

Woher stammen die Grundlagen unseres Wissens über die Vererbung? : zur Genetik von Mendel bis Morgan

Autor(en): **Balmer, Heinz**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Familienforschung Schweiz : Jahrbuch = Généalogie suisse : annuaire = Genealogia svizzera : annuario**

Band (Jahr): **34 (2007)**

PDF erstellt am: **03.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-697741>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Woher stammen die Grundlagen unseres Wissens über die Vererbung?

Vorh. d. Ges. 1 dabei

Zur Genetik von Mendel bis Morgan

Heinz Balmer

Résumé

Les recherches décrites ci-dessous vont de 1865 à 1950, c'est-à-dire avant la découverte de l'ADN en 1953.

*En croisant des petits-pois et en observant certains attributs, Gregor Mendel constate que dans les générations suivantes, ceux-ci revenaient toujours dans des proportions identiques. En observant les étapes de la fécondation, les cytologistes découvrent les chromosomes. Hugo de Vries développe la théorie des mutations. En 1919, à partir de ses observations sur les mouches du vinaigre (*Drosophila*), Thomas Hunt Morgan établit la première carte génétique et localise leurs caractères héréditaires sur leurs quatre paires de chromosomes.*

Zusammenfassung

Die folgende Arbeit setzt 1865 ein und endet gegen 1950, also vor der Entdeckung der DNA-Doppelhelix 1953.

Gregor Mendel kreuzte Erbsen, achtete auf einzelne Merkmale und erkannte, dass sie bei der Enkelgeneration in bestimmten Verhältnissen wieder auftraten. Zellforscher beobachteten die Befruchtungsvorgänge und fanden die Chromosomen. Hugo de Vries begründete die Mutationslehre. 1919 veröffentlichte Thomas Hunt Morgan aufgrund vieler Kreuzungen von Fruchtfliegen die erste Karte ihrer vier Chromosomen mit der darauf eingetragenen Verteilung von Erbanlagen.

1. Mendel

Johann Mendel wurde 1822 als Bauernbüblein in Heinzendorf in Mähren geboren. Mit 21 Jahren trat er als Novize unter dem Namen



Abb. 1 Gregor Mendel

Gregor in das Augustinerkloster von Brünn ein. Als Lehrer für Naturgeschichte und Physik an der Oberrealschule ist er seinen Schülern in freundlichem Andenken geblieben. Schelmisch blickte er durch seine Brille. Gelegentlich lud er Gruppen ein und zeigte ihnen seinen zahmen Fuchs und den Igel, die Vögel in seinem Zimmer und die weissen und grauen Zuchtmäuse. Er führte sie in das Glashaus mit den Ananas und in den langen, schmalen Klostergarten mit Erbsenpflanzen. Deren Blüten waren mit Papierhüllen umgeben, die die Insekten abhielten. Denn alle Befruchtungen nahm er selber vor. Er öffnete die Blüten, nahm die Staubbeutel heraus und strich die Pollen einer anderen Blüte mit dem Pinsel auf die Narbe. Da er dies tausendfach ausführte, galt er bei den Frauen von Brünn als leichten Spinner. Dies hat mir die Tochter des Gräzisten Theodor Gomperz erzählt, der Mendel noch zugeschaut hatte.

Im Februar 1865 hielt Mendel nach achtjährigen Kreuzungen einen Vortrag im Naturforschenden Verein in Brünn. Einen Monat später las er den zweiten Teil vor. Die Vereinsschriften druckten die

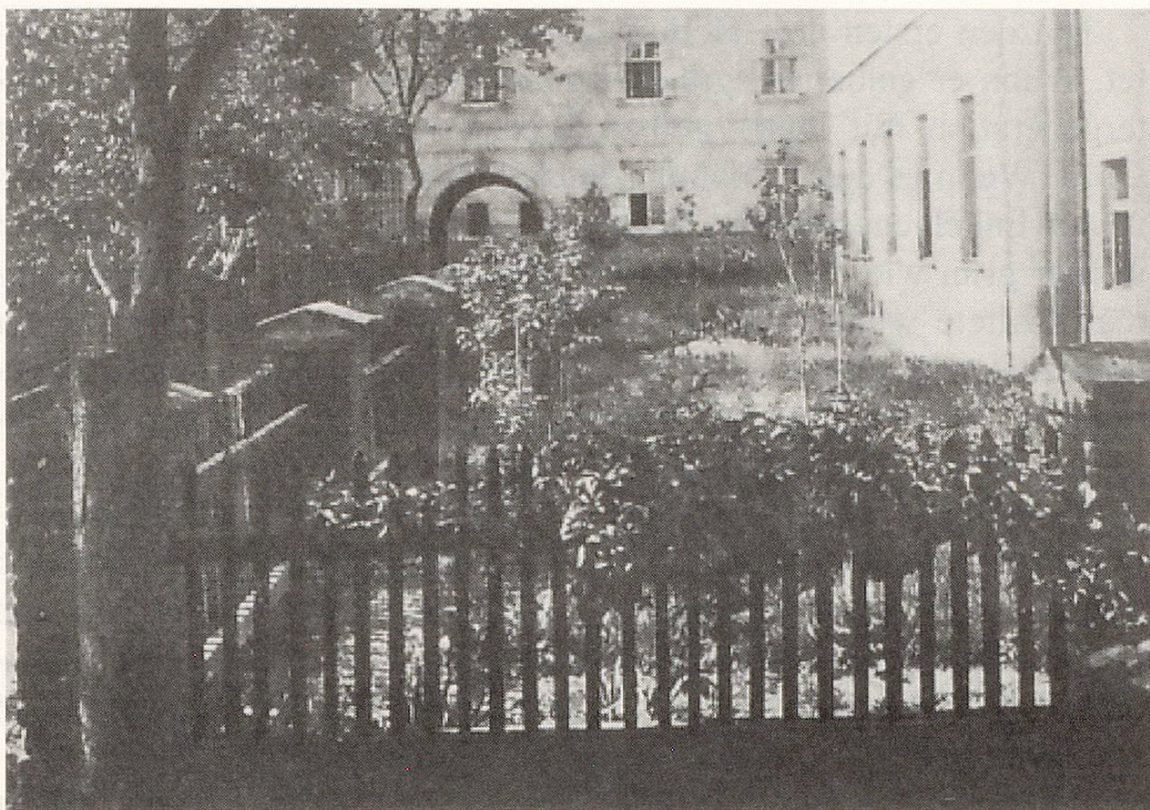


Abb. 2 Mendels Klostergarten in Brunn

Abhandlung ab, und Mendel bestellte 40 Sonderdrucke. Die Arbeit enthält die Grundlagen der Genetik, des heute wichtigsten Gebietes der Biologie. Ein Nachdruck erschien 1901 und in weiteren Auflagen als Nr. 121 in Ostwalds Klassikern.

Mendel vereinigte eine scharfe Beobachtungsgabe mit mathematischem Geist, eine seltene Kombination. Er ging nicht von der ganzen Pflanze aus, sondern von einzelnen Merkmalen, die sich deutlich unterscheiden liessen. Diese werden seither oft unrichtig angegeben: er habe rot- und weissblühende Erbsen gekreuzt oder hoch- und niedrigwüchsige Formen. Beides stimmt nicht. Daher seien die sieben Merkmalspaare aufgezählt, die er berücksichtigt hat:

1. Die Erbsen sind rund oder kantig.
2. Sie sind gelb oder grün.
3. Die Schale jeder einzelnen Erbse ist weiss oder grau.
4. Die Hülsen sind einfach gewölbt oder zwischen den Erbsen eingeschnürt.
5. Die unreifen Hülsen sind grün oder gelb.
6. Die Blüten stehen an der Achse oder endständig in Dolden.
7. Die Blüten sitzen an langen oder kurzen Stielen.

Mit den ersten drei Merkmalspaaren hat er am meisten gearbeitet. Wenn er gelbe und grüne Erbsen kreuzte, erhielt er eine Tochtergeneration mit lauter gelben Erbsen. Gelb war *dominant* über Grün. Wenn er diese Tochterpflanzen untereinander kreuzte, waren in der Enkelgeneration noch drei Viertel gelb. Ein Viertel erschien wieder grün wie die Grossmutter. Das überdeckte, *rezessive* Merkmal spaltete wieder heraus. Die heute gebräuchlichen Fachwörter *dominant* und *rezessiv* hat Mendel vom ersten Augenblick an gebraucht. Den Vorgang bei der Tochtergeneration nannte er die *Uniformitätsregel*, den nachfolgenden die *Spaltungsregel*.

Mendel hat auch Pflanzen, die sich in zwei Merkmalspaaren unterschieden, gekreuzt, nämlich runde gelbe Erbsen mit kantigen grünen. In der Tochtergeneration waren alle rund und gelb. Beim Auszählen der Enkelpflanzen wiesen 9/16 diese dominanten Merkmale auf. 3/16 waren kantig und gelb und 3/16 rund und grün. 1/16 vereinigte die beiden rezessiven Merkmale: kantig und grün.

Am meisten zu tun aber habe ihm das Auszählen gegeben, als er Pflanzen kreuzte, die in drei Merkmalen voneinander abwichen. Runde, gelbe Erbsen mit weisser Samenschale wurden mit kantigen, grünen mit grauer Schale gekreuzt. In der Tochtergeneration waren alle Erbsen rund, gelb und weisschalig. In der Enkelgeneration waren dies noch 27/64. In drei Gruppen zu je 9/64 trat eines der rezessiven Merkmale hervor, und bei drei weiteren Gruppen zu 3/64 waren es je zwei. Nur bei 1/64 spalteten alle drei rezessiven heraus: kantig, grün und grauschalig. Da Mendel Tausende von Erbsen untersuchte, erhielt er diese Mittelwerte mit erkennbarer Deutlichkeit.

In heutigen Lehrbüchern wird es meist an der Wunderblume *Mirabilis Jalapa* dargestellt (Abb. 3): Die rote und die weisse Blüte ergeben nach der Kreuzung lauter rosarote. Wenn man diese untereinander kreuzt, erscheinen ein Viertel rot, zwei Viertel rosa und ein Viertel weiss. Kreuzt man jede der drei Gruppen wieder nur unter sich, so haben die roten lauter rote und die weissen lauter weisse Nachfahren. Die Mittelgruppe dagegen spaltet sich weiter auf in 1/4 Rot, 2/4 Rosa und 1/4 Weiss. Die schönen Ergebnisse bei der Wunderblume erhielt *Carl Correns* in Berlin 1900. Bei der Nachprüfung in der Literatur wurde er einer der drei Wiederentdecker seines Vorgängers Gregor Mendel.

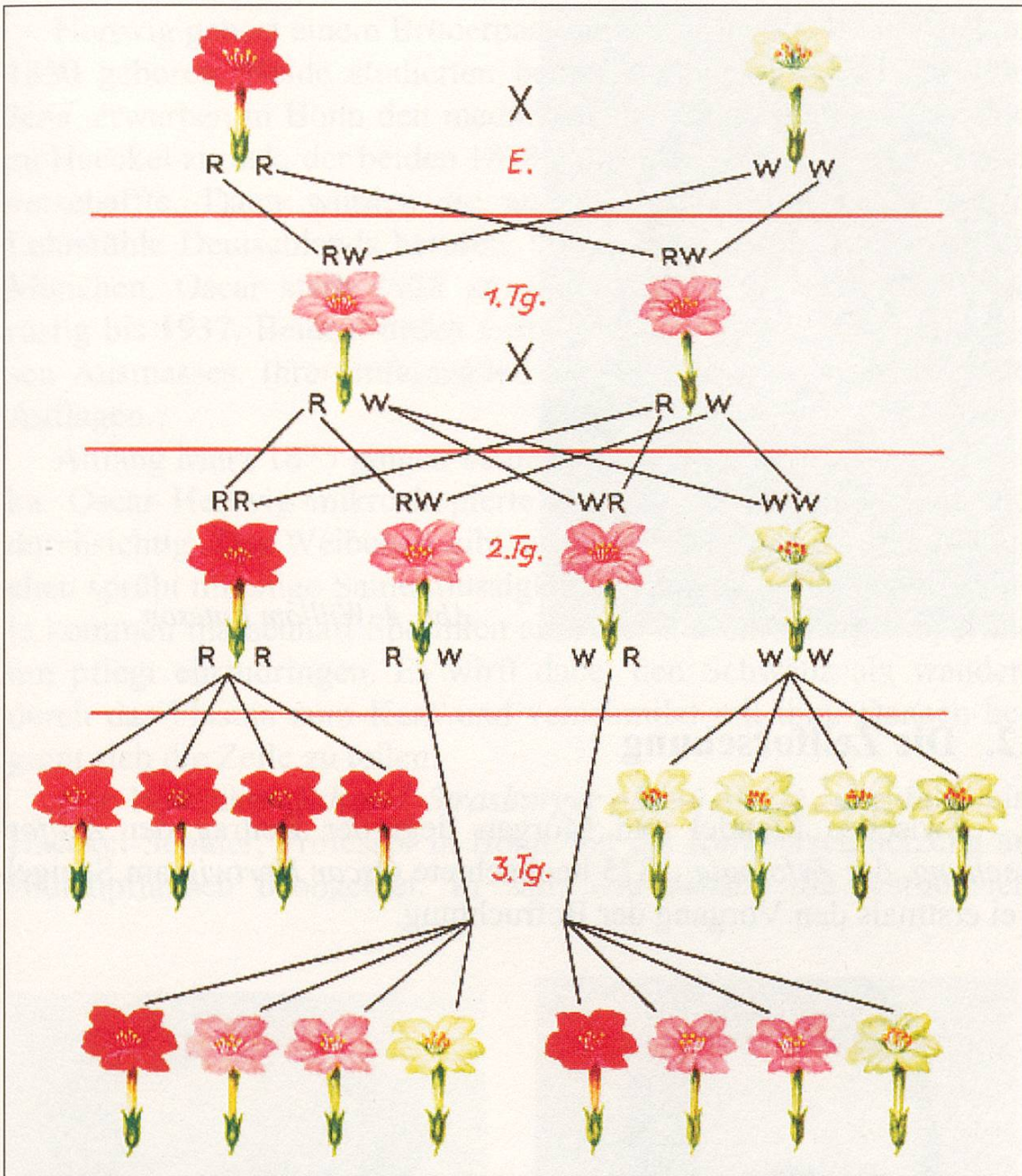


Abb. 3 Wunderblume. E. = Elterngeneration. 1., 2., 3. Tg. = Tochtergenerationen. R und W = Erbanlagen für Rot und Weiss

Dass bei den Tieren dieselben Gesetze gelten, fand später der englische Genetiker *William Bateson*. Er sah, dass ein schwarzer Gockel mit einer weissen Henne graue Hühner zeugte. Wenn sich diese unter sich paarten, wurden von den Enkeln 1/4 schwarz, 2/4 grau, 1/4 weiss.

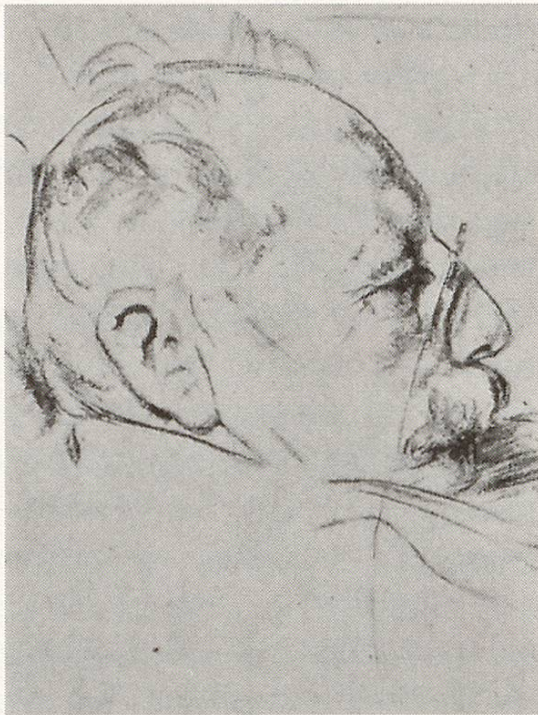


Abb. 4 William Bateson

2. Die Zellforschung

Zwischen Mendel und Morgan liegt der Beitrag der *Zellforschung*, der *Zytologie*. 1875 beobachtete *Oscar Hertwig* am Seeigelei erstmals den Vorgang der Befruchtung.



Abb. 5 Oscar Hertwig

Hertwig gehört einem Brüderpaar an. Oscar wurde 1849, Richard 1850 geboren. Beide studierten beim Zoologen Ernst Haeckel in Jena, erwarben in Bonn den medizinischen Doktorgrad und kehrten zu Haeckel zurück, der beiden 1878 eine ausserordentliche Professur verschaffte. Dann wurden sie auf die wichtigsten zoologischen Lehrstühle Deutschlands berufen, Oscar nach Berlin, Richard nach München. Oscar starb 1922 an einem Herzleiden; Richard lebte rüstig bis 1937. Beide wurden wissenschaftliche Schriftsteller grossen Ausmasses. Ihre umfassenden Lehrbücher wirkten durch viele Auflagen.

Anfang März 1875 gingen beide Brüder mit Haeckel nach Korsika. Oscar Hertwig mikroskopierte Seeigeleier. Sie sind klein und durchsichtig. Das Weibchen gibt sie ins Wasser ab, und das Männchen sprüht milchige Samenflüssigkeit darüber aus. Bei jeder Eihülle kommen massenhaft Spermien an. Aber nur ein einziges Spermium pflegt einzudringen. Es wirft dabei den Schwanz ab, wandert durch das Plasma zum Kern und verschmilzt mit ihm. Danach beginnt sich die Zelle zu teilen.

Der Botaniker *Eduard Strasburger* (1844-1912), ebenfalls ein Haeckel-Schüler, Professor in Bonn, hat die Kernverschmelzung an Blütenpflanzen beobachtet. Er sah, wie danach die Kerne sich

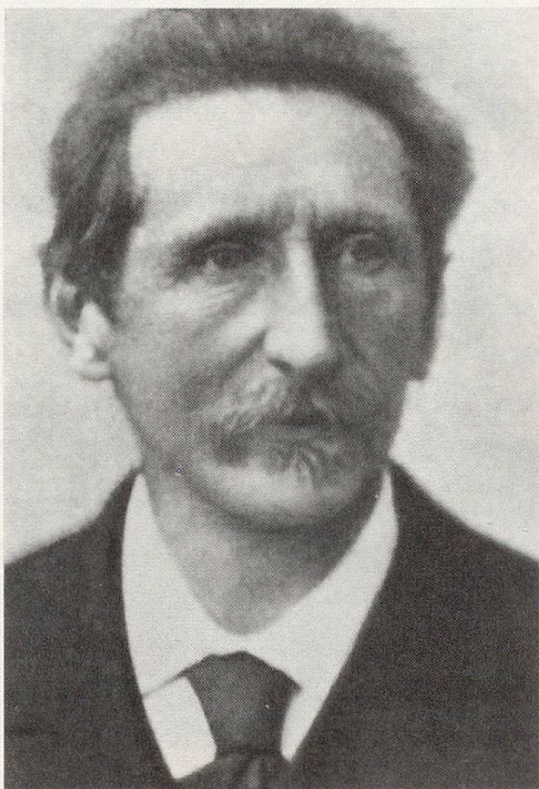


Abb. 6 *Eduard Strasburger*

streckten. In der Mitte sammelten sich Stäbchen, die nach den Polen auseinanderwichen, während sich in der Mitte die neue Trennwand bildet.

Walther Flemming (1843-1905), Anatomieprofessor in Kiel, erkannte bei Färbversuchen mit Chrom-Osmiumessigsäure, wie die Farbe sich an diesen Stäbchen sammelte, sodass sie sich deutlich abhoben. Der Berliner Anatom *Wilhelm Waldeyer* taufte die Fäden daher *Chromosomen*, was „Farbkörper“ bedeutet (griechisch chroma = Farbe und soma = Körper). Diese Bezeichnung tragen sie heute noch.



Abb. 7 *Walther Flemming*

Durch die Färbung gewannen die Vorgänge an Schärfe und Klarheit. Flemming sah, dass die Chromosomen sich vor jeder Kernteilung der Länge nach spalten und dass diese Hälften nach den entgegengesetzten Polen driften. Strasburger bestätigte dies. Neu entdeckte er an einer Reihe von Arten die Konstanz der Chromosomenzahl. Es sollte sich erweisen, dass jede Pflanze und jedes Tier eine ganz bestimmte Anzahl Chromosomen hat.

Das Jahr 1884 brachte die Zytologie vorwärts. Der Belgier *Eduard van Beneden* (1846-1910) erkannte im Pferdespulwurm, *Ascaris megalocephala*, der im Pferdedarm vorkommt, ein Wesen mit besonders wenig Chromosomen. In jeder Zelle sind vier, nämlich zwei vom Vater und zwei von der Mutter. Diese übersichtlichen Verhältnisse liessen ihn neue Einsichten gewinnen. Er gewährte, dass sich

im Eikern vor der Befruchtung zwei besondere Teilungen der Chromosomen vollzogen. Man nennt sie Reifeteilungen. Dabei entlastet sich der Kern. Zurück bleiben nur zwei Fäden. Die anderen werden aus der Zellwand gedrängt und gehen zugrunde. Van Beneden vermutete, bei den Spermien geschehe dasselbe.

Carl Wilhelm Nägeli, ein Zürcher, der in München Botanikprofessor war, nahm theoretisch an, dass im grossen Ei und im kleinen Spermium gleich viel Erbmaterial vorhanden sei. Als Oscar Hertwig dies las, war es ihm klar, dass die weibliche Erbsubstanz im Kern vereinigt sein musste. Gross war nur die Plasmahülle für die Nährstoffe. Die Kerne sind es ja, die verschmelzen.

Da Hertwig auch von van Benedens Beobachtung wusste, begab er sich zum Schlachthof und besorgte sich Pferdespulwürmer. In einem Punkt konnte er van Beneden berichtigen. Der Samen zeigte zwar ebenfalls Reifeteilungen, wobei sich die Chromosomenzahl auf zwei verringerte. Aber es ging nichts zugrunde, sondern es entstanden vier befruchtungsfähige Spermien.

August Weismann (1834-1914) war der Sohn eines Gymnasiallehrers für alte Sprachen in Frankfurt am Main. Er wurde Arzt, mik-

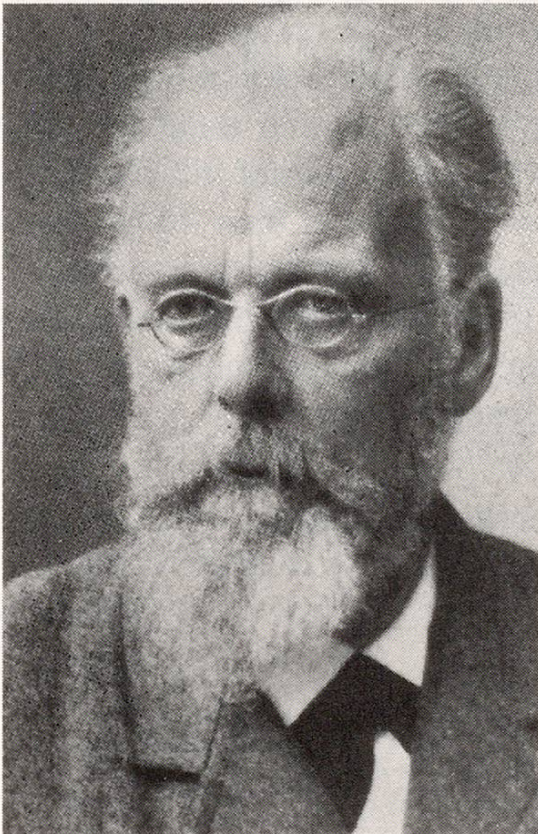


Abb. 8 *August Weismann*

roskopierte daneben eifrig und wurde als Zoologieprofessor nach Freiburg im Breisgau berufen. Da seine Augen litten, wurde sein Beitrag zur Genetik theoretischer Art, aber deshalb nicht weniger wichtig. Er verstand, wozu die Reifeteilungen notwendig waren. Die Chromosomenzahl im Ei und im Spermium musste sich auf die Hälfte verringern, denn die vollen Chromosomensätze beider Eltern ergäben sonst bei der Befruchtung eine Anhäufung. Der Sinn der Reifeteilungen ist die notwendige Reduktion. Zugleich aber steht dieser Vorgang in Beziehung zur Vererbung.

Nehmen wir ein Wesen mit sechs Chromosomen in jeder Zelle an (Abb.9). Drei „blaue“ sind vom väterlichen Spermium, drei „rosarote“ vom mütterlichen Eikern gekommen. Bei der ersten Reifeteilung treffen sich die sechs Chromosomen gemischt in der Äquatorialebene und ziehen dann, ohne sich längs zu spalten, nach den beiden Polen. Nach links weicht zum Beispiel das längste Chromosom, das von der Mutter gekommen ist, nebst zwei kürzeren von väterlicher Herkunft. Nach rechts ziehen die drei übrigen. Nach der Zellteilung spalten sie sich, und es entstehen Zellen, in denen die Chromosomen verschieden gemischt sind. Welche Packungen zusammentreten, bleibt dem Zufall überlassen. Je mehr Chromosomen ein Geschöpf aufweist, eine umso grössere Streuung ist möglich.

Schon beim Pferdespulwurm mit nur zwei Chromosomen lassen sich vier Möglichkeiten denken: Blau-rosa oder Rosa-blau, Blau-blau oder Rosa-rosa. Die Spulwurmkinder werden einander nicht völlig gleichen. Die Zahl möglicher Varianten nimmt mit der Chromosomenzahl ins Ungeheure zu. Der Mensch hat über 40 Chromosomen. Daher geraten die Kinder derselben Eltern so verschieden.

Man kann dominante Merkmale mit grossen Buchstaben und rezessive mit kleinen andeuten. Schon Mendel hat Buchstaben verwendet, sie jedoch nicht in Quadraten angeordnet.

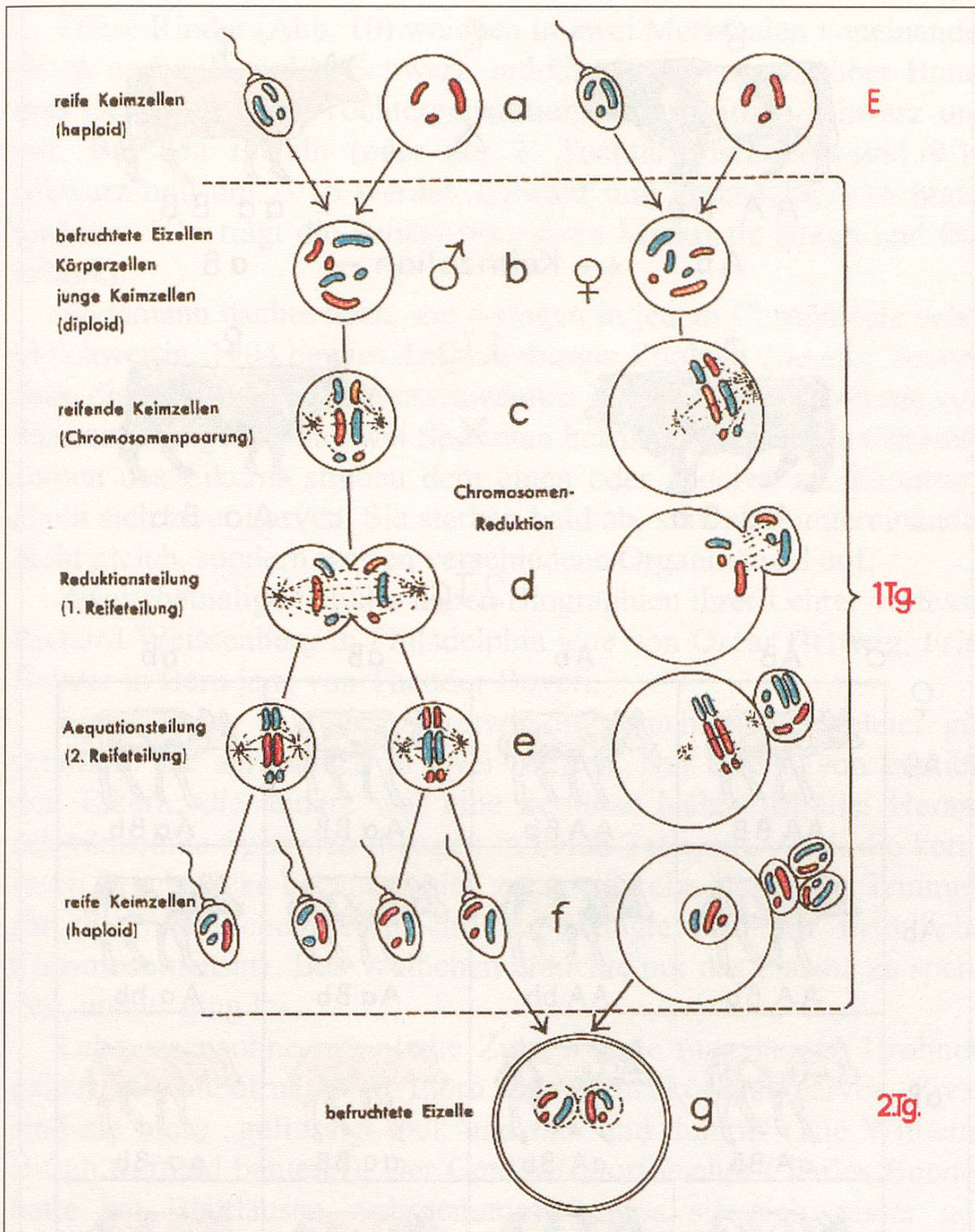


Abb. 9 Reifeteilungen der Samenzellen (links) und der Eizellen (rechts). a, b = Befruchtung. c, d = 1. Reifeteilung. e, f = 2. Reifeteilung. g = befruchtete Eizelle

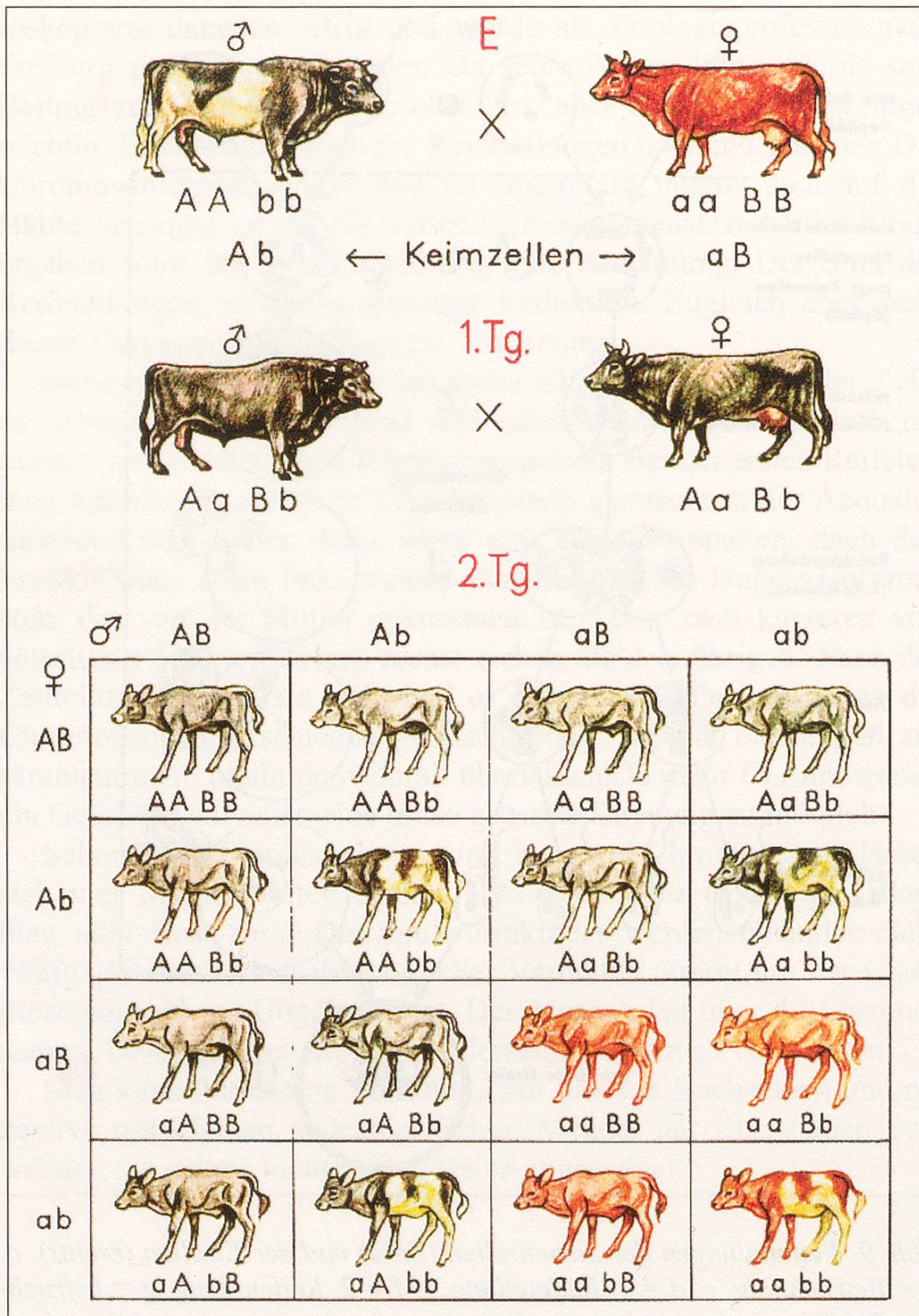


Abb. 10 Kreuzung zweier Rinderrassen, die sich in zwei Merkmalen unterscheiden. A (schwarz) ist dominant über a (braun), B (uni) dominant über b (gescheckt). Unter jedem Rind ist angegeben, welche Erbanlagen bei ihm vorhanden sind. Am Kombinationsquadrat sind links die weiblichen, oben die männlichen haploiden Keimzellen angegeben.

Diese Rinder (Abb. 10) weichen in zwei Merkmalen voneinander ab: A und a, B und b. Schwarz und Uni sind dominant über Braun und Gescheckt. Die Tochtergeneration ist einheitlich schwarz und uni. Bei den Enkeln (oder der 2. Tochtergeneration) sind $9/16$ schwarz und uni. $3/16$ werden schwarz und gescheckt, $3/16$ braun und uni. $1/16$ trägt die beiden rezessiven Merkmale Braun und Gescheckt.

Weismann dachte noch, die Anlagen in jedem Chromosom seien gleichwertig. 1904 bewies der Würzburger Zoologe *Theodor Boveri*, dass die Chromosomen Verschiedenes bestimmen. Es kommt vor, dass ein Seeigelei von zwei Spermien befruchtet wird. Die Chromosomen des Eikerns streben dem einen oder anderen zu. Es entwickeln sich zwei Larven. Sie sterben bald ab, sind aber untereinander nicht gleich, sondern weisen verschiedene Organmängel auf.

Zwei ehemalige Schüler haben Biographien ihrer Lehrer verfasst, Richard Weissenberg in Philadelphia jene von Oscar Hertwig, Fritz Baltzer in Bern jene von Theodor Boveri.

Eines Tages hat Oscar Hertwig unbefruchtete Seeigeleier geschüttelt. Sie zerbrachen in zwei Hälften. Nur eine davon enthielt den Eikern; die andere war eine kernlose Nährstoffhülle. Heranschwärmelnde Spermien drangen in beide Teile ein. Auch die kernlosen Bruchstücke begannen sich zu entwickeln. Welch ein Triumph für das männliche Geschlecht! Es genügte also der männliche Chromosomensatz. Das Weibchen brauchte nur das Plasma zu spenden, und es ging los.

Lebewesen ohne männliche Zutat kannte man längst. Drohnen gehen aus unbefruchteten Eiern der Bienenkönigin hervor. Zwar sind sie bloss „gefrässig, dick und faul und dumm“ (wie Wilhelm Busch treffend bemerkt). Der Genfer Naturforscher Charles Bonnet hatte bei Blattläusen wahrgenommen, dass sie sich ausser geschlechtlich auch rein jungfräulich, parthenogenetisch fortpflanzen können. Jetzt aber sah man erstmals, dass ein lebensfähiges Geschöpf sich aus einem einfachen (haploiden), nur vom Männchen gelieferten Chromosomensatz entwickelte. *Fritz Baltzer* in Bern hat Molcheier durch die Umschlingung mit einem Haar entzweigschnürt. Einmal wurde eine eikernlose Hälfte so glücklich befruchtet, dass die daraus entstandene Larve die Metamorphose zum vollentwickelten Molch überstand. Er wurde das älteste haploide Wirbeltier der Welt. Dieser berühmteste Berner seiner Epoche ertrank

an seinem hundertsten Lebenstag, was eigentlich einem Molch nicht zustossen sollte. Er war ziemlich träge und stumpfsinnig gewesen. Es ist eben doch besser, diploid zu sein, also beide Chromosomensätze zu haben. Dann kann jede stärkere Anlage eine schwächere überdecken.

3. Die Mutationslehre

Ausser der Zytologie war die *Mutation* eine weitere wichtige Entdeckung in der Zeit zwischen Mendel und Morgan. In Harlem in den Niederlanden wurde 1848 *Hugo de Vries* geboren. Er wurde Schüler des Pflanzenphysiologen Julius Sachs in Würzburg und später selber Botanikprofessor in Amsterdam.

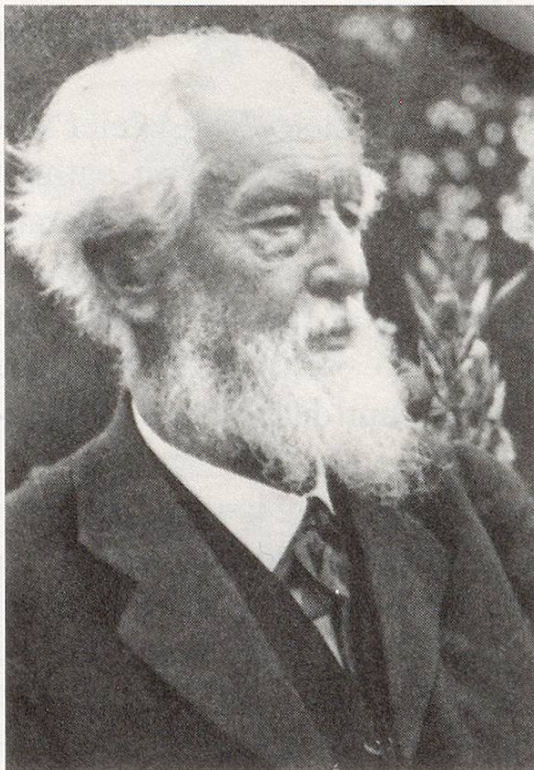


Abb. 11 *Hugo de Vries*
(mit *Nachtkerzen*)

Die Arten neigen dazu, sich gleichbleibend (konstant) zu erhalten. Sonst hätte die Pflanzen- und Tiersystematik keinen Sinn. Manchmal freilich weicht ein Wesen vom Mittelmass ab; aber seine Nachkommen pendeln sich wieder in die Mittellage ein. So haben gross gewachsene Eltern vielleicht grosse Kinder; aber es entstehen nicht immer noch grössere Nachkommen.

Bei einem Abendspaziergang kam Hugo de Vries an einem Feld mit vielen Nachtkerzen vorbei. Die hohen gelben Blüten mit fülligem Laub glänzten in der Abendsonne. In einer Ecke des Feldes zeigte die Nachtkerze, *Oenothera lamarckiana*, zwei Wuchsformen, die in der Stellung und Gestalt der Blätter von den anderen abwichen. Ach, dachte de Vries, das ist ja, als ob hier neue Arten entstünden! Im nächsten Sommer suchte er diese Nachtkerzen wieder auf. Abermals fielen ihm neue Gestalten auf, so eine mit kleinen, schmalen Blättern, die er *Oenothera laevifolia* taufte. Im Laufe seines langen Lebens – er starb erst 1935 – hat er über 50000 Nachtkerzen untersucht und acht neue Arten beschrieben. Es war, als ob es Zeiten gäbe, wo eine Art explosionsmässig viele Abwandlungen erzeugt. Einige pendeln wiederum zur Normalform zurück; andere aber haben als Neuheiten überdauert – als *Mutationen*, wie de Vries sie nannte. Er beschrieb seine Mutationslehre 1900 in einem stattlichen Werk und hielt darüber in der Botanischen Gesellschaft in Berlin einen Vortrag. Dabei erwähnte er als bisher übersehenen Vorgänger in der Vererbungswissenschaft Gregor Mendel in Brünn.



Abb. 12 Carl Correns

Einen Monat später sprach in der gleichen Gesellschaft *Carl Correns* über seine Kreuzungsversuche und wies ebenfalls auf Men-

del hin. Und wieder zwei Monate später stand der Pflanzenzüchter *Erich von Tschermak* aus Wien am gleichen Rednerpult und erklärte, vor 35 Jahren habe in Brünn Gregor Mendel die Vererbungs-gesetze entdeckt. Mendel, bisher ganz unbekannt und 1884 gestorben, wurde mit einem Schlage berühmt. Nirgends war man darüber so überrascht wie in Brünn. Man sammelte dort alsbald Geld für ein Denkmal. Vor allem aber äufnete Hugo Iltis den Stoff für eine wundervolle Biographie. Noch lebten viele ehemalige Schüler von Mendel. Iltis hat sie befragt und ihre Aussagen aufgezeichnet, vergilbte Handschriften aufgestöbert und sie gerettet. Als er als Jude fliehen musste, nahm er diesen Schatz mit nach Amerika. Das Museum mit Mendels Originalhandschriften liegt in Virginia. Dorthin muss fliegen, wer sie zu sehen begehrt.



Abb. 13 *Erich von Tschermak*

Der Däne *Wilhelm Ludwig Johannsen* (1857-1927), Botanikprofessor in Kopenhagen, experimentierte mit Feuerbohnen und wurde auf eine weitere wichtige Eigenschaft aufmerksam, die er in einem Vorlesungsband beschrieb. Er wog alle Bohnen vor der Aussaat und kreuzte einerseits dicke Bohnen untereinander, andererseits dünne Bohnen. Bei reichlicher Düngung wurden die geernteten Bohnen grösser, bei karger Ernährung kleiner. Aber in den weiteren Generationen bei mittlerer Ernährung zeigte es sich, dass die inneren Anla-

gen sich nicht verändert hatten. Die Bohnen waren wieder wie am Anfang. Johannsen erfand dafür zwei Wörter. Die inneren Anlagen nannte er *Genotyp*, die äussere Erscheinung *Phänotyp*. Das Erbgut, der Genotyp, bleibt sich gleich. Die Bohnengrössen schwankten in einer Glockenkurve um einen Mittelwert. Johannsen entschuldigt sich im Vorwort für sein schlechtes Ausländerdeutsch. Aber seine Wörter Genotyp und Phänotyp und vor allem sein Wort *Gen* für Träger einer Erbanlage haben sich durchgesetzt.

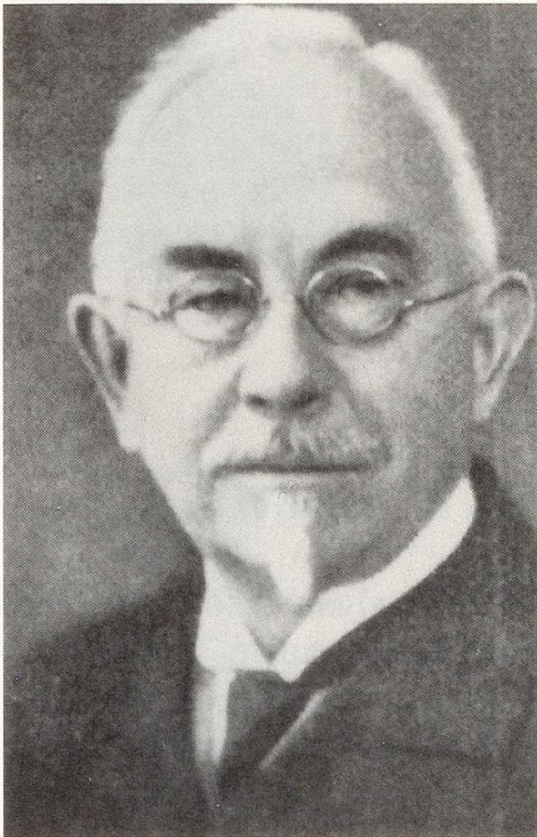


Abb. 14 Wilhelm Johannsen

4. Morgan

Thomas Hunt Morgan (1866-1945) stammte aus Lexington in den Südstaaten der USA. Am Geburtshaus fällt eine grosse Gedenktafel auf. Sie gilt seinem Onkel, dem Kavalleriegeneral John Morgan. Daneben ist ein kleines Täfelchen für den Genetiker angebracht. Er lernte an der Zoologischen Station in Neapel Hans Driesch kennen und wurde von seiner experimentellen Zoologie beeindruckt. In seiner Heimat wurde er Lehrer an einem Mädchen-gymnasium, dem Bryn Mawr College in Pennsylvania. Viele Jahre später wurde er an die Columbia University in New York berufen.

Seine Entdeckungen begannen 1910; er war damals 44 Jahre alt. Mit 62 Jahren nahm er einen Ruf nach Pasadena in Kalifornien an. Dort ist er mit 79 Jahren gestorben.

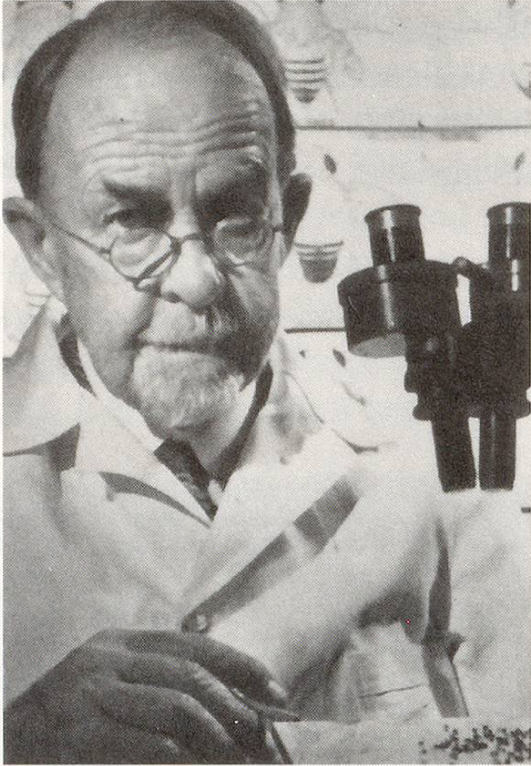


Abb. 15 Thomas Hunt Morgan

Er hat die Fruchtfliege *Drosophila melanogaster* in die Genetik eingeführt. Wenn wir im Sommer Früchte auf einem Teller aufbewahren, ärgert uns bald ein Schwarm kleiner Fliegen, der davon aufsteigt. Dieses Aschenbrödel der Schöpfung wurde zum Paradietier der Genetik. Die meisten Vererbungsforscher der Folgezeit waren Drosophilisten.

Fruchtfliegen lassen sich anspruchslos züchten. Es braucht nur eine Halbliterflasche mit einem luftdurchlässigen Wattepfropfen. Darin genügen Bananenscheiben und ein Stücklein Papier zum Absitzen (Abb. 16). Männchen und Weibchen lassen sich leicht unterscheiden, denn das Weibchen ist grösser (Abb. 17). Bei warmem Wetter – oder wenn man sie warm hält – zeugen sie innert einer Woche einen reichen Kindersegen. Dabei entsteht eine merkwürdig grosse Zahl von Mutanten. Das geht viel schneller als bei der Nachtkerze *Oenothera*. Auch haben sie einfache Verhältnisse in den Chromosomen (Abb. 18).



Abb. 16 Zuchtflasche

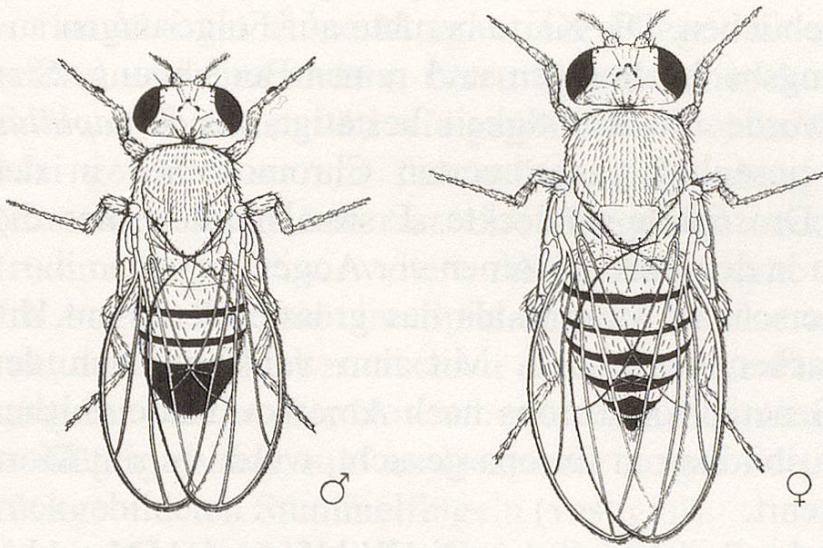


Abb. 17
Männchen
und Weib-
chen der
Drosophila



Abb. 18
Chromosomen
der Drosophi-
la. Links
Männchen,
rechts Weib-
chen

Als Morgan 1909 mit der Zucht von Fruchtfliegen begann, wusste er über ihre Chromosomen bereits Bescheid. Eine ehemalige Schülerin, *Nettie Stevens*, hatte sie 1907 beschrieben. Eikern und Spermium enthielten bei der Befruchtung je vier. In der befruchteten Eizelle waren es vier Paare. Beim künftigen Weibchen wurde das erste Chromosomenpaar von zwei gleich aussehenden X-Chromosomen gebildet (XX), denen beim Männchen zwei ungleiche Fäden X und Y entsprachen. Das zweite und das dritte Chromosomenpaar waren recht lang, das vierte dagegen punktartig kurz. Unter den Chromosomen des Menschen befindet sich ebenfalls ein weibliches XX- und ein männliches XY-Paar. Dagegen ist es bei den Vögeln umgekehrt. Der Gockel hat XX und die Henne XY.

In den vier Fäden der Fruchtfliege mussten alle einzelnen Erbanlagen vorhanden sein. Aber wie das sein könnte, wusste niemand. 1919 legte Morgan einen zusammenfassenden Bericht mit einer Chromosomenkarte vor. Den vier Fäden entlang waren die einzelnen Gene mit dem Hinweis auf ihre Wirkung eingetragen. Die Gene waren unsichtbar geblieben. Die Karte beruhte auf Folgerungen aus unzähligen Kreuzungsbeobachtungen und reiner Berechnung. Sieben Jahre später wurde die Richtigkeit bestätigt, als *Theophilus Painter* 1926 die riesenhaft vergrößerten Chromosomen in der Speicheldrüse der *Drosophila* entdeckte. Erstmals traten hier die Gene als Querlinien in den Chromosomen vor Augen.

Neben Mendel erscheint Morgan als das grösste Genie am Ursprung der genetischen Forschung. Mit ihm verschob sich der Schwerpunkt der Genetik von Europa nach Amerika. Hatten bisher Amerikaner ihre Ausbildung in Europa gesucht, wurde es seit Morgans Schule umgekehrt.

Doch gehen wir der Reihe nach vor. Die Wildform der *Drosophila* hat einen braunen Körper, rote Augen und graue Flügel. Schon im Januar 1910 erspähte Morgan zwei Mutanten mit zu dunkel und zu hell gefärbter Brust. Jede Mutante bezeichnete er mit einem einzigen Wort, diese beiden als „mit“ und „ohne“ (with und without). Sooft er in einer Flasche eine Mutante erblickte, betäubte er die Fliegen kurz mit Aether, schüttete sie auf eine Platte und suchte mit einem Binokular-Mikroskop die Mutante heraus. Sie erhielt eine eigene Zuchtflasche und eine Wildform als Partner. Nach wenigen Tagen konnte man die Kinder betrachten und bald auch die Enkel, bei denen die Mutante wieder auftrat.

Im März 1910 entdeckte Morgan eine Fliege mit dunklem Fleck am Thorax nahe bei der Anwachsstelle jedes Flügels. Er gab ihr den Namen „gefleckt“ (speck). Fast jeden Monat tauchten neue Mutanten auf. Das Zimmer füllte sich mit Zuchtflaschen.

Im April erschien ein weissäugiges Männchen (white). Es war besonders auffällig und sollte zu Erkenntnissen führen. Sogleich gab ihm Morgan eine eigene Flasche mit Bananenscheiben und ein rotäugiges Wildweibchen. Alle Kinder wurden rotäugig; dieser Faktor war dominant. Unter den Enkeln hatten drei Viertel rote und ein Viertel weisse Augen. Neu war die Tatsache, dass die Weissäugigen lauter Männchen waren. Somit war diese Eigenschaft mit dem Geschlecht gekoppelt. Die Anlage musste sich im Geschlechtschromosom befinden. Sogleich dachte Morgan an gewisse Erbgänge beim Menschen, die die Männer treffen: die Bluterkrankheit und die Rotgrünblindheit. Man kann sich vorstellen, dass der Mangel auf dem X-Chromosom nistet. Wo zwei X sind, überdeckt die gesunde Anlage die kranke.

Im Mai entdeckte Morgan eine Fliege mit olivfarbigem Rumpf (olive) und eine andere, deren Flügelrand nicht glatt, sondern vielfach unterbrochen und wie geperlt war (beaded). Ebenfalls noch im Mai gewahrte er ein Tier mit seitlich schräg gestutzten Flügeln (truncate). Ende Juni trat eine Fliege mit verkürzten Flügeln auf (rudimentary). Eine weitere Abwandlung hatte rosa Augen (pink). Im August fiel ihm eine Spielart mit verkleinerten Flügeln auf (miniature). Im Oktober erschien eine schwarze Fliege (black), und so ging das weiter. Der November überraschte mit der Mutante gespaltenflügelig (bifid), und im Dezember zeigte sich eine Fliege mit zurückgebildeten Stummelflügeln (vestigial).

Im Herbst 1911 meldete sich bei Morgan ein struppiger Student mit Zottelhaar. Dieses Erscheinungsbild war noch nicht Mode, und Morgan gab sich zurückhaltend. Der Student nahm eine Flasche in die Hand, blickte hinein und sagte: „Darin ist eine Fliege mit scharlachroten Augen.“ Morgan kannte diese Mutante (vermilion) seit dem November 1910, hatte sie aber hier nicht erwartet. Er betäubte die Fliegen und brauchte recht lange, bis er das Exemplar fand. In seinem Besucher ahnte er den scharfen Beobachter und sagte freundlich: „Sie können anfangen.“ *Calvin Blackman Bridges* (1889-1938) hat sich als einer der ausdauerndsten Mitarbeiter bewährt. Allein von 1911 bis 1915 entdeckte er über dreissig Mutan-

ten. Die meisten betrafen die Flügel, andere die Augen oder Besonderheiten des Körpers:

November	1911	Bläschen auf den Flügeln (blistered)
Dezember	1911	gekrümmte Flügel (curved) aufwärts gebogene Flügel (jaunty)
Februar	1912	purpurne Augen (purple)
März	1912	kastanienbraune Augen (maroon)
Mai	1912	bogenförmige Flügel (arc)
Juni	1912	weisse Nebenaugen, Punktaugen, Ozellen (white-ocelli)
Juli	1912	punktierter Thorax (dot) zobelfarbiger Körper (sable) Lücke in einer Flügelader (gap)
August	1912	hinten abwärts gebogene Flügel (bow)
September	1912	chromgelber Körper (chrome)
November	1912	gegabelte Borsten (forked) verschmolzene Flügeladern (fused) dackelbeinig (dachs) streifiger Thorax (streak)
Januar	1913	verlagerte Flügeladern (shifted)
März	1913	cremefarbene Augen (cream) maulbeerförmige Augen (morula)
April	1913	niedergedrückte Flügel (depressed)
Mai	1913	grüner Körper (green)
Februar	1914	unregelmässige Augenfazetten (facet)
Juli	1914	flossenartige Flügel (flipper) fleischfarbene Augen (pinkish)
August	1914	netziges Flügelgeäder (plexus)
September	1914	zusammenfliessende Flügeladern (confluent)
Januar	1915	gefranste Flügel (fringed)
Februar	1915	sternförmig angeordnete Augenfazetten (star)
Mai	1915	Einschnitt in der Flügelspitze (nick)
November	1915	gedrungene Flügel (squat)
Dezember	1915	teleskopartiger Hinterleib (telescope)
		usw.

Anfangs 1911 hatte eine Assistentin, *Edith Wallace*, innerhalb eines normalen grauflügligen Stammes ein einzelnes Männchen mit

gelben Flügeln erblickt (yellow). Auch diese auffallende Abweichung vererbte sich geschlechtsgebunden, genau wie weissäugig. Man konnte Fliegen züchten, die gleichzeitig weissäugig und gelbflügelig waren. Die Eigenschaften vererbten sich gemeinsam. Zu ihnen gesellte sich gespaltenflügelig (bifid).

Andere Faktoren übertrugen sich gleichmässig auf beide Geschlechter, oft gemeinsam, als ob sie im zweiten Chromosom gekoppelt wären, so schwarzer Körper und stummelflügelig (black und vestigial). Morgan fasste diese Faktoren als Kopplungsgruppe 2 zusammen. 1913 wurde festgestellt, dass das Merkmal „rosa Augen“ (pink) sich gegenüber diesen Eigenschaften unabhängig verhielt, aber zusammen mit „ebenholzschwarzer Körper“ (ebony) einer dritten Kopplungsgruppe angehörte. Den drei langen Chromosomen liess sich je eine Gruppe zuschreiben. Das kurze vierte schien für nichts zuständig zu sein.

1914 aber entdeckte der Doktorand *Hermann Joseph Muller* eine Abart mit abgebogenen Flügeln (bent), und bei mehreren Züchtungsversuchen ergab sich, dass der neue Faktor sich mit keinem anderen verbinden liess. Die Verantwortung schrieb man dem vierten Chromosom zu. 1915 fand Miss *Mildred Hoge* eine augenlose Fliege (eyeless), und 1919 erblickte *Bridges* eine Fliege, an deren kahlem Rumpf die Borsten fehlten (shaven). Bent, eyeless und shaven vererbten sich gekoppelt, verbanden sich jedoch mit keinem einzigen aller sonst bekannten Faktoren. Die Zahl der Mutanten der vier Gruppen entsprach der Länge der Chromosomen.

Eines Tages erschien bei Morgan ein 19-jähriger Student, *Alfred Henry Sturtevant* (1891-1970), ein Farmerssohn aus Alabama. Sein Vater und sein Bruder züchteten Rennpferde, und er legte einen so guten Pferdestammbaum vor, dass Morgan ihm 1910 zum Druck im „Biological Bulletin“ verhalf. Er liess Sturtevant sofort als Doktoranden zu. Man sieht, wie klug er geeignete Leute in seinen Stab aufnahm.

Der Däne *Johannsen* hielt an der Columbia University einen Gastvortrag. Morgan übernahm von ihm das Wort „Gen“ für Erbanlage.

Sturtevant hatte einen Einfall, der sich in der Folge als äusserst fruchtbar erwies. Er stellte sich vor, dass die Erbfaktoren (wie weissäugig, gelbflügelig, stummelflügelig) in ihren Chromosomen als Gene wie in einer Perlenschnur hintereinander aufgereiht seien.

Welche wo lagen, wusste man freilich nicht. Zur Lösung des Rätsels diente Morgan eine verbreitete Erscheinung, das *Crossing-over*. Darunter versteht man den Gen-Austausch innerhalb zweier Chromosomen. Der Tausch konnte unter zwei Endabschnitten oder zwischen zwei Bruchstellen in einem mittleren Teil geschehen (Abb. 19).

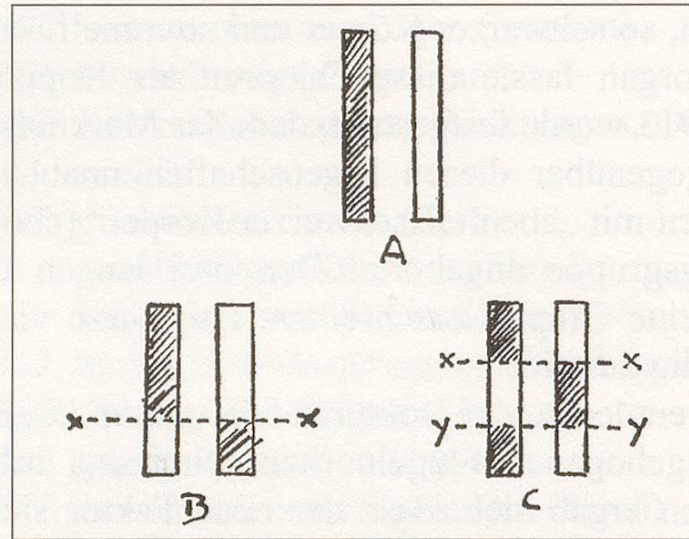


Abb. 19 *Crossing-over*: A = ein Chromosomenpaar. B = Austausch von Endstücken. C = Austausch von Mittelstücken

Wie kam man darauf? Unter den Nachkommen von Fliegen, bei denen sich je zwei der Anlagen gelbflügelig, weissäugig und gespaltenflügelig gemeinsam vererbten, gab es Abweichungen von dieser Kopplung. Unter je 100 Fliegen traten 1,5 Prozent auf, wo gelbflügelig und weissäugig sich trennten. Es erschienen gelbflügelige Männchen mit normal roten Augen oder weissäugige mit normal grauen Flügeln. Noch häufiger, in 5,4 Prozent, trat der Bruch zwischen weissäugig und gespaltenflügelig ein. Es gab somit weissäugige Fliegen mit ganzen Flügeln sowie Fliegen mit normal roten Augen, aber gespaltenen Flügeln. Am häufigsten aber, nämlich in 6,9 Prozent, trennten sich die Anlagen gelbflügelig und gespaltenflügelig, sodass gelbflügelige Männchen mit normaler Flügelform oder solche mit normal grauen, aber gespaltenen Flügeln auftauchten.

Intuitiv stellte sich Morgan vor, dass bei der Reifeteilung, wenn gleiche Chromosomen von Vater und Mutter sich umeinanderwi-

ckeln, Stücke gegenseitig ausgetauscht werden könnten. Entweder es brächen Endstücke bei beiden Chromosomen ab und wüchsen beim Gefährten an. Oder Zwischenstücke tauschten Platz, indem sie auf beiden Seiten herausbrächen. Angenommen nun, die Gene lägen wirklich wie in einer Perlenschnur hintereinander, so wäre ein Bruch zwischen zwei Anlagen umso unwahrscheinlicher, je näher sie beisammen sässen. Wenn das Gen für gespaltenflüglig von den beiden anderen Anlagen auf dem Faden weiter entfernt läge, nämlich 5,4 Einheiten von weissäugig und 6,9 Einheiten von gelbflüglig, so wären die drei gegenseitigen Plätze festgelegt:

- gelbflüglig (yellow)
(1,5 Einheiten Distanz)
- weissäugig (white)
(5,4 Einheiten Distanz)
- gespaltenflüglig (bifid)
= 6,9 Einheiten von gelbflüglig entfernt

Diese aus Prozentzahlen berechneten Distanzen nennt man Morgan-Einheiten.

Nach weiteren Züchtungen und Auszählungen hat Morgan diese drei Anlagen auf die Skala des Geschlechtschromosoms eingetragen, nahe dem oberen Ende, an den Stellen 0,0 und 1,5 und 7,3. Die Anlage „bifid“ hat er also noch etwas weiter entfernt, 7,3 Einheiten von yellow und 5,8 von white. Durch fortlaufende Auszählungen schob er die Anlagen entlang den Linien hinauf und hinab. Viele nahmen ihn nicht mehr ernst und betrachteten sein „Fliegenzimmer“ ebenso als spinnig wie einst die Frauen von Brünn Mendels Erbsenbestäubung.

Abweichungen werden nicht allein durch die zufällige Mischung von Chromosomen männlicher und weiblicher Herkunft bestimmt. Das Crossing-over erhöht durch Faktorenaustausch die Anzahl möglicher Varianten. Das Hauptergebnis des Buches von Ende 1919 „The physical basis of heredity“ war die Chromosomentafel. Deutsch lautete der Titel „Die stoffliche Grundlage der Vererbung“ (Berlin 1921).

Neben Bridges und Sturtevant war Morgans dritter hervorragender Schüler *Hermann Joseph Muller* (1890-1967). Dessen Grossvater Müller war nach der Revolution von 1848 aus Deutschland nach

Amerika ausgewandert. Der Vater starb früh. Hermann konnte dank einem Stipendium studieren und wurde von 1910 an einer der fleißigsten Schüler Morgans, Verfasser von 300 Abhandlungen. Er fragte sich, ob man die Mutationsrate künstlich erhöhen könnte. Das Erwärmen oder Kühlen oder Schütteln ergab nichts, wohl aber die Einwirkung von *Röntgenstrahlen*. Die Erbänderungen erhöhten sich auf das Hundertfünfzigfache. Dass auch durch Substanzen wie *Senfgas* die Mutation angeregt wird, erforschte in Edinburg *Charlotte Auerbach* (1899-1994).

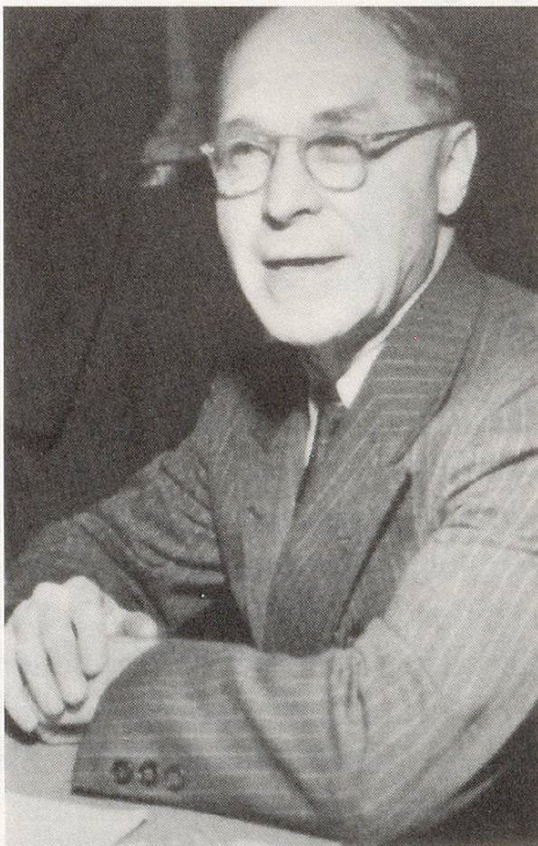


Abb. 20 Hermann Joseph Muller

Theophilus Shickel Painter (1890-1969) hatte in Yale, dann bei Theodor Boveri in Würzburg studiert und wurde 1916 Professor für Zoologie an der Universität von Texas. Dort wurde 1921 Muller sein nächster Kollege, und Painter wandte sich der *Drosophila* zu. Er entdeckte 1926 die Riesenchromosomen in ihren Speicheldrüsen. Sie waren ganz gleich wie in den übrigen Zellen, aber 70 Mal länger. Er färbte sie mit essigsauerm Karmin. Jetzt wurden die bisher nur angenommenen Gene als Querbänder sichtbar. Bridges hat diese Chromosomen noch gestreckt, bis sie 150 Mal so lang waren wie in anderen Zellen. Er zählte die Ringe: 537 im X-Chromosom, 1032 im zweiten, 1047 im dritten, 34 im vierten. Painter und Bridges prüften

Morgans Karte und fanden sie unglaublich richtig. Jetzt war Morgan reif für den Nobelpreis. Er erhielt ihn 1933 als erster Genetiker. 1946 wurde die gleiche Ehrung Muller zuteil.

Die Vorgänge, wie Chromosomen sich umeinander wickeln, brechen und neu zusammenwachsen, sind so heikel, dass man fürchten muss, es geschehe dabei manches Unheil. Der Mensch hat in den Geschlechtszellen nicht vier, sondern 23 Chromosomen, in den Körperzellen also 46. Walther Flemming in Kiel hatte in dem wirren Knäuel 48 zu zählen vermeint, und dieser Irrtum ging von Lehrbuch zu Lehrbuch, bis man 1956 lernte, die Chromosomen paarweise der Grösse nach zu ordnen, die Geschlechtschromosomen am Schluss.

Seither nimmt das Kapitel „Chromosomenpathologie“ in den Lehrbüchern über Kinderkrankheiten einen immer breiteren Raum ein. Zu den ersten Leiden, deren Ursache man bei den Chromosomen entdeckte, gehört die Erscheinung der mongoloiden Kinder. Bei ihnen ist das 21. Chromosom, also das zweitkleinste, dreifach statt zweifach vorhanden. Man bezeichnet dies als „Trisomie 21“. Eine Hebamme litt unter den Anschuldigungen einer Mutter, die ihr vorwarf, sie habe das Kleinkind nicht sanft genug behandelt. Die Wissenschaft spricht diese Hebamme frei. Die Anlage war schon vorgezeichnet, als das Spermium beim Eikern ankam.

Seit 1958 sind über 30 Genetiker mit dem Nobelpreis ausgezeichnet worden, vor allem Amerikaner, aber auch Europäer. Als Zytologe ging 1935 Hans Spemann voran.

Die Grundlagen unseres Wissens über die Vererbung sind an alltäglichen Pflanzen und missachteten Tieren gewonnen worden, an Erbsen, Bohnen und Nachtkerzen, am Seeigel, Pferdespulwurm und an der Fruchtfliege. Alle sind ehrwürdig geworden. Ein begeisterter Genetiker könnte seinen Sohn nach Hertwigs Seeigel *Toxopneustes* taufen lassen. Auch *Drosophila* ist ein männliches Wort. Für Töchter stünden ebenfalls schöne Namen zur Wahl, *Ascaris* nach dem Spulwurm und *Oenothera* nach der Nachtkerze.

Quellen (in Auswahl)

1. Originale

- (1) Gregor Mendel, Versuche über Pflanzenhybriden. Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 121. Herausgegeben von Erich von Tschermak. Leipzig 1901; 4. Auflage 1923.
- (2) August Weismann, Aufsätze über Vererbung und verwandte biologische Fragen. Verlag von Gustav Fischer, Jena 1892.
- (3) Wilhelm Johannsen, Elemente der exakten Erblchkeitslehre. Verlag von Gustav Fischer, Jena 1909; 3. Auflage 1926.
- (4) Thomas Hunt Morgan, Die stoffliche Grundlage der Vererbung. Deutsche Ausgabe von Hans Nachtsheim. Verlag der Gebrüder Borntraeger, Berlin 1921.

2. Biographien (A = Autobiographie)

- (5) Hugo Iltis: Gregor Johann Mendel. Leben, Werk und Wirkung. Verlag von Julius Springer, Berlin 1924.
- (6) Erich von Tschermak-Seysenegg, Leben und Wirken eines österreichischen Pflanzenzüchters. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg 1958 (A).
- (7) Richard Weissenberg: Oscar Hertwig, 1849-1922. Leben und Werk eines deutschen Biologen. Johann Ambrosius Barth Verlag, Leipzig 1959.
- (8) Fritz Baltzer: Theodor Boveri. Leben und Werk eines grossen Biologen, 1862-1915. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart 1962 (Reihe: Grosse Naturforscher, Band 25).
- (9) Richard Goldschmidt, Erlebnisse und Begegnungen. Aus der grossen Zeit der Zoologie in Deutschland. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin 1959 (Darin Eduard Strasburger, die Brüder Hertwig, Theodor Boveri).

3. Darstellungen

- (10) Karl von Frisch, Biologie, Band 2. Bayerischer Schulbuch-Verlag 1953 (Darin das 5. Kapitel: Vererbung).
- (11) Bernhard Jaffe, Vorposten der Wissenschaft. Durch die Werkstatt der grossen Forscher in Amerika. Aus dem Amerikanischen. Verlag Julius Kittls Nachfolger, Leipzig/Mährisch-Ostrau o.J. (6. Kapitel: Morgans Arbeiten).
- (12) Charlotte Auerbach, Genetik. Vererbung – Selektion – Eugenik. Übertragung aus dem Amerikanischen von Margarete Bormann. Econ-Verlag, Düsseldorf und Wien 1967.

- (13) Ruth Moore, Die Lebensspirale. Die grossen Entdeckungen der Naturwissenschaften. Aus dem Amerikanischen übersetzt von Uta Brucklacher und Gunter Röhrborn. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1967 (Darin de Vries, Morgan, Muller).
- (14) Karl Mägdefrau, Geschichte der Botanik. Leben und Leistung grosser Forscher. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1973 (Darin Strasburger, Haeckel, Mendel, de Vries, Correns, Tschermak).
- (15) François Jacob, Die Logik des Lebenden. Eine Geschichte der Vererbung. Aus dem Französischen von Jutta und Klaus Scherrer. Fischer Taschenbuch Verlag, Frankfurt am Main 2002 (Abschnitte Die Geburt der Genetik, Das Spiel der Chromosomen).
- (16) Martin Brookes, Drosophila. Die Erfolgsgeschichte der Fruchtfliege. Deutsch von Hubert Mania. Rowohlt Verlag, Reinbek bei Hamburg 2002.

4. Abbildungen

Für die Abbildungen wurden noch folgende Schriften herangezogen:

- (17) Ciba Zeitschrift Nummer 45, Basel, Mai 1937: Die Entwicklung der Genetik.
- (18) Ilse Jahn et al., Geschichte der Biologie. Gustav Fischer Verlag, Jena 1982 (1. Auflage).
- (19) René Taton, Histoire générale des sciences. Tome III: La Science contemporaine, Vol. II: Le XXe siècle. Presses universitaires de France, Paris 1964.
- (20) Harenberg, Lexikon der Nobelpreisträger. Harenberg Lexikon Verlag, Dortmund 1998.

Abb. 1 Gregor Mendel (1822-1884). Aus (5), bei S. 70.

Abb. 2 Mendels Klostergarten. Aus (5), S. 70.

Abb. 3 Wunderblume. Aus (10), S. 138.

Abb. 4 William Bateson (1861-1926). Aus (17).

Abb. 5 Oscar Hertwig (1849-1922). Aus (7), S. 24.

Abb. 6 Eduard Strasburger (1844-1912). Aus (14), S. 156.

Abb. 7 Walther Flemming (1843-1905). Aus (18), S. 765.

Abb. 8 August Weismann (1834-1914). Aus (17).

Abb. 9 Reifeteilungen. Aus (10), S. 143.

Abb. 10 Kreuzung zweier Rinderrassen. Aus (10), S. 149.

Abb. 11 Hugo de Vries (1848-1935). Aus (19), bei S. 704.

Abb. 12 Carl Correns (1864-1933). Aus (14), S. 203.

Abb. 13 Erich von Tschermak (1871-1962). Aus (6), Frontispiz.

Abb. 14 Wilhelm Johannsen (1857-1927). Aus (18), S. 771.

Abb. 15 Thomas Hunt Morgan (1866-1945). Aus (19), bei S. 704.

Abb. 16 Zuchtflasche. Aus (17).

- Abb. 17 Männchen und Weibchen der Drosophila. Aus (4), S. 15.
Abb. 18 Chromosomen der Drosophila. Aus (11), S. 266.
Abb. 19 Crossing-over. Aus (12), S. 137.
Abb. 20 Hermann Joseph Muller (1890-1967). Aus (20), S. 232.

Heinz Balmer (1928) studierte Naturwissenschaften und schloss mit dem Hauptfach Geographie ab. Ihn fesselte der vergangene Weg zu den Erkenntnissen, und er hat an den Universitäten Bern, Stuttgart, Bonn und lange in Zürich als Wissenschaftshistoriker unterrichtet. 1998-2002 diente er der SGFF als Aktuar und war seit 2001 bei der Redaktion des Jahrbuchs behilflich. Mitglied der Berner und Basler Regionalgesellschaft.