

2

Chromosomen

So, wie wir es bisher erzählt haben, klappt eine Lücke zwischen den Jahren 1865, als Gregor Mendel sich in aller Bescheidenheit der wissenschaftlichen Öffentlichkeit vorstellte, und 1900, als seine Ideen endlich in der Welt der Biologie angekommen waren. Aber in den dreieinhalb Jahrzehnten gab es bedeutende Fortschritte in den biologischen Wissenschaften. Physiologie von Mensch, Tier und Pflanze; Zellbiologie und Entwicklung; Embryologie und Evolution – auf allen Gebieten kam es zu neuen Erkenntnissen. Forschungsprogramme wurden entworfen, die zum Teil heute noch auf der Agenda stehen.

Für unsere Geschichte sind die Forschungen über Chromosomen wichtig. Das war keine gerade Linie von klarer Fragestellung zu überzeugendem Ergebnis. Es gab Unsicherheiten und Fehlschlüsse und entsprechend heftige Kontroversen zwischen den beteiligten Wissenschaftlern. Wir möchten das nicht im Einzelnen nachzeichnen, sondern nur einige Stationen aufführen.

Eine erste und wichtige Erkenntnis war, dass es die Zellkerne sind, die im Zentrum des Vererbungsgeschehens stehen. Das folgte unter anderem aus Beobachtungen an Eiern von Seeigeln. Der Zoologe und spätere Philosoph des Vitalismus, Hans Driesch (1867–1941), schrieb in seinen *Lebenserinnerungen* über eines seiner Experimente im Jahre 1890: „Glashell und durchsichtig“ sind die Eier, „und es war eindrucksvoll, am lebenden Objekt die Befruchtung des Seeigeleies zu sehen und dann zu beobachten, wie sich in etwa halbstündigem Rhythmus eine Furchung nach der anderen vollzog“. Es zeigte sich, dass ein einziges Spermium für die Befruchtung ausreicht; dass der Kern des Spermiums zunächst erhalten bleibt und erst etwas später mit dem Kern der Eizelle verschmilzt (und sich nicht etwa auflöst, wie vorher oft vermutet worden war). Die Folgerung liegt auf der Hand, nämlich dass in den Zellkernen die Information für die gesamte Entwicklung stecken musste, von der befruchteten Eizelle bis zum erwachsenen Tier.

Das Innere der Zellkerne lässt sich mit geeigneten Farbstoffen in charakteristischer Weise anfärben. Deswegen sprach Walter Flemming (1843–1901), Professor für Anatomie in Kiel, von **Chromatin** (nach dem griechischen Wort für Farbe: *chroma*). Das war ein verbaler Volltreffer, denn das Wort ist griffig und hat sich in der wissenschaftlichen Welt durchgesetzt. Bis heute, wo Forschungen über Chromatin ein spannendes Kapitel der molekularen Genetik und Zellbiologie sind, wie wir später sehen werden.

Andere Forschungsarbeiten galten den Chromosomen, die sichtbar werden, wenn Zellen sich teilen und vermehren. Dann verdichtet sich das Innere des Kerns zu fadenförmigen Strukturen. Man sprach zuerst von „Kernfäden, Kernschleifen“ oder „chromatischen Elementen“, bis dann der Berliner Anatomie-Professor Heinrich Wilhelm Waldeyer (1836–1921) als Erster das Wort benutzte, das bald eine der wichtigsten Vokabeln der Biologie wurde – **Chromosom**. In seinem 122-seitigen Aufsatz im *Archiv für mikroskopische Anatomie und Entwicklungsmechanik* (1888) beschrieb Waldeyer, dass sich Chromosomen direkt vor der Zellteilung der Länge nach spalten und dass die Spaltprodukte in je eine der Nachkommenzellen gelangen. Danach werden die Chromosomen unsichtbar, bis sie sich dann bei der nächsten Zellteilung wieder zeigen (Abb. 2.1).

Theodor Boveri (1862–1915)

Damals wurde heftig diskutiert, ob die Chromosomen zwischen den Zellteilungen verloren gehen oder anders gefragt, ob es eine Beziehung zwischen dem Chromatin in ruhenden und den Chromosomen in sich teilenden Zellen gibt.

Diesen Streit entschied einer der bedeutenden deutschen Biologen jener Zeit, Theodor Boveri (1862–1915), ab 1892 Zoologie-Professor in Würzburg. Noch heute werden Boveris Arbeiten mit einem Zug von Verehrung zitiert, übrigens nicht nur von deutschen Wissenschaftlern und vor allem mit dem Blick auf ein Spätwerk: „*Zur Frage der Entstehung maligner Tumoren*“ (1914). Boveri war der Erste, der eine Beziehung zwischen Chromosomenveränderung und der Entstehung der Krebskrankheit sah. Um ihren großen Gelehrten zu ehren, hat die Julius-Maximilian-Universität in Würzburg ein Theodor-Boveri-Institut für Biowissenschaften mit Lehrstühlen für Genetik, Zell- und Entwicklungsbiologie und dergleichen eingerichtet.

Wie viele seiner wissenschaftlichen Zeitgenossen war Boveri ungeheuer fleißig und „produktiv“ und zwar auf mehreren Gebieten der Zoologie. Er schrieb Beiträge zur Anatomie, Physiologie, Evolution und Embryologie. Er forschte über die Vereinigung von Eizelle und Spermium und über die Zellteilungen bei der frühen Entwicklung des Embryos. Im Zuge dieser Forschungen machte er seine wichtigen Beobachtungen über Chromosomen.

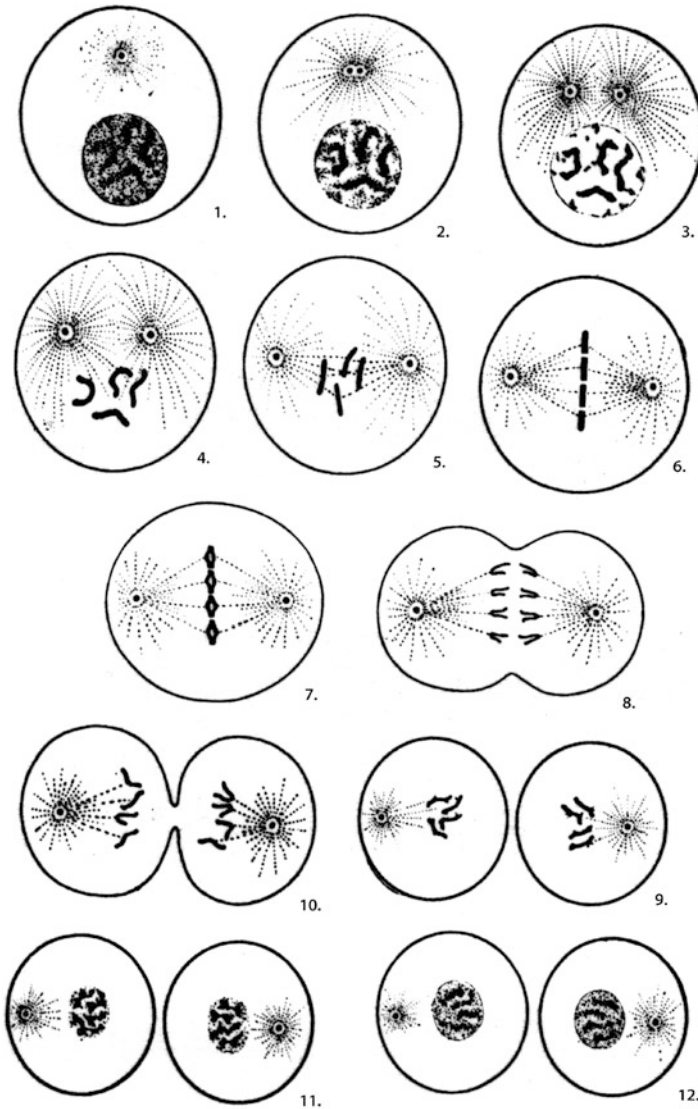


Fig.1.

Schema der mitotischen Zellteilung. 1–3 Bildung der Chromosomen im Kern, 4 Auflösung des Kerns, 5, 6 Bildung der Äquatorialplatte, 7, 8, 10 Auseinanderweichen der Tochterplatten, 9, 11, 12 Rekonstruktion der Tochterkerne. Gez. von Dr. Dingler.

Abb. 2.1 Chromosomen. Das Bild stammt aus dem Buch von Richard Goldschmidt *Einführung in die Vererbungslehre. In zweiundzwanzig Vorlesungen für Studierende, Ärzte und Züchter*. Das Buch erschien 1913 und ist eines der ältesten Lehrbücher der Genetik. Der Zustand in (6) wird heute als Metaphase bezeichnet: die Chromosomen mit den beiden dicht aneinander liegenden Teilen (Chromatiden) befinden sich in der Mitte der Zelle und sind mit dem Tubulin-Gerüst des Spindelapparats verbunden. Den Zustand in (7) und (8) bezeichnet man als Anaphase. In dieser Phase werden die Chromatiden mithilfe des Spindelapparates voneinander getrennt. Sie gelangen schließlich in die beiden neu entstehenden Zellen

Die Forschungsarbeiten sind kompliziert in der Anordnung und Interpretation und heute nur noch verständlich, wenn man sich klar macht, dass damals all das erst mühsam erarbeitet werden musste, was heute längst so etwas wie biologische Folklore geworden ist. Aber eines sollten wir doch erwähnen, nämlich dass Boveri, wie alle großen Biologen, mit Sorgfalt seine beiden Forschungsmodelle aussuchte. In Würzburg war es der Pferdespulwurm *Ascaris megalocephala*, der den Vorteil hat, dass er nur vier Chromosomen besitzt, was natürlich den Überblick erleichterte. Boveris zweites Modell war der Seeigel, mit dem auch andere experimentierten, wie wir gesehen haben. Boveri arbeitete mit Seeigeln, wenn er, wie oft im Sommer, Gast an der meeresbiologischen Station in Neapel war.

Hier geht es zunächst einmal um Arbeiten, die Boveri im Jahre 1888 in Form eines mehr als 200 Seiten dicken Papers unter dem Titel „Zellstudien II. Die Befruchtung und Teilung des Eies von *Ascaris megalocephala*“ in der *Zeitschrift für Naturwissenschaft* veröffentlichte. Der für uns wichtigste Punkt: Im Verlauf von Zellteilungen bilden sich aus den dünnen Chromatinfäden die Chromosomen und diese lösen sich am Ende einer Teilung wieder auf, sodass aus Chromosomen wieder Chromatin wird. Mit anderen Worten, Chromosomen behalten ihre Individualität im Laufe des Lebens von Zellen und von Organismen. Sie verändern nur ihren Zustand: aufgelockert in ruhenden Zellen; dicht verpackt in sich teilenden Zellen.

Boveri bezieht sich in seinem Paper auf Carl Rabl (1853–1917), einen österreichischen Forscher, der zuerst in Wien, dann als Anatomie-Professor in Prag, später in Leipzig, ebenfalls über das Verhalten von Chromosomen forschte. Tatsächlich hat Rabl schon ein paar Jahre früher als Boveri von der Konstanz der Chromosomen gesprochen und mit seinen Arbeiten an Salamander-Zellen begründet. Nun haben Salamander-Zellen 24 Chromosomen, und diese lassen sich nicht so gut beobachten wie die vier Chromosomen von *Ascaris*. So blieb Einiges an Unklarheit, und es ist wohl fair, wenn man sagt, dass es Boveri war, der zu diesem Thema das letzte Wort gesprochen hat. Aber bittere Gefühle blieben, jedenfalls bei Rabl, der noch Jahre später sagte, „dass ich die Theorie der Chromosomenindividualität ... als mein ausschließliches geistiges Eigentum in Anspruch nehme und dass ich mich weder mit Boveri noch mit irgendeinem anderen in die Priorität teile“, ja dass man sich an der wissenschaftlichen Wahrheit versündige, wenn man Boveri als Urheber oder Begründer der Theorie bezeichne.

Chromosomen in Zahl und Form

Wie auch immer, der führende Zellforscher der Zeit, E. B. Wilson, übrigens ein guter Freund Boveris, fasste in seinem einflussreichen Buch *The Cell in Development and Inheritance* (1900) die Forschungsarbeiten von zwei Jahrzehnten zusammen:

- Jede Tier- und Pflanzenart hat ihre spezielle Zahl von Chromosomen. *Ascaris* hat vier, Salamander 24 Chromosomen und so weiter. Übrigens – wie viel Chromosomen der Mensch hat, wurde erst um 1950 endgültig geklärt. Die Zahl ist 46. Wir kommen darauf zurück.
- Jedes Chromosom kommt in zwei Exemplaren vor, sozusagen als Paar. Ein Exemplar stammt von der Eizelle, das andere von der Spermie. Man spricht von „homologen Chromosomen“.
- Geschlechtszellen haben halb so viele Chromosomen wie Körperzellen. Anders gesagt, die Reifung der Geschlechtszellen geht mit einer Reduktion der Chromosomenzahl einher.
- Wenn sich dann Ei und Spermium bei der Befruchtung treffen, wird die volle Chromosomenzahl wieder hergestellt.

Wilson gibt die Meinung vieler Biologen wieder, wenn er – sehr vorsichtig – notiert, dass Chromosomen die Träger genetischen Materials sein könnten. Wilsons Buch erschien im Jahre 1900. Im gleichen Jahr geriet die biologische Welt durch die Wiederentdeckung der Mendel-Forschungen in Aufregung. Ließ sich beides, nämlich das Wissen von den Chromosomen und die Vererbungsregeln, unter einen Hut bringen?

Zwei Forscher versuchten es als Erste. Einer war Theodor Boveri, der andere Walter S. Sutton.

Boveri machte seine Experimente mit Seeigeln. Es gelang ihm, einzelne Eier mit mehreren Spermien zu befruchten. So kam nicht nur, wie normalerweise, ein väterlicher Chromosomensatz in die Eizelle, sondern zwei oder auch mehr. Wenn das passierte, geriet die Chromosomen-Situation der befruchteten Eizelle völlig durcheinander. Die Konsequenz war, dass die frühen Embryonalzellen zufällig zusammengewürfelte Chromosomenzahlen erhielten. Eine normale Embryoentwicklung war unmöglich.

Nur unter einer Bedingung ging die Entwicklung ihren normalen Weg, nämlich dann, wenn eine frühe Embryozelle zufällig den intakten und vollständigen Satz von Seeigel-Chromosomen erhalten hatte. Der Schluss: Jedes Chromosom trägt „Merkmale“ – oder sagen wir ruhig: Gene (obwohl es das Wort erst seit 1909 gab), die für die Entwicklung des Organismus notwendig sind.

Wenn man diese Erkenntnis mit dem zusammenbringt, was damals über Chromosomen bekannt war und was in Wilsons Buch aufgelistet ist, liegt der Schluss nahe, dass Chromosomen die Träger der Mendel'schen „Merkmale“ sind. Boveri hat erstmals im Jahre 1903 bei einem Treffen der Zoologischen Gesell-

schaft über seine Experimente und Schlussfolgerungen gesprochen und kam in späteren Arbeiten immer wieder darauf zurück.

Walter S. Sutton (1877–1916)

Der zweite Forscher, der Chromosomen als Träger von Genen erkannte, war Walter Sutton. Er arbeitete als Doktorand (*graduate student*) im Labor von E. Wilson an der *Columbia University* in New York. Er publizierte zwei Aufsätze, den ersten im Jahre 1902, den zweiten im Jahr darauf. Das waren die beiden einzigen Arbeiten, die er veröffentlichen sollte, denn er verließ – ohne Dokortitel – Wilsons Labor, studierte Medizin und praktizierte später als Chirurg.

Aber die beiden wissenschaftlichen Arbeiten haben Sutton einen prominenten Platz in der Geschichte der Biologie eingebracht. Sutton untersuchte die Reifung von Keimzellen am Modellsystem der Heuschrecke. Diese Tiere haben zwar die etwas unhandliche Zahl von 22 Chromosomen, aber die Chromosomen sind unterschiedlich groß und lassen sich gut voneinander unterscheiden. Sutton untersuchte die Reifung der Keimzellen und sah, dass Paare gleich großer („homolog“) Chromosomen sich eng zusammenlegen, je ein Chromosom, das ursprünglich vom väterlichen und eines, das vom mütterlichen Elternteil stammt. Er sah weiter, dass die Paare bei der Reduktionsteilung voneinander getrennt und an die Keimzellen weitergegeben werden. So weit, so gut. Das war bekannt und steht ja auch so in Wilsons Buch. Aber Sutton ging einen wichtigen Schritt weiter. Er schloss, dass die Chromosomen wie im Kartenspiel gemischt werden. Die Verteilung von väterlichen und mütterlichen Chromosomen ist rein zufällig. So kann es der Zufall dazu bringen, dass eine Keimzelle nur väterliche Chromosomen bekommt, eine andere 21 väterliche und eine mütterliche, wieder eine andere 20 väterliche und zwei mütterliche usw. Jede neue Keimzelle, Ei oder Spermie, erhält eine je eigene Mischung der Chromosomen beider Eltern. Die Abb. 2.2 zeigt eine vereinfachte Version und eine Verallgemeinerung dieses Zahlenspiels.

Sutton notierte am Ende seines ersten Papers: „Ich möchte die Aufmerksamkeit darauf lenken, dass das paarweise Aneinanderlagern von väterlichen und mütterlichen Chromosomen und die darauffolgende Trennung bei der Reduktionsteilung die physikalische Grundlage für die Mendel'schen Gesetze der Vererbung sein könnten“ (1902), und über das zweite Paper schreibt er schon selbstsicher und selbstbewusst „*The Chromosomes in Heredity*“ (1903).

Wem gehört die Priorität? Boveri notiert im Jahre 1907 etwas herablassend: „Ich bezweifle durchaus nicht, dass Sutton selbständig auf diese Beziehung aufmerksam geworden ist, wenn aber überhaupt einer von uns beiden diesen Gedanken von anderen haben sollte, so könnte nach der zeitlichen Folge der Publikationen ihn Sutton von mir haben, nicht aber ich von ihm haben.“

Suttons Zahlenspiel

Chromosomen kommen in unreifen Geschlechtszellen (und in Körperzellen) in doppelter Ausführung als Paare vor. Man sagt: unreife Geschlechtszellen (und Körperzellen) sind diploid. Ein Chromosom eines Paares stammt von der Mutter (A, B, C, D), das andere vom Vater (a, b, c, d).

Aa	Bb	Cc	Dd
----	----	----	----

Bei der Reifung der Geschlechtszellen werden die ursprünglich väterlichen und ursprünglich mütterlichen Chromosomen voneinander getrennt und neu kombiniert. So entstehen sechzehn verschiedene Kombinationen. Reife Geschlechtszellen (Gameten) haben nur ein Exemplar jedes Chromosoms. Sie sind haploid.

a B C D	a b C D	A b c d	A B c d
A b C D	a B c D	a B c d	A b C d
A B c D	a B C d	a b c d	A b c D
A B C d	a b c d	a b c D	A B C D

Allgemein:	Zahl der Chromosomenpaare	n
	Zahl der möglichen Gameten	2^n
Beispiel:	Drosophila	4 Chromosomenpaare $2^4 = 16$ mögliche Gameten
	Mensch	23 Chromosomenpaare $2^{23} = 8\,368\,608$ mögliche Gameten

Abb. 2.2 Freie Kombination von ursprünglich väterlichen und ursprünglich mütterlichen Chromosomen. Jeder Buchstabe entspricht einem anderen Chromosom. Das hier abgebildete Kombinationsspiel stammt von W. S. Sutton. Er zeigte es als Beispiel in seinem berühmten Aufsatz mit dem Titel „The Chromosomes in Heredity“. Der Aufsatz erschien im Jahre 1903 im 4. Band der Zeitschrift *Biological Bulletin*. Übrigens gilt sie als die älteste biologisch-wissenschaftliche Zeitschrift der USA

Ob die Behauptung stimmt, mögen Historiker entscheiden. Die Wissenschaftler damals lösten den Konflikt um Prioritäten auf die einfachste Weise. Sie sprachen schlicht von der Boveri-Sutton-Theorie oder noch einfacher von der Chromosomentheorie der Vererbung. Aber, welche Bezeichnung jemand auch wählen mochte, es wäre ihm nicht in den Sinn gekommen, das Problem als gelöst anzusehen. Es war eben nur eine Theorie, und noch einige Jahrzehnte Wissenschaftsgeschichte mussten vergehen, bis man sie als Tatsache akzeptieren konnte.

Entscheidend dafür war eine Gruppe von Personen, die sich im Labor von Thomas Hunt Morgan zusammengefunden hatte.

3

Der Fliegenraum

Thomas Hunt Morgan (1866–1945)

Geboren wurde Morgan in Lexington, Kentucky, als Sohn einer wohlhabenden und angesehenen Familie – *Southern Aristocracy*, wie die amerikanischen Biografen gern schreiben. Das ist erwähnenswert, denn diese Herkunft mag einige Charakterzüge geprägt haben, die Thomas H. Morgan auszeichneten – vor allem Selbstsicherheit und Gelassenheit. Was ihn noch auszeichnete, waren Großzügigkeit, Freundlichkeit und Fleiß. Man zählt 22 Bücher aus seiner Feder, über 370 wissenschaftliche Artikel in Fachzeitschriften, dazu Aufsätze über die Organisation von Universitäten, Forschungseinrichtungen und dergleichen sowie unzählige Briefe.

Morgan begann als Zwanzigjähriger das Studium der Zoologie an der neu gegründeten Johns-Hopkins-Universität in Baltimore. Als Doktorand arbeitete er über ein evolutionsbiologisches Thema. Dafür erhielt er im Jahre 1891 den Dokortitel und die Stelle eines Professors für Biologie am Bryan Mawr College, eine damals fortschrittliche und mustergültige Ausbildungsstätte für Frauen. Übrigens heiratete er später (1903) eine seiner Studentinnen, Lilian Vaughan Sampson. Sie war selbst eine begeisterte Wissenschaftlerin, die lebhaften Anteil an den Arbeiten ihres Mannes nahm, aber jahrzehntelang ihre eigenen Forschungen zurückstellte, um sich den vier Kindern widmen zu können. Aber später im Leben ergab sich für sie doch noch die Zeit und Gelegenheit zu eigener und origineller Forschung.

Morgan war ein engagierter Hochschullehrer, aber er achtete auch darauf, dass ihm genug Zeit für die Forschung blieb, hauptsächlich während der Sommermonate, wenn der Lehrbetrieb ruhte und er an die meeresbiologische Station in Woods Hole in Massachusetts fahren konnte. Übrigens eine Reise, die er, wenn's irgend ging, auch in späteren Jahren machte. Von Zeit zu Zeit unterbrach er die

Routine von Lehre und Forschung. Dann reiste er nach Europa. Ein Höhepunkt war immer der Besuch der meeresbiologischen Station in Neapel, eine der Hochburgen der damaligen Biologie. Die Wochen in Neapel waren aufregend und stimulierend. Dort traf Morgan auf die Elite der europäischen Zoologen, zumal solche, die sich für die Embryologie interessierten, darunter der Deutsche Hans Driesch, mit dem ihn eine lebenslange Freundschaft verband.

Im Jahre 1904 wechselte Morgan an die *Columbia University* in New York. Er war in Biologenkreisen bekannt und hoch angesehen, hatte zwei Bücher geschrieben und dazu etwa hundert wissenschaftliche Aufsätze. Sein Hauptthema war die experimentelle Embryologie in der Tradition der sogenannten Entwicklungsmechanik, wie sie in Deutschland entstanden war. Ihr Credo war, dass die Embryonalentwicklung nicht von außen dirigiert wird, sondern vielmehr eine Folge von Ereignissen ist, die vom befruchteten Ei ausgeht und gesteuert wird.

Columbia University, New York und das Jahr 1910

Das sind Ort und Zeit, wo das nächste Kapitel in der Geschichte des Gens beginnt. Mendel war das Thema aller fortschrittlichen Biologen, aber Morgan blieb skeptisch. Er meinte, dass das Projekt Mendel aus zu viel Theorie und zu wenig experimentellen Daten besteht. Überhaupt hatte Morgan eine fast grundsätzliche Abneigung gegen solche Ideen und gedankliche Konstrukte, die sich nicht direkt aus beobachtbaren Grundlagen ableiten lassen. Ein solches gedankliches Konstrukt war für ihn die Aufteilung der elterlichen Gene bei der Bildung von Gameten, ebenso wie die Chromosomentheorie von Sutton und Boveri. Ausgerechnet Morgan, möchte man im Nachhinein sagen, denn Jahre später, 1933, erhält Morgan einen Nobelpreis und zwar gerade für Arbeiten über Chromosomen und Gene. Man fragt sich, wie aus dem Saulus ein Paulus und aus dem Skeptiker ein Glaubender wurde.

Das begann mit der Wahl eines für ihn neuen Forschungsmodells. Die kleine, gerade einmal 2–3 mm lange Fruchtfliege *Drosophila melanogaster*. Der Vorteil: kurze Generationszeiten von 10–12 Tagen, große Nachkommenschaft und die einfache Züchtung, nämlich in Milchflaschen auf zermatschten und faulenden Bananen. Es war wohl einer der Columbia-Studenten, Ferdinandes Payne, der die Fliege 1907 in Morgans Labor brachte. Paynes Aufgabe war ein simples evolutionsbiologisches Experiment. Er sollte *Drosophila* im Dunkeln züchten und dann nachschauen, was mit den Augen passiert. Morgan und mit ihm sein Student Payne hielten es für möglich, dass sich die Augen oder vielleicht auch nur das Sehvermögen nach vielen Generationen im Dunkeln zurückbilden. Das Experiment ließ sich gut – ja eigentlich nur – mit *Drosophila* durchführen: 40 Generationen in einem Jahr. Das ist eine überschaubare Zeit für ein studentisches Projekt. Na-

türlich zeigte sich nach Jahr und Tag, dass sich nichts an den *Drosophila*-Augen verändert hatte. Aber die Fliegen waren da und wurden weiter gezüchtet.

Es wird erzählt, dass Morgan eines Tages früh im Jahre 1910 Besuch von einem Kollegen bekam. Morgan soll ihn in sein Labor geführt und auf die inzwischen über Tausend Flaschen mit *Drosophila* gezeigt haben: „Da stehen zwei vergeudete Jahre. Ich habe die ganze Zeit Fliegen gezüchtet und nichts dabei gewonnen.“

Dann kam im Mai 1910 die Erleuchtung. Morgan entdeckte etwas Neues in einer der vielen Flaschen: eine einzige männliche Fliege mit weißen, statt der normalen roten Augen. Offensichtlich eine zufällige Mutation. Morgan fand das sofort enorm interessant. Er kreuzte das weißäugige Männchen mit normalen, also rotäugigen Weibchen und erhielt ausschließlich rotäugige Nachkommen. Das war leicht nach Mendel zu erklären: rotäugig war dominant, weißäugig rezessiv. So kreuzte er getrost die erste Generation von Fliegen untereinander: Tatsächlich treten neben den rotäugigen Nachkommen auch wieder weißäugige Tiere auf – aber alle weißäugigen waren alle männlich.

Eine Überraschung. Die Eigenschaft weißäugig wird zusammen mit dem Geschlecht vererbt. Das war der ausschlaggebende Punkt und eine Publikation wert. Noch im Juli 1910 erschien Morgans berühmter Artikel auf zwei Seiten in der Zeitschrift *Science* unter dem Titel „*Sex limited inheritance in Drosophila*“. Berühmt und grundlegend, weil erstmals gezeigt wurde, dass zwei Gene – also das Gen, das für Weißäugigkeit verantwortlich ist, und das Gen, das das Geschlecht bestimmt – gemeinsam („gekoppelt“) vererbt werden; und das lässt den – erst ein Jahr später, ebenfalls in einem Paper in *Science* – deutlich ausgesprochenen Schluss zu, dass die beiden Gene gemeinsam auf einem Chromosom, dem Geschlechts- oder X-Chromosom, liegen.

Noch im selben Jahr 1910 entdeckte Morgan mehrere andere Mutationen, und Ende 1912 hatte er an die 40 Fliegen, die sich durch sichtbare Auffälligkeiten, etwa andere Körperfarben oder andere Flügelformen und dergleichen, von den normalen Fliegen unterschieden. Jede dieser Auffälligkeiten markiert ein bestimmtes Gen; und anhand dieser Auffälligkeiten lässt sich der Gang der Gene von Eltern auf Nachkommen und von diesen auf weitere Nachkommen verfolgen.

Manche Gene werden wie das Gen *w* (für Weißäugigkeit) gekoppelt mit dem Geschlechtschromosom vererbt, andere nicht. Im Laufe von wenigen Jahren stellte sich heraus, dass sich die Gene von *Drosophila* in vier Kopplungsgruppen anordnen lassen. Eine dieser Kopplungsgruppen muss sehr klein sein, denn es dauerte lange, bis ein Gen gefunden wurde, das in diese vierte Kopplungsgruppe passte. Das waren wichtige Erkenntnisse, denn *Drosophila* hat vier Chromosomenpaare und eines dieser vier Paare ist viel kleiner als die anderen. Was liegt näher als Kopplungsgruppen mit Chromosomen gleichzusetzen? Ein Meilenstein in der Geschichte des Gens. Was Sutton und Boveri mehr ahnten als sahen, lag jetzt deutlich vor aller Augen: Chromosomen tragen Gene. Man konnte sogar

Eine kurze Geschichte der Genetik

Knippers, R.

2017, XVI, 405 S. 59 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-662-53554-7