder elementare Partikel – gibt, die sie verwirklichen. Der Ausdruck »Elemente« stammt noch von Mendel selbst, der diesen Gebilden eine »lebendige Wechselwirkung« zubilligte, in deren Verlauf die vielfältigen Unterschiede hervortreten, die individuelles Leben ausmachen. Johannsen wollte Mendels Entdeckung durch einen wissenschaftlich fundierten Namen auszeichnen, was konkret bedeutete, dass er ein griechisch klingendes Wort für die Elemente suchte, und so trat das »Gen« auf den Plan, wobei sein Schöpfer festhielt:

»Das Wort ›Gen‹ ist völlig frei von jeder Hypothese; es drückt nur die sichergestellte Tatsache aus, daß ... viele Eigenschaften des Organismus durch besondere, trennbare und somit selbständige ›Zustände‹, ›Grundlagen‹, ›Anlagen‹ – kurz, was wir eben Gene nennen wollen – bedingt sind.« Johannsen betonte ausdrücklich: »Zur Zeit ist keine Vorstellung über die Natur der ›Gene‹ genügend begründet.«

S. 96

Er bestand darauf, das Gen »nur als eine Art Rechnungseinheit zu verwenden«, und fügte hinzu, niemand habe »das Recht, das Gen als morphologisches Gebilde zu bezeichnen.«

Das derart postulierte Gen sollte die Grundlage für eine exakte Wissenschaft ergeben, wie der Titel seines Buches nahe legt – das Prädikat »exakt« war bis dahin nur der Physik und der Chemie vorbehalten. Diese beiden Disziplinen gingen nämlich mathematisch vor und operierten mit Zahlenwerten, die aus Messergebnissen stammten. Um ebenso »exakt« werden zu können, benötigte die Genetik ihre eigene »Rechnungseinheit« – eben das Gen –, das man sich unabhängig von den Grundgrößen vorstellte, mit denen etwa die Physik arbeitete. Johannsen und seine Mitstreiter träumten von einer eigenständigen exakten Erblchkeitslehre mit unabhängigen Maßsystemen, die konkurrenzfähig und gleichberechtigt neben Physik und Chemie gestellt werden konnte, ohne jemals in ihr aufzugehen. Anders ausgedrückt: Physiker und Chemiker hatten zunächst nichts auf dem Terrain der Genetik verloren.

So weit sich die Nachwelt inzwischen von den ursprünglichen Definitionen des Gens entfernt hat, so eng ist sie bei einer Gewohnheit geblieben, die ebenfalls Johannsen einführte: »Wenn wir an eine bestimmte Eigenschaft denken, welche durch ein bestimmtes ›Gen‹ bedingt ist, können wir am leichtesten ›Gen der Eigenschaft‹ sagen, statt umständlichere Phrasen wie ›das Gen, welches die Eigenschaft bedingt‹ zu benutzen.«

Die schlechte Gewohnheit, die aus dieser guten Absicht erwachsen ist, lässt sich leicht an der Inflation der Begriffskonstruktionen mit einem »für« in der Mitte ablesen – es gibt inzwischen nicht nur Gene für Augenfarben und Körpergröße, es gibt auch Gene für Untreue, für Neugierverhalten, für das Böse und die Lust auf Kartoffelchips. Es gibt – einigen Zeitungen zufolge – Gene für das Leben und das Sterben, und wer will, kann jeden Tag in den Medien neue Zusammenstellungen dieser Art finden, die meist ohne Sinn sind und

sich dem öffentlichen Verständnis dessen in den Weg stellen, was die Genetik über den Menschen sagen kann.

Johannsens heute allen geläufige Bezeichnung für eine Erbanlage greift auf den älteren Ausdruck »Pangen« zurück, der schon im 19. Jahrhundert zirkulierte und einen Gedanken Charles Darwins (1809–1882) aufnahm. Darwins Idee von der verbesserten Anpassung von Lebensformen (Arten) an ihre Umwelt konnte nur funktionieren, wenn die Eigenschaften der Organismen irgendwie von den Zellen abhängen, aus denen sie bestanden (eine Tatsache, die man in den ersten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts nachgewiesen hatte). Die an die Nachkommen zu übertragenden Qualitäten mussten irgendwie aus sämtlichen Regionen des Körpers in das Samenmaterial gelangen, und um auszudrücken, dass wirklich *alle* Teile des Organismus an der Hervorbringung beteiligt sind, sprach man von einer Pangenese. Für Darwin und seine Zeitgenossen war die Idee der Pangenese selbstverständlich, der zufolge die Zellen eines Organismus kleine Einheiten abgeben, die Darwin 1868 »Gemmulae« – lateinisch für »Keimchen« – nannte und »welche durch den Körper frei circulieren und welche, wenn sie mit gehöriger Nahrung versorgt werden, durch Theilung sich vervielfältigen und später zu Zellen entwickelt werden könnten, gleich denen, von welchen sie herühren.«

Die von Darwin postulierten Gemmulae gibt es nicht; dies ist heute ebenso bekannt wie die Tatsache, dass die Körperzellen nur wenig mit der Fortpflanzung zu tun haben. Sie gelingt den Organismen mit Hilfe so genannter Keimzellen, die wir auch als Ei- und Samenzelle kennen. Die Entdeckung, dass diese Keimzellen ihren besonderen Lebensweg haben, geht auf den Freiburger Biologen August Weismann (1843–1914) zurück, der sie in seinen berühmten »Vorträgen zur Deszendenztheorie« im Jahre 1904 zum ersten Mal öffentlich vorgestellt hat. Weismann entwickelte darin auch eine Theorie der Vererbung, die von einer »Vererbungs substanz« in den Keimzellen

ausging. Sie sollte sich aus einzelnen »Elementen« zusammensetzen, die als unsichtbare »Determinanten« für die sichtbaren Erscheinungen sorgten, etwa als Determinanten von Gliedmaßen.

So neu Weismanns Unterscheidung von Körper- und Keimzellen war, so alt blieb seine Idee einzelner wirksamer Elemente, die sich schon bei Mendel findet und so etwas wie das damalige Denken widerspiegelt. Sie findet sich in aller Klarheit bei dem holländischen Botaniker Hugo de Vries formuliert, der bereits 1889 in seinem Buch *Intracelluläre Pangenesis* erklärte, wie die Eigenschaften des Lebendigen seiner Ansicht nach zustande kommen, nämlich als »das Ergebnis unzähliger verschiedener Kombinationen und Permutationen von relativ wenigen Faktoren«. Damit lag de Vries zufolge die Aufgabe der künftigen Forschung fest. Denn »diese Faktoren sind Einheiten, welche die Wissenschaft zu erforschen hat. Wie die Physik und die Chemie auf die Moleküle und Atome zurückgehen, so haben die biologischen Wissenschaften zu diesen Einheiten durchzudringen, um aus ihren Verbindungen die Erscheinungen der lebenden Welt zu erklären.«

Als de Vries diese Sätze schrieb, kannte er die Arbeiten Mendels noch nicht, obwohl der Augustinermönch seine heute legendären »Versuche über Pflanzen-Hybriden« mehr als dreißig Jahre zuvor vorgestellt und publiziert hatte. Es sollte noch bis zur Jahrhundertwende dauern, bis die Zunft der Vererbungsforscher erneut entdeckte, was Mendel schon 1865 bemerkt hatte: Dass es quantifizierbare Regeln gibt, mit denen die Faktoren (die noch nicht Gene hießen und statt dessen Namen wie Biophoren, Pangene und Gemmulae hatten) von einer Generation zur nächsten weitergegeben werden. Es war dann tatsächlich das Jahr 1900, in dem gleich drei Wissenschaftler das zustande brachten, was gerne als die Wiederentdeckung der Mendel'schen Gesetze gefeiert wird. Die drei Herren heißen Hugo de Vries, Carl Correns und Erich Tschermak. Es war der Tübinger Botaniker Correns, der am besten verstand, was an den Vererbungs-

regeln entscheidend war, nämlich das zufällige Zustandekommen von Kombinationen aus Erbanlagen im Zellinneren. Von ihm stammt auch die verständnisvolle und eingängige Wortprägung einer »Anlage« oder »Erbanlage«, die später vom »Gen« verdrängt wurde.

Mehr als hundert Jahre nach der Wiederentdeckung der Mendel'schen Gesetze fällt es ziemlich leicht, von zufälligen Kombinationen zu reden, die Erbelemente (Gene) eingehen, wenn sie weitergegeben werden. Wir sind so sehr an statistische Gesetzmäßigkeiten gewöhnt, dass kaum noch vorzustellen ist, wie schwer es einmal gewesen sein muss, solche Zusammenhänge zu akzeptieren. Das Vorbild aller Wissenschaft war (und ist vielfach noch) die Newton'sche Physik, die Naturgesetze der deterministischen Art vorlegt, mit denen alles berechnet werden kann – etwa die Flugbahn der Rakete, die eine Mondfähre punktgenau auf dem Erdtrabanten absetzen soll. Wenn Gesetze dieser Art wirken, entsteht eine Sicherheit, wie sie selbst Darwin begeistert hat, der annahm, dass die »in so verwickelter Weise voneinander abhängigen Geschöpfe durch Gesetze erzeugt worden sind, die noch rings um uns wirken.« Diese Gesetze sorgen für eine natürliche Zuchtwahl, aus der »unmittelbar das Höchste hervorgeht, das wir uns vorstellen können: die Erzeugung immer höherer und vollkommener Wesen«. Allerdings ist heute klar, dass Darwins Gedanke der Evolution vor allem ein statistisches Gesetz ist, das nicht sagen kann, was die Wirkung der natürlichen Selektion in irgendeinem Einzelfall sein wird, wohl aber, dass sich Organismen, auf lange Sicht gesehen, ihren Lebensumständen anpassen werden und angepasst haben.

Mit Darwins Evolution tritt also in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts neben das deterministische eine neue Art von Naturgesetz, nämlich die statistische Art, auf die auch Mendel etwa zur gleichen Zeit stößt, wobei er noch auf eine weitere Komplikation trifft, nämlich die Beobachtung, dass Vererbung nicht kontinuierlich abläuft, sondern diskret (diskontinuierlich) vor sich geht. Dies wider-

sprach dem allgemeinen Vertrauen in Zell- und Lebensäfte, die auch im medizinischen Denken eine große Rolle spielten. Der feste Glaube, dass die Natur keine Sprünge macht und durchgängig fließend angelegt ist, behauptete lange das Feld. Er wurde durch Beobachtungen von Mischvererbung (*blending inheritance*) verteidigt – etwa wenn die roten und weißen Blüten der Elternpflanzen bei den Nachkommen rosa wurden – und ließ sich auch nicht erschüttern, als die vermischten Qualitäten eine Generation später wieder einzeln (separiert oder segregiert) auftraten.

Mendel hatte bei dem Schritt zum Unstetigen wohl deshalb keine Probleme, weil er Physik studiert hatte und mit atomistischen Konzepten vertraut war. Mendels Elemente – unsere heutigen Gene – können als Atome des Organischen verstanden werden, deren Wechselwirkungen das Leben und seine Qualitäten so hervorbringen, wie die Atome eines Gases die Eigenschaften dieser flüchtigen Stoffe bedingen. Mendel setzte seine Kenntnisse als Physiker weiterhin ein, als er von der Gewohnheit seiner Zeitgenossen abwich, die an *einer* Pflanze *viele* Eigenschaften studierten. Er tat das Gegenteil und studierte jeweils nur *eine* Eigenschaft – etwa die Stellung der Blüten, die Form der Hülse oder die Färbung der Samenschale – an *vielen* Exemplaren. So konnte er die statistischen Gesetzmäßigkeiten entdecken, die heute seinen Namen tragen. In Mendels Originalarbeit findet sich allerdings kein Hinweis auf Erbgesetze. Das Wort »vererben« kommt bei ihm so gut wie nicht vor, wodurch die Frage unvermeidlich wird, was **Mendel** wollte. Wir wissen, was er gefunden hat. Aber wonach er gesucht hat, ist schwieriger zu sagen.

Die Nachwelt lernte aus seiner Arbeit, dass die Vorstellung von kontinuierlicher Vererbung nicht zu halten und statt dessen nach den physikalisch-chemischen Gebilden in der Zelle zu fragen war, die als Träger der Erbanlagen in Frage kamen. Am deutlichsten hat dies der Engländer William Bateson formuliert, der 1902 in einer Art Verteidigungsschrift *Mendel's Principles of Heredity* gegen die Vertreter

der Kontinuitätsthese verteidigte. Bateson forderte auch, Mendels Einsicht ernst zu nehmen, dass es zwei Varianten der Erbfaktoren in jeder Zelle gibt. Bateson nannte das zweite Element nach dem griechischen Wort für »andere« (»allelen«) Allelomorph, was im heutigen Sprachgebrauch zu Allel verkürzt worden ist. Ein Gen gibt es in zwei allelen Formen, eine Zelle verfügt über zwei Allele, die meistens verschieden sind, aber auch gleich sein können. Im ersten Fall – so schlug erneut Bateson vor – sind die Zellen (und damit der aus ihnen bestehende Organismus) heterozygot, und im zweiten Fall sind sie homozygot. Die beiden Nachsilben sind natürlich ebenfalls eine griechische Neubildung. Das Wort »Zygote« führte Bateson für die befruchtete Eizelle ein, weil er sich vorstellte, sie sei wie eine Kutsche »zum Losfahren angespannt«, wie das Wort übersetzt werden kann.

Zwar hat Mendel selbst nur mit Erbsen experimentiert, und auch seine Wiederentdecker waren mit der Vererbung von Pflanzen beschäftigt, aber es gab auch Wissenschaftler – wie den britischen Arzt Archibald Garrod –, die sofort erkannten, dass die Erbgesetze auch bei Menschen gültig waren. Garrod hatte sich in den Jahren vor der Wende zum 20. Jahrhundert mit Erkrankungen des Stoffwechsels beschäftigt und bemerkt, dass sie in Familien von Generation zu Generation weitergegeben wurden. Nun glaubte er von den Gesetzen zu lesen, die dahinter steckten, und er interessierte sich sofort für die Elemente, die ihrerseits wiederum dahinter steckten. In ihnen – so vermutete Garrod – muss die wissenschaftliche Basis für das stecken, was er als »chemische Individualität« beziehungsweise als »organische Individualität« bemerkt und bezeichnet hatte: Menschen reagierten individuell verschieden, wenn es etwa um die Anfälligkeit für Infektionen oder um die Wirksamkeit von verfügbaren Medikamenten ging. Diese chemische Individualität müsse in den Genen stecken, und an die gelte es heranzukommen, und zwar weil es für die Medizin wichtig und für die Patienten nützlich sei. Was Garrod wollte, ist inzwischen gelungen, und zwar im Rahmen

des Humanen Genomprojektes, das aber erst über die zahlreichen Umwege erreicht wurde, die es noch zu beschreiben gilt. Mit dem Wort Genom bezeichnen die Molekularbiologen die Gesamtheit des genetischen Materials, das sie in einer Zelle antreffen. Sie hoffen, damit den Organismus charakterisieren zu können, der aus diesen Zellen besteht. Deshalb wird auch von einem Bakteriengenom, von einem Fliegen-genom oder vom Humangenom gesprochen. Das Fliegen-genom gehört an den Anfang der Geschichte, die vom Aufstieg der Genetik zu erzählen ist.

Die Leichtigkeit von Fliegen

Mendel hat mit Erbsen, de Vries mit der Nachtkerze, Johannsen mit Prinzess-Bohnen und die ersten amerikanischen Genetiker haben mit Mais experimentiert, um Wirkungsweise und Wanderungen der Erbelemente zu erkunden und ihr Wechselspiel mit Umweltfaktoren zu analysieren. Johannsen kam dabei als einer der ersten auf die Idee, dass es hier zu folgender Arbeitsteilung kommen könnte: Die Gene legen den Mittelwert einer Größe – etwa des Bohnengewichtes – fest, während die Umweltbedingungen für die Streuung der Einzelwerte zuständig sind, die sich beobachten und messen lassen. Sukzessive nahmen sich die Genetiker nach den pflanzlichen Organismen Schmetterlinge, Heuschrecken, verschiedene Insekten und schließlich auch Vögel vor. Die Arbeiten aus den ersten Jahren des 20. Jahrhunderts scheinen im Rückblick aber alle auf ein und dasselbe zuzulaufen: auf eine Chromosomentheorie der Vererbung. Dieser Begriff wurde zum ersten Mal 1910 gebraucht, und er drückte die Beobachtung aus, dass die Chromosomen sich mit den Zellen teilten und als Träger der Erbanlagen in Frage kamen.

Die Chromosomen waren durch verbesserte Färbemethoden und Fortschritte beim Bau von Mikroskopen gegen Ende des 19. Jahrhunderts immer besser sichtbar geworden. 1888 hatten sie ihren Namen

bekommen, und kurz danach war deutlich geworden, dass die Teilung einer Zelle erst die Verdopplung und dann die Trennung von Chromosomen voraussetzte. Jede Tochterzelle bekam die gleiche Anzahl von Chromosomen, die halbiert wurde, wenn als Folge einer so genannten Reifeteilung (Meiose) Samen und Ei für die Keimbahn bereitet wurden. Bei der Verschmelzung von Samen und Ei zur befruchteten Zygote paarten sich die Chromosomen, die vom Vater beziehungsweise von der Mutter kamen, wie die damals neue Wissenschaft der Zytologie berichten konnte. Es waren stets baugleiche Chromosomen, die zueinander fanden und daher als homolog bezeichnet wurden. Man nannte die Körperzellen mit den homologen Chromosomenpaaren diploid (doppelt), und die Keimbahnzellen mit nur dem halben Chromosomensatz haploid (einfach). Man entdeckte sehr viele Merkwürdigkeiten – die Biologie steckt im Gegensatz zur Physik voller Ausnahmen –, zum Beispiel Insektenarten, bei denen Weibchen und Männchen nicht die gleiche Anzahl von Chromosomen lieferten. Die Männchen verfügten über eine ungerade und die Weibchen über eine gerade Zahl, wodurch dann schon früh die Idee aufkam, dass Chromosomen sich nicht nur teilen, sondern auch etwas bestimmen können, nämlich das Geschlecht.

Die mikroskopisch sichtbaren Chromosomen waren somit als eine Art Erbpartikel erkannt worden, ohne allerdings mit den Genen identifizierbar zu sein, die nach wie vor unsichtbar im Zellinneren ruhen mussten. Es gab ja auch viel mehr vererbte Eigenschaften als Chromosomen, woraus zu schließen war, dass die Gene etwas anderes sein mussten als die Strukturen, die unter dem Mikroskop zu sehen waren. Die naheliegende Aufgabe, nach einer Verbindung von Genen und Chromosomen zu suchen, gingen viele Genetiker damals eher zögernd an, weil einige von ihnen überhaupt nichts von dem »Physikalismus« wissen wollten, den Mendels Erbelemente mit sich gebracht hatten. Diese eher als Schimpfwort verstandene Bezeichnung kam zusammen mit dem gleichbedeutenden Vorwurf des

hilfe einer ausreichenden Zahl von Koautoren bedient hat. Die Frage an dieser Stelle lautet für uns, ob wir in der Überfülle der Entdeckungen einen Grundzug des Gens ausmachen können, der unabhängig von den von der jeweils aktuellen Forschung immer neu ermittelten Tatbeständen gültig bleibt und Auskunft über das Leben gibt, das man verstehen will.

Unbedingt nötig ist in diesem Fall der Hinweis, dass »Gen« auf keinen Fall ein höchst präzise definierter Begriff ist, sondern dass unser Zauberwort seine wissenschaftliche Karriere eher dem Umstand verdankt, unscharf zu bleiben und vielfältig eingesetzt werden zu können. Viele Wissenschaften wollen und sollen Zugriff auf das Gen haben, das dabei nur als flexibles Konzept überleben kann. Wenn Molekularbiologen von Genen reden, meinen sie etwas anderes, als wenn Evolutionsforscher den Ausdruck benutzen. Im ersten Fall sind vornehmlich DNA-Stücke und deren Zusammensetzung gemeint, und im zweiten Fall hat man vor allem Zellstrukturen im Visier, die lange genug verbunden bleiben, um als Basis des großen Mechanismus zu dienen, der das Leben hervorgebracht hat und weiter entwickelt.

VERTIEFUNGEN

GREGOR MENDEL

Gregor Mendel (1822–1884) gehört zu den seltenen Exemplaren der Menschheit, deren Namen in Tätigkeitswörter umgewandelt worden sind. Tatsächlich definiert der Duden: »Mendeln« heißt, »nach den Vererbungsregeln Mendels in Erscheinung treten«, und wenn bei der Weitergabe durch die Generationen eine vererbte Eigenschaft verloren geht, sagt man, sie sei »ausgemendelt« worden. Im angelsächsischen Raum heißen die Erbkrankheiten *Mendelian diseases*, und so scheinen sich alle einig: Mendel hat die wissenschaftliche Erkundung der Vererbung begründet und erste Regeln für sie aufgestellt. Doch stimmt das?

Richtig ist, dass Mendel um 1865 in einem Klostergarten in Brünn mit Erbsen gearbeitet und verschiedene Kreuzungen an ihnen vorgenommen hat. Nicht richtig ist, dass er mit diesen »Versuchen über Pflanzen-Hybriden« Gesetze der Vererbung aufstellen will. Das Wort »vererben« kommt bei ihm nur am Rande vor, und zwar negativ: Das »Verschwinden der grünen Färbung vererbt sich nicht auf die Nachkommen«, so stellte Mendel nach einem Blick auf die Erbsen fest, mit denen er experimentiert hatte.

Trotzdem – die Regeln der Vererbung sind nach Mendel benannt, und sie lassen sich auch mit den Merkmalen nachvollziehen, die er untersucht hat – zum Beispiel Form und Farbe der Samen. Mendel kreuzte Erbsen mit gelben und grünen respektive runden und runzligen Samen und verfolgte diese Merkmale über mehrere Generationen. Dabei entdeckte er zum Einen, dass sich alle Mischungen einstellen können – es gibt runde gelbe, runde grüne, runzlige gelbe und runzlige grüne Samen. Er entdeckte zum Zweiten, dass sich Eigenschaften, die einmal zusammen gekommen sind, auch wieder tren-

nen können. Und während er die Ergebnisse der Kreuzungen zählt, bemerkt er, dass die Farben und Formen nicht gleichberechtigt sind. Einer dominanten Qualität steht eine rezessive gegenüber: Gelb zeigt sich häufiger als grün, und rund setzt sich eher durch als runzlig. Die genetischen Gesetze sind damit gefunden.

So steht es in den Lehrbüchern. Doch die Frage, was Mendel mit seinen Versuchen eigentlich im Sinn hatte, bleibt bis heute unklar. Auf einfache Weise beantwortet sie ein Artikel, der am 9. Februar 1865 im Brünner Tagblatt erscheint und von der Versammlung des Naturforschenden Vereins am Tag zuvor berichtet. Mendel hat bei dieser Gelegenheit einen Vortrag gehalten, und in der Zeitung steht, was er besonders betonte, nämlich seine Beobachtung, dass die durch künstliche Befruchtung hervorgebrachten »Pflanzenhybriden stets geneigt waren, zur Stammart zurückzukehren.« Mit anderen Worten, Mendel meint, dass Pflanzen sich bei allen Variationen selber treu bleiben und nicht entwickeln.

Mendels Arbeit ist leider unverständlich, und der Verdacht bleibt, dass er die Möglichkeit der Evolution anzweifeln wollte. Doch selbst wenn Mendel diese Absicht gehabt hätte – alle Biologen, die sich heute auf ihn berufen (ohne ihn im Original gelesen zu haben), verstehen ihn anders. Sie bewundern an seinen Experimenten, dass sie die im Inneren der Pflanzen verborgenen Mechanismen zugänglich machen, die zur Weitergabe von Merkmalen – also zu ihrer Vererbung – führen.

Der Grund, der uns dazu bringt, Mendel als Vater der Genetik zu feiern, steckt vermutlich darin, dass der Augustinermönch keine Ausbildung in Biologie, sondern in Physik erhalten hat. Der Abt des Klosters, in das Mendel 1843 als Novize eingetreten war, hatte ihn dazu ausersehen, Physiklehrer zu werden, und so schickte man ihn auf die Universität nach Wien. Hier lernt er zum Einen die Vorstellung vom atomaren Aufbau der (toten) Materie kennen, und er lernt zum Zweiten, wissenschaftlich zu experimentieren, was heißt, bei Versuchen

darauf zu achten, nicht mehrere Parameter auf einmal zu ändern. Offenbar hat Mendel unter Prüfungsangst gelitten, denn er fällt in der Lehrerprüfung gleich zweimal durch. Das Kloster gibt ihm daraufhin die Möglichkeit, seiner zweiten Leidenschaft neben der Wissenschaft zu frönen, der Gärtnerei. Und hier im Klostergarten fängt Mendel an, über Jahre hinweg von durchreisenden Händlern Pflanzensorten zu erwerben, bis er die reinen Sorten zusammen hat, die sich in genau einer Eigenschaft unterscheiden, wie es ihm als Physiker vorschwebte. Sie beginnt er zu kreuzen.

Was nun bei Mendels langjährigen botanischen Versuchen herausgekommen ist, lässt sich ganz einfach ausdrücken, wenn nicht von den Gesetzen der Vererbung geredet werden muss, die zwar ihren würdigen Auftritt im Biologieunterricht haben, die aber bei Mendel selbst nicht zu finden sind. Seine bedeutende Leistung besteht vor allem darin, den physikalischen Gedanken vom atomaren Aufbau der Materie in das Leben übertragen und die Hypothese aufgestellt zu haben, dass es im Inneren der Pflanzen konkrete »Elemente« gibt, die in »lebendiger Wechselwirkung« die Qualitäten hervorbringen, die wir außen wahrnehmen können. Mendels Versuche weisen zudem den Weg, wie man diese Erbelemente zählen kann. Modern ausgedrückt: Mendel hat entdeckt, dass Vererbung an partikuläre Strukturen und nicht an Flüssigkeiten – wie das Blut – gebunden ist.

Mendel hat also die Atome der Vererbung entdeckt, die wir heute Gene nennen. Aber er hat auch verstanden, was sich aus der Wissenschaft heraus nicht sagen lässt, nämlich welche Gene für welche Merkmale zuständig sind. Es lässt sich nur sagen, so Mendel, dass »die unterscheidenden Merkmale zweier Pflanzen zuletzt ... auf Differenzen in der Beschaffenheit der Elemente beruhen«. Das galt damals, und das gilt heute: Es gibt keine Gene, die Menschen festlegen; es gibt Unterschiede zwischen Genen, die Unterschiede zwischen Menschen festlegen.