

Die stofflichen Grundlagen der Erblchkeitslehre

Von Dr. Gustav Adolf Kausche, Biologische Reichsanstalt, Berlin-Dahlem

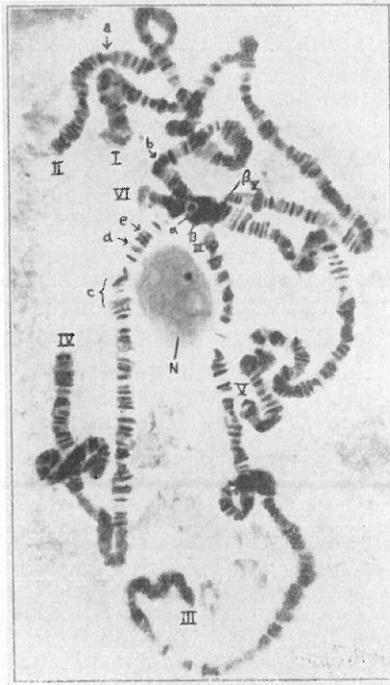
Man findet auch heute noch in vielen Kreisen häufig die Meinung vertreten, daß alles das, was an theoretischem oder praktischem Wissen um die Erblchkeit der Eigenschaften oder Merkmale bisher erarbeitet sei, jeder realen Grundlage entbehre und höchstens als Ergebnis einer mehr oder weniger komplizierten „Rechnerei“ gewertet werden könne. Diese Anschauung wird besonders bei der menschlichen Erblchkeitslehre vorgebracht, bei einer Materie also, die uns lebende Menschen direkt angeht oder doch wenigstens angehen kann (Erbgesundheitsgesetze).

Man soll nicht abgestritten werden, daß die theoretische Vererbungslehre, also die abstrakte und objektive Grundlage für jede Betätigung auf eugenischem oder züchtungsforscherischem Gebiet, eine recht komplizierte Wissenschaft ist. Sie hat aber neben der mathematischen auch eine stoffliche, also sehr reale Basis: die Chromosomenforschung. Da Mathematik nun einmal eine recht spröde Disziplin ist, die nach Johannsen, wenn überhaupt, auch von den meisten Biologen „nur mit Schmerzen“ gewonnen werden kann, so soll hier von ihren Beziehungen zur Erblchkeitslehre nur soviel gesagt werden, daß der Binomialsatz uns die rechnerische Grundlage dafür gibt, mit welcher Häufigkeit bei einer Kreuzung eine Eigenschaft, ein Merkmal in der Nachkommengeneration auftreten kann bzw. muß. Diese mathematische Grundlage ist insbesondere deshalb nötig, weil sich aus ihr weiter errechnen läßt, wieviel Individuen aus einer bestimmten Kombination zweier Eltern man braucht, um eine erwartete Eigenschaft mit Bestimmtheit einmal zu erzielen.

Wenn man sich nun vorstellt, daß eine erblich bedingte Eigenschaft selbst etwas sehr Reales ist, das man mit den Sinnen wahrnehmen und dessen Bestandteile man untersuchen kann, so war von vornherein zu erwarten, daß für die Eigenschaften auch irgendwo im Organismus ein „erster“ Baustein vorhanden sein mußte, der zum mindesten zunächst für die Weitergabe der Anlage von Geschlecht zu Geschlecht verantwortlich zu machen war. In den Untersuchungen von Correns, dem Wiederentdecker der Mendelschen Regeln, sehen wir zuerst die Frage nach dem Ort der Vererbung auftauchen. Er findet, daß man die Keimzellen (also Spermien und Eizellen) als den Platz im Organismus anzusehen hat, an dem der Mechanismus der Verteilung der Erbanlagen eingebaut ist. Wie geht nun diese Verteilung vor sich? Wir haben längst die Chromosomen, Bestandteile der Zellkerne, als Träger der Erbanlagen (Gene) kennengelernt und müssen zwingend die sog. Chromosomentheorie, wie sie von Morgan (U.S.A.) begründet und in Deutschland neuerdings von Heiß und Bauer

vertieft und weitergeführt wird, als Beweis dafür ansehen, daß der Vorgang der Vererbung ganz real fundiert ist und daß dafür eine feste stoffliche Grundlage existiert.

Nun greift auch hier wieder die Mathematik ein: die Verteilung der Chromosomen als Träger der Erbanlagen erfolgt bei der Kern- und Zellteilung nach den Gesetzen des Zufalls. Das gilt ganz allgemein für alle vererbaren Eigenschaften. In dem Augenblick also, wo nach erfolgter Befruchtung die Vereinigung väterlicher und mütterlicher Chromosomen-Substanz zustandekommt, ist das Schicksal einer Eigenschaft entschieden,



Schleifenkern aus der Speicheldrüse von *Drosophila*
I—VI die Chromosomenpaare (Aus Heib 1936)

nachdem bei der sogenannten Meiose in den Samen- bzw. Eizellen schon die Verteilung der Chromosomen auf die einzelnen Ei- bzw. Samenzellen vor sich gegangen war.

Die Chromosomen sind in ihrer Form und Zahl konstante Körperchen, die beim Zerfall des Zellkerns entstehen und später nach erfolgter Zellteilung sich wieder zu Kernen zurückbilden. Ihre Anlage ist für jede Pflanzen- und Tierart typisch, z. B. *Drosophila* (Taufliege) = 8, Kartoffel = 24, 36, 48, 60 bis 72, Weizen = 21, Mensch = 48). In der Form gleichen sie kleinen Stäbchen, Haken oder Kügelchen. Sie lassen sich nach bestimmten Methoden färben und immer wieder auffinden. Größenord-

nungsmäßig sind sie nur mikroskopisch einzuordnen, und zwar innerhalb der Spanne von $\frac{1}{1000}$ mm bis etwa $\frac{1}{2}$ mm. Die größten bisher gefundenen sind die sogenannten Riesenchromosomen bestimmter Insektenarten.

Es hat sich nun herausgestellt, daß die Chromosomen nicht selber die Merkmalsbildner sind, sondern daß sie sich wieder aus verschiedenen Substanzen zusammensetzen, die sich chemisch und physikalisch mehr oder weniger voneinander unterscheiden. Löst man nun etwa ein gefärbtes Riesenchromosom einer Taufliege oder Grasmücke unter dem Mikroskop auf, dann ergibt sich folgendes Bild: (nach Heitz u. a.).

(Die Gesamtsubstanz eines Chromosoms, gleichgültig, ob färbbar oder nicht, bezeichnet man als Chromatinsubstanz.)

1. In eine „substanzärmere“ Grundmasse ist das „Chromonema“, das permanente chromosomale Element, eingebettet. Es findet sich in den Chromosomen als regelmäßige Spirale und enthält die mendelnden Gene (Erbanlagen).

2. Jedes Spiral-Chromonema ist in sich nochmals spiralig gewunden.

3. Das Chromonema ist kein einheitlicher Einweißaden, sondern besitzt eine sehr gefegmäßige, sichtbare Gliederung. Es sind im Chromonema Gebilde, kleine knotenartige Verdickungen zu sehen, die man Chromomeren nennt.

4. Diese Chromomeren sind intensiv färbbar und gleichmäßig über die Chromonemastränge (Fibrillen) linear angeordnet.

5. Diese kleinen „Knötchen“, also die Chromomeren, sind der Sitz der „Gene“, der Erbanlagen.

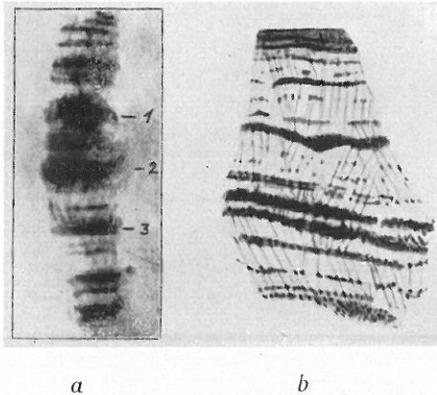
Durch die Analyse der Chromomeren in den Riesenchromosomen einiger Insekten konnte eine genaue Kontrolle des Vererbungsexperimentes vorgenommen werden. Und damit ist, was wir oben schon vorweg genommen haben, der Verwirklichung nahegekommen: man kann nun genau angeben, wo, d. h. in welchem Chromomer ein bestimmtes „Gen“, eine Erbanlage, seinen Sitz haben muß.

Zur Aufklärung des Doppelschraubenaufbaues der Chromosomen haben u. a. die Japaner Kuwada und Nakamura neuerdings einen imposanten Beitrag liefern können. Es gelang ihnen der direkte Nachweis des bis dahin nur optisch wahrnehmbaren Feinbaues experimentell dadurch, daß sie in lebenden Kernen die sogenannten „major“- und „minor“-Schrauben abwickeln konnten. Dabei war dann die „major“-Schraube nichts anderes als das Chromosom selbst, das im ganzen gewickelt ist, die „minor“-Schraube ist das eigentliche Chromonema; auf ihr sind die Chromomeren also linear und „perlschnurartig“ angeordnet. Die Abb. 1 und 2 mögen einen Eindruck vom Feinaufbau eines Chromosoms vermitteln. In Abb. 1 ist zu sehen, wie von einem zentralen Gebilde bei „▲“ sechs Chromosomen, ungleich lang und häufig gewunden, ausgehen. Besser als auf diesem Bild sieht man in Abb. 2a die schraubige Anordnung der Chromonemafäden. Abb. 2b löst die Struktur noch weiter auf und zeigt als kleine dunkelgefärbte Punkte die Chromomeren.

Die beiden Bilder zeigen gefärbte, also vorbehandelte Präparate. Man könnte nun mit Recht annehmen, daß es sich da um Strukturen handelt,

entstanden seien. Die Gefahr, sich solche „Kunstprodukte“ zu schaffen, ist auch zweifelsohne sehr groß. Nachdem aber der Nachweis der Strukturen auch am lebenden Objekt gelungen ist, können wir annehmen, daß die durch die Anwendung von Chemikalien (Fixierungsmittel) erst künstlich stoffliche Basis der Erbträger so aufgebaut ist, wie wir sie im gefärbten Präparat sehen.

Der Nachweis der Chromomeren als Sitz der Gene ist eine Großtat der Wissenschaft. Er gelang also direkt optisch, also unter dem Mikroskop, indirekt außerdem mathematisch. An sich hatte Mendel die Regel aufgestellt, daß jedes Merkmal völlig unabhängig voneinander vererbt würde. Diese „Unabhängigkeitsregel“ erfuhr dann eine Einschränkung, als man feststellen konnte, daß mehrere Eigenschaften sich immer zusammen vererben, also etwa bei einer Pflanze rote Blütenfarbe mit gescheckten Blättern. Den Grund für dieses Verhalten hat man in der Tatsache zu suchen,



a b
Stücke eines Chromosoms, die die Feinstruktur (Chromonema und Chromomeren) zeigen. (Aus Bauer 1935)

daß die „Gene“ für rote Blütenfarbe und bunte Blätter auf einem Chromosom liegen. Nur ist diese „Koppelung“, die man bei vielen Pflanzen- und Tierarten feststellte, durchaus nicht absolut konstant, sondern unterliegt gewissen Ausnahmen. So können bei der Reifeteilung Chromosomen zerbrechen und damit zwei oder mehrere für gewöhnlich gekoppelte Eigenschaften oder Gene getrennt werden. Die Beobachtung der „Koppelungsbrüche“ hat zur Entdeckung des Sitzes eines „Gens“, also einer Merkmalsanlage, geführt, und zwar auf Grund der einfachen Ueberlegung, daß zwei „Gene“ auf einem Chromosom um so häufiger getrennt werden können, die „Koppelung“ also gebrochen wird, je weiter sie auf dem Chromosom voneinander entfernt liegen. Aus der prozentualen Häufigkeit des Auftretens von Koppelungsbrüchen hat man dann die Entfernung der „Gene“ auf einem Chromosom errechnet und „Chromosomenkarten“ aufgestellt (z. B. bei der Taufsliege, beim Mais u. a. m.). Diese errechneten Chromosomenkarten zeigen also den genauen Sitz (locus) der „Gene“ an, und aus der Uebereinstimmung der theoretisch bestimmten Gen-loci mit

den sichtbar gemachten Chromomeren schließt man zu Recht darauf, daß die Chromomeren die Stellen auf den Chromosomen sind, wo die „Gene“ ihre Wirkung ausüben. So kennt man heute bei der kleinen Taufliede etwa 400 „Gene“ von etwa 4000 angenommenen.

Soweit der Stand der Forschung und die gesicherten Ergebnisse. Damit erschöpft sich aber die Aufgabe der modernen Erblchkeitslehre nicht. Denn einmal sind die bisher ermittelten „Gene“ nur die Merkmalsträger von relativ unwesentlichen Eigenschaften, während die Kenntnis der nicht direkt faßbaren, komplizierten Eigenschaften noch fast völlig fehlt (besonders beim Menschen). Zum anderen muß nun natürlich der Vorgang erforscht werden, wie eine Eigenschaft, also das äußerlich sichtbare Merkmal, in einem Organismus manifest wird. Oder mit anderen Worten: wie wird aus einem „Gen“, also einem Körperchen von der Struktur eines großen Eiweiß-Moleküls, dessen genaue Zusammensetzung wir noch nicht kennen, eine sinnlich wahrnehmbare Eigenschaft? Diese Frage hat nicht nur theoretisches Interesse, sie berührt direkt das Problem von der Unabänderlichkeit der Eigenschaften. Man nimmt im allgemeinen an, daß eine erbliche Eigenschaft an sich unveränderlich ist. Die Tatsache jedoch, daß man in bestimmten Entwicklungsstadien „Gene“ mit physikalischen oder chemischen Mitteln verändern kann (Mutation), zwingt zu der Annahme, daß Erbanlagen grundsätzlich doch beeinflufßbar sind, wenn auch feststeht, daß solche Einflüsse (z. B. hohe Röntgenstrahlen-Energien) in der freien Natur nicht vorkommen, und daß die künstlich erzeugten Mutationen immer Defekte, krankhafte Veränderungen, aufzeigen, also Individuen entstehen, die in der freien Natur im Kampf ums Dasein nicht bestehen könnten.

Eines ist jedenfalls sicher: eine von der Natur gegebene erbliche Anlage braucht in einem Organismus durchaus nicht immer manifest zu werden, braucht nicht als äußerlich wahrnehmbare Eigenschaft aufzutreten. Sie kann es nur dann, wenn die Umweltsbedingungen dazu vorhanden sind. Für den Menschen im allgemeinen und den Forscher im besonderen liegt jedenfalls etwas Tröstliches in dieser Tatsache, daß die Natur ein Korrektiv schuf, um gewisse Eigenschaften zu fördern, andere zu unterdrücken, daß sie dem Menschen selbst die Möglichkeit in die Hand gab, durch Schaffung geeigneter Umweltverhältnisse wünschenswerten Eigenschaften zum Durchbruch und zum Bestehen zu verhelfen. Allerdings gilt auch für dieses biologische Problem: „Alles scheint sich anfangs auf einfache Weise erklären zu lassen, aber je eingehender man sich mit den Fragen beschäftigt, je mehr Tatsachenmaterial bekannt wird, desto komplizierter werden die einzelnen Zusammenhänge und desto mehr wächst das ganze Problem in die Weite“ (nach Walter, 1931).