

Zeitschrift: Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft =
Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles = Atti della
Società Elvetica di Scienze Naturali

Herausgeber: Schweizerische Naturforschende Gesellschaft

Band: 130 (1950)

Artikel: Fünfzig Jahre Vererbungsforschung

Autor: Hadorn, Ernst

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-90472>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 28.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Fünfzig Jahre Vererbungsforschung

Von

ERNST HADORN (Zürich)¹

Nur selten kann für ein großes Wissenschaftsgebiet ein Geburtsdatum angegeben werden. In der Regel entwickelt sich ein Lehrgebäude aus zahlreichen Ansätzen allmählich. In der Geschichte der Genetik kommt nun aber dem Jahre 1900 eine so ungewöhnlich große Bedeutung zu, daß wir heute ein eigentliches Jubiläum begehen können. Drei Botaniker: C. CORRENS, H. DE VRIES und E. TSCHERMAK berichteten über die Wiederentdeckung der Mendelschen Gesetze. Sie haben damit das Aufblühen einer Wissenschaft eingeleitet, die seither mit größter Intensität und ständig wachsender Ausbreitung wohl die grundlegendsten Erkenntnisse in der Lebensforschung unseres Jahrhunderts förderte. Ihre Experimente bestätigten Gesetzmäßigkeiten, die GREGOR MENDEL schon im Jahre 1866 festgestellt und mit genialer Klarheit gedeutet hatte. Wir wollen den Ursachen, die dazu führen mußten, daß MENDELS Arbeit bis 1900 unbeachtet und vergessen blieb, nicht im einzelnen nachgehen. Offenbar war jene Zeit noch nicht reif für die besondere Art analytischen Denkens, wie sie MENDEL in der Lösung der Vererbungsprobleme anwandte, und außerdem spielte wohl auch der Umstand eine Rolle, daß MENDEL bei Untersuchungen an einem anderen Objekt, an Habichtskräutern, die an Erbsen erhobenen Befunde nicht bestätigen konnte, weil – wie erst später bekannt wurde – diese Pflanzen sich nicht normal geschlechtlich fortpflanzten.

Aus den Ergebnissen der Erbsenkreuzungen MENDELS ging hervor, daß das Erbgut partikulär organisiert ist, also aus diskreten Elementen besteht und daß einfache Erbmerkmale, wie Unterschiede in Farben und Formen von Samen und Früchten, durch Faktorenpaare bestimmt werden, die aus je einem Erbelement mütterlicher und väterlicher Herkunft bestehen. Dabei kann der eine Erbfaktor über die Wirkung des andern dominieren. MENDEL bewies sodann, daß im Bastardorganismus die Erbfaktoren selbst rein bleiben und als unveränderte Einheiten für die Bildung jeder neuen Generation ausgesondert und neu kombiniert werden. MENDEL fand schließlich durch Auszählen der in den Bastard-Nachkommenschaften mit verschiedener Häufigkeit auftretenden Form-

¹ Auszugweise Wiedergabe eines Vortrages, gehalten an der Jahresversammlung 1950 der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft in Davos. Da zahlreiche zusammenfassende und dokumentierte Darstellungen der Vererbungslehre zur Verfügung stehen, wird hier auf Literaturhinweise verzichtet.

und Farbtypen jene fundamentalen Spaltungsgesetze, die uns die Wahrscheinlichkeit für die Frequenz der in jeder Generation zu erwartenden Genotypen angeben.

Wenn im folgenden aufgezeigt wird, wie sich die von MENDEL begründete Genetik in unserem Jahrhundert entwickeln konnte, so möchten wir auf jede Vollständigkeit verzichten. Wir müssen zudem stark schematisierend vorgehen und können die Vorgeschichte mancher Probleme nicht berücksichtigen. Außerdem werden aus der ständig wachsenden Zahl, der um die Förderung der Genetik verdienten Forscher, unter denen in unserem Lande vor allem A. LANG und A. ERNST hervortraten, nur wenige genannt. Wir wollen die zu betrachtende Zeitspanne recht willkürlich aufteilen und nachweisen, wie jedes der fünf Jahrzehnte grundlegende Entdeckungen brachte und zu Erweiterungen des Geltungsbereiches genetischer Forschung führte.

Im ersten Jahrzehnt wurde zunächst MENDELS Versuchsanordnung bei zahlreichen Organismen angewandt und dabei bewiesen, daß die «Erbosen-Gesetze» *allgemeinste Gültigkeit* haben. Derselbe Grund-Mechanismus regelt die Verteilung und Kombination der Erbfaktoren bei Pflanze, Tier und Mensch.

Die zweite entscheidende Leistung führte zu der Einsicht, daß zwischen dem Erbgang der abstrakten Faktoren der mendelistischen Genetik und dem Verhalten der sichtbaren Bauelemente der Zellkerne, eine bedeutungsvolle Beziehung besteht. TH. BOVERI vor allem wies im Jahre 1902 darauf hin, daß Chromosomen bei der Keimzellreifung genau so ausgesondert und bei der Befruchtung ebenso kombiniert werden, wie dies für die Einheiten des Erbgutes postuliert werden müßte. Die Chromosomen selbst «mendeln», und sobald wir die Gen-Symbole ihnen zuordnen, ergibt sich das erklärende Schema zu den Ergebnissen der Kreuzungsexperimente. Obschon damit klar wurde, daß sich Erbfaktoren bis in alle Einzelheiten so verhalten, als ob sie fest in den Chromosomen verankert wären, konnte der schlüssige Beweis für diese Zuordnung erst später erbracht werden.

Die dritte Erkenntnis führte zur Aufdeckung des *Geschlechtsbestimmungs-Mechanismus*. C. CORRENS zeigte 1906 am Beispiel der Zaunrübe (*Bryonia*), daß die Geschlechtsunterschiede nach einem einfachen MENDEL-Schema vererbt werden. Das in jeder Generation auftretende 1:1-Verhältnis von Weibchen zu Männchen kommt dadurch zustande, daß ein Geschlecht reinerbig (homozygot), das andere gemischterbig (heterozygot) für geschlechtsbestimmende Faktoren ist. Da kurz vorher C. E. McClUNG (1902) und E. B. WILSON (1905) entdeckt hatten, daß bei vielen Tieren die beiden Geschlechter sich so unterscheiden, daß das eine Geschlecht für ein besonderes Chromosomenpaar «homozygot», das andere «heterozygot» ist, war nun auch für das Spezialgebiet der Geschlechtsvererbung die Brücke zwischen Faktorenarithmetik und Zellsubstrat geschlagen.

Schließlich führten Untersuchungen des dänischen Botanikers W. JOHANNSEN (1903–1909), dem wir übrigens auch den Terminus «Gen»

verdanken, zur Klärung grundlegender Begriffe. Wird ein Gemenge von Bohnensamen biometrisch erfaßt, dann können die Frequenzen der verschiedenen Größenklassen mit einer GAUSSSCHEN Normalverteilung übereinstimmen. Werden sodann Folgegenerationen je aus Minus- respektive Plusvarianten gezogen, so führt ein solches *Selektionsverfahren* nur dann zum Erfolg, wenn verschiedene Erbtypen im Ausgangsmaterial vertreten sind. Geht man dagegen von einem reinerbigen Einzelsamen aus, so zeigt die Nachkommenschaft allerdings wiederum eine Normalverteilung, von extrem-klein bis extrem-groß. Nun aber bleibt jeder Selektionserfolg aus. Wir operieren innerhalb einer «reinen Linie», d. h. die Population besteht aus identischen *Genotypen*. Was hier an Größenvarianten auftritt, sind lediglich umweltbedingte *Phänotypen*. Ihre *erworbenen Eigenschaften* aber vererben sich nicht. JOHANNSENS Feststellungen bilden die Grundlage nicht nur für jede züchterische Maßnahme, sondern wurden auch wegweisend für den Ausbau einer modernen Evolutionslehre.

Mit dem zweiten Jahrzehnt tritt die Fruchtfliege *Drosophila melanogaster* in die Geschichte der Erbforschung ein. Das unscheinbare Insekt, das in seiner Wildform überall verbreitet ist, wo Früchte gären, hat zur Entwicklung der theoretischen Genetik mehr beigetragen als irgendein anderes Lebewesen. Noch heute nach 40 Jahren sind über 100 Institute in der *Drosophila*-Forschung tätig und an die 500 Genetiker arbeiten mit Fruchtfliegen. Es wurden von dieser Art im Laufe der Jahre gegen 800 verschiedene Rassen (Mutanten) bekannt und in ihrem Erbverhalten studiert.

Um Jahr 1910 konnte der Professor für Experimentalzoologie an der Columbia University, THOMAS HUNT MORGAN, die ersten Mutanten der *Drosophila* untersuchen. Da bei dieser Fliege alle 14 Tage eine neue Generation entsteht und ein Elternpaar einige hundert Nachkommen liefert, standen bald zahlreiche neue Erbtypen zur Verfügung, und es wurde möglich, den Erbgang verschiedenster Merkmale der Form und Farbe zu studieren. MORGAN hatte das Glück, drei ungewöhnlich begabte junge Männer: A. H. STURTEVANT, C. B. BRIDGES und H. J. MULLER als engste Mitarbeiter zu finden. Damit beherbergte das New-Yorker Institut eine Gruppe von Forschern, die als hervorragende Experimentatoren, klare Theoretiker und unermüdliche Arbeiter in rund 10 Jahren die klassischen Fundamente zur modernen Genetik legten.

Wir haben bereits ausgeführt, daß sich MENDEL-Gene so benehmen, als ob sie in den Chromosomen der Zellkerne gelagert wären. Da man andererseits fand, daß die Zahl der Erbfaktoren weit höher als die Zahl der Chromosomenindividuen ist, mußte angenommen werden, daß die Gene paketweise, in größeren Gruppen vereinigt im Chromosomensubstrat verankert sind. Nun muß wohl die Beziehung im Erbgang zwischen zwei gegebenen Genen verschieden sein, je nachdem die beiden Faktoren je verschiedenen oder je gleichen «Paketen» angehören. Im ersten Falle werden sie frei kombinierend mendeln, im zweiten Falle sollten sie gegenseitig fester gebunden sein.

Tatsächlich hatte der Engländer W. BATESON schon 1906 gefunden,

daß bestimmte Erbmerkmale der Platterbse *Lathyrus* nicht den Regeln der freien MENDEL-Kombination folgen, sondern in einem zunächst völlig unverständlichen Ausmaße aneinander gekoppelt sind. MORGANS Kreuzungsanalyse zeigte dann für zahlreiche Gene der *Drosophila*, daß sie gegenseitig teils frei kombinierbar sind, teils aber mehr oder weniger stark gekoppelt übertragen werden. Die Gesamtheit der geprüften Erbfaktoren ließ sich sodann auf vier *Koppelungsgruppen* verteilen. Da sich nun die Zellkerne von *Drosophila melanogaster* aus vier Chromosomenpaaren aufbauen, war damit eine weitere entscheidende Übereinstimmung zwischen einem Befund der Faktorenanalyse und der Zellmorphologie hergestellt. Übereinstimmungen zwischen der unterschiedlichen Faktorenzahl der Koppelungsgruppen und der verschiedenen mikroskopischen Größe der Chromosomen, sowie das besondere Verhalten der einen, «geschlechtsgekoppelten» Gruppe, ermöglichten einen weiteren Schritt: die Zuordnung bestimmter Gengruppen zu bestimmten Chromosomenindividuen. Solche Parallelismen mochten noch so überzeugend sein, eine direkte Beweisführung erst konnte die Chromosomentheorie der Faktorenkoppelung zum Range einer unbestrittenen Wahrheitsaussage erheben. Dies gelang C. B. BRIDGES (1914). Ein bestimmtes Erbmerkmal, weiße bzw. rote Augenfarbe, trat gelegentlich bei Tieren auf, die nach den MENDELSCHEN Regeln niemals so hätten aussehen dürfen. BRIDGES konnte und mußte auf Grund der bisherigen Erkenntnisse fordern, daß bei den betreffenden Ausnahmetieren ein Chromosom zu viel bzw. zu wenig vorhanden sei. Er untersuchte Kernteilungsstadien und fand die vorausgesagte Abnormität im mikroskopischen Bild. Solche und ähnliche Verifikationen wurden seither in zahlreichen Fällen möglich. Immer dann, wenn ein Erbmerkmal die Regeln nicht befolgt, konnten Chromosomen oder Chromosomenstücke auf absonderlichen Wegen ertappt werden.

Gekoppelte Gene sind nicht dauernd aneinander gebunden; bei der Bildung der Keimzellen können sie sich trennen. MORGANS Arbeitsgruppe fand nun, daß die prozentuale Häufigkeit, mit der die Koppelung durchbrochen wird, für je ein gegebenes Genpaar eine charakteristische Zahlengröße darstellt. Dieser «Rekombinationswert» kann klein sein, nur wenige Prozente betragen und damit eine enge Koppelung anzeigen, oder gegen 50% ansteigen und mit einer solch lockeren Koppelung sich den Verhältnissen bei freier Kombination nähern. Was bedeuten diese Zahlenwerte? Nach der genialen Konzeption, die A. H. STURTEVANT im Jahre 1913 entwickelte, sollen die verschieden großen Rekombinationswerte die Maßzahlen darstellen, die den linearen Abstand der Gene im Chromosomenfaden angeben. Diese Theorie setzt voraus, daß die Gene materielle Teilchen sind, von denen jedes seinen festen Platz (Locus) im Chromosom besetzt. Sie verlangt von den Chromosomen, daß sie während der Keimzellreifung, wenn sich entsprechende väterliche und mütterliche Individuen paaren, sich überkreuzen und an den «Crossing-over»-Stellen durchbrechen und hier Teilstücke austauschen. Je größer der lineare Abstand zweier Gene, um so größer ist die Wahrscheinlichkeit, daß ein Bruch zwischen die beiden Genloci fällt und damit ihre Koppe-

lung löst. Aus dieser Theorie ergibt sich schließlich folgendes Postulat: Kennt man die beiden Austauschwerte eines Gens a zu einem Gen b und zu einem Gen c , so muß der dritte Austauschwert bc gleich der Summe $ab + ac$, oder der Differenz $ab - ac$ sein. Wir können heute kaum ermessen, mit welcher Spannung man die ersten derartigen Verifikationen verfolgte und mit welch hoher Befriedigung es registriert wurde, als Augenfarben, Borstenzahlen und Flügelformen der Fruchtfliege die *Theorie von der linearen Anordnung der Gene* bestätigten. Gleichzeitig entstand die erste topographische Karte einer Erbsubstanz. Heute besitzen wir gut markierte und ständig sich verbessерnde *Genkarten* für zahlreiche Tiere und Pflanzen. Selbst menschliche Erbfaktoren konnten kartiert werden, zunächst allerdings nur jene Gene, die der Koppelungsgruppe des X-Chromosoms angehören.

Aber bleiben denn nicht solche Genkarten lediglich graphische Darstellungen von Zahlenwerten, die Kreuzungsexperimente und Stammbäume liefern? Sind sie überdies auch wirkliche Abbildungen der räumlichen Architektonik der Erbsubstanz? Wiederum war es nötig, die Beziehung zwischen der Faktorenarithmetik und der Chromosomenmaterie aufzuzeigen. Tatsächlich bilden die Chromosomen während der Reifeteilungen die von der Theorie geforderten Überkreuzungsstellen. Dieses cytologische Phänomen (Chiasmatypie) konnte MORGAN, als es darum ging, den Austausch gekoppelter Faktoren zu deuten. Es dauerte aber bis zum Jahre 1924, bevor C. STERN an *Drosophila* und B. McCLINTOCK an Mais beweisen konnten, daß ein Austausch von Erbfaktoren auf einem mikroskopisch nachweisbaren *Chromosomenstücktausch* beruht. Damit kam die Lehre von der linearen Anordnung der chromosomalnen Gene zu einem ersten glänzenden Abschluß.

Das dritte Jahrzehnt der Erbforschung führte aber nicht nur zu einem breiten Ausbau der MORGANSchen Lokalisationslehre, sondern brachte eine Entdeckung, die ein neues Arbeitsgebiet eröffnete. Im Jahre 1927 berichtete H. J. MULLER am Internationalen Genetikerkongreß in Berlin, daß es ihm gelungen sei, durch Röntgenstrahlen Änderungen von Erbfaktoren, d. h. Mutationen in großer Zahl und mit voraussagbarer Häufigkeit zu erzeugen. Ein Grundvorgang der organischen Evolution, die Entstehung neuer Erbtypen, wurde damit der experimentellen Analyse erschlossen. Vor MULLER hatten zwar zahlreiche Genetiker und Züchter versucht, durch Außeneinwirkungen – wie Strahlen, Temperaturschocks und Chemikalien – die Erbsubstanz zu ändern. Die Erfolge blieben aber unsicher und umstritten. MULLERS überraschender Fortschritt wurde vor allem möglich, weil er eine Nachweismethodik entwickelt hatte, die erlaubt, auftretende Genänderungen annähernd vollständig zu erfassen. Er konnte auch gleich zeigen, daß die Mutationsereignisse quantitativ gesetzmäßig sich einstellen, indem die Mutationsrate proportional mit der Strahlendosis ansteigt.

Zahlreiche Experimentatoren wandten sich jetzt strahlengenetischen Untersuchungen zu. Dabei wurde vor allem der heute in Rußland verschollene N. W. TIMOFEEFF-RESSOVSKY führend. Beziehungen zwischen

Strahlendosis, Wellenlänge, Ionisationsdichte und Mutationsrate gaben Aufschlüsse über die Größe der strahlenempfindlichen Genbereiche und über die Zahl der Gene eines Organismus. Es ließen sich dabei die Prinzipien der allgemeinen *Treffertheorie* auf den Mutationsvorgang anwenden, und so führte die biophysikalische Analyse zur modernen *Gentheorie*.

Außer ihren theoretischen Einsichten brachte die Strahlengenetik bedeutsame praktische Erkenntnisse. Erstmals konnten die erbbiologischen Folgen jener Bestrahlungen beurteilt werden, die in der medizinischen Therapie und Diagnostik zur Anwendung kommen. Da die neu-mutierten Genzustände in der überwiegenden Mehrheit zu ausgesprochenen Verschlechterungen, zu Mißbildungen und tödbringenden Entwicklungsstörungen führen, muß für einen ausreichenden Schutz der Keimzellen, für eine eigentliche *Mutationsprophylaxis* gesorgt werden. So ist die biologische Wissenschaft, dank der Pionierarbeit der Strahlengenetiker, auf jene Gefahren vorbereitet, die uns das Atomzeitalter bringen kann.

Wenden wir uns nun den beiden letzten Jahrzehnten zu. Das Jahr 1933 überraschte mit einer völlig unerwarteten Entdeckung. E. HEITZ und H. BAUER in Deutschland, sowie T. S. PAINTER in Amerika fanden, daß die Kerne der Speicheldrüsenzellen bei Fliegen und Mücken riesenhaft vergrößerte Chromosomen enthalten. Anstelle der winzigen, homogen erscheinenden Stäbchen, Schleifen und Kugelchen, mit denen man sich bisher abmühen mußte, standen jetzt lange Zylinder von ansehnlichem Durchmesser zur Verfügung, die ein wunderbar differenziertes und *artspezifisches Bandenspektrum* zeigen. Damit war auf einen Schlag ein der Genkarte adäquates Substrat gefunden, und es wurde möglich, die Genorte je bestimmten Bändern zuzuordnen und Aussagen über die Intimstruktur der Erbsubstanz zu verifizieren, die von den Genetikern der MORGANSCHEN Schule viele Jahre zuvor gemacht worden waren. So hatte A. H. STURTEVANT u. a. für eine Drosophilrasse mit bandförmigen Augen angenommen, daß hier ein winziger Chromosomensektor verdoppelt sein müsse. Das Speicheldrüsenbild zeigte nun genau an der vorausgesagten Stelle eine Duplikation weniger Bänder. In anderen Fällen hatte man Inversionen innerhalb des Chromosomenfadens oder kleinste Stückausfälle postuliert; alles dies konnte jetzt «gesehen» werden. Die Art und Weise, wie die räumliche Ordnung des Gengefüges ohne sichtbare mikroskopische Stütze, rein indirekt und rechnerisch erschlossen wurde und wie dann später das augenfällige Substrat jede vorausgesagte Einzelheit bestätigte, dies wird als eine ungewöhnlich glänzende Leistung wissenschaftlicher Forschung in die Geschichte eingehen.

Zellforschung und Faktorenanalyse sind seit den dreißiger Jahren im Fache der *Cytogenetik* endgültig vereinigt. Wir haben nun zweier weiterer Teilgebiete der Erbforschung zu gedenken, deren Problematik zwar einzelnen Forschern stets gegenwärtig war, die aber doch erst in den beiden letzten Jahrzehnten die entscheidendste Förderung erfuhren. Es sind dies die Querverbindungen der Genetik zur Entwicklungsphysiologie und zur Evolutionslehre.

Die *physiologische Genetik* untersucht die Frage, wie bestimmte Erbfaktoren die ihnen zugeordneten Merkmale bewirken. Solchen Bemühungen stehen aber drei große Schwierigkeiten entgegen. Erstens kennen wir wohl sehr genau den Ort eines Gens im Chromosom und können annähernd seine Größe abschätzen; aber wir wissen nichts über die chemische Natur, die seine Spezifität ausmacht. Es steht zwar fest, daß die Gene Nukleoproteinmoleküle sind; aber wie sich ein bestimmter Erbfaktor *a* von einem Gen *b* unterscheidet, ist unbekannt. Wir kennen somit lediglich Eigenschaften des «allgemeinen Gens». Zweitens spielen sich die Wirkungen, die vom Gen zum Merkmal führen, im intimen Mikroraum einzelner lebender Zellen ab, und es ist nur ausnahmsweise möglich, eine analytische Apparatur zwischen Gen und Merkmal aufzubauen. Drittens kann die merkmalbildende Aktion eines Einzelgens durch die Mitwirkung von hunderten oder tausenden anderer in der gleichen Zelle lokalisierter Gene und von zahlreichen nichtgenischen Faktoren des Organismus und der Umwelt mitbeeinflußt werden.

Trotz dieser Schwierigkeiten konnte man tiefere Einsichten in die Wirkungsweise der Erbfaktoren gewinnen. Grundlegend wurde die Erkenntnis, daß nicht fertige Merkmale, sondern mehr oder weniger begrenzte *Reaktionsmöglichkeiten* vererbt werden und daß sich damit für jede Entwicklungs- und Lebensleistung das *Erbe-Umwelt-Problem* als Spezialaufgabe stellt. Es gibt Erbfaktoren, die sich relativ starr und umweltstabil durchsetzen; die Wirkungen anderer Gene reagieren äußerst labil auf Umwelteinflüsse. Es wurde ferner an zahlreichen Beispielen gezeigt, wie die Manifestation eines bestimmten Erbfaktors durch die Mitwirkung der Gesamtheit der übrigen Gene, d. h. durch das sogenannte *genotypische Milieu* und durch nicht-genische, cytoplasmatische Zellkomponenten beeinflußt werden kann.

Man erkannte und wies nach, daß ein Gen in der Regel nicht nur ein Mendel-Merkmal bedingt, sondern im ganzen Körper in zahlreichen Zellsystemen tätig ist und so *komplexe Erbsyndrome* entstehen läßt (Pleiotropie). Andererseits weiß man heute, wie auch einfachste Merkmale, wie Farb- oder Formelemente unter dem Einfluß zahlreicher Chromosomenorte zustandekommen. Durch das Studium von mendelnden *Letalfaktoren*, die zum Absterben von Embryonen, Larven, Keimpflanzen und Jungtieren führen, lernte man sodann eine Kategorie von fundamental wirkenden Erbfaktoren kennen, und damit wurde erstmals eine eigentliche *Erbpathologie der Entwicklung* und gleichzeitig eine genetisch begründete Mißbildungslehre möglich. Der Ausbau der physiologischen Genetik ist heute noch in vollem Gang. Noch warten zahlreiche Probleme der Lösung, die vor Jahrzehnten schon von genetisch orientierten Entwicklungsphysiologen, wie TH. BOVERY, R. GOLDSCHMIDT, F. BALTZER und A. KÜHN, aufgezeigt wurden.

Doch wenden wir uns nun jenen Fortschritten der Genetik zu, die zu einem vertieften Verständnis der *Evolutionsvorgänge* führten. DARWINs großartige Konzeptionen begeisterten und beherrschten die Biologie in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts. Die exakte Erbfor-

schung führte zunächst zu einer allgemeinen Ernüchterung. Manche allzu kühne Spekulation fiel in sich zusammen, und eine heilsame Skepsis setzte sich durch gegenüber den darwinistischen Prinzipien. So zeigten die erwähnten Versuche von JOHANNSEN, daß die Selektion nur in bestimmten Grenzen wirksam ist, und führende Biologen erkannten, daß jetzt durch unvoreingenommene Laboratoriumsarbeit die Mechanismen der stammesgeschichtlichen Wandlung neu zu überprüfen seien. Zunächst wurde klar, daß man viel zu wenig wußte über die Entstehung neuer Erbtypen. Zwar hatte die von H. DE VRIES um 1900 entwickelte *Mutationslehre* gezeigt, wie durch sprunghafte Änderungen der Erbsubstanz stets neues Rohmaterial für evolutive Vorgänge entsteht. Erstmals konnte nun das von DARWIN postulierte Variieren der Organismen genauer beurteilt werden. Doch dauerte es annähernd drei Jahrzehnte, bevor man über den Mutationsvorgang soweit Informationen gesammelt hatte, daß man es wagen konnte, die in freier Natur vor sich gehende Artbildung erneut zu deuten. Und eigentlich erst in den beiden letzten Jahrzehnten «verließen» zahlreiche Genetiker ihre Laboratorien, um das Studium der *Evolution von Wildpopulationen* in Angriff zu nehmen. Man kannte jetzt die unter natürlichen Bedingungen wirksame Mutationsrate; man wußte, daß «kleine» Mutationen, die meist nur unscheinbare morphologische und physiologische Änderungen bewirken, zur Entstehung neuer Arten führen können. Mathematisch begabte Genetiker wie S. WRIGHT, R. A. FISHER und J. B. S. HALDANE zeigten, mit welcher Geschwindigkeit und unter welchen Bedingungen sich in natürlichen Fortpflanzungsgemeinschaften neue Erbtypen unter dem Drucke der Selektion durchsetzen können. Genetisch orientierte Paläontologen, so vor allem G. G. SIMPSON, deuteten das fossile Urkundenmaterial im Lichte der Experimentalgenetik. E. MAYR, B. RENTSCH und J. HUXLEY befreiten die Systematik aus einem etwas verstaubten Museumsdasein und zeigten, wie sich Arten in dynamischen Untergruppen gliedern und wie sich in verschiedenen geographischen und ökologischen Regionen neue und angepaßte Erbtypen stabilisieren.

Auch an dieser zeitgenössischen Evolutionsforschung ist die *Drosophila* entscheidend beteiligt. Es sind heute von dieser Gattung über 700 gute Spezies bekannt. Davon in der Schweiz rund 30 Arten, darunter auch eine *Drosophila grischuna*, über die an unserer Tagung erstmals berichtet wurde. Da man bei Fliegen die Intimstruktur der Erbsubstanz in den Speichelrüsenschromosomen studieren und von Art zu Art vergleichen kann, wird es hier möglich, eine Art «beweisende Geometrie» der phylogenetischen Wandlungen aufzubauen.

Die Gesamtheit all dieser Erkenntnisse führte zu einer Neufassung der Evolutionslehre. Sie gründet sich nach wie vor auf darwinistische Prinzipien, auf Mutation und Selektion. Doch sind im *Neo-Darwinismus*, dem heute die Mehrzahl der Genetiker zustimmen, die Begriffe schärfer gefaßt, die Mechanismen durch Laboratoriumsexperimente und Freilandbefunde genauer studiert und die theoretischen Deduktionen begründeter. Wir sind uns dabei klar, daß unsere Kenntnisse allzu bruch-

stückhaft und unsere Theorien kaum hinreichend sind, zur Erklärung der Vorgänge, die zur Entstehung der großartigen Mannigfaltigkeit an Lebewesen führten. Solange uns aber keine anderen verifizierbaren Prinzipien und Mechanismen zur Verfügung stehen und solange mit diesen rein naturwissenschaftlichen Forschungs- und Denkmöglichkeiten fruchtbare Fortschritte erzielt werden können, möchten wir darauf verzichten, die Evolutionsvorgänge mit Hilfe von vitalistischen, psychistischen oder unter Zuzug von irgend welchen anderen Elementen zu deuten, die sich einer naturwissenschaftlichen Analyse entziehen.

Lassen Sie mich nun noch davon berichten, was unser *letztes Jahrzehnt* für Fortschritte brachte. Es wurde die *mutationsauslösende Wirkung von Chemikalien* entdeckt. Trotz zahlreicher Versuche mit den verschiedensten Stoffen, die bei den verschiedenartigsten Lebewesen verfüttert, injiziert oder sonstwie angewandt wurden, konnte bis zum Jahre 1944 niemand über erfolgreiche Mutationsexperimente mit Chemikalien berichten. Die entscheidende Wendung trat ein, einerseits nachdem man neue Stoffe prüfte, andererseits weil neue Behandlungsmethoden entwickelt wurden.

CH. AUERBACH und J. M. ROBSON in Edinburgh wiesen nach, daß der Kampfstoff Senfgas (Yperit) die Erbsubstanz ähnlich trifft und zum Mutieren bringt, wie man dies für ionisierende Strahlungen kennt. Dem Zoologischen Institut der Universität Zürich gelang es, durch eine besondere Technik die Chemikalien in direkten Kontakt mit den nackten Keimdrüsen zu bringen und auf diese Weise zahlreiche Mutationen mit Phenollösungen zu bewirken. In den letzten fünf Jahren nun hat das Studium «mutagener» Substanzen einen gewaltigen Aufschwung genommen. Geprüft wurden u. a. auch krebserregende Stoffe. Wie weit allerdings die positiven Ergebnisse die Lehre stützen können, wonach primär ein Mutationseignis zum bösartigen Geschwulstwachstum führt, läßt sich heute noch nicht beurteilen.

Mit chemischen Mitteln kann man heute wohl Chromosomen brechen und Gene ändern – doch sind die bis jetzt gefundenen Schlüssel zur Erbsubstanz grober und unspezifischer Art. Noch ist es nicht gelungen, sichere Mittel zu finden, die, hoch spezifisch, nur bestimmte Einzelgene angreifen und ändern. Verschiedene Ansätze, die für locusspezifische Wirkungen sprechen, ergeben sich allerdings aus den Phenover suchen und aus verschiedenen Experimenten an Mikroorganismen. Doch bleibt auch hier die Hauptarbeit noch zu leisten.

Wir haben bereits ausgeführt, daß zur Zeit noch kein Einzel-Gen so bekannt ist, daß man das Wesen seiner chemischen Spezifität angeben könnte. Trotzdem weiß man heute, dank neuester Fortschritte der physiologischen Genetik und ihrer Verbindung mit der Biochemie, von einer ständig wachsenden Zahl von Genen, worin ihre *spezifische biochemische Funktion* besteht und welche Stoffwechselvorgänge sie im Organismus beeinflussen. So besorgt ein Gen, das am Locus 33 im X-Chromosom von *Drosophila melanogaster* sitzt, die Umwandlung der Aminosäure Tryptophan in einen Stoff Kynurenin, der eine Vorstufe zum Aufbau eines

Augenpigmentes darstellt. Zahlreiche weitere Chromosomenstellen greifen überdies mit spezifischen Beiträgen in die Synthese dieser Farbstoffe ein. In jüngster Zeit hat der Amerikaner G. W. BEADLE mit einer großen Zahl von Mitarbeitern den Schimmelpilz *Neurospora* studiert und gezeigt, wie hier verschiedene Stoffwechselvorgänge von spezifischen Genleistungen abhängen. So sind mindestens 4 Gene an der Synthese der Aminosäure Ornithin beteiligt. Die Umwandlung von Ornithin in Citrullin verlangt die Sonderarbeit von mindestens 2 weiteren Genen und schließlich entsteht Arginin nur dann, wenn ein 7. Gen eingreift. Solche Synthesen sind bekanntermaßen enzymatisch gesteuerte Prozesse. Ob die Gene selbst als Enzyme wirken, oder ob unter ihrem Einfluß erst im Cytoplasma die spezifischen Fermente entstehen, darüber ist man sich noch nicht einig. Wichtig aber ist jedenfalls, daß Wirkungen von Einzelgenen biochemisch erfaßt werden konnten und daß damit eine neue, große und für die Zukunft vielversprechende Forschungsrichtung erschlossen ist.

Neue Problemstellungen rufen häufig nach neuen Untersuchungsobjekten. Die Grundlagen unserer Wissenschaft wurden an hochorganisierten Pflanzen und Tieren erarbeitet. Im letzten Jahrzehnt haben sich zahlreiche Genetiker dem *Studium der Mikroorganismen* zugewandt. Dabei hat sich die Erwartung bestätigt, daß die Erbsubstanz einfach organisierter Systeme, die sich auf synthetischen Nährböden leicht züchten und überwachen lassen, einer biochemischen und biophysikalischen Analyse besonders günstige Angriffsmöglichkeiten bieten. Und so gibt es heute eine Genetik der Hefen, der Bakterien und sogar der Viren. In einem unerwarteten Ausmaße zeigte sich nun, daß die Erbsubstanz aller Lebewesen nach übereinstimmenden Prinzipien organisiert ist. Faktorenaustausch und Genkoppelung konnte selbst bei Bakterien nachgewiesen werden, für die man bisher keine Anzeichen von Sexual- und Befruchtungsvorgängen kannte. Von größter theoretischer Bedeutung und grundlegend für den Ausbau der Gentheorie verspricht die *Vererbungsforschung an Viren* zu werden. Die zunächst nur versuchsweise geäußerte Vermutung, daß Viren und Gene wesensverwandte, wenn nicht wesensgleiche Naturkörper sein könnten, scheint sich immer mehr zu bewahrheiten. Viren sind, wie Gene, Nukleoproteinmoleküle von hoher Spezifität. Sie mutieren spontan und unter äußern Eingriffen, wie dies Gene tun. Sie entstehen nur aus ihresgleichen und vermehren sich nur im lebenden Zellsubstrat genau so wie Gene. Kleinste Viren bestehen offenbar nur aus einer genischen Einheit. Da Viren isoliert und kristallisiert werden können, bietet sich vielleicht hier die erste Möglichkeit, die individuelle Sondernatur von Erbeinheiten kennenzulernen. Schließlich ergeben sich aus der Genetik der Mikroorganismen und der Viren neue Gesichtspunkte zur Diskussion der bisher hoffnungslos schwierigen Frage nach der Entstehung des Lebens aus der nichtbelebten Materie.

Wir haben versucht, aufzuzeigen, wie eine Wissenschaft, die mit scheinbar harmlosen Erbsenversuchen eines unbekannten Mönches ihren Anfang nahm, sich in 50 Jahren entfalten konnte. Es war dabei nur die

Rede von der Entwicklung der theoretischen Genetik. Wir alle wissen, wie wichtig der Einfluß der Vererbungsforschung für Pflanzen- und Tierzucht wurde und welche Bedeutung die Genetik auf Medizin, Hygiene und Erziehung gewinnen konnte. Daß eine Wissenschaft, die an fundamentale Eigenschaften des Lebendigen herangeht und damit unser Weltbild mitformt, durch Mißdeutung und Vergewaltigung gefährdet werden kann, ist unvermeidlich. Möge es uns in unserem Lande und mit uns all unseren ausländischen Kollegen, mit denen wir uns verbunden wissen, und die, wie wir, heute noch der freien Forschung leben dürfen, möglich bleiben, das Werk fortzusetzen, einzig geleitet durch ein Gewissen, das sich der wissenschaftlichen Wahrheit und der Humanität gegenüber verpflichtet weiß.