

ERNST PETER FISCHER

# Treffen sich



# zwei Gene

Vom Wandel unseres Erbguts und  
der Natur des Lebens

Siedler

ERNST PETER FISCHER

**Treffen sich zwei Gene**



ERNST PETER FISCHER

# Treffen sich zwei Gene

*Vom Wandel unseres Erbguts  
und der Natur des Lebens*

Siedler

Der Verlag weist ausdrücklich darauf hin, dass im Text enthaltene externe Links vom Verlag nur bis zum Zeitpunkt der Buchveröffentlichung eingesehen werden konnten. Auf spätere Veränderungen hat der Verlag keinerlei Einfluss. Eine Haftung des Verlags ist daher ausgeschlossen.



Verlagsgruppe Random House FSC® N001967

Erste Auflage

März 2017

Copyright © 2017 by Siedler Verlag, München,

in der Verlagsgruppe Random House GmbH

Neumarkter Straße 28, 81673 München

Umschlaggestaltung: Rothfos + Gabler, Hamburg,

unter Verwendung eines Motivs von hvass & hannibal

Lektorat: Ursula Kiausch, Mannheim

Satz: Ditta Ahmadi, Berlin

Grafiken: Peter Palm, Berlin

Druck und Bindung: GGP Media GmbH, Pößneck

Printed in Germany

ISBN 978-3-8275-0075-5

[www.siedler-verlag.de](http://www.siedler-verlag.de)

# Inhalt

Vorwort	7
EINLEITUNG	
Abschied vom Determinismus der Gene	11
KAPITEL 1	
Der lange Weg zu langen Molekülen	29
KAPITEL 2	
Das dynamische Stückwerk im Wandel der Zeiten	73
KAPITEL 3	
Der König der Krankheiten und das große genetische Programm	103
KAPITEL 4	
Grundfragen des Lebens	147
KAPITEL 5	
Das Erbe der Umwelt	187
KAPITEL 6	
Arbeit am Erbgut	215
KAPITEL 7	
Die Verbesserung des Menschen	245
NACHWORT	
Das bleibende Geheimnis des Lebens	309
Zeittafel zur Geschichte des Gens	315
Glossar	317
Ausgewählte Literatur	324
Register	329



## Vorwort

»Gene sind anders.« So überschrieb ich einen kurzen Beitrag, der 1980 in der Zeitschrift *Umschau* erschien und mit der Heinrich-Behold-Medaille des Verlags ausgezeichnet wurde. Der Aufsatz handelte von der am Ende der 1970er-Jahre publizierten Einsicht, dass Gene nicht in einem einzigen zusammenhängenden Stück DNA existieren. Es gab offenbar »klassische und moderne Gene«, wie ich danach in einem nicht publizierten Manuskript den Übergang von der klassischen in die molekulare Genetik zu beschreiben versuchte. Später erschien unter dem Titel »Bewegte Bewegung« der von mir überarbeitete Text in der Zeitschrift *Biologie in unserer Zeit*. Bewegte Bewegung – damit sind die Gene gemeint, die ihre Faszination weiter ausübten, auf die Wissenschaft, auf die Öffentlichkeit und auf mich.

In den frühen 1980er-Jahren habe ich die Biografie meines Doktorvaters Max Delbrück verfasst, der *Das Atom der Biologen* suchte und dabei zum Wegbereiter der Molekularbiologie wurde. Alles schien auf die Gene zuzulaufen und von ihnen auszugehen, inzwischen jedoch lösen sie sich weiter auf und kommen dem Leben abhanden. »Gene sind völlig anders«, müsste ich einen Text heute überschreiben, nur dass kein kurzer Beitrag mehr reicht, um von ihrer Geschichte, ihrem Verständnis und ihrem Werden zu erzählen. Jetzt ist ein Buch gefragt, und es spielt in der Zeit *nach den Genen*.

Die meisten Menschen haben im 21. Jahrhundert etwas von Genen gehört oder gelesen und stellen sich vielleicht irgendein kleines Klötzchen oder knackiges Kästchen vor, das im Inneren eines Körpers oder einer Zelle brummt und rackert, um seine Träger mit den dazugehörigen Eigenschaften auszustatten. Im öffentlichen

Sprachgebrauch ist häufig von Genen die Rede, sei es von Krebs- oder Demenzgenen, kreativen oder kriminellen Genen. Doch wie sich im Lauf der folgenden Kapitel zeigen wird: Gene *sind* nicht, Gene *werden*, sie ändern sich, und das Denken über sie wandelt sich mit ihnen.

Die wichtigste Erkenntnis, die seit 1978 allgemein akzeptiert wird und vor allem den späteren Nobelpreisträgern Richard Roberts und Philip Sharp zu verdanken ist, lautet: In Zellen von vielzelligen Lebewesen bestehen Gene aus einzelnen Abschnitten, die durch eine Vielzahl von Zwischenbereichen getrennt sind. Gene *werden* dadurch, dass die RNA, die zunächst aus der kompletten DNA eines Gens angefertigt wird, einer Bearbeitung unterliegt. Mit ihrer Hilfe – dem sogenannten Spleißen – schneidet eine Zelle alle Stücke heraus, die sie offenbar nicht benötigt, um die Reihenfolge der Bausteine für die anzufertigenden Proteine festzulegen.

Auch weiterhin gilt, dass in den Zellen das geschieht, wozu Gene nötig sind: die Anfertigung von Proteinen. Nur ist die Entsprechung »ein Gen = ein Protein« falsch. Gene gehören zu den Abläufen und Mechanismen, die den Weg zu den Proteinen ermöglichen und ihn beschicken und benutzt halten. Daher ist der Vorschlag gemacht worden, Gene nicht als etwas Feststehendes und Seiendes zu verstehen, sondern sie als das Bündel der Vorgänge zu begreifen, mit denen im Leben die Proteine hergestellt werden. Gene sind Prozesse. Deshalb ist die lieb gewordene Auffassung von Genen als Kausalfaktoren mit festem Ort und klar definierten Aufgaben mit den neuen Kenntnissen nicht mehr vereinbar.

Niemals bestimmen Gene allein, welche Charakteristiken ein Organismus letztendlich aufweist. Erbanlagen gehen vielmehr zahlreiche Kollaborationen ein und stehen in Wechselwirkung mit vielen Faktoren. Das stellt die Forschung gegenwärtig – in der Phase *nach den Genen* – vor immer neue, spannende Aufgaben und erfordert auch in den Medien und der Öffentlichkeit ein radikales Umdenken.

Um den Wandel der Gene gänzlich zu verstehen, hilft es, den historischen Weg, der zu den modernen Genen geführt hat, abzu-

schreiten. Durch Vertiefung einzelner thematischer Schwerpunkte in der Folge der Kapitel ergibt sich eine Annäherung an das gesamte Bild. Der notwendige Abschied von überholten, aber immer noch populären Vorstellungen und der aktuelle Stand der Forschung stehen im Mittelpunkt dieses Buches. Ich hoffe, dass es den Leserinnen und Lesern neue und überraschende Einsichten vermittelt.

*Ernst Peter Fischer*

Frühjahr 2017



## Abschied vom Determinismus der Gene

Bei Wikipedia ist unter dem Stichwort »Gen« zu lesen: »Die Definition, was ein Gen ist, hat sich ständig verändert und wurde an neue Erkenntnisse angepasst«, sodass keine Version so etwas wie Endgültigkeit für sich beanspruchen kann. Und dann gibt der Artikel höchst konkret die folgende Auskunft: »Für den Versuch einer aktuellen Definition benötigten fünfundzwanzig Wissenschaftler [der University of California in Berkeley] Anfang 2006 zwei Tage, bis sie eine Version erreichten, mit der alle leben konnten.« Diese Definition lautet: »A gene is a locatable region of genomic sequence, corresponding to a unit of inheritance, which is associated with regulatory regions, transcribed regions and/or other functional sequence regions.« Eine sinngemäß ins Deutsche übertragene Version könnte lauten: »Ein Gen ist ein Abschnitt aus dem Erbmateriale (dessen chemischer Name mit dem Trio DNA abgekürzt wird, wie vielen bekannt sein dürfte). Es tritt als Einheit der Vererbung in Erscheinung und kann mit anderen Regionen der Erbanlagen in Verbindung treten. Bei diesem Wechselspiel wird es den sie umhüllenden Zellen möglich, etwas hervorzubringen – nämlich Genprodukte. Mit diesen können sie Reaktionen durchführen, die sie für ihr Leben und das des Organismus brauchen, der aus ihnen besteht und von ihren Genen her aufgebaut worden ist.«

Wie nicht anders zu erwarten, haben sich inzwischen andere Konsortien gemeldet, die mit der obigen Definition nicht einverstanden sind und deshalb einen eigenen Vorschlag vorgelegt haben. Alle diese Bemühungen sollen an dieser Stelle in einem Satz zusammengedrängt werden. Er lautet: »Ein Gen ist eine Vereinigung von Abschnitten des Erbmateriale, in der die Information zur Anfertigung

einer kohärenten Menge von Produkten steckt, deren Funktionen sich überlappen.«

Leider werfen solche verdichteten Sätze mehr Fragen auf, als dass sie Antworten geben. »Heute kennt kein Molekularbiologe mehr alle wichtigen Tatsachen über das Gen.« So beginnt die vierte Auflage eines wirkungsmächtigen und weit verbreiteten Lehrbuchs aus dem Jahr 1987, das vor den erwartungsvollen Studenten auf mehr als tausend Seiten eine *Molecular Biology of the Gene* ausbreitet.\* Wenig überraschend sind die folgenden Auflagen der inzwischen mehrbändigen *Molekularbiologie des Gens* noch dicker und imposanter geworden. Längst wird es keinem einzelnen Wissenschaftler mehr zugetraut oder zugemutet, die »wichtigen Tatsachen über das Gen« zuverlässig und umfassend darzustellen. Die Autoren selbst kennen sich wahrscheinlich gerade einigermaßen in den von ihnen verhandelten Teilbereichen aus, oder etwas zynisch formuliert: Je länger einzelne Experten mit dem Gen arbeiten, desto weniger wissen sie darüber. Dieses Buch möchte zeigen, dass die Gene wie das Leben sind, nämlich unerschöpflich, unergründlich und enorm beweglich.

Die Gene haben sich extrem gewandelt, seit sie erstmals Eingang in ein modernes Lehrbuch gefunden haben. Soll heißen: Das Verständnis für die genetischen Prozesse und Abläufe im lebendigen Körper hat sich fast bis zur Unkenntlichkeit verändert, seit sich die Naturwissenschaften erfolgreich und im großen Stil damit befassen. Mit dem Zeitpunkt ihres erstens Auftritts in einem Lehrbuch ist das Jahr 1965 gemeint. Damals erschien die erste Auflage des Werks *Molekularbiologie des Gens*, die inzwischen als klassischer Text verehrt wird. Ihr heute noch aktiver amerikanischer Verfasser, der 1962 mit Nobelwürden ausgestattete James D. Watson (geb. 1928), gehört zu den legendären Figuren der neueren Lebenswissenschaften, weil er

\* Das Wort »Molekularbiologie« wurde bereits 1938 geprägt, als die amerikanische Rockefeller-Stiftung einen Namen für ihr Programm suchte, mit dem eine exakte Wissenschaft vom Leben auf den Weg gebracht werden sollte. Ihre eigentliche Bedeutung bekommt die Molekularbiologie dann im Gefolge und mithilfe der Doppelhelix.

1953 gemeinsam mit dem britischen Physiker Francis Crick (1916-2004) in Cambridge einen faszinierenden Vorschlag für die Struktur des Stoffes, aus dem die Gene sind, ausarbeiten konnte. Gemeint ist die elegante Spirale des Lebens, die berühmte Doppelhelix aus DNA,\* wie die Fachleute die Bezeichnung für das molekulare Material abkürzen, aus dem die Erbanlagen bestehen. Das ästhetisch reizende Modell der DNA elektrisierte unmittelbar jeden Betrachter und versetzte die Welt der Forschung in eine ungeheure Spannung, deren Wirkung nach und nach in das öffentliche Bewusstsein eindrang.

Mit dieser erstaunlichen und weitreichenden Einsicht in die Struktur eines Moleküls schien es nicht nur kurzfristig möglich, das Geheimnis des Lebens zu lüften, wie das Duo Watson/Crick, bezaubert durch den Anblick ihrer faszinierenden Konstruktion, verkündete. Das Erscheinen der Doppelhelix löste langfristig ein besonderes Interesse an der Wissenschaft der Vererbung aus. Salvador Dalí meinte etwa, in der schraubenförmigen Struktur der Erbanlagen so etwas wie eine Jakobsleiter erblickt und dabei »in Wirklichkeit die Existenz Gottes geschaut« zu haben. Dalí wörtlich: »And now the announcement of Watson and Crick about DNA. This is for me the real proof of the existence of God.«

Wenn dem exzentrischen Maler bei dieser Verkündigung auch nicht jeder folgen kann, so lässt der offenkundige Enthusiasmus des Künstlers für die Schönheit der Schraube doch verständlich werden, dass sich auch andere Menschen davon fasziniert zeigten. Das hatte

\* Die drei Buchstaben DNA stehen für deoxyribonucleic acid, zu Deutsch Desoxyribonukleinsäure (DNS). So heißt der Stoff, aus dem unser Erbgut besteht, wobei in der öffentlichen Rede der korrekte und lange Name kaum auftaucht und oftmals nicht zwischen der DNA und einem Gen unterschieden wird, was trotzdem empfehlenswert ist. Und natürlich ist es wichtig, dass sich Forscher weltweit verständigen können, und es ist daher wohl unvermeidlich, dass sich so etwas wie ein globales Englisch als Wissenschaftssprache entwickelt hat. Aber schade ist es doch, dass dabei so aussagekräftige deutsche Worte wie Erbgut und Erbanlagen verloren gehen. Um ein Erbgut kümmert man sich eher als um einen Genpool, und bei Erbanlagen hört man die Möglichkeiten mit, die in dem stecken, was eine Englisch sprechende Welt als Genom untersucht.

zur Folge, dass sich die Gene und ihre Struktur und damit das Erbmaterial DNA im Lauf der Zeit im allgemeinen Bewusstsein fest einnisten konnten und sogar Teil des öffentlichen Diskurses geworden sind. So berichtete die *Frankfurter Allgemeine Zeitung* im November 2015 unter der Überschrift »Familien mit Unternehmer-Gen« über die Rolle, die Kinder von Eigentümern bei der Weiterführung von Familienunternehmen spielen. Bereits im Oktober hatte das Blatt, hinter dem sich kluge Köpfe mit gewiss guter DNA verbergen, seine Leser über einen Eishockeyklub in Iserlohn informiert, in dem der Reporter deutsch-kanadische Talente ausmachte, mit deren Hilfe »die Ahorn-DNA im Sauerland« angekommen sei. Im Januar 2016 konnte man von der »Wiederentdeckung des Stürmer-Gens« lesen, die dem Fußballspieler Mario Gomez gelungen sei (wobei anzumerken ist, dass diese zwar höchst individuelle, dennoch peinliche Verwendung des Begriffs eher verständlich ist als die oft zu lesenden Beschwörungen des »Bayern-Gens«, das offenbar in einem erfolgreichen Verein stecken und von dort als Siegeswillen oder als Duseffaktor erst auf ganze Mannschaften und dann auf einzelne Spieler – also Menschen – überspringen kann\*).

Ein weiteres Beispiel: Am 3. Mai 2016 stand in der *Frankfurter Allgemeinen Zeitung*, es gebe eindeutige »Zusammenhänge zwischen Genen und Lebenszufriedenheit«. »Ein internationales Konsortium von 178 Wissenschaftlern ... hat genetische Daten von fast dreihunderttausend Menschen untersucht und neue Gene entdeckt, die mit Lebenszufriedenheit und Wohlempfinden in Verbindung stehen«, so war zu Beginn des Beitrags zu lesen, wobei diese Worte von einem Professor für Gen-Ökonomie (was immer das sein soll), einem Genomanalytiker und einem Bildungsforscher stammten. Die geballte Expertenrunde erläuterte weiter, dass sich in Vorstudien ein

\* Beim Verfassen dieses Textes im Juli 2016 spielte Deutschland im Viertelfinale der Europameisterschaft gegen Italien. Dabei fiel die Entscheidung im Elfmeterschießen. Bevor es losging, meinte der Reporter der ARD, die Deutschen hätten es in ihren Genen, im Elfmeterschießen zu gewinnen. Zwar hat sich die deutsche Elf durchgesetzt, aber ein solches Geplapper bleibt doch unerträglich.

»Zusammenhang zwischen Veränderungen der DNA-Sequenz und subjektivem Wohlbefinden ... bereits angedeutet« habe, was man nun durch »eindeutige genetische Befunde« untermauern wolle. Man räumte zwar ein, dass es um die Analyse von »komplex-genetischen Phänotypen« ging und dass »die Wirkung von genetischen Faktoren ... keineswegs als deterministisch zu betrachten« sei und wohl auch von der Umwelt abhängt. Dann aber ließen sie die empirische Katze aus dem genetischen Sack und teilten dem Leser mit, was die Daten der dreihunderttausend Menschen erbracht hatten. Das Gelehrtentrio und seine 178 Mitforscher wissen nun, dass gesellschaftliche Umstände Menschen zufriedener machen können, auch wenn sich der Genpool nicht ändert, dass das Wohlbefinden durch Umverteilung erhöht werden kann, wenn Menschen negativ auf soziale Ungleichheit reagieren, dass komplex-genetisch bedingte Merkmale kaum vorhersagbar sind, dass aber einige der identifizierten Gene einen Einfluss auf die Regulation des Immunsystems zu haben scheinen, was eventuell zu neuen medizinischen Ansätzen in der Zukunft führen könnte.

Man glaubt, seinen lesenden Augen nicht zu trauen, und fragt sich insgeheim, ob sich die drei Professoren für den zitierten Blödsinn nicht schämen. Das öffentliche Leben der Gene ist jedenfalls erstaunlich. Göttliche oder schicksalhafte Gene, wohin man schaut, bedeutungsträchtige DNA-Moleküle, wohin man hört. Selbst gewiefte Journalisten haben längst zu fragen aufgehört, was gemeint ist, wenn sie Gene in Vereinen, in Zellen, in Menschen und in Unternehmen auftreten lassen. In den Medien und im Gespräch werden Gene beispielsweise verantwortlich gemacht für Blutkrankheiten, Krebs, Aggression, Neugierde, Untreue, Sprache, Intelligenz, Haarfarbe, Leseschwäche, Alkoholismus, Homosexualität, Musikalität, Schizophrenie, Langlebigkeit, Augenfarbe, Mordlust, Altruismus, Egoismus, Glücksfähigkeit und Assistentendasein. *Was sind Gene nicht?* – in ihrem 2014 erschienenen Buch begründet Kirsten Schmidt, warum sich Gene nicht als »kausale Essenzen des Organismus« verstehen lassen und weshalb man sie besser als »dynamischen Prozess« auffassen sollte.

Wahrscheinlich werden sich viele Zeitgenossen ziemlich verwirrt zeigen, wenn sie erfahren, dass ihre wissenschaftlichen Lieblinge schon länger auf dem absteigenden Ast der Genetik hocken und demnächst von ihm herunter- oder gar noch tiefer fallen. »Es scheint heute vernünftiger zu sein, statt über Gene über Genome zu reden«, fiel dem britischen Wissenschaftsphilosophen Philip Kitcher auf und ein, als er »In Mendels Spiegel« schaute (*In Mendel's Mirror*, wie das englische Original heißt), sich verwundert die Augen rieb und fragte: »Was sind Gene eigentlich nicht?«

### Ein folgenreicher Abschied

Heute wissen selbst Molekularbiologen nicht mehr, ob es diese Gene überhaupt gibt, die sie seit den 1950er- und 1960er-Jahren immer besser in den Blick nehmen konnten. In den 1970er-Jahren sah es zunächst so aus, als hätten sie das Erbmaterial völlig im Griff und könnten mit der DNA machen, was sie wollten. Damals kam das auf, was als Gentechnik bald nicht nur die Wissenschaft, sondern die Gesellschaft insgesamt beschäftigte und eine ausufernde ethische Debatte über die Verantwortung und Ziele der Forschung auslöste. Paradoxerweise begannen sich diese geliebten und von einigen auch gefürchteten Gene genau in dem Moment aufzulösen, als man sie in Händen hielt und also – wörtlich genommen – manipulieren konnte. Zwar konnten die Lebenswissenschaften mit gentechnischer Hilfe beeindruckende Einsichten in die verzweigten Abläufe bringen, mit denen Zellen beginnen, das Leben aufzubauen, zu versorgen und zu erhalten; die tätigen Bioforscher produzierten und produzieren dabei tagtäglich ungeheure Mengen an genetischen Daten, die über das Erbgut DNA Auskunft gaben. Unter diesen Bergen an Information wurde es allerdings immer schwieriger, das Gen selbst und seine Bedeutung ausfindig zu machen.

Wer das Leben, sein historisches Werden, seine ästhetischen und humanen Eigentümlichkeiten und seine technische Beeinflussbarkeit verstehen will, scheint gut oder besser beraten zu sein, dies

mit Ideen zu versuchen, die ohne Rückgriff auf die alten Gebilde namens Gene auskommen. Man kann das damit Erfasste zwar ganz leicht für alles Mögliche verantwortlich machen – für Krankheiten ebenso wie für Verhaltensweisen –, und man tut das auch reichlich. Man kann diese dynamischen Dinge aber nicht einmal richtig zählen, auch wenn darüber gern der Mantel des Schweigens gebreitet wird. Die Frage nämlich, wie viele Gene zum Beispiel ein Mensch hat, bleibt seltsam offen, auch wenn in den Medien Zahlen zirkulieren, die dem Publikum ein souveränes Wissen vorgaukeln.

Im Mai 2010 haben zwei amerikanische Biochemiker, Mihaela Pertea und Steven L. Salzberg, in der Zeitschrift *Genome Biology* ihre Schätzung der Zahl der menschliche Gene abgegeben und dazu geschrieben: »Um Gene zählen zu können, müssen wir erst definieren, was wir unter einem ›Gen‹ verstehen. Dieser Ausdruck hat im vergangenen Jahrhundert seine Bedeutung dramatisch geändert.« Die Autoren legen sich dann darauf fest, unter einem Gen einen Abschnitt der DNA in einer Zelle zu verstehen, mit dessen Hilfe letztlich ein Produkt oder mehrere Produkte (Proteine) gefertigt werden können. Sie schließen dabei ausdrücklich DNA-Bereiche aus, die zwar gelesen, dann aber nicht weiter verarbeitet werden. Fachleute sprechen von »nicht-kodierenden« Genen, und man muss eingestehen, dass man noch kein klares Bild von der Zahl dieser Gene hat. Wenn man all diese Vorbemerkungen beachtet und fleißig am Computer spielt – bitte beachten: Gene werden in Dateien gezählt, nicht in Zellen –, erhält man als »beste Schätzung« die Zahl 22 333. So viele Gene hat ein Mensch – wenn man ihn in einer Maschine betrachtet.

Es gilt, sich zu überlegen, was mit Genen gemeint sein könnte, wenn sich keine Dinge finden lassen, auf die man zeigen und die man genau abzählen kann. Wie läuft das Leben ab, wenn die Gene ihre Hauptrolle verlieren und ersetzt werden? Ersetzt wodurch und womit?

## Vom Verschwinden einiger Dinge

Bevor er das Tor zur Zukunft durchschreitet, blickt ein Historiker gern zurück. In diesem Fall heißt das, sich zu fragen, ob es schon einmal in der Geschichte der modernen Wissenschaft so etwas wie ein Verschwinden der grundlegenden Elemente des Denkens gegeben hat und wie man damit fertig geworden ist. Wer sich diese Aufgabe vornimmt, wird rasch und leicht fündig, wenn er auf den Beginn des 20. Jahrhunderts blickt. Damals haben die Physiker nach mehr als zweitausendjährigem Anlauf voller philosophischer Spielereien gelernt, die Atome ernst zu nehmen, und sich dann vorgenommen, sie zu zählen und zu vermessen, so wie es die Molekularbiologen des Gens einhundert Jahre später mit ihren Objekten unternehmen.

Es war kein Geringerer als Albert Einstein, der 1905 zeigen konnte, wie das Wackeln, das winzige Körnchen im Lichtmikroskop erkennen lassen, wenn sie in einer Flüssigkeit schweben, dazu benutzt werden kann, die Menge der unsichtbar bleibenden (atomaren) Partikel in dem wässrigen Medium abzuschätzen, die für die sichtbare Zitterbewegung auf dessen Oberfläche sorgen. Bekannt war das Phänomen seit dem 19. Jahrhundert, und beobachtet und beschrieben hatte dies ein schottischer Botaniker, zu dessen Ehren die Forscher von der Brownschen Molekularbewegung sprechen. Mithilfe dieser Erscheinung – mit ihrem Vermessen und Verstehen – konnten schließlich die Atome gezählt werden, die dabei zwar immer noch unsichtbar blieben, denen jetzt aber eine konkrete Existenz zugebilligt wurde.

Wie die Wissenschaftsgeschichte zu berichten weiß, brachten Einsteins Deutung der mikroskopischen Vorgänge und die damit mögliche numerische Erfassung der kleinsten Bausteine der Materie nach und nach viele physikalische Überlegungen ins Rollen. In deren Verlauf konnte in der Mitte der 1920er-Jahre eine merkwürdige Theorie der Atome aufgestellt werden, die zwar funktionierte, die Forscher jedoch verwirrte. Ihre Schöpfer mussten nämlich vermelden, dass Atome weder Atome im ursprünglichen Wortsinn, also

unteilbar, noch überhaupt irgendwelche fassbaren Teilchen sind. Atome erwiesen sich zum einen als überraschend vielfältig zusammengesetzt, zum anderen konnte man sie nicht mehr als »Dinge« mit einem irgendwie gearteten alltäglichen Aussehen definieren, das sich beschreiben oder gar abbilden ließ. Atome erwiesen sich als etwas völlig Neuartiges. Sie waren plötzlich aus der alten Welt der klassischen Physik verschwunden und hatten sich einfach in Luft aufgelöst, auch wenn natürlich sowohl die eingeatmete Luft als auch die Welt voller Atome in Form letzter materieller Gegebenheiten stecken musste – aber eben völlig anders, als es sich der gesunde Menschenverstand ausgemalt hatte.

Es dauerte seine Zeit, bis die Physiker sich und anderen klar machen konnten, wie verschieden von den gewöhnlichen Dingen sich die Atome erwiesen, und ganz verstanden haben sie die dazugehörige Wissenschaft namens Quantenmechanik bis heute nicht. Aber es gibt so etwas wie einen freundlichen Konsens unter den Experten, wenn sie einem größeren Publikum sagen und vorführen wollen, was man sich unter Atomen und anderen Gegebenheiten in dieser Größenordnung vorzustellen hat. Im Verständnis der modernen Physik zeigen sich Atome oder Moleküle nämlich nicht als geschlossene Partikel, sondern als offene Gegebenheiten des Wirklichen. Sie existieren nur dank ihrer Wechselwirkung mit der Umgebung, und zu der gehören nicht nur andere Atome, sondern auch die menschlichen Beobachter, die sich um die Atome und ihre Eigenschaften kümmern. Wie sich herausstellte, bleiben Atome merkwürdig unbestimmt, solange niemand wissen will, wo sie sich aufhalten oder wie schnell sie unterwegs sind. Erst wenn jemand eine entsprechende Messung unternimmt, melden sich Atome von einem bekannten Ort oder lassen eine bestimmte Geschwindigkeit erkennen. Solange niemand nach diesen Eigenschaften und Informationen fragt, können die Grundgegebenheiten der alltäglichen Dinge – also die Atome – alle möglichen Zustände annehmen und demnach unbestimmt bleiben.

Wer sich unter diesen Umständen vornimmt, das gesamte Universum, in dem er lebt und webt, aus unzähligen Atomen aufzubauen, hat aus etlichen Gründen eine Menge zu tun und sich eine

höchst ungewöhnliche Aufgabe gestellt, die anders gelöst werden muss als die beliebte Kinderspielerei mit Legosteinen – auch wenn in beiden Fällen mit kleineren Einheiten operiert wird, die nicht zerbrechen dürfen, und zuletzt ein ganzes Gebäude oder sogar mehr dasteht. Mit anderen Worten, die auch im Fall der Gene gelten: Als die Wissenschaft lernte, Atome zu zählen, verschwanden sie vor den Augen und aus den Händen der Physiker und luden die Forscher zu vielen Gedankenspielen ein. Diese zwar erstaunliche, aber kaum verbreitete oder öffentlich wahrgenommene Erfahrung hat ein Zeitzeuge der Entwicklung, der erst als Physiker tätige und dann als Philosoph berühmt gewordene Carl Friedrich von Weizsäcker, bereits in den 1940er-Jahren durch die Bemerkung charakterisiert, »man wird nicht sagen dürfen, dass die Physik die Geheimnisse der Natur wegerkläre, sondern dass sie sie auf tieferliegende Geheimnisse zurückführe«.

Natürlich kommen die Naturwissenschaften technisch oder praktisch enorm voran. Sie lernen zum Beispiel immer besser, extrem tiefe Temperaturen exakt zu messen oder die Details von Molekülen, die das Leben durch ihre chemischen Reaktionsfähigkeiten in Gang halten, mit immer größerer Präzision zu beschreiben und vorzuführen. Wissenschaft packt immer fester und sicherer zu, wenn sie ein Objekt ihrer Begierde gefunden hat und ihm Auskünfte entlockt. Aber es bleibt ein Irrtum, anzunehmen oder zu behaupten, dass damit das Geheimnisvolle der Dinge und ihrer Qualitäten verschwindet. Es ist sowohl falsch als auch töricht, von einer »Entzauberung der Welt durch die Wissenschaft« zu sprechen.

Es gibt sodann kaum ein eindrücklicheres und anschaulicheres Beispiel für die Vertiefung des Geheimnisvollen als die moderne Genforschung, und zwar vor allem in der Form, in der sie sich seit dem Beginn des 21. Jahrhunderts präsentiert. Was Carl Friedrich von Weizsäcker für die Physik sagte, die mit den Atomen hantierte, um die Materie zu verstehen, lässt sich heute auch – mit etwas anderen Worten – von der Biologie sagen, die sich den Genen zuwendet, um mit ihrer Hilfe das Leben zu verstehen: Man wird nicht sagen dürfen, dass die Genetik und die Genomforschung die Geheimnisse

der Gene wegerklären, vielmehr zeigt sich, dass sie diese auf tieferliegende Geheimnisse zurückführen.

Wer also leichtfertig von Genen spricht, sollte daran denken, dass er damit kein Wissen demonstriert, sondern im Gegenteil seine Ahnungslosigkeit dokumentiert. Die Sache mit den Genen macht mehr Mühe, als man dem kleinen Wort ansieht.

### Die Entschlüsselung der menschlichen Gene?

Zur Erinnerung: In den 1980er-Jahren war es mithilfe der anfänglich äußerst umstrittenen und heute nach wie vor heftig diskutierten Gentechnik gelungen, mehr über die molekularen Mechanismen der bösartigen Krankheit zu erfahren, zu der die Körperzellen gehören und beitragen, wenn sie nicht mehr aufhören, sich zu teilen, und durch diese Form der Unsterblichkeit den ihnen zugehörigen Organismus töten. Die Rede ist von Krebs. Um das Jahr 1985 wurde deutlich und allgemein akzeptiert, dass diese Geißel der Menschheit nicht nur durch Umweltfaktoren wie Strahlung, Zigarettenrauch oder Asbest, sondern auch durch einige menschliche Gene und deren Variationen ausgelöst wird. Krebs konnte mit einem Mal als genetische Krankheit verstanden und bezeichnet werden. Konkret hieß das, dass sich Biochemiker und Molekularbiologen in der Lage zeigten, Bereiche des Erbmaterials in den Zellen eines Menschen zu identifizieren, die auf verschiedene Weise das Krebswachstum in verschiedenen Geweben auslösten und ermöglichten. Damit öffneten sich der medizinischen Forschung völlig neue Wege. Es dauerte nicht mehr lange, bis vor dem Hintergrund dieser grundlegenden Einsichten ein Gedanke geäußert und publiziert wurde, dessen einfacher Logik sich niemand entziehen konnte: Wenn Krebs von den Genen herkommt und wenn es darum geht, Krebs zu verstehen und zu bekämpfen, so lautete das um 1985 aufkommende Argument, dann kann die vordringliche und gesellschaftlich relevante Aufgabe der medizinischen Biologie nur darin bestehen, sämtliche Gene des Menschen zu erfassen und offenzulegen. »Wenn wir die Gene kennen,

dann verstehen wir den Krebs«, so kann man das damalige Credo der Lebenswissenschaftler beschreiben. Aus dieser Überlegung heraus konnte deshalb sofort ein handfestes und weltweit organisiertes Projekt werden, weil zum einen die biologische Forschung der 1980er-Jahre längst alle Methoden bereitstellte, die es dafür brauchte, und weil zum anderen zur gleichen Zeit die Digitalisierung riesige Fortschritte machte und bald Computer zur Verfügung standen, die genug Speicherkapazität für die bei einem solchen Projekt zu erwartenden Datenmengen boten.

In den 1990er-Jahren fanden sich daher zahlreiche Biologen, Informatiker, Mediziner und Wissenschaftler aus anderen Disziplinen zusammen, um ihre Form der Forschung zu betreiben und das weltweit zu organisieren, was als »Humangenomprojekt« bekannt wurde. Mit diesem riesigen Vorhaben wurde die »Entschlüsselung der menschlichen Gene« versprochen, wie man vielfach lesen konnte. In der Euphorie der Machbarkeit, die sich damals ausbreitete, kam niemand auf die Idee zu fragen, ob da überhaupt jemand etwas entschlüsselt hatte und wer das denn gewesen sein könnte. Mit solchen Gedanken wollte sich niemand aufhalten, vor allem nicht die Macher, die unentwegt ihre Botschaft wiederholten und sie den Politikern und dem Publikum einhämmerten, auch weil sie dringend Unterstützung brauchten, vor allem finanzieller Art. Und diese Botschaft lautete: Wenn man das Genom kennt – also das gesamte Genmaterial, die vollständigen Erbanlagen einer Zelle des Menschen –, wird man nicht nur den Krebs verstehen, sondern auch sich selbst. Sogar einige Nobelpreisträger riefen dies öffentlichkeitswirksam aus, und einer von ihnen, Walter Gilbert aus Boston, wedelte bei einem Vortrag über das Projekt mit einer CD durch die Luft. Er bat das Publikum, sich vorzustellen, dass in Zukunft auf dieser Scheibe sämtliche genetischen Informationen einer Person gespeichert und also lesbar sein würden, und erkühnte sich dann zu behaupten, dass man in diesem Fall sagen könne: »Schaut her, das bin ich. So sehen die Gene aus, die mich machen.«

Bekanntlich konnte das Humangenomprojekt zu Beginn des 21. Jahrhunderts auf die eine oder andere Weise abgeschlossen

werden. Dabei ließ es sich der damals amtierende amerikanische Präsident, Bill Clinton, nicht nehmen, den Erfolg persönlich zu verkünden, weil er meinte, die Menschen könnten nun die Sprache lesen, mit der Gott sie und das Leben geschaffen habe. Da schaute er wieder zu, der Höchste.

Wie dem auch sei: Die Lebenswissenschaften erlebten zu Beginn des Jahrtausends eine öffentliche Sternstunde mit präsidialem Segen, an die sich allerdings, wie nicht anders zu erwarten war, erst neugierige und dann lästige Fragen an die Fachleute anschlossen. Zu den scheinbar einfachen Bitten um Auskunft gehörte der Wunsch, endlich aus berufenem Munde zu erfahren, wie viele Gene sich beim Menschen – oder bei anderen Lebewesen – denn nun finden lassen. Und dann passierte es: Beim Versuch, die Gene abzuzählen, erlebten die Biologen zu Beginn des 21. Jahrhunderts dasselbe, was die Physiker einhundert Jahre zuvor erfahren hatten. Als es den Betreibern des Genomprojekts nämlich möglich wurde, die Objekte ihrer Suchleidenschaft zu zählen, da lösten sich diese Gebilde unter ihren Händen auf – auch wenn einige Bioforscher sich eifrig bemühten, Nummern aufs Papier oder in eine Datei zu schreiben.

Selbst wenn wieder und wieder Zahlen in die Runde geworfen werden: In dem Erbmaterial eines Mitglieds der Spezies *Homo sapiens* finden sich kaum Gene. Was man so nennen könnte, macht kaum ein paar Prozente aus. In dem DNA-Bestand einer menschlichen Zelle – in unserem Genom – steckt offenbar viel mehr und vielleicht etwas Neuartiges, das man noch längst nicht verstanden hat, auch wenn die Berichterstattung in den Medien vielfach etwas anderes suggeriert. Auf jeden Fall büßten die alten Gene plötzlich massiv an Bedeutung ein, und allmählich breitete sich unter den Wissenschaftlern die Ansicht aus, dass es vernünftiger sei, das Erbmaterial insgesamt zu betrachten. Man solle von nun an mehr über die Genome als Ganzes und weniger über die Gene als deren schwer auszumachende Teile reden, wenn es darum geht, genetische (oder genomische) Einflüsse auf das Leben verstehen zu wollen. Immer mehr Lebenswissenschaftler kommen zu der Ansicht, dass das traditionelle Gen seine Schuldigkeit getan hat, da es sich erstens kaum noch definieren lässt und

zweitens niemandem mehr hilft, etwas zu verstehen – weder die Krankheit Krebs im Besonderen noch das Leben im Allgemeinen.

Mit anderen Worten: Das Humangenomprojekt hat die Geheimnisse der Gene und des Menschen nicht gelüftet, sondern im Gegenteil enorm vertieft. Noch nie stand die große Gemeinde der Bioforscher so ratlos vor ihrem Thema wie in diesen Tagen, in denen sie eigentlich alle Fragen zu beantworten hoffte. Sie hatte dies hoch und heilig versprochen.

Vielleicht sollte man sagen, dass eine Art »postgenetisches Zeitalter« angebrochen ist, wobei einige Beobachter der Genetik bereits das Wort »Postgenomik« verwenden, ohne damit die Ratlosigkeit zu vertreiben. Merkwürdigerweise fällt diese im öffentlichen Diskurs nicht auf, weil sie im öffentlichen (Un-)Verständnis kein Teil von Wissenschaft ist. Auf jeden Fall fehlt ihr jede öffentliche Aufmerksamkeit, und das aus nachvollziehbaren Gründen. Denn während die aktuelle Lebenswissenschaft immer weniger den Durchblick behält und nur in Ansätzen versteht, wie sich das Leben mit den Genen selber schafft, ersinnen einige ihrer Vertreter – etwa die Experten der »Gen-Bearbeitung«, die wir im nächsten Abschnitt vorstellen – immer bessere Methoden, in das Erbgut einzugreifen, auch wenn sie nicht verstehen, was die eigentlichen Lebensabläufe ausmacht. Wenn man so will, lässt sich ein genetisches Programm der Bioforschung erkennen, das es auf das Leben allgemein abgesehen hat.

Der Ausdruck »genetisches Programm« kann verschiedene Bedeutungen annehmen. Er kann zum Beispiel das oben erwähnte Vorhaben meinen, über die Gene den Krebs zu verstehen. Das Humangenomprojekt lässt sich als genetisches Programm verstehen, wenn man den Ausdruck »Programm« auf die konventionelle Weise benutzt, wie sie etwa in der Verbindung Kino- oder Fernsehprogramm auftaucht. Das Wort »Programm« hat jedoch spätestens seit den 1960er-Jahren eine neue Bedeutung angenommen, als die Informatiker anfangen, Computer zu programmieren, und die dazugehörigen Programmiersprachen entwickelten, die als Software kommerziell angeboten wurden und erfolgreiche Konzerne wie Microsoft entstehen ließen.

Einige Biologen griffen dieses der digitalen Welt entlehnte Konzept des Programms begierig auf, um zu verstehen, wie Gene operieren und das Lebendige entstehen lassen. Vor allem der Evolutionsforscher Ernst Mayr liebte die Idee »einer vorgegebenen und kodierten Information, die einen Ablauf steuert und ihn zu einem bekannten Ende führt«, wie er das genetische Programm definierte, um mit diesem Ausdruck sagen zu können, dass »die Gesamtheit unserer Gene ein genaues Programm enthält, nach welchem wir uns entwickeln, das auch die Grenzen absteckt, innerhalb derer sich Umwelteinflüsse auswirken können«.

Seit diesen Tagen verfolgen nicht nur die Genetiker, sondern auch die Gene ein genetisches Programm, und es kostet stets viel Mühe, zu erklären, dass die genaue Verwendung des Ausdrucks »genetisches Programm« mehr Vorsicht und Sorgfalt verlangt. Wer die beiden Worte benutzt, kann sich merkwürdigerweise auf Goethe berufen, der sich im 18. Jahrhundert mit den Pflanzen und ihren Blättern beschäftigte und dabei eine Wissenschaft namens Morphologie schaffen und mit ihr die Morphogenese verstehen wollte, auch wenn sich das nicht so ausführen ließ, wie der Meister hoffte. Auf seiner Italienreise entdeckte er etwas, das er als mögliche Urpflanze betrachtete, »die den Typus einer Blütenpflanze schlechthin verkörpert und aus der man sich alle Pflanzengestalten als hervorgegangen denken kann«. Morphologie beschrieb Goethe als »die Lehre von der Gestalt, der Bildung und Umbildung der organischen Körper«. Sie sollte helfen, die Entstehung aller Formen der Natur aus einem Grundplan heraus zu verstehen, und mit diesem Vorhaben wollte Goethe auf »die Notwendigkeit der genetischen Methode für alle Naturwissenschaft« hinweisen.

Die Notwendigkeit der genetischen Methode für alle Naturwissenschaft – das könnte man auch ein genetisches Programm nennen, und darum geht es in diesem Buch. Der historische Ablauf hat den Menschen erst die Gene beschert und dann genommen. Nun gilt es, die genetische Methode und das genetische Vorgehen *nach den Genen* zu erfassen.

## »Gen-Bearbeitung«

In jüngster Zeit taucht vermehrt ein Begriff in den Medien auf, der im Amerikanischen »Gene Editing« heißt. Wörtlich übersetzt wäre das »Gen-Editierung« oder »Herausgabe von Genen«, besser kann man aber auch »Gen-Bearbeitung« oder »Gen-Korrektur« sagen. Es geht um Eingriffe in das Erbgut, die Textänderungen gleichen, wie sie Redakteure oder Lektorinnen an Manuskripten vornehmen (wobei dieser Berufsstand es selten bei dem Austausch einzelner Wörter belässt). Texte werden ediert, und nicht Wörter, wobei natürlich zu beachten ist, dass die Intention der Autoren – der Sinn ihrer Sätze – gewahrt bleiben muss, was vielfach Fingerspitzengefühl verlangt.

Wenn nun davon die Rede ist, dass ein genetischer Text – also das genetische Material eines Organismus – ediert werden soll, und man den Ausdruck so verwenden will, wie dies bei der Durchsicht von Buchmanuskripten geschieht, dann fällt sofort auf, dass niemand eine Autorin oder einen Autor des genetischen Textes kennt und deshalb auch niemanden fragen kann, was er oder sie tatsächlich ausdrücken wollte.

Das Edieren der genetischen Informationen gelingt dank einer seit 2012 verfügbaren Technik mit dem komplizierten Namen CRISPR-Cas9.\* Der in Bakterien gefundene Mechanismus kann seiner natürlichen Quelle entnommen und als Methode in sämtlichen Zellen eingesetzt werden, also auch beim Menschen.

\* Die Buchstaben CRISPR kürzen eine Beschreibung von Strukturelementen des Erbmoleküls DNA ab, das aus Sequenzen von einzelnen Bausteinen besteht (Nukleotiden oder Basen, wie später im Text ausgeführt wird). Diese Sequenzen ähneln Folgen von Buchstaben, von denen einige von vorn und von hinten zugleich gelesen werden können. In dem Fall spricht man von palindromischen Sequenzen. Sie werden zum einen oftmals wiederholt (»repeats«), sie werden durch Zwischenräume (»spacer«) getrennt, und sie können gehäuft (als »cluster«) auftreten. Es gibt also »clustered regularly interspaced short palindromic repeats«, was von den Wissenschaftlern kurz als CRISPR bezeichnet wird (das dazugehörige Kürzel Cas9 wird an späterer Stelle aufgelöst).

»Editing Humanity: The prospect of genetic enhancement« – mit diesen Worten lockte im August 2015 das Wirtschaftsmagazin *The Economist* neugierige Käufer an den Kiosk. Wer den Beitrag im Heftinnern aufschlug und sich über die mögliche (und gezielte) Bearbeitung der Menschheit und die Aussichten auf ihre kommende genetische Verbesserung informierte, konnte etwa lesen, dass Menschen zwar immer schon den Menschen verbessern wollten (das war bei den alten Griechen nicht anders als bei den Alchemisten zur Goethezeit), nun aber die Methoden bekannt seien und die Instrumente zur Verfügung stünden, um das uralte Wollen technisch modern umzusetzen. Und vor allem: Jedermann könne sich das vornehmen.

Spätestens an dieser Stelle passierte, was sich auch gehört: Ethikfachleute unter den Philosophen meldeten sich zu Wort. Sie taten dies bislang allerdings, ohne dem Publikum recht sagen zu können, wo die genetische Reise hingehen soll und was zu tun ist. Die amtlichen Bedenkenträger aus den sozial-philosophischen Abteilungen der Universitäten empfehlen dafür bestenfalls unverbindlich, die »Menschenverbesserungsdebatte möglichst differenziert« zu führen, wie zu lesen ist. Die kritischen Intellektuellen trauen sich aber nicht, energisch ein weltweites Verbot aller Versuche zur »Selbstvervollkommnung des Menschen« zu fordern. Stillschweigend hoffen sie darauf, dass sich unter den Gen-Korrektoren ein kritisches Bewusstsein entwickelt und der Wissenszuwachs der Gen-Ingenieure an Fahrt verliert – was auch immer mit diesen frommen Wünschen gemeint ist.

Und während diese öffentliche und unvermeidbare Diskussion in Gang kommt, verhandeln andere Philosophen und Gen-Experten die Lage, die sich im Gefolge der Großprojekte ergeben hat, in deren Verlauf das gesamte Erbmaterial eines Menschen – das humane Genom – erfasst werden konnte. Der modernen Biologie stehen inzwischen Methoden zur Verfügung, um das, was im letzten Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts Ewigkeiten gedauert und Milliarden Dollar verschlungen hat, in wenigen Stunden für demnächst nur noch ein paar Tausend Dollar zu liefern. Und schon wollen sowohl Bioforscher als

auch Regierungen – ganz konkret die von Großbritannien – und vielleicht auch noch andere Institutionen das Erbgut von Tausenden oder gar Hunderttausenden Menschen offenlegen und die dort, also in den Genomen, steckenden Informationen über das Leben sammeln und nutzen. Die Fragen lauten jetzt natürlich, wer all die Daten haben will, und zu welchem Behufe.

Die Debatte über den massenhaften Zugriff auf das menschliche Erbmaterial und den Einsatz der dabei gewonnenen Informationen hat bei den beteiligten Experten die Einsicht wachsen lassen, dass sich die genetischen Wissenschaften in eine völlig neue Situation hineinmanövriert haben. Das gute alte Gen, nach dem seit über hundert Jahren geforscht und mit dessen Erscheinen ebenso lange über das Leben diskutiert wird, lässt sich kaum noch fassen. Mit anderen Worten: Die Zeit nach den Genen hat begonnen, und die Zukunft steht so offen wie nie.

Doch das aktuelle Denken über Gene und Genome ist nur zu verstehen, wenn man dessen historische Herkunft und wissenschaftliche Quellen kennt. Dazu wird ein Ausflug in das 19. Jahrhundert nötig. Wie der Konstanzer Historiker Jürgen Osterhammel in seinem Buch über diese Epoche schreibt, beginnt damals die Vorgeschichte der Gegenwart, *Die Verwandlung der Welt*, auch und gerade in der Welt der Genetik. In einem Klostergarten beugt sich ein Mönch über seine Erbsen und zählt ihre Eigenschaften.

## Der lange Weg zu langen Molekülen

Als die Genetik im 19. Jahrhundert auf ihren bis heute erfolgreich beschrittenen Weg gebracht wurde, gab es weder diesen Begriff für die Wissenschaft der Vererbung noch den Namen »Gene« für die Objekte, deren Verhalten und Verteilen in den forschenden Blick genommen werden sollten. Beide, die Gene und die Genetik, stammen aus dem frühen 20. Jahrhundert. Als Menschen anfangen, sich systematisch um Vererbung zu kümmern, mussten sie sich auf sichtbare Eigenschaften der Organismen, auf die Phänomene konzentrieren. Sie konnten nur vermuten, dass die äußerlich erkennbaren Qualitäten wie Farben und Formen mit Gegebenheiten im Inneren von Pflanzen, Tieren und Menschen verknüpft waren – genauer: mit Gegebenheiten im Inneren der dazugehörigen Zellen –, von denen einige an Nachkommen weitergegeben wurden.

Niemand konnte vor dem Ende des 19. Jahrhunderts begründbare Hypothesen über die Mechanismen abgeben, die bei diesen Lebensvorgängen eine Rolle spielen. Die Wissenschaftler tappten regelrecht im Dunkeln. Die forschenden Zeitgenossen des Philosophen Friedrich Nietzsche begannen zwar gerade mit besser werdenden Mikroskopen zu erkennen, dass sich die Organismen aus vielen winzigen Zellen zusammensetzen und wie sich die embryonale Entwicklung dabei vollzieht. Aber noch blieb den frühen Zoologen und Botanikern der Blick in das Innere dieser Lebenseinheiten verwehrt. Und: In Augenschein nehmen und direkt sehen konnten Biologen Erbfaktoren oder Gene noch lange Zeit überhaupt nicht. Das hinderte sie aber nicht daran, über Erbelemente nachzudenken und zu spekulieren, und dabei wurden diese Bausteine einer Zelle so behandelt wie die Atome von den Physikern. Auch die seit der Antike so

bezeichneten Elementarbausteine einer komplexen Wirklichkeit konnte niemand sehen oder gar anfassen. Man stellte sich dennoch vor, dass die Atome als unteilbare Einheiten im Inneren der Materie hockten, um von dort aus die Stoffe und Substanzen aufzubauen und mit ihren Eigenschaften auszustatten, auf die man im Alltag traf. Genauso unteilbar und unsichtbar im Inneren der Zellen ruhend stellten sich die Biologen die Atome der Vererbung vor, also die Gene, die auf zunächst völlig rätselhaft Weise von ihrem Ort aus wirkten und dadurch das Leben, das man zum einen selbst führte und das man zum anderen in der Natur oder im Garten beobachten konnte, in Gang brachten und hielten.

Den Vergleich zwischen den Genen des Lebens und den Atomen der Materie und das Nebeneinanderstellen von physikalischen und biologischen Ansichten sollte man nicht als willkürlich und beliebig ansehen. Das durchgängige Herstellen solcher Verbindungen gehört zum Verständnis der Vererbung und sorgt für die historische Tatsache, dass die moderne Biologie das Werk von Physikern ist – was noch deutlicher wird, wenn es um die moderne Molekularbiologie geht. Und dieser Sachverhalt erklärt auf einfache Weise, warum vielen Wissenschaftlern und Laien bis heute die Annahme leicht über die Lippen kommt, dass es für das Leben ähnliche Gesetze wie für die Materie geben muss. So wie es einen Newton der Mechanik am Himmel gegeben hat, muss es auch einen Newton für die Dynamik auf der Erde geben, so denkt und hofft man. Das Buch der Natur, so hatte doch Galileo Galilei mit großer Autorität – wenn auch ohne jede Begründung – im 17. Jahrhundert geschrieben, ist in der Sprache der Mathematik verfasst.

Als es den Physikern im Verlauf der Jahrhunderte nach Galilei gelang, unter anderem Planetengesetze aufzustellen und ganz allgemein mechanische Bewegungen mit mathematischen Formeln zu erfassen, da zeigte man sich überzeugt, sein Diktum verkünde die wissenschaftliche Wahrheit insgesamt. Und so machten sich die Bioforscher mutig auf die Suche nach den Gesetzen für das lebendig Wachsende, die denen der mechanischen Bewegung nachzubilden waren.

Es war dann auch ein Physiker, der im genetischen Regelwerk der Natur als Erster fündig wurde. Genauer gesagt war es ein Mönch, der von seinem Kloster an die Universität Wien geschickt worden war, um dort Physik zu studieren. Ihm war die Aufgabe zugewiesen worden, das erfolgreichste Fach der Naturwissenschaft in der Klosterschule zu unterrichten. Die Rede ist von Gregor Mendel, der sich dem Dominikanerorden angeschlossen hatte und von dem Abt seines Klosters im tschechischen Brünn zum Studium der Physik entsandt worden war. Mendel lernte bei den Vorlesungen in Wien unter anderem das kennen, was die Lehrbücher heute als kinetische Gastheorie beschreiben. Mit ihrer Hilfe konnte und kann man unter der Annahme, dass Gase aus undurchdringlichen Atomen oder elastischen Molekülen bestehen, die sich bewegen und zusammenprallen können, mathematisch formulierte Gesetze ableiten. Auf diese Weise werden die messbaren Eigenschaften von Gasen berechenbar, zum Beispiel ihre Temperatur und der Druck, den sie bei einem bestimmten Volumen ausüben.

Biografen von Mendel sind zu dem Schluss gekommen, dass der Mönch unter Prüfungsangst litt. Er ist jedenfalls zweifach durch die Lehrerprüfung gefallen, und nun musste sich sein Abt eine andere Aufgabe für ihn einfallen lassen. Wie aus den Schulbüchern bekannt, wurde Mendel mit Aufgaben im Klostergarten betraut, und hier widmete er seine Aufmerksamkeit den Erbsen und den Kreuzungen, die sich mit ihnen vornehmen ließen. Man kann sich vorstellen, dass sich Mendel dabei unter anderem fragte, ob man die Eigenschaften der Pflanzen – die Farben ihrer Blüten und die Höhe ihrer Triebe zum Beispiel – auf dieselbe Weise erklären könne, wie es die Physiker mit den Eigenschaften der Gase machten, nämlich durch das Wirken von unsichtbaren Atomen, die er »Elemente« nannte. Mendel sprach genauer von Erbelementen, deren »lebendige Wechselwirkung« er erkunden wollte, wie er 1865 in seiner längst legendären Arbeit *Versuche über Pflanzen-Hybriden* – also seine Versuche mit unterschiedlichen Erbsensorten – schilderte. »Lebendige Wechselwirkung« – das war zur einen Hälfte offenkundig biologisch gedacht und zur anderen Hälfte der zeitgenössischen Physik entlehnt. Denn

damals beschäftigten sich die Theoretiker der Gase unter anderem mit der mechanischen Wechselwirkung (dem Zusammenstoßen) der Teile, also der Moleküle und Atome, aus denen die von ihnen betrachteten Dinge bestanden. Die Wissenschaft von der Vererbung fand damit jedenfalls ihren historischen Ausgangspunkt, wie in den Geschichtsbüchern festgehalten ist.

Mendels Idee von Erbelementen mag aus heutiger Sicht einfach klingen. Sie verdient aber deshalb eine besondere Aufmerksamkeit, weil sie die beste und klarste Zusammenfassung seines Beitrags zur Genetik erlaubt. Es geht dabei nicht um die Erbgesetze, die seinen Namen tragen. Um so etwas hat Mendel sich überhaupt nicht bemüht. Wer Mendels Beitrag zur Genetik auf den entscheidenden Punkt bringen will, berichtet von seinen Erbelementen und der damit zusammenhängenden wegweisenden und eindeutigen Erkenntnis, die sich kurz so ausdrücken lässt: Vererbung geschieht partikulär. Vererbung gelingt mithilfe von Teilchen, die in Zellen sitzen und dort so etwas wie die Atome der Genetik abgeben.

Mendel konnte mit seinen Versuchen an Erbsen klarmachen, dass es keine Flüssigkeiten sind, mit denen die Weitergabe von Eigenschaften der Eltern auf Nachkommen zu erklären ist. Vormalig hatte man angenommen, dass die Samenflüssigkeit oder das Blut bei der Vererbung menschlicher Eigenschaften eine entscheidende Rolle spielen. Noch heute ist ja von »Blutsverwandtschaft« die Rede, wenn Ahnenforscher sich äußern, und der Ausdruck der »Blutschande« aus finsternen politischen Zeiten bleibt unvergessen. Mendel sah im Inneren der lebendigen Geschöpfe vielmehr diskrete Erbelemente am Werk – genetische Atome, wenn man sie so nennen darf. Seit seinen Tagen versuchen die Erforscher in der organischen Natur diese biologischen Elemente aufzuspüren und zu verstehen, wie mit ihrer Hilfe und Dynamik das Leben seine Formen im Einzelnen herausbildet.

Natürlich ist Mendel aufgefallen, dass es Regelmäßigkeiten bei der Weitergabe der elterlichen Eigenschaften und damit der Erbelemente gibt, und es ist auch möglich, mit seinen Daten die Regeln aufzustellen, die unter seinem Namen in den Schulbüchern kursieren.

Aber Genetik lernt man mit ihnen nicht. Wichtig an den Zahlen von Mendel, mit denen er die Verteilung von Eigenschaften der Eltern auf die Nachkommen erfasste und notierte, ist vor allem, dass er dabei zum ersten Mal in der Geschichte der Wissenschaft statistische Zusammenhänge aufdecken konnte. Vererbung funktioniert nämlich nicht oder nur zu einem geringen Teil deterministisch, sondern mit vielen Zufälligkeiten. Mendels Gesetze geben Wahrscheinlichkeiten für die Verteilung von sichtbaren Eigenschaften auf die Nachkommen an, und zwar unter der Annahme, dass sich die unsichtbar bleibenden Erbelemente frei zusammenfinden (kombinieren) und auch wieder trennen können. Und das statistische Geschick, das Mendel dem Physikstudium verdankt, zeigt sich auch in seiner Entscheidung, nicht *viele Erscheinungen an einer einzelnen Pflanze*, sondern umgekehrt eine *einzigste Erscheinung* – wie etwa eine Farbe – *an vielen Pflanzen* zu beobachten und zu analysieren. Nur so kann man zu den Aussagen kommen, die in den Schulbüchern als »Mendels Gesetze der Vererbung« vorgeführt werden und hier ausgearbeitet bleiben.

### Die Bedeutung der Unterschiede

Wenn von sichtbaren Eigenschaften der Erbse die Rede ist, lassen sich viele Details angeben. Mendel arbeitete bevorzugt mit der als *Pisum sativum* bezeichneten Gartenerbse, die einhundert Jahre vor ihm zum ersten Mal von Carl von Linné beschrieben und untersucht worden war. Man kann sich auf die Laubblätter, die Fiederblätter, die Kelchblätter oder die Hülsenfrüchte konzentrieren, die je nach Sorte gelb, grün oder bräunlich sein können. Mendel wird viel Zeit und Geduld gebraucht haben, um die geeigneten Eigenschaften auszuwählen und zu identifizieren – etwa die Beschaffenheit der Samen oder die Form verschiedener Blätter –, mit denen er seine Versuche und Kreuzungen unternehmen konnte. Und während dieser sorgfältigen Suche wird er sicher darüber nachgedacht haben, wie denn aus den vermuteten Elementen der Vererbung die anschaulichen Qualitäten der Pflanze werden können.